

**II ЛАВЁРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ –  
АРКТИКА: АКТУАЛЬНЫЕ  
ПРОБЛЕМЫ И ВЫЗОВЫ**



**Сборник  
научных материалов**



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Уральское отделение Российской академии наук  
Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики  
имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН  
Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова  
Правительство Архангельской области  
Межрегиональный общественный Ломоносовский фонд

**ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ**

**II ЛАВЁРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ**

**АРКТИКА: АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И  
ВЫЗОВЫ**

Сборник научных материалов



Архангельск  
2023

**II Лавёровские чтения. Арктика: актуальные проблемы и вызовы** [Электронный ресурс] : сб. науч. материалов [Всерос. конфер. с междунар. участием], г. Архангельск, 13-17 ноября 2023 г. / отв. ред. чл.-корр. РАН К. В. Лобанов, чл.-корр. РАН И. Н. Болотов. – Архангельск, 2023. – 997 с. : рис., табл. – 1 электрон. оптич. диск. (CD-R). – Загл. с титул. экрана.

Сборник научных материалов Всероссийской конференции с международным участием «II Лавёровские чтения. Арктика: актуальные проблемы и вызовы» является результатами работы второй конференции, проводимой в честь памяти Николая Павловича Лавёрова – выдающегося советского и российского ученого, академика, вице-президента АН СССР и РАН, признанного лидера в области геологии, геохимии урана, поисков, разведки и освоения полезных ископаемых, много сделавшего для создания мощной минерально-сырьевой базы в России. Значительное место в исследованиях Н.П. Лавёрова занимали проблемы радиоэкологии, Мирового океана и Арктики, космического мониторинга катастрофических природных процессов.

В сборнике представлены результаты исследований по актуальным проблемам современной фундаментальной науки, охватывающей различные междисциплинарные направления в области изучения современных вызовов и угроз устойчивому развитию Арктики.

Материалы конференции предназначены для научных работников, преподавателей вузов, аспирантов, студентов и специалистов, интересующихся вопросами изменения климата полярных регионов.

Материалы публикуются в авторской редакции.

Конференция проведена при поддержке Министерства экономического развития, промышленности и науки Архангельской области, соглашение № 16 от 1 ноября 2023 г., в рамках Десятилетия науки и технологий в Российской Федерации.

ISBN 978-5-903764-87-7



9 785903 764877



**Николай Павлович Лавёров**  
**академик, вице-президент РАН**  
**1930 – 2016**



Члены Правления и общественного совета Ломоносовского фонда, 2004 г.



Выступление Н.П. Лавёрова на заседании молодежной научной школы,  
г. Архангельск, 2015 г.



Подписание в печать тома Поморской энциклопедии, 2001 г.  
(слева направо: ректор ПГУ им. М.В. Ломоносова В.Н. Булатов, генеральный директор Ломоносовского фонда В.М. Третьяков, академик Н.П. Лавёров, губернатор Архангельской обл. А.А. Ефремов)

## ***Уважаемые участники конференции! Дорогие коллеги!***

*Сборник научных трудов, знакомство с которым Вы начинаете, увидел свет в преддверии и в связи со Второй всероссийской конференцией «Лавёровские чтения – Арктика: актуальные проблемы и вызовы». Этот представительный и авторитетный междисциплинарный научный форум организован Федеральным исследовательским центром комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лавёрова Уральского отделения Российской академии наук, расположенным в Архангельске, в Поморье – регионе, который несколько столетий был опорной территорией России в истории её продвижения на Урал, в Арктику и Сибирь.*

*Приарктические районы нашей страны, наряду с Дальним Востоком, в XXI веке становятся магистральным направлением пространственного и экономического развития Российской Федерации. В этом макрорегионе при населении чуть более 2,5 млн. чел. производится не менее десятой части ВВП России. В условиях напряжённой трансформации парадигмы внутренней политики и международных отношений нашей страны в начале 2020-х годов человеческий и ресурсный потенциал, состояние экосистем Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ), транспортно-логистическое значение Северного морского пути обретают особую роль в реализации целей национального развития России на ближайшие десятилетия.*

*Эффективное претворение в жизнь планов Российской Федерации в Арктике возможно только на основе расширения научных работ и интенсификации внедрения их результатов в экономику, социальную и культурную деятельность. Представляемый Вашему вниманию сборник отражает результаты новейших арктических исследований по вопросам климата и экологии, геологии, геофизики и геохимии, биоресурсов и сельского хозяйства, экономики и проблем развития территорий, здоровья человека и безопасности жизнедеятельности в экстремальных природных условиях, истории и культуры, политического развития и международных отношений в приполярных регионах.*

*Перечисленные направления охватываются работой Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики, который выступает форпостом Уральского отделения РАН непосредственно на территории АЗРФ. Эта крупная организация с мощным исследовательским потенциалом носит имя и фактически является детищем великого русского учёного академика РАН Николая*

*Павловича Лавёрова, чья судьба схожа со стезёй его земляка и жизненного примера – М.В. Ломоносова. На протяжении нескольких десятилетий мысли и усилия академика Н.П. Лавёрова направлялись к тому, чтобы отечественная наука стала реальной силой, делающей явью гениальное предвидение «Российское могущество прирастать будет Сибирью и Северным океаном...». Следуя идеям М.В. Ломоносова и Н.П. Лавёрова, Уральское отделение РАН в числе своих приоритетов видит повышение вклада академических учреждений в экономическое, социальное и культурное развитие субъектов европейского сектора Арктической зоны России – Архангельской области, Ненецкого автономного округа и Республики Коми.*

*Уверен, уважаемые читатели, что материалы данного сборника трудов, станут полезным подспорьем в вашей научной работе, помогут вам и вашим ученикам в формировании общего видения текущего состояния, актуальных задач и перспективных направлений науки в АЗРФ. Поздравляю участников конференции и всех авторов материалов с новым плодотворным вкладом в российские арктические исследования.*



*академик РАН РУДЕНКО Виктор Николаевич  
вице-президент РАН, председатель Уральского  
отделения РАН  
г. Екатеринбург, 1 ноября 2023 года*

## **ОТ М.В. ЛОМОНОСОВА ДО Н.П. ЛАВЁРОВА: ИСТОРИЯ АКАДЕМИЧЕСКОЙ НАУКИ НА АРХАНГЕЛЬСКОМ СЕВЕРЕ**

*Журавлёв П.С.*<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лавёрова УрО РАН, г. Архангельск, lodemka45@yandex.ru

<sup>2</sup>Межрегиональный общественный Ломоносовский фонд

Российская наука началась с Михайло Ломоносова (1711–1765). Этот тезис, на наш взгляд, бесспорен. И не только потому, что в череде 46 профессоров Российской академии наук профессор химии (1745) М.В. Ломоносов действительно первый русский академик [1, с. 19], и не только потому, что его всеобъемлющий гений поражал умы не просто современников и потомков, а самые гениальные умы России и мира, и не даже не столь потому, что он автор огромного количества открытий, свершений и предвидений в большинстве научных отраслей, предвосхитивших будущее науки и изменивших картину мира науки и просвещения в России, а в первую очередь, на наш взгляд, потому, что академик Ломоносов первый оставил после себя учеников. Талантов на Руси с древнейших веков хватало, но именно Ломоносов стал первым, создавшим научную школу, и даже не одну, университет и положившим начало новой организации Академии наук. Именно так «есть и пошла» российская наука, достигшая многих мировых высот.

Как «государственное и полезное учреждение» рассматривал Михаил Васильевич Ломоносов Академию наук, которая «будет таковою не только по названию, но и по знаменитым делам своим и по истинной пользе, приносимой государству, и приобретет заслуженную известность во всем мире во славу Российской империи...» [2, с. 14, 22]. 90 лет назад на его малой родине появилось первое подразделение Академии наук, но для этого потребовалось больше полутора века, когда стало сбываться предвидение Ломоносова о роли и значении Севера. И еще: должны были появиться на Севере люди, считавшие себя последователями своего великого земляка, сумевшими воплотить фантастическую мечту Ломоносова. Первый среди них это академик Академии наук СССР и Российской академии наук Николай Павлович Лавёров (1930–2016).

Впрочем, и в прежние времена Императорская Санкт-Петербургская Академия не забывала родину М.В. Ломоносова. Архангельск, начиная с ломоносовской полярной экспедиции В.Я. Чичагова, на столетия стал «воротами Арктики и Севера», местом откуда уходили географические, научно-промысловые и этнографические экспедиции. Несколько архангелогородцев в «доакадемический период» были удостоены членства в Академии наук и первым историк Василий Васильевич Крестинин (1729 – 1795), член-корреспондент (1786), почетный член Академии, считавший себя учеником М.В. Ломоносова. Это второй историк среди членов-корреспондентов после П.И. Рычкова (1712–1777), который известен как историк Урала, будучи также уроженцем Архангелогородской губернии.

Академия заботилась о сохранении памяти великого ученого и просвещении его земляков. Шефствовала над его родной деревней, учебными заведениями. В дореволюционной России работала специальная академическая Ломоносовская комиссия, в несколько ином виде существовавшая и в истории Академии наук СССР (АН СССР).

Созданию первого научного академического стационара на северной земле способствовали многоплановые изыскательские работы биогеографа Андрея Владимировича Журавского (1882–1914) на Печоре в начале XX века по вопросам геологии, растительного и животного мира, традиционных промыслов, этнографии и археологии. Все это позволило ему в 1905 году добиться открытия в селе Усть-Цильма

Архангельской губернии Зоологической станции. В 1906 году на базе Зоологической станции в Усть-Цильме создается Печорская естественно-историческая станция Санкт-Петербургской академии наук, заведующим которой был назначен А.В. Журавский. Это самая первая в истории небольшая научная структура Академии наук на территории нынешнего Уральского отделения Российской академии наук. Ее история закончилась в августе 1914 года с трагической смертью ее основателя [3, с. 75, 76].

В начале 1920 года, когда еще на подступах к Архангельску шли бои, командование Северного фронта Красной армии подняло перед правительством вопрос об экономическом возрождении Поморского края. Реввоенсовет 6-й армии послал председателю советского правительства В.И. Ленину телеграмму, в которой назвал создание «Северного научно-промыслового комитета государственного значения задачей самой ближайшего времени» [4, с. 11].

Буквально через несколько дней, 4 марта 1920 года была учреждена Северная научно-промысловая экспедиция. Ей предписывалось проводить научно-исследовательские и промысловые работы, а также координировать любые изыскания, предпринимаемые другими организациями на всем пространстве к северу от 60-й параллели. Так было принято очень важное решение о создании первого специального научного учреждения по изучению Арктики.

Первым ее директором стал инженер-геолог, профессор Р.Л. Самойлович (1881 – 1939), а председателем ученого совета – выдающийся ученый, первый президент АН СССР академик А.П. Карпинский (1846–1936), который возглавлял Академию еще с 1916 г. Центральное управление расположилось в Архангельске, а отделения в Петрограде, Москве и Вологде.

Севэкспедиция буквально сразу приступила к работе. Так, уже в 1921 г. на Европейском Севере от Кольского полуострова до Новой Земли работало 23 отряда с общим числом участников 400 человек. В истории Архангельского Севера, как отмечал историк В.Н. Булатов, не было случая, чтобы в одной научной организации работало столько исследователей [5, с. 210]! Кстати, один из отрядов возглавлял академик А.Е. Ферсман (1883–1945), научно-промысловые исследования в Баренцевом море организовывал член ученого совета Севэкспедиции член-корреспондент Академии Н.М. Книпович (1862–1939).

Успехи стали мотивом для создания подразделения Академии наук в Архангельске. 8 июня 1933 г. бригада Академии наук СССР во главе с президентом А.П. Карпинским высадились на архангельской Красной пристани (рис. 1). В ее составе были: академики и профессора геолог А.Е. Ферсман, геолог Р.Л. Самойлович, геолог А.А. Чернов, ботаник А.И. Толмачев, геолог Н.А. Кулик, зоолог-оленовод С.В. Керцелли и др. В Архангельском драматическом театре состоялось торжественное заседание, посвященное началу интенсивных работ Академии наук по освоению природных богатств Севера. Выступали ученые, руководители Северного края, общественные деятели.

Самым важным результатом приезда делегации АН СССР во главе с президентом стала организация при поддержке руководства Северного края 15 декабря 1933 г. Бюро Полярной комиссии Академии наук СССР в Северном крае. Именно эта дата может считаться временем учреждения академической науки на Архангельском Севере.

Председателем Бюро стал известный ученый А.И. Толмачёв (1903–1979) – крупный полярный исследователь, ботаник, географ, доктор биологических наук, лауреат Государственной премии СССР, внук академика А.П. Карпинского. С 1 января 1936 года после реорганизации Бюро в Северную базу АН СССР он стал заместителем директора по науке, а в 1939–1941 гг. вновь директором, сменив Н.М. Книповича. Одновременно он работал на естественно-географическом факультете Архангельского государственного педагогического института. Интересно, что почетным директором

Северной базы АН СССР до 1941 года был утвержден почетный член АН СССР, известный революционер Николай Александрович Морозов.



Рис. 1 – Президент АН СССР академик А.П. Карпинский и профессор Р.Л. Самойлович в Архангельске, 1933 год

В 1938 году в штате было 58 сотрудников, из них исследователей 40 человек. Научные силы базы распределялись между тремя ее секторами – геологическим, ботаническим зоологическим, к которому был добавлен сектор водного хозяйства.

В годы Великой Отечественной войны Северная база АН СССР была эвакуирована из Архангельска в Сыктывкар, где в 1944 году была организована База Академии в Коми АССР (ныне Коми НЦ УрО РАН). Однако в Архангельске до конца 1950-х гг. работал Северный стационар Академии наук, штат которого состоял из сотрудников лесохозяйственной, геологических групп и группы тундрового хозяйства.

С конца 1950-х стационар был преобразован в Северное отделение Института леса Академии, а с 1958 г. стал самостоятельным Институтом леса и лесохимии Академии наук СССР. Институт имел научный стационар в Мурманской области и Северную лесную опытную станцию. Возглавлял институт видный ученый-лесовод, академик ВАСХНИЛ И.С. Мелехов (1905 – 1994).

С 1933 г. академическая наука на Архангельском Севере занималась исследованиями в области геологии, природопользования, леса и лесохимии, водных ресурсов. Небольшие группы изучали историю и этнографию Севера. Но в период «хрущевских реформ» и попыток «реорганизовать» Академию наук постепенно коллективы переходили в отраслевые НИИ, а в 1961 г. и Институт леса и лесохимии был выведен из структуры Академии наук СССР. Таким образом, Архангельск на 20 лет остался без собственного академического учреждения, и это во многом поспособствовало кризисным явлениям в развитии науки, когда в 1990-е годы многие отраслевые научные учреждения были ликвидированы.

Именно в это время огромную роль в сохранении научного потенциала Архангельского Севера сыграли ректор Поморского государственного университета член-корреспондент РАО Владимир Николаевич Булатов (1946 – 2007) и вице-президент АН СССР (а затем Российской академии наук) академик Н.П. Лавёров, при активной поддержке администрации Архангельской области (П.Н. Балакшин, А.А. Ефремов, Т.Д. Румянцева, Е.В. Кудряшова и др.) и Ломоносовского фонда (В.М. Третьяков, А.В. Ткачёв, В.С. Фортыгин, Г.П. Добрунова и др.). В Архангельске

был создан университет, ставший не только кузницей кадров, но той базой, где стали трудиться многие ученые, выходцы из академических институтов бывших республик СССР, положившие начало новым научным школам и направлениям (сейсмолог Ф.Н. Юдахин, геолог Ю.Г. Шварцман, физик В.И. Матвеев, радиолог Г.П. Киселёв, филолог Э.Я. Фесенко и др.). С помощью Поморского государственного университета имени М.В. Ломоносова начались преобразования и в академическом секторе науки.

Еще в начале 1980-х годов в Архангельске под руководством видного ученого, доктора медицинских наук А.В. Ткачёва (1936 – 2005) был создан филиал Института физиологии Коми научного центра Уральского отделения АН СССР. В 1990 году он преобразуется в Институт физиологии природных адаптаций. В 1988 году создан отдел системных исследований Института экономических и социальных проблем Севера, на базе через два года открыт Институт экологических проблем Севера УрО РАН. В этом же году на базе лаборатории региональной экономики ИЭПС УрО РАН был основан Архангельский филиал Института экономики УрО РАН.

Эти преобразования и успехи в развитии научных исследований обусловили постановление Президиума РАН от 30 октября 2001 г. о создании Архангельского научного центра УрО РАН. Первым директором АНЦ стал член-корреспондент РАН Феликс Николаевич Юдахин (1934 – 2011). Началась кропотливая работа по выстраиванию научной работы, организации экспедиционных исследований, укреплению кадрового потенциала. Огромное значение имела поддержка академика Н.П. Лавёрова.

В ходе дискуссий, проходивших в Архангельской области и Москве в начале XXI века о перспективах изучения Арктики, неоднократно высказывалась мысль о необходимости создания в Архангельске крупного научного центра, комплексно занимающегося арктическими исследованиями. На международном форуме «Арктика – территория диалога» в 2011 году президент Ломоносовского фонда, академик Н.П. Лавёров заявил: «Сама мысль о создании такого центра – она исключительно интересная, и полагаю, что Архангельску действительно пристало бы быть таким арктическим центром» [6, с. 193].

Наверное, ключевую роль в развитии академической науки на родине М.В. Ломоносова сыграл визит В.В. Путина в Архангельск в дни празднования 300-летия со дня рождения М.В. Ломоносова. Именно тогда на встрече с членами правления Ломоносовского фонда он поддержал молодого ученого И.Н. Болотова (в настоящий момент – член-корреспондент РАН, директор ФИЦКИА УрО РАН), который озвучил инициативу строительства первого в истории Архангельска специализированного лабораторного здания.

В 2016 г. Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики был создан. Сегодня это крупнейший академический научный центр в Европейском секторе Арктике. Сотни ученых занимаются научными исследованиями, проводятся десятки экспедиционных и полевых работ. Планируется создание Института истории, этнологии и археологии Арктики. Центр – участник кампуса «Арктическая звезда», создаваемого в рамках нацпроекта «Наука и университеты». Работы ведутся в области биологических и химических наук, наук о Земле, сельского и рыбного хозяйства, медицины, а также гуманитарных и технических наук. Центр имеет сейсмическую сеть в Западной Арктике, опытную станцию в Нарьян-Маре, стационар на юге области, а также музей биоразнообразия.

Академия наук неразрывно связана с именем М.В. Ломоносова, который первый вывел всю российскую науку на передовые рубежи в мире, и таковой она остается до сих пор. Именно поэтому и академический центр в Архангельске в рамках сохранения наследия М.В. Ломоносова проводит мероприятия, связанные с именами и деятельностью его последователей, земляков, ставших выдающимися учеными.

Среди них в новейшее время: Георгий Иванович Петров, академик, ученый-механик, основатель Института космических исследований РАН; Ксения Петровна Гемп, ученый-альголог, географ, гидрограф, историк, этнограф, выдающаяся исследовательница Русского Севера; Жорес Иванович Алфёров, академик АН СССР и РАН, советский и российский физик, лауреат Нобелевской премии; братья Леонид Максимович Бреховских, доктор физико-математических наук, академик АН СССР и выдающийся ученый в области физики, акустики океана и Серафим Максимович Бреховских, доктор технических наук, профессор, заложивший основы нового научного направления – конструкционной оптики; Сергей Владиславович Иванов, доктор физико-математических наук, академик РАН, ученый мирового уровня в области физики заряженных частиц, ускорителей; Георгий Карпеченко, доктор биологических наук, профессор, заложивший теоретические основы селекционной работы и многие другие.

Но первое место среди них, занимает уроженец Севера, выдающийся ученый Николай Павлович Лавёров, чье имя по праву носит архангельский академический центр и которого на Архангельском Севере очень часто именуют вторым Ломоносовым. Их судьбы и стремление жить и творить «к истинной пользе и славе Отечества» действительно очень схожи [1, с. 508]. Академик Н.П. Лавёров, определивший многие направления будущего развития научного знания, также оставил после себя научную школу, учеников и последователей, которые сегодня продолжают ломоносовское дело, следуя завету: «Служить Отечеству спомоществованием в науках...» [1, с. 546].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Список членов Императорской академии наук, 1725–1907 / сост. Б.Л. Модзалевский. СПб.: Тип. Императорской акад.наук, 1908. VIII, 404 с.
2. Проекты переустройства Академии наук // М.В. Ломоносов, ПСС, Издательство Академии наук СССР, 1957. Т. 10
3. Голдин В.И. Богатству Севера наукой прирастать. Научный комплекс Поморского университета и его роль в развитии Европейского Севера: монография. Архангельск: Поморский университет; М.: Изд-во Моск.ун-та, 2007. 536 с.
4. Булатов В.Н. КПСС – организатор освоения Арктики и Северного морского пути (1917–1980). М., Изд-во МГУ, 1989. 156 с.
5. Булатов В.Н. Наука на Архангельском Севере: исторический очерк.– Архангельск: Поморский университет; М.: Изд-во Моск.ун-та, 2007. 280 с.
6. Журавлёв П.С. Наука и приоритеты пространственного развития родины Ломоносова // Михаил Васильевич Ломоносов и российская государственность. Гл. ред, сост. Г.П. Добрунова – Архангельск, 2019. С. 187-194.

**ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА В  
АРКТИКЕ:  
РИСКИ, ПРОБЛЕМЫ,  
БЕЗОПАСНОСТЬ  
ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

---

# ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА ВОДА-ЛЕД-ВОДА ПРИ ПОМОЩИ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В ТОНКИХ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛАСТИНАХ

Анисимкин В.И., Колесов В.В., Кузнецова И.Е.

Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, г. Москва, kuziren@yandex.ru

Фазовый переход вода-лед исследовался во многих работах разными методами [1–6]. При этом применение ультразвука рассматривалось как одно из наиболее привлекательных благодаря высокой чувствительности, низкому энергопотреблению и быстрдействию метода. Так, с помощью акустических волн, распространяющихся в пьезоэлектрических пластинах толщиной  $h$  порядка длины акустической волны  $\lambda$  (рис.1), изучена кинетика замерзания и таяния воды, установлено, что разные моды волн Лэмба обладают разной чувствительностью к одному и тому же фазовому переходу и что они позволяют фиксировать развитие этого перехода в реальном масштабе времени [7].

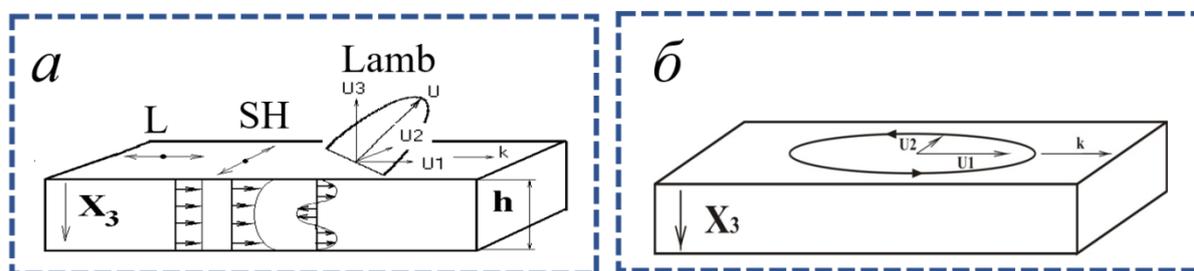


Рис. 1 – Типы акустических волн тонких пьезоэлектрических пластин ( $k$  – направление распространения): а – L – квазипродольный, SH – сдвигово-горизонтальный, Lamb – обобщенно эллиптический, б – эллиптический в плоскости пластины

Цель настоящей работы – исследовать новые аналитические возможности акустических пластинчатых мод применительно к льдообразованию.

## Экспериментальные детали. Полученные результаты.

Экспериментальная методика, использованная в данной работе, была подобная изложенной в [7]. Акустический образец представлял собой типичную акустическую линию задержки (рис. 2), которая состояла из входного и выходного встречно-штыревых преобразователей (ИДТ, ВШП) и пластины  $\text{LiNbO}_3$ , которая благодаря своим пьезоэлектрическим свойствам обеспечивала эффективное возбуждение и прием акустических волн с помощью ВШП. Измерялись вносимые потери  $S_{12}$  акустической линии задержки в 3-х случаях: а) для тестируемой пробы на всей поверхности пластины, включая области над встречно-штыревыми преобразователями (ВШП, ИДТ), б) для пробы между ВШП и в) для пробы над ВШП. В каждом из трех случаев величина  $S_{12}$  измерялась в отсутствии жидкости (черная линия), в присутствии жидкости (красная линия) и при наличии льда (синяя линия). Как видно из рис.2, результаты измерений зависят от расположения тестируемой пробы причем только для пробы между преобразователями характеристика  $S_{12}(f)$  не искажается и ее базовый уровень не изменяется, что и требуется для корректных измерений. Также видно, что изменения вносимых потерь при льдообразовании  $\Delta S_{12} = S_{12}(\text{ICE}) - S_{12}(\text{H}_2\text{O})$  велики и, например, для моды частотой  $f = 38.4$  МГц на рис. 2,б составляют 20 dB (1.9 дБ/мм).

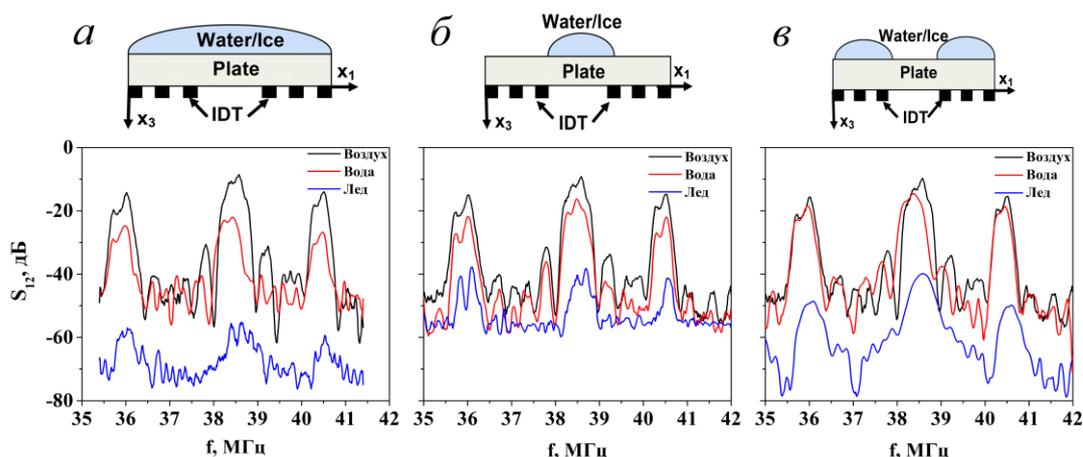


Рис. 2 – Амплитудно-частотные характеристики пластинчатых волн, измеренные без тестируемой пробы и при ее различном расположении: а – проба на всем пути распространения, б – проба между преобразователями, в – проба над преобразователями. Пластина:  $\text{YZ-LiNbO}_3$  толщиной  $h = 500$  мкм. Период ВШП (длина акустической волны)  $\lambda = 300$  мкм. Расстояние между ВШП (протяженность пути) 10.5 мм

Исследования разных сортов жидкостей при их замерзании и плавлении были выполнены с использованием той же пластины и той же акустической моды. Образцы помещались в термокамеру UC-20CE объемом 20 л, температура которой за 22 минуты менялась скачком от  $+20^\circ\text{C}$  до  $-15^\circ\text{C}$  или от  $-15^\circ\text{C}$  до  $+20^\circ\text{C}$ . Агрегатное состояние пробы фиксировалось по величине акустических потерь  $S_{21}$  (рис. 3).

В отсутствие жидкости (Воздух) изменения потерь с температурой были незначительными ( $\Delta S_{12} < 1$  дБ), что позволяло использовать этот параметр для регистрации смены агрегатного состояния вещества. При охлаждении жидкости ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{D}_2\text{O}$  и 10%-х водных растворов  $\text{NaCl}$ ) величина  $S_{21}$  вначале ( $+20^\circ\text{C}$  -  $-5^\circ\text{C}$ ) не менялась (рис.3). При  $-5^\circ\text{C}$  для  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $-8^\circ\text{C}$  для водного раствора  $\text{NaCl}$  и  $-11^\circ\text{C}$  для  $\text{D}_2\text{O}$  она резко увеличивалась. Наконец, при  $-15^\circ\text{C}$  она выходила на максимум, который был разным для разных сортов жидкости:  $\Delta S_{12} = 36, 34$  и  $11$  дБ для  $\text{D}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{NaCl}$ , соответственно. Темп кристаллизации жидких веществ, как видно из рис.3, также различен.

Противоположный процесс скачкообразного нагревания льда от  $-15^\circ\text{C}$  до  $+20^\circ\text{C}$  сопровождался теми же изменениями акустических потерь  $S_{21}$  в обратном порядке, а временные изменения  $S_{12}$  в промежуточной области температур от  $-5^\circ\text{C}$  до  $-15^\circ\text{C}$  и при охлаждении, и при нагревании имели немонотонный характер, что указывало на одновременное существование двух фаз тестируемого вещества – жидкой и твердой.

Описанные свойства акустических волн тонких пьезоэлектрических пластин могут быть применены и для сравнения сортов воды и льда, взятых в разных районах Ледовитого океана с его разных глубин.

Вторая серия экспериментов касалась охлаждения и нагревания тех же веществ при плавном изменении температуры вблизи фазового перехода, когда шаг температурных изменений был снижен до  $1^\circ\text{C}$ , а время ожидания на каждой температуре увеличено до 2 мин. Как и ранее, в эксперименте использовался амплитудно-частотный формат  $S_{12}(f)$  с подстройкой частоты на максимум амплитуды при каждой рабочей температуре. В качестве пластины использовался непьезоэлектрический кремний, покрытый пьезоэлектрической пленкой  $\text{ZnO}$  поскольку кремний, обладая высокой температуропроводностью, обеспечивал быстрое выравнивание температуры  $t$  по всей слоистой структуре, а  $\text{ZnO}$ , имеющий хорошие

пьезоэлектрические свойства, позволял эффективно возбуждать и принимать акустические волны.

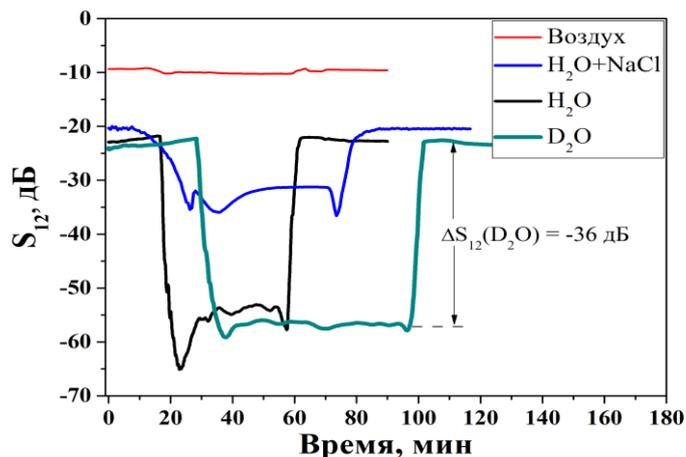


Рис. 3 – Временные изменения акустических потерь  $S_{12}$  в разных жидкостях (600 мг) при скачкообразном охлаждении от  $+20^{\circ}\text{C}$  до  $-15^{\circ}\text{C}$  и скачкообразном нагревании от  $-15^{\circ}\text{C}$  до  $+20^{\circ}\text{C}$  в течение 22 минут

Измерения показали (рис. 4), что а) акустоэлектронный метод фиксирует различие зависимостей  $\Delta S_{12}(t)$  для разных жидкостей вблизи переходов в твердую фазу (лед) и обратно, б) для дистиллированной воды (рис. 4,а) и 10%-ого водного раствора NaCl (рис.4,в) наблюдается температурный гистерезис этих зависимостей при охлаждении и нагревании, в) для тяжелой воды такой гистерезис не зафиксирован (рис.4,б), г) для разных жидкостей прямой и обратный фазовые переходы происходят при разных температурах и сопровождаются разным увеличением акустических потерь  $\Delta S_{12}$  (Табл. 1), д) охлаждение и нагревание фиксированной жидкости сопровождается одинаковыми увеличениями и уменьшениями акустических потерь, соответственно.

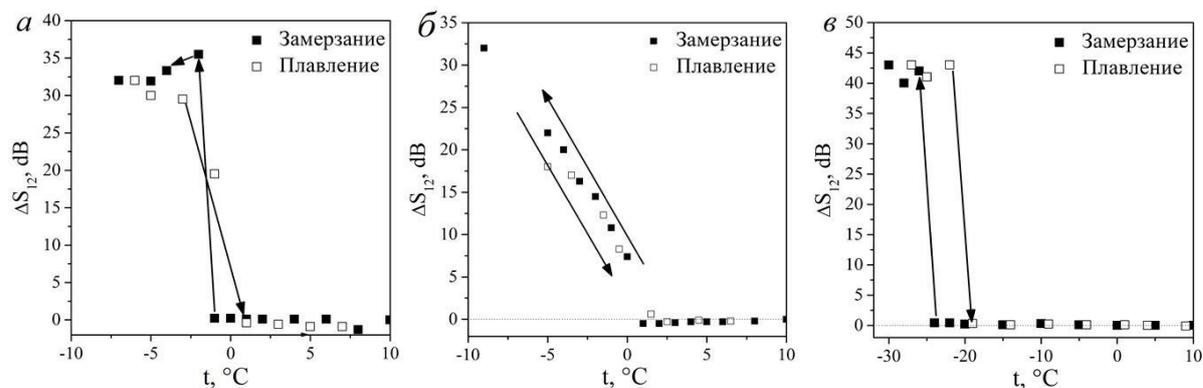


Рис. 4 – Температурные изменения акустического поглощения  $\Delta S_{12}$  в разных жидкостях (600 мг), измеренные вблизи точек замерзания (■) и плавления (□) относительно значений при  $+10^{\circ}\text{C}$ : а –  $\text{H}_2\text{O}$ , б –  $\text{D}_2\text{O}$ , в – 10%-й водный раствор NaCl. ВШП -  $\lambda = 200$  мкм, пленка ZnO -  $h = 2.3$  мкм, пластина Si -  $h = 380$  мкм,  $f = 52$  МГц

Таблица 1 – Характеристики фазовых переходов согласно рис.4.

Жидкость	$\Delta S_{12}$ , дБ	$t(\text{замерзания}), ^{\circ}\text{C}$	$t(\text{плавления}), ^{\circ}\text{C}$
$\text{H}_2\text{O}$	34	-1/-2	-3/+1
$\text{D}_2\text{O}$	32	+1/0	-0.5/+1.5
10%NaCl+ $\text{H}_2\text{O}$	42	-24/-26	-22/-19

Выводы.

Фазовый переход вещества из жидкого агрегатного состояния в твердое может быть зафиксирован по резкому увеличению поглощения акустических волн, распространяющихся в тонких пьезоэлектрических пластинах. Величина увеличения зависит от сорта жидкости.

Гистерезистый характер фазовых переходов и температуры оледенения/плавления могут быть определены по изменениям акустического поглощения при плавном изменении температуры вблизи фазового перехода.

Величины акустического поглощения, темп развития фазового перехода и температуры оледенения/плавления, измеренные по методике данной работы, могут быть применены для сравнения образцов льда и воды, взятых из разных районов Ледовитого океана с его разных глубин.

*Исследования проведены при финансовой поддержке РФФ, проект № 20-19-00708П «Исследование фазовых переходов в жидких средах при помощи акустоэлектронных методов и разработка новых датчиков физических величин на этой основе».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Anderson M. Electro-optic ice detection device. US Patent 6425286. 2002. Jul.30.
2. Kim J.J. Fiber optic ice detector. US Patent 5748091. 1998. May 5.
3. Abaunza J.T. Aircraft icing sensors. US Patent 5772153. 1999. Jun.30.
4. DeAnna R. Ice detection sensor. US Patent 5886256. 1999. Mar.23.
5. Hansman R.J., Kirby M.S. Measurements of ice growing during simulated and natural icing conditions using ultrasonic pulse-echo technique // J.Aircraft. 1986. № 23. P.493–498.
6. Gao H., Rose J.L. Ice detection and classification on an aircraft wings with ultrasonic shear horizontal guided waves // IEEE Transactions, 2009. Vol. UFFC-56. No.2. P.334–344.
7. Anisimkin V., Kolesov V., Kuznetsova A., Shamsutdinova E., Kuznetsova I. An analysis of the water-to-ice phase transition using acoustic plate waves // Sensors, 2021. Vol. 21. P. 919-927.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ РОССИЙСКО-КИТАЙСКИХ ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ВОСТОЧНОАРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ РФ

*Астахов А.С.<sup>1</sup>, Ши Сюефа<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, Россия, astakhov@poi.dvo.ru

<sup>2</sup>Первый институт океанографии МПР Китая, Циндао, КНР

Совместные российско-китайские исследования в арктических морях начались в 2012 г. выполнением гранта РФФИ-ГФЕН 12-05-91167 «Изменения природной среды чукотско-аляскинского сектора Северного Ледовитого океана в прошлом: по седиментологическим данным», соруководители А.С.Астахов (ТОИ ДВО РАН) и Ванг Риджан (Университет Тончжи, Шанхай) [1-3]. В октябре 2012 г. во Владивостоке состоялся Второй Российско-китайский симпозиум по морским наукам, где были согласованы основные мероприятия российско-китайского сотрудничества в изучении Мирового океана на ближайший период, в том числе и арктические исследования. В 2017 г. был организован российско-китайский центр по изучению океана и климата при ТОИ ДВО РАН и ПИО МПР КНР. Первые совместные экспедиционные работы были начаты в 2014 г. участием сотрудника ТОИ ДВО РАН А.А.Босина в Шестой Китайской арктической экспедиции на китайском НИС «Халонг» [4, 5]. В 2016 г. на российском

НИС «Академик М.А.Лаврентьев» состоялась Первая российско-китайская арктическая экспедиция (Arctic Silk Way - 2016), соруководители А.С.Астахов и Сюефа Ши [6-13], в 2018 г состоялась вторая экспедиция Arctic Silk Way – 2018, соруководители А.А.Босин и Лимин Ху [7, 14, 15]. Третья запланированная экспедиция в 2020 г. на НИС «Академик М.А.Лаврентьев» из-за эпидемии КОВИД состоялась без участия китайских ученых, руководителем был Ю.П.Василенко.

Изначально российско-китайские арктические исследования были направлены на изучение современного состояния природной среды и ледовитости восточного наиболее сложного участка Северного морского пути (моря Чукотское, Восточно-Сибирское и Лаптевых), их динамики вследствие происходящих глобальных изменений климата и усиливающейся антропогенной нагрузки. В связи с этим, экспедиционные работы носили комплексный характер: изучение состава и строения осадочного чехла, гидрофизических и гидрохимических характеристик водной толщи, атмосферические исследования. В ходе обработки полученных экспедиционных данных, их осмысливания и представления научному сообществу обозначились несколько основных направлений сотрудничества: палеоклиматология и прогноз изменений ледовитости и климата; геоэкология, геохимия и загрязнение среды ртутью, тяжелыми металлами, черным углеродом; микропалеонтология и экологическая изменчивость бассейнов.

Основным подходом в проведении палеоклиматических исследования было изучение осадочных разрезов голоценовых отложений, реконструкция, с использованием различных известных и вновь разрабатываемых прокси, вариаций климатических параметров и ледовитости, анализ цикличности их изменений и, по возможности, прогноз путем продления и суммирования выявленных трендов и циклов. При этом, исходя из возможности достоверного датирования, рассматривались два временных этапа: до 200-300 лет при датировании по изотопам  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  [4, 10] и до 5-8 тыс. лет при датировании AMS  $^{14}\text{C}$  и OSL (оптически стимулированная люминесценция кварца) [9].

В качестве одного из прокси для реконструкции рассматривались биомаркеры ледовых (sympagic) микроорганизмов (IP<sub>25</sub>, HBI-II) и фитопланктона (брассикастерол, диностерол, HBI-III), а также терригенных стероидов (кампестерол, β-ситостерол) [8, 10]. Установлено, что полуколичественные оценки ледовитости, основанные на биомаркерах, в том числе наиболее распространенных (IP<sub>25</sub>), могут быть проблематичны на приустьевых шельфах с соленостью менее 25 ‰ из-за влияния речного стока на первичную биопродуктивность и ледовитость. В прочих районах, например на станции ARC11-R1 (рис. 1), эти прокси использовались успешно [10].

Оригинальным подходом, использованным в ходе выполнения совместных российско-китайских исследований, было применение метода трансферных функций для реконструкции продолжительности безледного периода (IF) и аномалий среднегодовой температуры воздуха (ΔT) на основе химического состава осадков. Для каждой точки, путем сопоставления временных рядов гидрометеорологических наблюдений с временными геохимическими рядами, разрабатываются трансферные функции (прокси), используемые затем для палеореконовструкций на различных временных интервалах. Необходимая детальность геохимических временных рядов достигалась использованием субмиллиметрового сканирования химического состава осадков на установке рентгенофлюоресцентного анализа на синхротронном излучении (ускоритель ВЭПП-3, ИЯФ СО РАН, Новосибирск) [4, 7, 14]. В качестве исходных данных о продолжительности безледного периода начиная с 1950 г. использовались сведения, полученные из электронного климатического океанографического атласа Северного Ледовитого океана и на сайте [www.natice.noaa.gov/products/miz.html](http://www.natice.noaa.gov/products/miz.html).

Аномалии среднегодовой температуры воздуха ( $\Delta T$ ), отклонение от среднего показателя за период 1986–2005 г.г., взяты из глобальной базы климатических данных открытого доступа KNMI GISTEMP1200 ([https://climexp.knmi.nl/plot\\_atlas\\_form.py](https://climexp.knmi.nl/plot_atlas_form.py)) начиная с 1897 г.

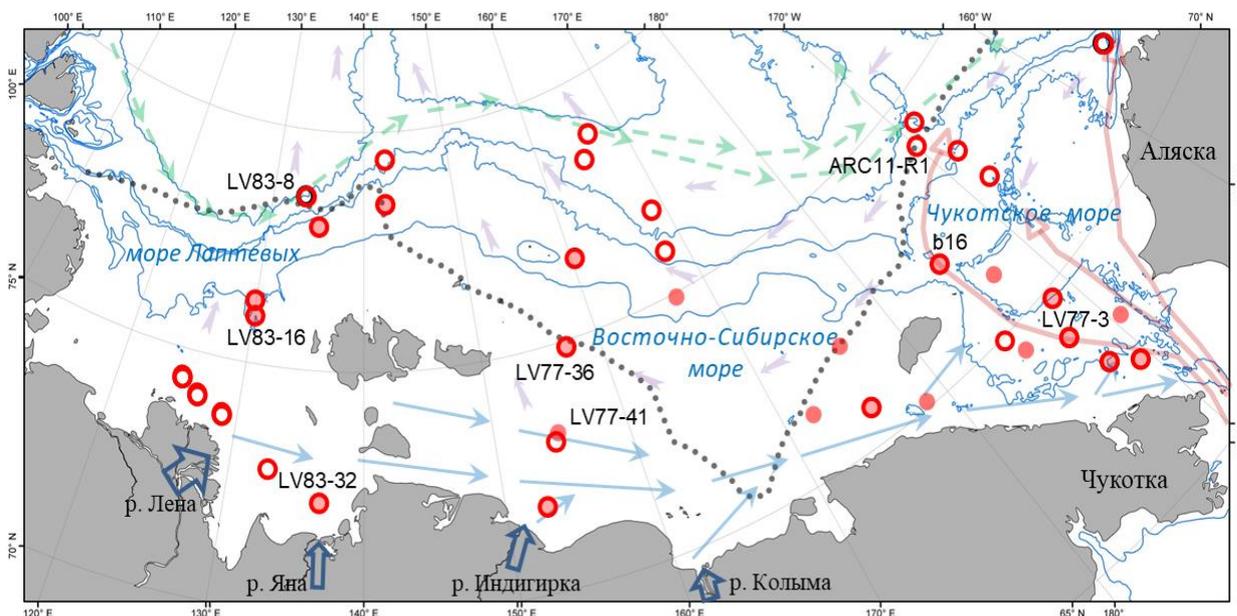


Рис. 1 – Карта местоположения колонок донных осадков, используемых или планируемых для использования в палеоклиматических исследованиях и элементы современных океанологических условий восточноарктических морей.

Красными незалитыми кружками показаны колонки (малтикореры) датированные по  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , залитыми кружками – колонки голоценовых отложений с  $^{14}\text{C}$  датировками раковин моллюсков. Точечной линией показана средняя минимальная граница льдов в сентябре 1981-2010 (NSIDS); розовыми линиями со стрелками – пути распространения тихоокеанских вод в Чукотском море; голубые линии со стрелками – Сибирское прибрежное течение; зелеными штриховыми линиями - распространение промежуточных атлантических вод; фиолетовыми стрелками – направление переноса льдов

Реконструкция аномалий среднегодовой температуры воздуха для последних столетий выявили обычное для северного полушария повышение в 19-20 веках по сравнению с Малым ледниковым периодом (МЛП) и резкое увеличение в последние десятилетия (рис.2). Изменения продолжительности безледного периода не всегда соответствовали вариациям климата. Увеличение его длительности характерно для последних десятилетий с повышенными температурами воздуха, хотя в МЛП на станции b16 (рис.2) и некоторых других станций Чукотского моря [4,6] отмечено уменьшение ледовитости (увеличение значений IF) в Малый ледниковый период. Это объяснено влиянием на ледовитость Чукотского моря теплых тихоокеанских вод, поступающих через Берингов пролив. Интенсивность их потока может увеличиваться синхронно с уменьшением потока атлантических вод с течением Гольфстрим, что происходило и в МЛП. Этим могут быть объяснены некоторые исторические факты- возможность прохода через Восточно-Сибирское и Чукотское моря на деревянных кочах и открытие Берингова пролива Семеном Дежневым в МЛП в сентябре 1648 г.. тогда как пароход «Челюскин» в 20-м веке в сентябре 1934 г. не смог пройти через льды у входа в Берингов пролив [6].

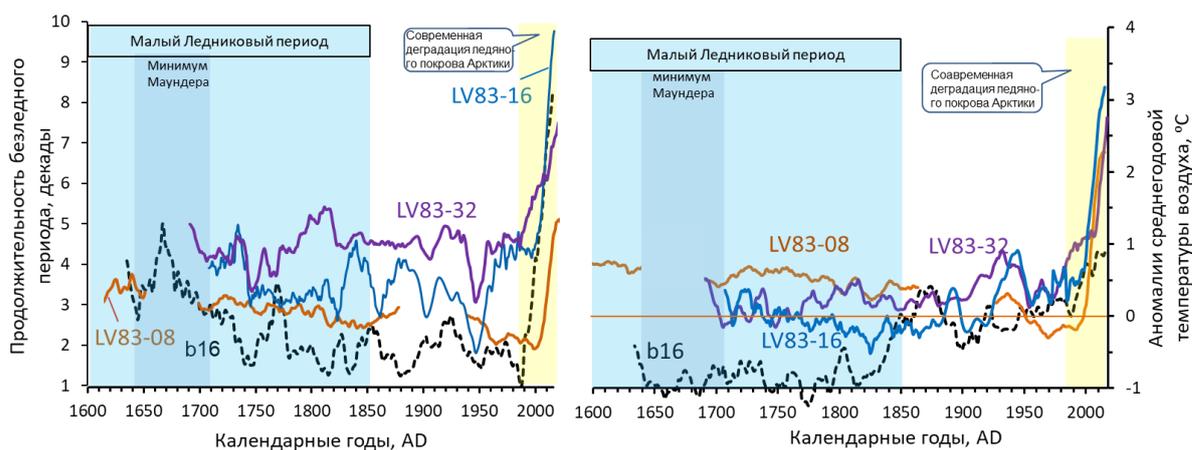


Рис. 2 – Реконструкции аномалий среднегодовой температуры воздуха и продолжительности безледного периода за последние 400 лет по колонке b16 из Чукотского моря и по серии колонок моря Лаптевых (LV83-08, LV83-16, LV83-32) [4, 14]

Специфические условия формирования ледяного покрова южной части Чукотского моря демонстрируются также вариациями за последние тысячелетия (рис. 3). По сравнению с Восточно-Сибирским морем амплитуда их значительно меньше, хотя общий тренд на увеличение ледовитости сохраняется. По данным диатомового анализа локальные максимумы увеличения продолжительности безледного периода связаны либо с общим увеличением потока тихоокеанских вод (3,6-4,8 тыс. лет назад), либо с флюктуациями Аляскинского прибрежного течения [4, 6]. В Восточно-Сибирском море вариации продолжительности безледного периода имеют очень большую амплитуду, вплоть до появления периодов с круглогодичным ледяным покровом (рис. 3). При этом они хорошо синхронизируются с изменениями температуры воздуха (рис. 3).

При изучении скоростей осадконакопления в колонках LV77-36, LV77-41 с использованием радиоуглеродного и OSL методов, реконструкции ледовых условий и вариаций климата, компиляции с опубликованными палеоклиматическими данными и наблюдениями в современное время показано влияние поступления тепла с водным стоком крупнейших рек Сибири в начале лета на деградацию ледяного покрова Арктики в среднем голоцене [9]. В это время солнечная инсоляция особенно в начале лета была выше, чем в конце голоцена, что привело к большему сбросу тепла с водами российских рек и способствовало большему очищению акватории от морского льда. Сокращение площади морских льдов в начале лета понижало региональные альбедо, что приводило к ускоренному таянию морских льдов в течение всего лета. В среднем голоцене, тепловой сток реки Лена увеличивался также и из-за потепления в южной части ее водосборного бассейна, связанным со смещением к северу зоны западного переноса и усиления в северном направлении восточноазиатского летнего муссона [9]. Полученные результаты в контексте современного глобального потепления подчеркивают важное влияние вариаций водного стока рек на динамику ледяного покрова Арктики.

При спектральном разложении временных рядов IF и  $\Delta T$  по колонке LV77-36 (рис. 3), выполненного с использованием метода коррелограммной аддитивной декомпозиции, выявлены низкочастотные субпериодичности, аппроксимируемые периодами 1600 лет для IF и 1730 лет для  $\Delta T$  [11]. По длительности они сопоставимы с циклами Бонда, выявленными по смене Северной Атлантике и на некоторых станциях восточноарктического шельфа по изменениям направления дрейфа льдов. Выявление этих циклов в вариациях температуры воздуха позволяет рассматривать изменчивость

ледовитости восточноарктических морей с позиций глобальных климатических процессов. Продляя на следующие столетия, с последующим сложением, тренды, циклы Бонда и высокочастотные субпериодичности, определяемые изменчивостью общей солнечной иррадиации, выявленные в реконструкциях IF и  $\Delta T$  по колонке LV77-36, был выполнен предварительный прогноз природных вариаций температуры воздуха и ледовитости для этой точки. Из него следует, что в ближайшие столетия продолжительность безледного периода будет увеличиваться до пиковых значений, отмеченный в предшествующие 5 тыс. лет (рис. 3). Температура воздуха после некоторого повышения стабилизируется на среднем для этого периода уровне. При сохранившейся интенсивности антропогенного воздействия на климат, проявленной в последние десятилетия, продолжительность безледного периода и температура воздуха могут возрастать более высокими темпами.

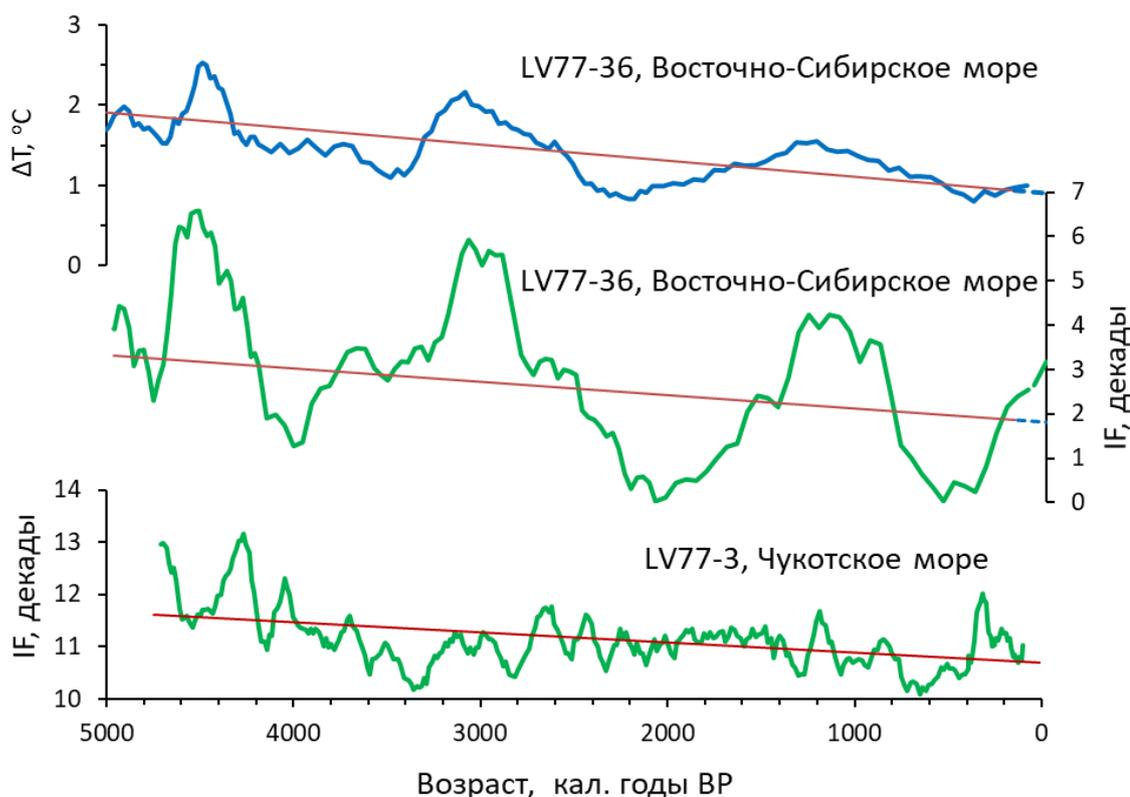


Рис. 3 – Результаты реконструкции продолжительности безледного периода (IF) и аномалий среднегодовой температуры воздуха ( $\Delta T$ ) в Чукотском и Восточно-Сибирском морях для последних пяти тысяч лет, сглаженные методом скользящей средней по 9 точкам [6, 9, 11]. Красными линиями показан линейный тренд – соответствует изменению суммарной солнечной инсоляции для этого периода [9].

*Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект № 21-17-00081 «Изменчивость климата и ледовых условий восточноарктических морей РФ в последние тысячелетия: реконструкции по седиментационным записям, причины, периодичность и региональный прогноз».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астахов А.С., Ван Рудзян, Крэйн К., Иванов М.В., Гао Айгуо Литохимическая типизация обстановок полярного осадконакопления (Чукотское море) методами многокомпонентного статистического анализа // Геохимия. 2013. Т. 51. № 4. С. 303-325.

2. Астахов А.С., Маркевич В.С., Колесник А.Н., Ван Рудзян, Кононов В.В., Обрезкова М.С., Босин А.А. Возможные условия и время формирования покмарков Чукотского плато // *Океанология*. 2014. Т. 54. № 5. С. 665–678.
3. Xiao W., Wang R., Polyak L., Astakhov A., Cheng X. 2014. Stable oxygen and carbon isotopes in planktonic foraminifera *Neogloboquadrina pachyderma* in the Arctic Ocean: An overview of published and new surface-sediment data // *Marine Geology*, 352: 397–408
4. Astakhov A.S., A.A. Bosin, Y.G. Liu, et al. Reconstruction of ice conditions in the northern Chukchi Sea during recent centuries: Geochemical proxy compared with observed data. // *Quaternary International*, 2019. 522:23-37
5. Астахов А.С., Акуличев В.А., Дарьин А.В., Калугин И.А., Лю Янгуанг, и др. Ледовые условия Чукотского моря в последние столетия: реконструкции по седиментационным записям // *ДАН*, 2018, Т. 480, №. 4, с. 485–490
6. Astakhov A.S., Shi Xuefa, Darin A. V., et al. Reconstructing ice conditions in the southern Chukchi Sea during the last millenniums based on chemical composition of sediments and diatom assemblages. // *Marine Geology*, 2020. 427, 106220
7. Астахов А.С., И.А. Калугин, Ши Сюефа, и др. Роль ледяного покрова в формировании химического состава донных осадков восточносибирского шельфа // *Геохимия*. 2021 Т. 66, № 6, 526-540.
8. Su L., Ren J., Bai Y., Jalali B., Li Z., Jin H., Chen J., Sicre M.-A., Astakhov A.S., Shi X. HBIs and sterols in surface sediments across the East Siberian Sea: implications for palaeo sea-ice reconstructions. // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2022. 23(2): e2021GC009940.
9. Dong, J., Shi X., Gong X. Astakhov A.S., et al. Enhanced Arctic sea ice melting controlled by larger heat discharge of mid-Holocene rivers. // *Nature Communication*, 2022, 13, 5368.
10. Su L., Ren J., Sicre M.A., Bai Y., Zhao R., Han X., Li Z., Jin H., Astakhov A. S., Shi X., Chen J. Changing sources and burial of organic carbon in the Chukchi Sea sediments with retreating sea ice over recent centuries. // *Climate of the Past*, 2023, 19: 1305–1320
11. Astakhov A.S., Babich V.V., Shi Xuefa, et al. Climate and ice conditions of East Siberian Sea during Holocene: Reconstructions based on sedimentary geochemical multiproxy. // *The Holocene*. 2023, 33(1): 3-13.
12. Li L., Liu Y., Wang X., Su H., Hu L., Yang G., Li Z., Bosin A., Astakhov A., Chen J., Shi X. Enrichment of trace metals (V, Cu, Co, Ni, and Mo) in Arctic sediments - from Siberian Arctic shelves to the basin // *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2021, 126(4): e2020JC016960.
13. Алаторцев А.В., А.Н. Колесник, С. Ши, Л. Ху, В.Н. Карнаух, А.С. Астахов Литологические и геохимические признаки ледовой экзарации в голоценовых осадках Восточно-Сибирского моря. // *Геология и геофизика*, 2023, DOI: 10.15372/GiG2023103.
14. Astakhov A.S., Aksentov K.I., Babich V.V., Darin A.V., Kalugin I.A., Melgunov M.S., Sattarova V.V., Hu Limin, Shi Xuefa. Ice Coverage of the Laptev Sea and air temperature variation During Recent Centuries: Observed Data and Reconstructions Using a Geochemical Proxy. // *Current Chinese Science*, 2022. 2(3): 198-212
15. Sattarova V.V., Astakhov A.S., Aksentov K.I., Shi Xuefa, Hu Limin, Liu Yanguang, Polyakov D.M., Alatorsev A.V., Kolesnik O.N. Geochemistry of the Laptev and East Siberian seas sediments with emphasis on rare-earth elements: Application for sediment sources and paleoceanography. // *Continental Shelf Research*, 2023, 254, 104907.

## ОРГАНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА КРИОЛИТОЗОНЫ В ЯМАЛО-НЕНЕЦКОМ АВТОНОМНОМ ОКРУГЕ

Башкова А.А., Шейн А.Н., Королева Е.С., Паламарчук В.А.

ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», Салехард, [aabashkova@yanao.ru](mailto:aabashkova@yanao.ru)

Научный центр изучения Арктики базируется в городе Салехард, проводит и курирует научные исследования в Ямало-Ненецком автономном округе (ЯНАО). Одним из основных направлений центра является изучение многолетнемерзлых пород и мониторинг их состояния в связи с современными колебаниями климата и активной деятельностью человека в Арктике.

Для безопасной эксплуатации зданий и сооружений в зоне многолетнемерзлых грунтов в ЯНАО с 2018 г. разрабатывается система автоматизированного геотехнического температурного мониторинга [1, 2], которая включает термометрическое оборудование, портал сбора и визуализации данных и программа для расчёта нестационарных тепловых полей под зданиями со свайными фундаментами. С 2018 г. для отработки и оптимизации методики под объектами капитального строительства в г. Салехард было пробурено более 200 термометрических скважин под 22 объектами капитального строительства. Пробуренные по равномерной сетке скважины оборудованы термокосами (шаг термодатчиков 0.5 м до глубины 5 м, далее 1 м), подключёнными к системам автоматического мониторинга температуры САМ-мерзлота (производство ИП Кураков Сергей Анатольевич, город Томск). Оборудование контролируется удаленно, в том числе настраивается период записи показаний температуры и передачи их на сервер. Период передачи данных на сервер – 12 ч. Погрешность калибровки датчиков измерения температуры:  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ . Разрешающая способность измерения температуры:  $0.07^{\circ}\text{C}$ . Плотная сеть термометрических скважин позволяет получить уникальные данные, которые можно использовать для численного моделирования и прогнозирования температуры грунта во всей области расположения свайного фундамента.

Рассмотрим результаты мониторинга температуры грунтов под зданием I в г. Салехард, который оснащен термометрическим оборудованием в 2020 г. Под зданием I пробурено 16 скважин и установлено 4 станции САМ-мерзлота. Схема расположения термометрического оборудования представлена на Рисунке 1.

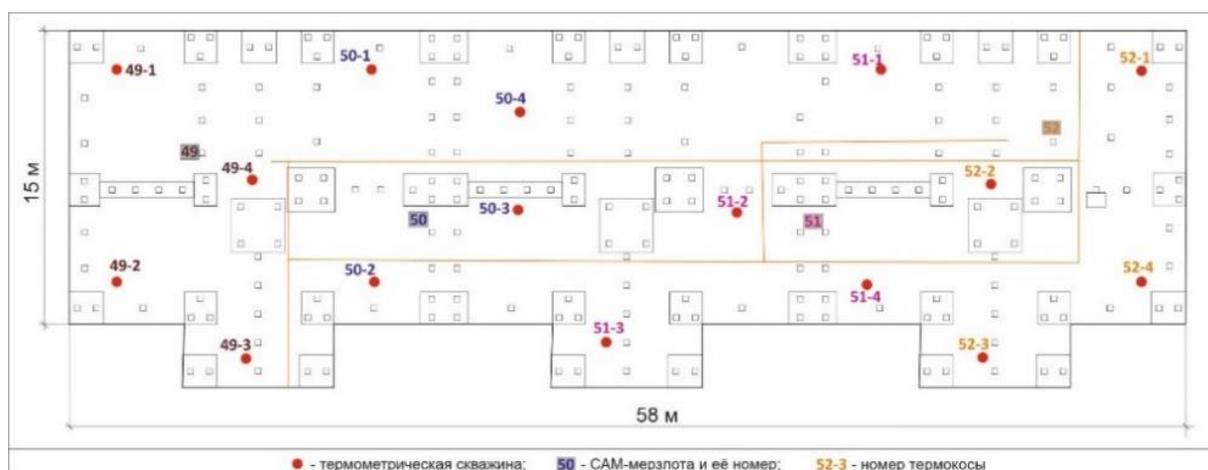


Рис. 1 - Схема расположение термометрического оборудования в скважинах под зданием I

На рисунке 2 представлены средненедельные температуры грунтов, полученные в основании фундамента здания I в мае и ноябре 2022 г. (рисунок 2, сплошные и

пунктирные линии соответственно). Май соответствует началу прогревания грунтов основания, ноябрь – охлаждения. За зимний период температура мерзлоты понизилась во всех скважинах на всех глубинах, но значительное промерзание произошло до 6 м: минус 6-8 °С (рисунок 2, сплошные линии). Летняя тепловая волна прогрела грунты в основании здания I до минус 1-2 °С. В основании фундамента здания I проблемных/тёплых зон не выявлено. Исходя из полученных температурных данных, можно сделать вывод, что, грунты находятся в мерзлом стабильном состоянии.

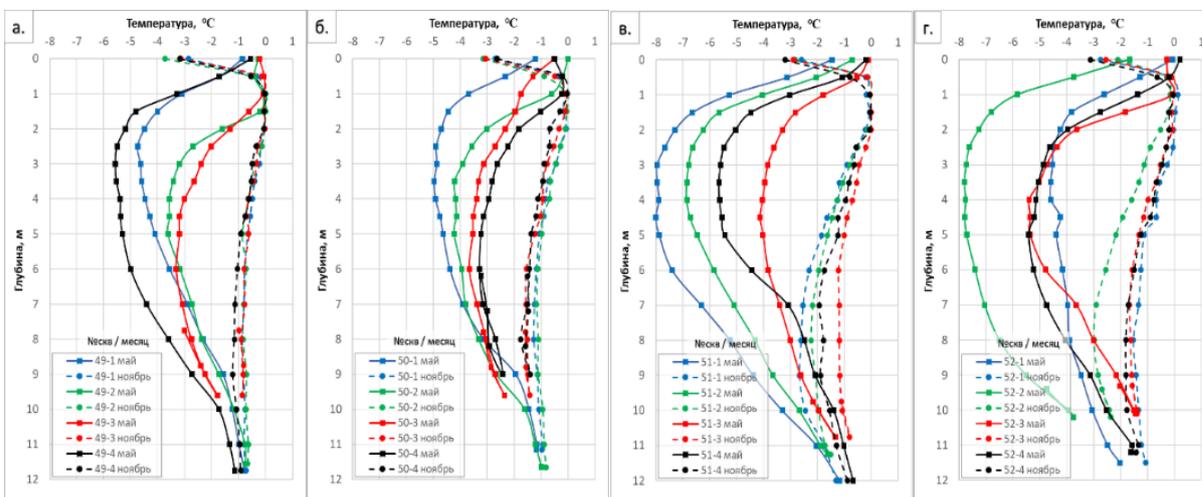


Рис. 2 - Средненедельные температуры грунтов, полученные в основании фундамента здания I в мае и ноябре 2022 г

Отметим, что на данном объекте за наблюдаемый период произошло несколько коммунальных аварий (прорывы канализации и труб водоснабжения), которые хорошо идентифицируются на температурных данных (рис. 3, эллипсы). При этом происходит резкий скачок температуры на датчиках, установленных на уровне земли (поверхности подполья). Таким образом, сеть мониторинга позволяет фиксировать подобные температурные скачки, а совершенствование программного обеспечения позволит настроить автоматическое оповещение заинтересованных сторон о таких авариях. Устойчивые значения на протяжении длительного периода времени позволяют судить об эффективности работы систем охлаждающих устройств СОУ.

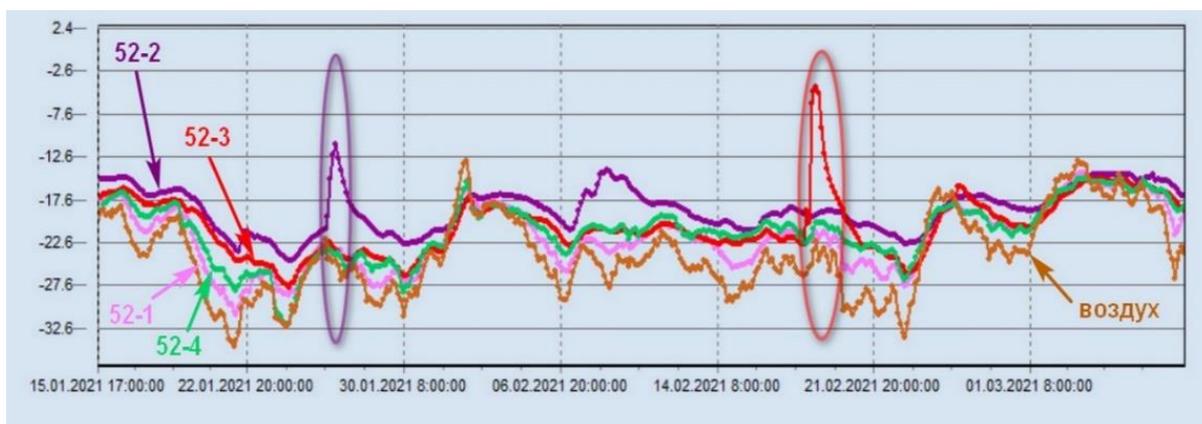


Рис. 3 - Пример выявления коммунальных аварий по нулевым датчикам термокос, установленных в основании фундамента здания I. Места аварий обозначены эллипсами

Для расчёта температурных полей разработано программное обеспечение по расчетам несущей способности грунтов и анализа получаемой информации: программа «FrostPileFoundations-3D» («FPF-3D»). В результате численных экспериментов

установлено, что при проведении расчетов температурных полей необходимо использовать среднесуточную температуру воздуха на основании данных температурного мониторинга и учитывать всю историю эксплуатации свайного фундамента, в первую очередь работу система охлаждающих устройств (СОУ). При перечисленных условиях результаты численных расчетов с хорошей точностью совпадают с экспериментальными данными.

Зная тепловое поле во всей области свайного фундамента, можно определить температуру на поверхности свай и используя действующий свод строительных правил [3], можно получить в некотором приближении несущую способность элементов фундамента. Кроме того, разработанное программное обеспечение позволяет оценить изменения температуры грунтов при различных сценариях изменения климата, что позволит предупредить возможные аварийные ситуации.

Проведенный анализ данных температурного мониторинга и расчеты несущих способностей свай для исследуемых зданий за 2020-23 гг. показали, что их основания фундаментов находятся в стабильном состоянии, и деструктивных зон не выявлено.

Дальнейший температурный мониторинг под объектами г. Салехард позволит получить данные, которые также будут использоваться для расчёта нестационарного температурного поля и несущей способности фундаментов контролируемых сооружений на несколько лет вперед [5].

В ЯНАО повсеместно распространены многолетнемерзлые породы. Причём южная граница распространения ММП стремительно движется на север, тем самым подвергая всё больше социальных и промышленных объектов риску разрушения. В связи с этим Научным центром изучения Арктики при поддержке правительства ЯНАО, совместно с ИКЗ СО РАН и другими дружественными организациями формируется региональная сеть наблюдения за мерзлотой. Региональная сеть формируется исходя из уже существующего мирового опыта.

Мониторинг многолетнемерзлых пород в естественных условиях в различных типах местности в окрестностях населенных пунктов ЯНАО необходим для получения точной информации о тенденциях изменения мерзлотных условий в ландшафтных и грунтовых условиях идентичных городским, но лишенных техногенного влияния на поверхность и грунты. В 2023 г. продолжается развитие сети регионального мониторинга за мерзлотой: оборудуются новые термометрические скважины близ городов Новый Уренгой, Муравленко, Тарко-Сале, Надым, Губкинский и целого ряда населённых пунктов. Сеть уже насчитывает более 50 скважин. Полученные данные позволят актуализировать региональные карты геокриологических условий, объектов инфраструктуры и их социально-экономических характеристик.

С 2023 года НЦИА работает в тесном взаимодействии с ААНИИ и интегрирует региональную сеть наблюдения за мерзлотой в государственную программу. В связи с чем глубина бурения термометрических скважин увеличена до 25 м. По новым стандартам уже пробурено 9 термометрических скважин, в дополнение к планам ААНИИ.

Для сбора и визуализации данных по мониторингу мерзлых пород был создан портал ГИС Ямал-Арктика, который наполняется архивной информацией, новыми данными о состоянии мерзлых пород в естественных и антропогенных условиях. В том числе, на портал поступают данные разрабатываемой системы геотехнической безопасности в регионе и сети регионального мониторинга мерзлоты. Портал <https://monitoring.arctic.yanao.ru> для сбора и визуализации данных функционирует в тестовом режиме (рис. 4) и постоянно дорабатывается. Для специалистов и всех заинтересованных лиц предусмотрен полный доступ к ресурсу, где отображаются объекты мониторинга с информацией по расположению скважин, возможностью отображения в виде графиков и экспорта полученных данных. В настоящий момент в базу уже внесено больше 500 точек сбора температурных данных по всему региону.

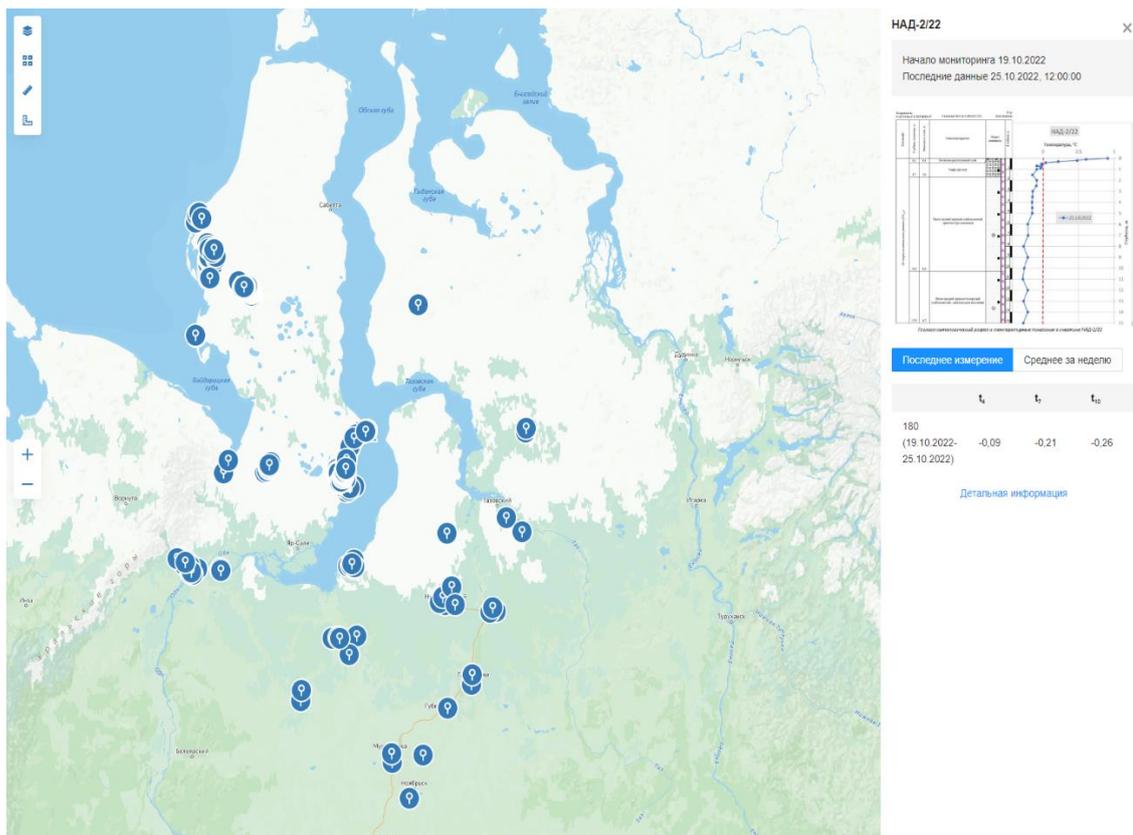


Рис. 4 - Региональная сеть наблюдения за мерзлотой в ЯНАО. Портал сбора и визуализации геокриологической информации

Научный центр изучения Арктики готов к всевозможной интеграции по представленным выше проектам, является открытой площадкой для новых научных проектов на территории ЯНАО и готов к сотрудничеству для их реализации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Громадский А.Н. Дистанционный контроль за температурным режимом вечномёрзлых грунтов под зданиями г. Салехард / А.Н. Громадский, С.В. Арефьев, Н.Г. Волков, Я.К. Камнев, А.И. Синицкий // Научный вестник ЯНАО. – 2019. – №3. – С. 17–21. DOI: 10.26110/ARCTIC.2019.104.3.003
2. Kamnev Y.K., Filimonov M.Y., Shein A.N., Vaganova N.A. Automated Monitoring The Temperature Under Buildings With Pile Foundations In Salekhard (Preliminary Results). GEOGRAPHY, ENVIRONMENT, SUSTAINABILITY. 0; <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2021-021>
3. СП 25.13330.2020 Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах. [Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/573659326> (дата обращения 15.03.2022 г.)
4. Электронный ресурс: Climate Change 2021: The Physical Science Basis
5. Ваганова Н.А., Филимонов М.Ю., Камнев Я.К., Шеин А.Н. Расчет нестационарных температурных полей в зоне свайного фундамента зданий с учетом температурного мониторинга // Современные исследования трансформации криосферы и вопросы геотехнической безопасности сооружений в Арктике, Салехард, 03–12 ноября 2021 года. Салехард. 2021. С. 75-77

## О НЕОБХОДИМОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ АРКТИКИ

*Брушков А.В., Романовская М.А.*

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва,  
brouchkov@geol.msu.ru

Особенностью негативных последствий современных климатических изменений в Арктике, в отличие от более южных регионов, является глубокое и сложное преобразование составляющих природной среды, состояния геотехнических систем и условий проживания населения. Это определяет необходимость комплексного подхода к мониторингу параметров природной среды и разработке мероприятий по адаптации жизнедеятельности к этим изменениям. Особую актуальность этой проблеме придает возрастание интереса России к арктической зоне, обусловленного наличием здесь богатых природных ресурсов, Северного морского пути и перспективами экономического развития.

Научные основы комплексного мониторинга разрабатывались в последние десятилетия. В частности, еще в 1972 г. на первой конференции по окружающей среде (г. Стокгольм) рассматривалась идея создания Глобальной системы мониторинга окружающей среды (Global Environment Monitoring Systems–GEMS). Мониторинг предлагалось реализовать на импактном (сильные воздействия в локальном масштабе), региональном и фоновом (на природных полигонах, не затронутых хозяйственной деятельностью) уровнях. При этом в России предлагалось создать Единую государственную систему экологического мониторинга (ЕГСЭМ), первые шаги по формированию которой были сделаны в начале 90-х годов. В основе системы должно было быть объединение усилий различных государственных служб для комплексного мониторинга природной среды, включающего прогноз ее состояния. Однако в настоящее время создание ЕГСЭМ находится в начальной стадии, преимущественно в виде пилотных проектов.

ЕГСЭМ должна быть центром единой научно-технической политики, координировать и выполнять различные наблюдения за состоянием окружающей среды в рамках единого комплекса, проводить оценку и составлять прогноз состояния природной среды, естественных ресурсов и природно-технических объектов (включая здания, инженерно-технические коммуникации и сооружения). Очевидно, что в ЕГСЭМ должны выделяться различные специализированные подсистемы мониторинга.

Такой комплексный мониторинг должен включать оценку состояния атмосферы, водных объектов, литосферы (геологической среды), динамику и направленность опасных экзогенных и эндогенных геологических процессов, в том числе оценку состояния криолитозоны, почв, флоры и фауны (в том числе лесов, а также микробиоты), источников антропогенного воздействия.

ЕГСЭМ должна включать информационную систему комплексного мониторинга, решающую задачи сбора, хранения, обработки и анализа данных дистанционных и контактных наблюдений; предоставление специалистам, предприятиям и организациям доступа к получаемым данным и средствам их анализа.

Проблема заключается в том, что различные системы действуют самостоятельно, наблюдения за параметрами природной среды осуществляется на различных площадках, с разными техническими возможностями и параметрами, в разные временные интервалы, что не позволяет проводить полноценный анализ динамики и взаимодействия различных составляющих природной среды. Создание таких комплексных площадок наблюдений предлагается уже давно. Так, в 2012 г. акад. Н.Л. Добрецов в докладе СО РАН обосновал схему оптимального расположения 10 обсерваторий экологической безопасности в российской Арктике, из которых базовыми

могут служить четыре: на Шпицбергене, острове Белый в Карском море, на острове Самойловский и в чукотском Певеке. Реализация этой перспективной схемы была бы существенным шагом в обеспечении комплексного мониторинга природной среды Российской Арктики.

В 1975 г. было предложено организовать Глобальную систему мониторинга окружающей среды (ГСМОС) под эгидой ООН, но фактически она только начинает действовать. Эта система состоит из 5 взаимосвязанных подсистем изучающих: климатические изменения, дальний перенос загрязняющих среду веществ, гигиенические аспекты среды, исследования Мирового океана и ресурсы суши. В настоящее время существуют 22 сети действующих станций системы глобального мониторинга, а также международные и национальные системы мониторинга. В РФ таких станций 5 - в Приокско-Террасном биосферном заповеднике (БЗ); Воронежском БЗ; Астраханском БЗ; Кавказском БЗ; Алтайском БЗ. Крайний Север сегодня находится вне этой сети. Пока нет станций такого типа и на Дальнем Востоке. На территории Республики Беларусь действует станция фонового мониторинга в Березинском биосферном заповеднике.

Однако существующие станции, в том числе и за рубежом, к сожалению, не ведут исчерпывающего комплекса наблюдений, информация о результатах их исследований труднодоступна широкому кругу землепользователей. При ограниченных количествах наблюдений, которые проводятся в разное время и на различных площадках невозможно воссоздать биогеохимические циклы, трансформации неорганического вещества, прогнозировать природные процессы. Требуется применение новых подходов, позволяющих создать научно-исследовательские участки (площадки) нового типа (так называемые суперсайты) в экосистемах [1], где все экосистемные потоки охвачены, включая энергию, воду, углерод, азот, озон, органические соединения, частицы, биоразнообразие и др. Некоторые положения концепции суперсайтов содержатся в программе COST (2010) для создания комплексной системы мониторинга и исследования. Считается, что действует Австралийская сеть суперсайтов, Национальная сеть экологических обсерваторий США; Китайская сеть экосистемных исследований; Международная сеть долгосрочных экологических исследований и Сеть долгосрочных экологических исследований США. Австралийская сеть суперсайтов в настоящее время включает 10 суперсайтов по разнообразному спектру биомов. Для РФ сегодня не разработаны в должной мере ни научная концепция суперсайтов, ни рекомендации по их организации.

Динамика ландшафтов и растительного покрова под влиянием изменения климата и антропогенных факторов, экзогенные геологические процессы, деградация вечной мерзлоты, вызывающее эмиссию углерода, определяют необходимость проведения дистанционного и контактного мониторинга состояния земного покрова в Арктике. В силу труднодоступности территории целесообразна организация наблюдений в опорной сети полигонов мониторинга наземных экосистем. При этом наблюдения должны охватывать все типичные природные комплексы (ландшафты) на земной поверхности, включая растительный покров и почвы в различных географических и геологических условиях.

Руководство ЕГСЭМ должно осуществляться федеральными органами исполнительной власти в соответствии с распределением функций, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.11.93. N 1229 "О создании единой государственной системы экологического мониторинга". Территориальные системы мониторинга должны создаваться в субъектах Российской Федерации как государственными институтами и службами, так и предприятиями и организациями, осуществляющими хозяйственную деятельность на территории субъектов Российской Федерации.

К сожалению, последние десятилетия действующие системы и службы мониторинга природной среды, которые должны были бы быть частями ЕГСЭМ, не удовлетворяют современным требованиям информационного и технического обеспечения управления природными ресурсами и устойчивого развития Арктики. Наблюдательные сети (пример – метеорологические и гидрологические наблюдения), фактически сокращаются, а не расширяются, снижается уровень интеграции измерительных систем и достоверность данных мониторинга, крайне слабым является анализ данных, составление комплексных прогнозов вызывает большие трудности. Многие поставленные десятилетия назад задачи в значительной степени остаются нерешенными.

В условиях сокращения общего числа постов наблюдений очевидно, что в настоящее время отсутствуют необходимые ресурсы для организации эффективной системы комплексного мониторинга природной среды. В таком, и даже худшем состоянии, находится мониторинг состояния вечной мерзлоты. Его проводят только крупные предприятия (Надымгазпром, Транснефть и др.), однако отслеживается небольшое число параметров (температура, деформации), что не позволяет выявить причины и тенденции изменений. Научный анализ данных, как правило, не проводится.

Важно учитывать, что развитие моделей биогеохимических, геологических, климатических и других процессов в окружающей среде требует систем автоматической обработки данных мониторинга, в том числе с привлечением искусственного интеллекта, и создания соответствующих баз данных [2, 3]. Необходим перечень ключевых параметров мониторинга, которые позволят создавать обоснованные модели природных процессов, согласование пространственной и временной дискретизации при описании атмосферы, гидросферы и литосферы, наземных экосистем. Математическое моделирование должно быть основным инструментом составления прогнозов. Система мониторинга требует создания такой ее структуры, которая бы объединяла знания различных наук и создавала возможность гибкого управления.

В связи с активным развитием ГИС-технологий и дистанционных методов мониторинга природной среды появляется надежда на прогресс в деле создания ЕГСЭМ. Соединение алгоритмов моделирования с контактными и дистанционными наблюдениями представляется многообещающим путем, который, вероятно, позволит решить проблемы комплексного мониторинга. По нашему мнению, учитывая размер освоенных территорий и планы развития Арктики, необходимо в ближайшее время создание межведомственного института, способного комплексно решить задачу организации мониторинга природной среды Арктики. Учитывая неотложную проблему деградации вечной мерзлоты, важно в ближайшее время создать федеральный центр мониторинга криолитозоны, и тем самым обеспечить сбор, обработку и анализ данных существующих точек наблюдений, проводящихся научными организациями, Росгидрометом и производственными предприятиями.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Karan M., Liddell M., Prober S.M., Arndt S., Beringer J., Boer M., Cleverly J., Eamus D., Grace P., Van Gorsel E., Hero J.M., Hutley L., Macfarlane C., Metcalfe D., Meyer W., Pendall E., Sebastian A., Wardlaw T. The Australian SuperSite Network: A continental, long-term terrestrial ecosystem observatory. *Sci Total Environ.* 2016 Oct 15; 568:1263-1274.
2. Арский Ю.М., Крапивин В.Ф., Потапов И.И. Методы экоинформатики. М.: ВИНТИ РАН, 2002. 495 с.
3. Буйволов Ю.А., Боголюбов А.С. Программа комплексного исследования загрязнения наземных экосистем. Введение в проблему мониторинга природной среды. Экосистема. М. 1997.

## МОНИТОРИНГ ИЗМЕНЕНИЙ В КРИОЛИТОСФЕРЕ АРКТИКИ ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

*Виноградов Ю.А., Милехина А.М.*

Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба РАН»,  
г. Обнинск, uavin@mail.ru

На сегодняшний день Федеральный исследовательский центр «Единая Геофизическая Служба Российской Академии Наук» (ФИЦ ЕГС РАН) представляет собой одну из крупнейших научных организаций в системе Минобрнауки – РАН и фактически является Национальным сейсмологическим центром [1]. Работа ФИЦ ЕГС РАН направлена на обеспечение национальной безопасности страны, как в части своевременного оповещения о катастрофических явлениях природного и техногенного характера и их вероятных последствиях, так и в части контроля за проведением ядерных испытаний на территории земного шара. В составе ФИЦ ЕГС РАН круглосуточно действует Служба срочных донесений о произошедших землетрясениях и цунами.

На сегодняшний день Центр обслуживает и обеспечивает работоспособность федеральной системы сейсмологических наблюдений. Сеть включает 336 сейсмостанций, 56 – станций глобальной геодезической сети, 3 инфразвуковые группы. В состав Единой Геофизической службы входят 11 филиалов, расположенные во всех сейсмоопасных регионах, 8 служб срочных донесений о землетрясениях, работающих в непрерывном режиме. Сейсмические станции размещены в основных сейсмогенных регионах России – Камчатка, Сахалин, Байкал и Забайкалье, Якутия, Магаданская область, Алтай, Саяны, Кавказ [2].

Так как Арктика долгое время считалась асейсмичным регионом, в связи с этим число сейсмических станций в российском секторе Арктики крайне ограничено - всего 17. До 2003 года считалось, что все сейсмические события в Арктике происходят в зоне спрединга, маркируемой хребтами Мона, Книповича, Гаккеля и Шпицбергенской зоной разломов. Сейсмических событий на шельфе не регистрировалось. Связано это было с низкой чувствительностью сети наблюдения и несовершенством механизмов обработки данных [3].

Новые методы обработки и вновь открывшиеся станции на территории Скандинавии позволили выделять большое количество слабых сейсмических событий в Западной Арктике, частотно-амплитудные характеристики которых не позволяют отнести их к тектоническим. По результатам обработки данных за 2009-2020 годы было выделено всего 490 чисто тектонических событий и более 8.000 не тектонических. Большинство из них, связано с недородобывающей промышленностью (это взрывы и горнотектонические удары на месторождениях Кольского полуострова, техногенная сейсмичность в Северном море). Но часть из них, особенно в шельфовой зоне Баренцева моря и на архипелагах Шпицберген и Новая Земля связана с изменениями в криолитосфере [4,5].

Потепление климата на планете привело к развитию новых, малоизученных видов опасности в Арктике, связанных прежде всего с активным айсбергообразованием, деструкцией криолитосферы, внезапным выбросам газогидратов [6,7]. Задача мониторинга этих опасных процессов становится все более актуальной в связи с планируемым активным освоением арктических месторождений углеводородов и развитием навигации по Северному морскому пути.

В докладе показаны возможности ФИЦ ЕГС РАН по регистрации процессов образования айсбергов и воронок газового выброса. В последние годы в сейсмологии стали выделять особый тип сейсмических событий -«льдотрясения». Из всех типов льдотрясений наибольший, прежде всего практический интерес, вызывают обрушения

края выводного ледника (калвинг), приводящий к образованию айсберга. Обрушению, зачастую предшествует или сопутствует растрескивание тела ледника (crevassing). Образование больших трещин в ледниковых покровах так же регистрируется сейсмометрами как импульсные сейсмические события [8]. Обрушения или крупные отколы ледника с падением ледяных блоков в воду приводят к образованию айсбергов, представляющих реальную угрозу судоходству и шельфовой инфраструктуре арктических морей. Геофизические методы удаленного мониторинга с применением сейсмических и инфразвуковых станций представляют собой относительно мало затратный, круглогодичный и всепогодный инструмент для решения задачи мониторинга айсбергообразования. Применение геофизических методов мониторинга ледниковых покровов Арктики позволяет собирать непрерывные данные и производить статистический анализ интенсивности обрушений ледников, тем самым получая новые сведения о реакции ледников на современные изменения климатических условий.

Проведенная в последние годы детальная радарная съемка северной части Баренцева моря, выявила огромное количество донных воронок, так называемых «покмарков», вызванных взрывным выбросом газа. Контуры воронок свидетельствует об их различном возрасте, а диаметр (у некоторых он достигает 1,5 км) - о значительных объемах выброшенного газа. Детальное радарное зондирование в южной части моря Лаптевых, также показало наличие аналогичных «свежих» покмарков. На суше такие выбросы газа приводят к образованию воронок, привлекающих много внимания как в научной, так и журналистской среде. Начиная с 2013 г., в Ямало-Ненецком автономном округе (ЯНАО) начали обнаруживать воронки газового выброса довольно внушительного размера. На сегодняшний день на полуостровах Ямал и Таймыр выявлено более 30 таких объектов, часть из которых образовалась вблизи действующих нефтегазопромыслов [6,7]. Очевидно, что появление таких воронок в Арктике носит систематический характер и представляет несомненную угрозу жизнедеятельности человека, поэтому возможность быстрого выявления образования новых воронок крайне важна.

Как оказывается, момент образования таких воронок может быть зарегистрирован сетью сейсмических станций, при достаточной плотности такой сети. В докладе приводятся примеры сейсмических записей, зарегистрировавших образования взрывных воронок на Ямале и точной локации мест их образования, определенных с помощью локальной сети из 3 сейсмических станций, расположенных на расстоянии 150-200 км от места события. Фактом подтверждения правильности локация мест образования воронок являются космические снимки [9].

В принципе в любом месте, где проводились исследования более плотной сетью станций (Шпицберген, Ямал, Восточная Арктика), обнаруживалось большое количество слабых сейсмических сигналов, не тектонического происхождения как природного, так и техногенного характера на расстояниях 150-200 км. На сегодняшний день, базы знаний и данных по многим по деструкции криолитосферы остаются все еще неадекватными масштабу и сложности намечаемых программ развития АЗРФ, а существующая федеральная система сейсмологических наблюдений не позволяет надежно фиксировать такие события в Арктике в связи с ограниченным числом сейсмических станций.

Снежные лавины, еще одно опасное природное явление происходящее в криолитосфере, которое оказывает существенное негативное воздействие на объекты инфраструктуры, расположенные вблизи гор. Лавины наносят ущерб населённым пунктам и объектам туристской инфраструктуры, путям сообщения, линиям электропередачи, лесным угодьям. Чаше других от схода лавин страдают автомобильные дороги, завалы на которых приводят к длительным перерывам в движении [10]. Необходимость создания систем мониторинга для оценки и оперативного прогнозирования последствий возможных чрезвычайных ситуаций,

вызванных сходом снежных лавин, сопряжение таких систем с локальными системами оповещения федеральных органов исполнительной власти неоднократно обсуждалась на различных уровнях государственной власти, однако до сих пор действующих систем мониторинга лавинной опасности в РФ не создано.

Единая геофизическая служба РАН в течении нескольких лет проводит эксперименты по регистрации сходов снежных лавин с помощью инфразвуковых датчиков [11,12]. Для регистрации сигналов применялись различные конфигурации инфразвуковых групп, состоящих из трех разнесенных в пространстве датчиков. В результате экспериментов были получены записи инфразвуковых сигналов на различных удалениях от лавинного очага. Показана возможность надежного выделения и идентификации инфразвуковых сигналов, вызванных сходом лавин на расстоянии до 10 км. Сделаны выводы о высокой эффективности инфразвукового метода для регистрации фактов схода лавин. Полученные результаты позволили разработать методику автоматического детектирования сигналов, генерируемых лавинами, разработать оптимальную конфигурацию для построения системы непрерывного мониторинга лавинной активности [12].

Занимая 40% территории Арктики Российская Федерация имеет здесь менее 4% сейсмических станций, значительно уступая другим странам Арктического бассейна, как в уровне мониторинга, так и в детальности и точности выявления различных опасных явлений. Налицо встает необходимость создания и развития Федеральной системы геофизического мониторинга в Арктике. Система позволит существенно повысить уровень обеспечения безопасности населения РФ в части своевременного оповещения о чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера и их последствиях, а также разработать новые механизмы их прогнозирования [12]. В свете активного освоения Арктики и развития Северного морского пути в ближайшие годы и появления новых видов угроз, связанных прежде всего с разрушением криолитозоны, эта задача приобретает высокий приоритет.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00576-21) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Старовойт О.Е. Сейсмологический центр в Обнинске в 1963–2003 гг. / Отв. ред. А.Я. Сидорин. М.: ИФЗ РАН, 2017. 100 с.
2. Маловичко А.А. Система сейсмологического мониторинга в России: состояние, развитие и новые возможности // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений: Материалы конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Александра Кирилловича Маловичко. Пермь, 2012. С. 36-53
3. Калинин В.Т., Виноградов А.Н. Актуальные задачи научного обеспечения освоения и развития Арктической зоны России // Российский Север: модернизация и развитие. Вып. 1. – М.: Центр стратегического партнерства, 2012. С. 296-301.
4. Маловичко А.А., А. Н. Виноградов, Ю.А. Виноградов. Развитие систем геофизического мониторинга в Арктике // Арктика: экология и экономика. 2014. №2(14). С. 16 -23.
5. Виноградов Ю.А., Федоров А.В., Баранов С.В., Асминг В.Э., Федоров И.С. О выделении айсбергообразующих льдотрясений по сейсмоинфразвуковым данным // Лёд и Снег. 2021. Т. 61, № 2. С. 262-270. DOI: 10.31857/S2076673421020087
6. Богдавленский В.И. и др. Дегазация земли в Арктике: дистанционные и экспедиционные исследования катастрофического сеяхинского выброса газа на полуострове Ямал // Арктика: экология и экономика. 2019. № 1 (33). С. 88-105

7. Богоявленский В.И. Угроза катастрофических выбросов газа из криолитозоны Арктики. Воронки Ямала и Таймыра // Бурение и нефть. 2014. №9. С.13—18.
8. Асминг В.Э., Баранов С.В., Виноградов А.Н., Виноградов Ю.А., Федоров А.В. Использование инфразвукового метода для мониторинга деструкции ледников в арктических условиях // Акустический журнал. – 2016. – Т. 62, № 5. – С. 582-591
9. Милехина А.М. Оценка возможности регистрации образования воронок газового выброса сейсмологическим методом // Двадцать четвертая уральская молодежная научная школа по геофизике: Сборник науч. Материалов. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2023. – С. 134-138.
10. Викулина М. А. Оценка лавинного риска в Хибинах // Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий : материалы Междунар. конф. Мурманск (Россия), 30 января – 02 февраля, Токио (Япония), 19 июля 2019 г. : [конференция ИнтерКарто/ИнтерГИС]. М. : Изд-во Московского университета, 2019. Т. 25, Ч. 2. С. 66–67. DOI: <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2019-2-25-66-76>.
11. Фирстов П. П., Суханов А. А., Пергамент В. Х., Радионовский М. В. Акустические и сейсмические сигналы от снежных лавин // Доклады Академии наук СССР. 1990. Т. 312, № 1. С. 67–71.
12. Федоров И. С., Федоров А. В., Асминг В.Э. О регистрации схода снежных лавин геофизическими методами в Хибинском массиве. Вестник МГТУ. 2021. Т. 24, № 1. С. 69–79. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2021-24-1-69-79>
13. Иванов Г.В. Деятельность Экспертного совета по Арктике и Антарктике при председателе Совета Федерации в 2012 г. // Арктика: экология и экономика, №1 (9), 2013, с. 100-106

## **ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЕКТОРА АРКТИКИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА**

*Вовкодав К.В., Каджаева Е.Т.*

РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, г. Москва, [vovkodavkira@gmail.com](mailto:vovkodavkira@gmail.com)

В настоящее время в мире происходит четвертый энергетический переход, в основу которого ложится декарбонизация мировой энергетики в рамках концепции устойчивого развития. Концепция устойчивого развития предполагает обеспечение сбалансированного решения социально-экономических задач и проблем сохранения окружающей среды для удовлетворения потребностей нынешнего и будущих поколений [1].

Арктика — это самый северный регион нашей планеты, включающий окраины континентов Евразия, и Северная Америка, а также соответствующие острова и архипелаги, Северный Ледовитый океан и части Атлантического и Тихого океанов. Несмотря на все еще существующее расхождение в концепции границ арктического региона, все исследователи сходятся в одном мнении: этот регион наиболее чувствителен к изменению климата, и последствия могут быть необратимыми.

Для достижения целей концепции устойчивого развития в Арктическом регионе России необходимо стремиться к экологизации топливно-энергетического комплекса, то есть заменять традиционные источники энергии на альтернативные. Наиболее распространенным вариантом замены являются возобновляемые источники энергии (ВИЭ), такие как: энергия солнечного света, ветра, волн и другие.

Зачастую ВИЭ предлагают использовать в качестве основы энергетической системы, совмещая с традиционными видами энергии для снижения выбросов углекислого газа. Однако, ВИЭ являются недостаточно надежными и в некоторых

регионах недостаточно рентабельными в виду их зависимости от погодных колебаний. Например, в 2021 году энергосистема штата Техас, основанная на ветряных электростанциях, не выдержала резкого снижения температуры, и миллионы людей остались без электроснабжения [2].

В связи с ненадежностью ВИЭ, авторы предлагают использовать традиционный источник энергии как основу гибридной энергетической системы, а именно природный газ, так как он является наиболее экологичным из всех ископаемых топлив. Сложности при транспортировке природного газа можно нивелировать, используя технологии сжижения. Таким образом недостатки возобновляемых источников будут компенсированы преимуществами природного газа, а выбросы CO<sub>2</sub> при его сжигании будут снижены за счет использования ВИЭ.

В рамках предлагаемой в данной работе гибридной энергетической системы для замены дизельного топлива в качестве базового источника энергии был выбран природный газ. Запасы природного газа весьма значительны в регионе, следовательно, можно отказаться от процедуры северного завоза и импорта дизтоплива, мазута или угля из южных регионов. Природный газ является самым чистым видом ископаемого топлива, что сведет к минимуму вред, наносимый окружающей среде от выбросов CO<sub>2</sub> при сгорании, а при условии внедрения CCS/CCUS технологий нивелирует их до минимальных значений.

Основной проблемой использования природного газа в условиях децентрализованного энергоснабжения долгое время было отсутствие необходимой инфраструктуры для его транспортировки - строительство газовых трубопроводов на большие расстояния при низком конечном спросе оказывалось абсолютно нерентабельно. Данную проблему можно решить за счет сжижения природного газа и строительства малотоннажной инфраструктуры для его сжижения, транспортировки и регазификации. Малотоннажный СПГ (МТСПГ) в настоящее время является быстрорастущим сегментом в индустрии СПГ благодаря значительному коммерческому потенциалу, большей гибкости и более низким инвестиционным затратам.

МТСПГ широко используется для удовлетворения спроса на газ вне сети трубопроводов и для поставок на удаленные рынки, спрос на которых слишком мал для традиционных поставщиков. МТСПГ может поставляться для выработки электроэнергии, а также может позиционироваться в качестве топлива для транспорта в морском, железнодорожном, автомобильном и авиационном секторах. МТСПГ может обслуживать промышленных конечных пользователей с небольшими установками регазификации или обеспечивать природным газом сельские местности. Такие операции уже осуществляются в районах, где газовая инфраструктура не так хорошо развита, или в регионах с высокой добычей газа, где МТСПГ может обеспечить энергией поселения, удаленные от газовых месторождений и трубопроводов.

Перевод энергосистемы региона на экологически чистые источники поможет снизить вредные выбросы при сжигании низкокачественных нефтепродуктов и сократить выбросы углекислого газа.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года.
2. Ветряные электростанции и отключение электричества в Техасе: есть ли связь? [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.bbc.com/russian/features-56113245> (дата обращения 10.07.2023).

## ДЕГРАДАЦИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД В ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЕ МОРЕЙ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФЛУКТУАЦИЙ

Григорьев М.Н.

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, г. Якутск,  
grigoriev@mpi.ysn.ru

Подводная мерзлота (субаквальные многолетнемерзлые породы) в арктических морях изучена довольно слабо. Она неплохо исследована лишь в пределах подводного берегового склона и на отдельных участках, протяженностью в первые десятки километров, где имеются буровые профили. Весьма динамичное преобразование льдистых многолетнемерзлых пород в мелководной зоне шельфа - одна из важных особенностей природной среды исследуемого региона. На относительно приглубом шельфе мощность и границы распространение подводной мерзлоты практически неизвестны. Фактически, имеются материалы лишь по нескольким десяткам относительно глубоких (30-80 м) буровых скважин, вскрывших подводную мерзлоту под дном морей Лаптевых и Восточно-Сибирского. Следует отметить, что практически все эти скважины, приурочены к прибрежной, весьма мелководной зоне моря. Во многих случаях, здесь были обнаружены реликтовые континентальные многолетнемерзлые породы, погруженные под море в результате отступления берегов и частичного оттаивания в подводных условиях.

Данные, полученные по немногочисленным буровым профилям на прибрежном мелководье (рис. 1), показывают значительные вариации в уклонах поверхности и темпах деградации мерзлоты сверху. Верхние горизонты субаквальной мерзлоты имеют довольно «высокую» температуру – от -1 до -1,5°C уже в первых километрах от берега.

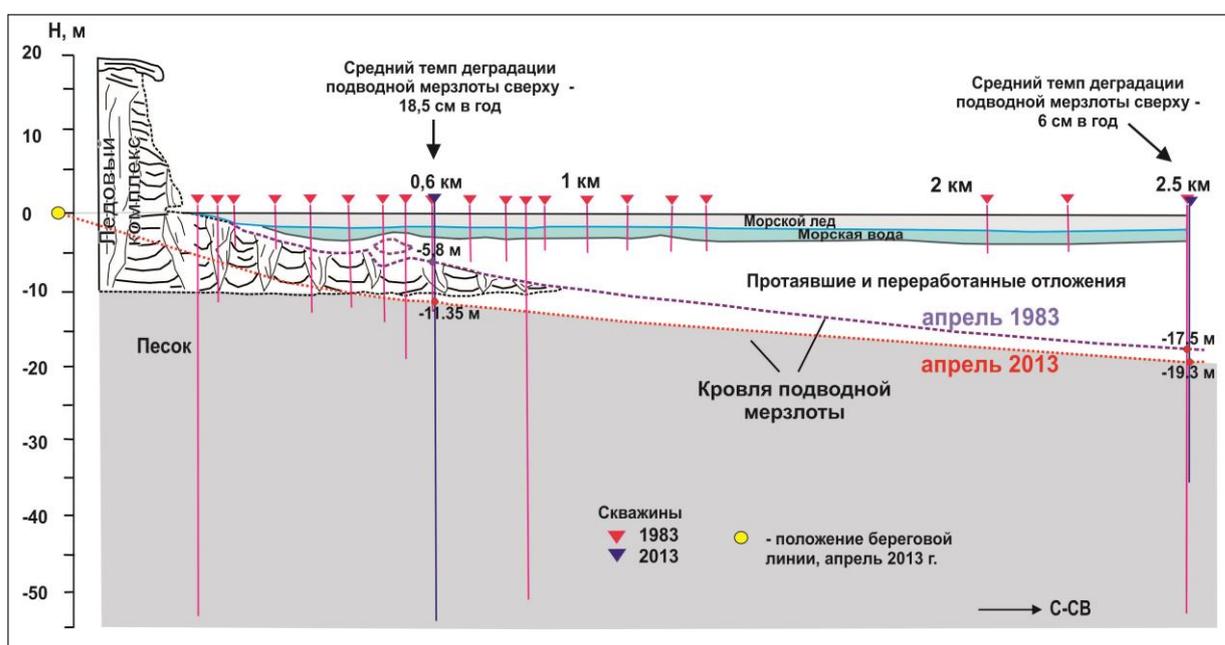


Рис. 1 – Изменение положения кровли подводной мерзлоты у северного мыса о-ва Муостях (губа Буор-Хая, море Лаптевых) по данным двух буровых профилей 1983 г. (выполнялся ИМЗ СО РАН) и 2013 г. (выполнялся ТОИ ДВО РАН, ИМЗ СО РАН, МГУ, ИО РАН)

Выявлена сложная структура верхних горизонтов субаквальных многолетнемерзлых пород, мерзлое состояние которых на многих участках

нестабильно в силу существования локальных геотермических, гидрогеологических и тектонических аномалий. Наземная (береговая) криогенная система и донная (верхние горизонты СММП на подводном береговом склоне) динамически тесно зависимы друг от друга. Особенности эволюции верхних горизонтов СММП зависят от ряда факторов: темпов отступления или выдвижения берегов, температурного режима и солёности придонной воды, уклонов подводного берегового профиля, морфологии береговой зоны и конфигурации береговой линии; степени открытости к морскому влиянию, характера осадков, слагающих берег и подводный береговой склон, льдистости СММП, особенностей гидро-литодинамических параметров.

Установлено, что средний уклон (от берега) кровли подводной мерзлоты в прибрежно-шельфовой зоне морей Восточной Сибири – 0,011 (0,62°). Диапазон уклонов – 0,0002-0,1. Установлено также, что скорость деградации верхних горизонтов реликтовых субаквальных многолетнемерзлых пород (СММП) составляет первые десятки сантиметров в верхней части подводного берегового склона, уменьшаясь до первых миллиметров в год в нижней его части. Эта скорость определяется динамическим режимом береговой зоны, составом, строением и мощностью залегающих на кровле мерзлоты осадков, температурой и солёностью придонного слоя воды.

В исследуемой прибрежной зоне СММП были обнаружены на многих участках: Восточный Таймыр, Хатангский залив, бухта Кожевникова, мыс Нордвик, мыс Мамонтов Клык, авандельты Лены и Яны, Быковский п-ов, о. Муостах, губа Буор-Хая, Сиэлляхский залив, Ванькина губа, мыс Святой Нос, вокруг Большого и Малого Ляховских островов в Колымском заливе и на других участках. Наиболее исследованным районом в отношении СММП является пролив Дмитрия Лаптева. Большинство скважин здесь фиксируют кровлю СММП на глубинах от 5 до 50 и более метров.

Новообразованные субаквальные мерзлые породы формируются в пределах мелководий авандельт и в мелководных заливах, где развиты процессы аккумуляции осадков, при глубинах воды менее 2 м. Подводная реликтовая мерзлота распространена на большей части подводного склона в прибрежно-шельфовой зоне морей Восточной Сибири. Особенно широкое развитие она имеет в районах береговых сегментов, где береговая эрозия активна. Очевидных изменений темпов деградации субаквальных многолетнемерзлых пород в прибрежной зоне арктических морей, в связи с климатическими изменениями в Арктике, пока обнаружить не удалось.

Практическое значение исследований подводной мерзлоты связано с уточнением изменения батиметрии прибрежных фарватеров (просадки дна при деградации льдистых СММП), с выявлением инженерной основы для любых видов работ на шельфе, а также с поиском газоконденсатных месторождений на шельфе.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке научного проекта НИОКТР 122011400151-0 «Деградация мерзлоты и трансформация рельефа в береговой зоне и на шельфе арктических морей восточного сектора РФ: Динамика, прогноз и риски», а также гранта РНФ 21-17-00054 «Четвертичный золотой рельеф и покровные отложения бассейна р. Лены (Восточная Сибирь): строение, возраст, палеогеографическое значение»*

## ИСТОЧНИКИ ФОРМИРОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ МАЛЫХ ГОРНЫХ РЕК СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА Р. АЛА-АРЧА

Ерохин С.А., Тузова Т.В.

Институт водных проблем и гидроэнергетики национальной Академии Наук Кыргызской Республики, г. Бишкек, tv\_tuzova@mail.ru

В рамках заключенного в 2022 г. Соглашения о научном сотрудничестве между Федеральным исследовательским центром комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лавёрова УрО РАН (ФИЦКИА УрО РАН) и Институтом водных проблем и гидроэнергетики Национальной академии наук Кыргызской Республики (ИВПиГЭ НАН КР) начаты совместные исследования процессов формирования водных ресурсов горных рек ледникового типа питания в условиях изменения климата и влияния деградации оледенения на экологию горных стран. В качестве начального района исследований выбрана зона формирования стока бассейна р. Ала-Арча в Северном Тянь-Шане. В настоящем сообщении кратко обобщаются результаты многолетних гидрогеологических работ ИВПиГЭ в этом бассейне, а также использования уран-изотопного метода изучения генезиса его поверхностных и подземных вод. Бассейн р. Ала-Арча находится в самой высокогорной центральной части северного склона Кыргызского хребта с высотой вершин до 4895 м и предвершинных скальных гребней 4000 - 4500 м над уровнем моря (рис. 1).

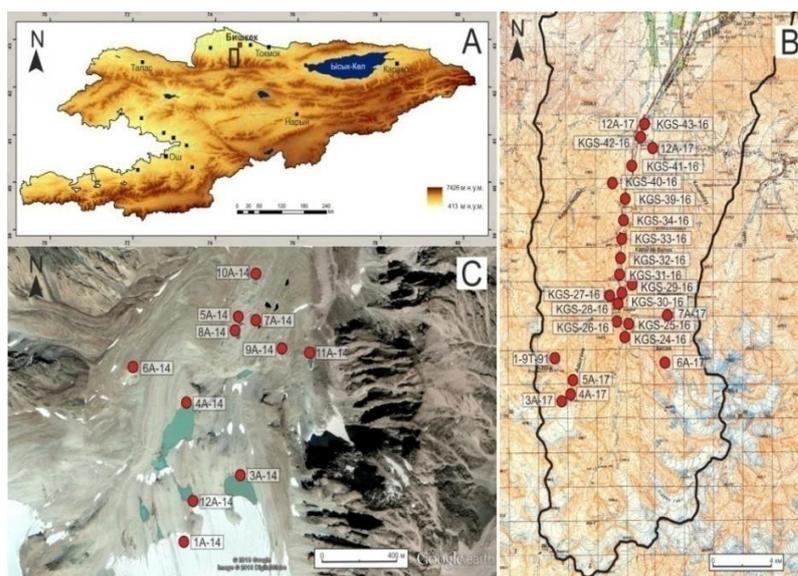


Рис. 1 – Район исследований на карте КР; В, С - места отбора воды на изотопный состав урана из притоков р. Ала-Арча и в морено-ледниковом комплексе

Район характеризуется глубокой расчлененностью крутосклонного высокогорного рельефа с мощными ледниками в верховьях основной и боковых речных долин, большой высотой водораздельных гребней с многочисленными скалами и осыпями и огромным количеством неустойчивого рыхлообломочного материала (рис. 2). Здесь периодически происходят катастрофические прорывы приледниковых горных озер, селевые потоки, обвалы, которые угрожают жизни жителям долины, разрушают постройки и сельхозугодья [1]. На выходе из горного ущелья на подгорную равнину р. Ала-Арча образует обширный конус выноса, на оконечности которого расположена столица Кыргызстана г. Бишкек. В горной части долины находится Ала-Арчинский национальный природный парк, место отдыха жителей этого города.



Рис. 2 – Морено-ледниковый комплекс Адыгене

Площадь бассейна 233 км<sup>2</sup>, средняя высота водосбора 3290 м. На пути формирования стока р.Ала-Арча принимает ряд притоков, наиболее крупные из них: левые - Адыгене и Кадыберды; правые –Аксай, Муратсай, Карагай-Булак, Кашка-Суу с площадями водосбора Адыгене - 37,9 км<sup>2</sup>, Аксай - 28,2 км<sup>2</sup>, Кашка-Суу - 26 км<sup>2</sup>, Кадыберды - 20,1км<sup>2</sup>, Карагайбулак -7,7 км<sup>2</sup>, Муратсай - 5,9 км<sup>2</sup>. Зона формирования стока заканчивается на высоте 1560 м после впадения р. Кашкасу.

По изотопному составу урана воды всех источников, формирующих сток бассейна, можно отнести, как это делалось нами ранее, к водам трех генетических типов (табл. 1): атмосферные осадки (снег и талые воды ледников) с равновесным отношением <sup>234</sup>U/<sup>238</sup>U и минимальным содержанием урана, воды активного водообмена, обогащенные ураном при сравнительно низких концентрациях урана за счет его преимущественного растворения из водовмещающих пород и воды с низким содержанием урана и наибольшим избытком <sup>234</sup>U, преимущественно выщелачивающегося из горных пород при длительной циркуляции вод по разломам [2]. Доля вод этих трех типов для каждого водоисточника оценена по формулам изотопного смешения [3].

Таблица 1 – Изотопы урана и генетический состав вод бассейна р. Ала-Арча

Место отбора	Высота, м	<sup>234</sup> U/ <sup>238</sup> U	C <sub>U</sub> , 10 <sup>-6</sup> г/л	Генетический состав вод, %		
				Ледниковые	Активного водообмена	Глубинные
Снег и лед, Адыгене	3658	1,00±0,04	0,11±0,01	100	-	
Приледниковое оз.Адыгене	3633	1,00±0,04	0,33±0,04	100	-	-
Термокарстовое оз. Тезгор	3537	1,01±0,04	54,6±0,2	-	100	-
Термальные воды Иссык-Ата	2200	1,4±0,1	0,20±0,03	-	-	100
Р.Иссык-Ата, верховья	2600	1,07±0,02	3,7±0,4			
р. Шаркыратма	2680	1,06±0,02	21,2±0,5	±1	80±5	20±5
р. Аксай перед р. Ала-Арча	2253	1,03±0,02	11,6±0,04	48±5	52±5	±5
р. Ала-Арча перед Аксай	2260	1,18±0,02	4,1±0,2	79±4	12±4	9±4

р. Ала-Арча после р. Аксай	2200	1,15±0,02	8,7±0,2	56±3	27±3	17±3
р. Муратсай, устье	2010	<b>1,4±0,1</b>	0,7±0,1	±5	-	95±5
Родник Кашкасуу	1552	1,22±0,02	15,9± 0,4	12±6	41±6	47±6
р. Ала-арча после р. Кашкасуу	1547	1,13±0,01	10,2± 0,3	50±5	33±5	17±5

По результатам уран-изотопных исследований доля ледникового стока в формировании водных ресурсов р. Ала-Арча не менее 50%, доля приповерхностных подземных вод зоны активного водообмена не менее 30%, а доля глубинных вод не более 20%. Эти цифры весьма ориентировочные и должны уточняться путем организации мониторинга за изотопным составом не только урана, но и стабильных изотопов водорода и кислорода в водах бассейна.

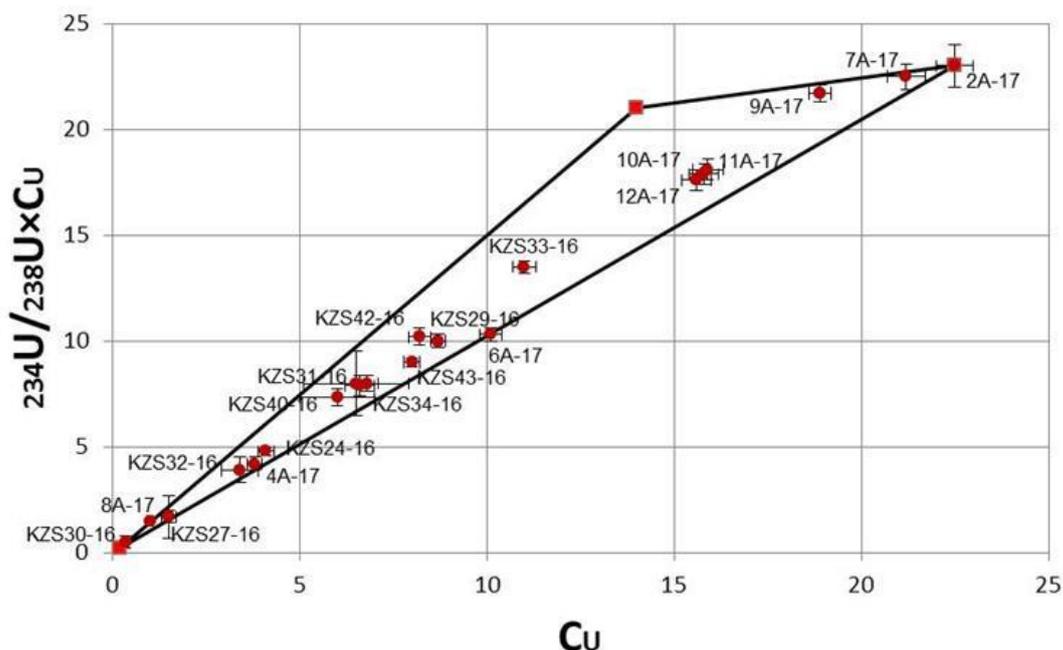


Рис. 3 – Уран-изотопная диаграмма вод основных притоков бассейна р. Ала-Арча

*Эти работы предусмотрены долгосрочным соглашением с Федеральным исследовательским Центром комплексного изучения Арктики Российской академии наук.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Загинаев В.В., Ерохин С.А., Кубанычбек У.Н. Селевая активность на конусе выноса Ак-сай (северный склон Кыргызского хребта). // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2018. № 3. С. 24-28.
2. Буркитбаев М.М., Уралбеков Б.М., Тузова Т.В. Неравновесный уран как естественный индикатор процессов в водно-экологических системах Центральной Азии / Алматы: Казак университети, 2017, 160 с.
3. Тузова Т.В., Загинаев В.В. и др. Уран в водах зон формирования стока трансграничных рек Тянь-Шаня и Памира. // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана, 2018. № 3. С. 178-185.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КВАДРОКОПТЕРОВ В НАУЧНЫХ АРКТИЧЕСКИХ ЭКСПЕДИЦИЯХ: ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

*Жостков Р.А., Тоцов С.А.*

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, shageraxcom@yandex.ru

Квадрокоптеры обрели высокую популярность в качестве экспедиционного оборудования, даже без дополнительной аппаратуры в виде полезной нагрузки [1, 2]. Спектр экспедиционных задач, которые можно быстро решить с помощью штатной фотокамера малого БПЛА, довольно широкий: оперативная рекогносцировка на местности; обследование опасных и труднодоступных локаций, не подвергая людей риску; определение оптимальных маршрутов передвижения по пересеченной местности или в условиях торосов; заблаговременное обнаружение диких животных и иные задачи.

Авторы накопили определенный опыт использования БПЛА в ходе длительных комплексных экспедиций в Арктику, которому посвящена настоящая работа. В 2020 году состоялась Комплексная экспедиция Северного флота (СФ) и Русского географического общества (РГО) на арктических архипелагах, – на ледоколе «Илья Муромец» под руководством капитана В.А. Осипова было пройдено более 20000 км и посещено 33 острова и материковых района. В 2021 году – экспедиция РГО и СФ на о. Земля Александры (арх. Земля Франца-Иосифа). А в 2022 году на том же ледоколе было обследовано 22 района арх. Новая Земля.

Результаты этих экспедиций были бы значительно скромнее без использования малых квадрокоптеров, поскольку с их помощью проводились съемки полнометражного документального фильма Леонида Круглова «В Арктику», премьера которого должна состояться в 2024 году; получение художественных фотографий, некоторые из которых вошли в альбом [3]; аэрофотосъемка геологических объектов для построения с помощью фотограмметрии [4] цифровой модели рельефа и ортофотоплана местности, которые помогают решать геолого-геофизические задачи [5, 6]; обследование состояния исторических памятников, в т.ч. и архитектурных; уточнение координат геодезических знаков и маяков; уточнение положения береговой линии островов; обеспечение безопасности работы экспедиционного отряда путем обследования района работ на предмет присутствия хищных белых медведей; поиск трудноразличимых с уровня земли археологических объектов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Холодков К.И., Иванов С.Д., Алешин И.М., Передерин Ф.В., Корягин В.Н., Холодков И.Н., Алешин М.И., Матвеев М.А., Морозов Ю.А. Опыт применения беспилотных летательных аппаратов для построения цифровой модели рельефа // Наука и технологические разработки. 2021. Т. 100. № 4. С. 44-56.
2. Дуленин А.А., Дуленина П.А., Коцюк Д.В., Свиридов В.В. Опыт и перспективы использования малых беспилотных летательных аппаратов в морских прибрежных биологических исследованиях // Труды ВНИРО. 2021. Т. 185. С. 134-151.
3. Альбом фотоконкурса Русского географического общества «Россия – самая красивая страна» // гл. редактор Фасхутдинов Р., Москва: Эксмо. 2022. 200 с.
4. Алексеева А.С., Тышкевич А.В. Применение метода цифровой фотограмметрии как средства моделирования в обследовании и реконструкции памятников архитектуры // Информационные технологии в обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений: материалы 15-ой международной научно-практической конференции, Новочеркасск, 30 октября 2015 г., Новочеркасск: Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, 2015. С. 3-8.

5. Овсяченко А.Н., Собисевич А.Л., Ляменков М.В., Жостков Р.А. Новые данные о сильных землетрясениях в Арктической зоне Российской Федерации по результатам геолого-геофизических исследований на острове Белуха // Доклады Академии наук. 2021. Т. 499, № 1. С. 60–64.
6. Овсяченко А.Н., Едемский Д.Е., Жостков Р.А. Активная тектоника восточной Арктики: новые данные геолого-геофизических исследований на мысе Фомы (запад острова Врангеля) // Геотектоника. 2022. № 3. С. 3–19.

## ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ ПОРОДНЫХ БЛОКОВ В ЛИЦЕВСКОМ РУДНОМ РАЙОНЕ (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

*Ильченко В.Л.*

Геологический институт Кольского НЦ РАН, г. Апатиты, v.ilchenko@ksc.ru

Последние пять лет (2018-2022 гг.) рабочая группа (сотрудники Геологического института Кольского НЦ РАН) занималась исследованиями урановых рудопроявлений в границах Печенга-Лицевской металлогенической области [1]. Эти рудопроявления рассматривались как полигоны для выявления новых геохимических особенностей площадного размещения в породах U-содержащих минералов в связи с физическими свойствами горных пород (радиоактивность, плотность, анизотропия упругих свойств) [2]. За период проведения работ, кроме выше перечисленного, были сделаны полевые наблюдения, имеющие прямое отношение к современной геодинамике, о чём и пойдет речь.

Дело в том, что всякий раз приходилось ставить лагерь (отсутствие подъездного пути) на западном берегу оз. Моккиявр (р-н Приозерного рудопроявления), в  $\approx 1,4$  км к востоку от Лицевского рудопроявления [3] (отм. 226,0 м, рис.1), расположенного за железной дорогой, до которой мы обычно ходили по тропе.



Рис.1 – Карта-схема рабочего участка: розовые круги – аномальные зоны; черная звездочка – лагерь; красный треугольник: его нижний левый угол смотрит на ж/д ост. 90 км (разрушенная), вершина - на озеро, справа от вершины – протока с «кирпичной переправой»; меандрирующий ручей течет вдоль левого катета треугольника. Толстая кривая чёрная линия – железная дорога. Масштаб: сторона клетки = 1 км

Эта тропа, от нашего лагеря до станции 90-й км железной дороги «Мурманск-Никель», хорошо натоптана и в одном месте пересекает неширокую ( $\approx 10-15$  м) протоку (которая соединяет два мелких озера), слабо заросшую болотной травой и узкий, местами довольно глубокий ( $\geq 1$  м), сильно меандрирующий ручей (впадающий в одно из озер). Поперек этой протоки кем-то была раньше устроена «переправа» из раскиданных «в шаговом порядке» обычных кирпичей ( $8 \times 12 \times 25$  см), видимо, из развалин ж/д ост. 90 км.

В августе 2018 г. (первый наш приезд), кирпичи были залиты водой на  $\approx 4-5$  см (высота кирпича = 8 см), т.е. протоку можно было перейти в ботинках (не замочив их подошвы). Затем мы работали на этом объекте в августе 2020 года. В этот раз протоку в ботинках (не замочив ног) было уже не перейти, т.к. уровень воды над поверхностью кирпичей достигал высоты  $\approx 4-5$  см (глубина воды  $\approx 12-13$  см). Из-за волнения толщину водного слоя над кирпичами измерить точнее было затруднительно. В последний раз, когда мы там были (август 2022 года), протоку можно было перейти только в высоких (предпочтительно – в болотных) сапогах, т.к. поверхность воды над кирпичами уже достигала  $\approx 20$  см.

Во все периоды нашего пребывания в этих местах погода была примерно одна: ежедневно шёл дождь разной интенсивности. То есть, нельзя сказать, чтобы количество атмосферных осадков в разные годы сильно различалось и могло заметно влиять на уровень воды в протоке. Донный грунт протоки представляет собой плотную, жесткую (ржавую) морену песчано-гравийно-галечного состава, которую просто невозможно копать лопатой: в такой грунт никакой кирпич не способен погрузиться под собственным весом.

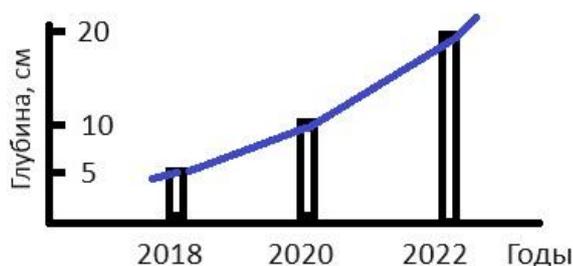


Рис. 2 – Вариации глубины протоки (с прогрессирующим характером во времени)

Из приведенного фактического материала (рис. 2) можно сделать вывод, что породный блок, расположенный между рудопроявлениями Приозерное и Лицевское отличается тектонической нестабильностью, т.к. участок земной суши (с протокой и меандрирующим ручьём) имеет все типичные признаки прогрессирующего опускания. Не исключено, что прогрессирующий характер опускания связан с современными климатическими изменениями. На первый взгляд, здесь нет ничего особенного, т.к. Балтийский щит в последние 10 тыс. лет (и в настоящее время) пребывает в состоянии гляциоэвстазии с заметными площадными вариациями (по знаку). С другой стороны, по краю Лицевского рудопроявления (а это довольно крутой горный склон) проходит действующая железная дорога, для которой, со временем, может возникнуть реальная угроза оползания, вплоть до разрушения её основания. Отсюда следует, что описанная тектоническая ситуация в данном районе нуждается в проведении более детальных инженерно-геологических исследований (геодинамический мониторинг).

*Работа выполнена в рамках Госзадания ГИ КНЦ РАН, тема НИР № АААА-А19-119100290148-4 (FMEZ-2022-0025).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казанский В.И., Лобанов К.В. О границах и металлогении Печенгского рудного района // Геология рудных месторождений. 1996. №1. С.103-109.
2. Ильченко В.Л., Ниткина Е.Н., Забавчик Н.И. Физические свойства (плотность, упругая анизотропия) образцов горных пород уранового рудопроявления Лицевское. // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2019. № 16. С. 227-231.
3. Савицкий А.В., Громов Ю.А., Мельников Е.В., Шариков П.И. Урановое оруденение Лицевского района на Кольском полуострове (Россия) //Геология рудных месторождений. 1995. №5. С. 403-416.

## РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГЕНЕРАЦИОННО-АККУМУЛЯЦИОННЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СИСТЕМ ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ БЕРИНГОВА МОРЯ

*Керимов В.Ю., Гурянов С.А.*

Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, г. Москва, guryanovsa@mgru.ru

**Генерационно-аккумуляционные углеводородные системы и их эволюция.**  
*Генерационно-аккумуляционные углеводородные системы (ГАУС) – природные системы, которые включают в себя очаг генерации УВ и все генетически связанные с ним углеводороды, а также все геологические элементы и процессы, обеспечивающие существование скоплений УВ. Система описывается элементами и процессами, которые формируют функциональные единицы, которые обеспечивают формирование залежей углеводородов. Основные элементы включают: нефтегазоматеринские толщи (НГМТ), резервуары, покрывки и перекрывающие породы. Процессы включают: генерацию, миграцию, аккумуляцию УВ, а также процесс формирования ловушек.*

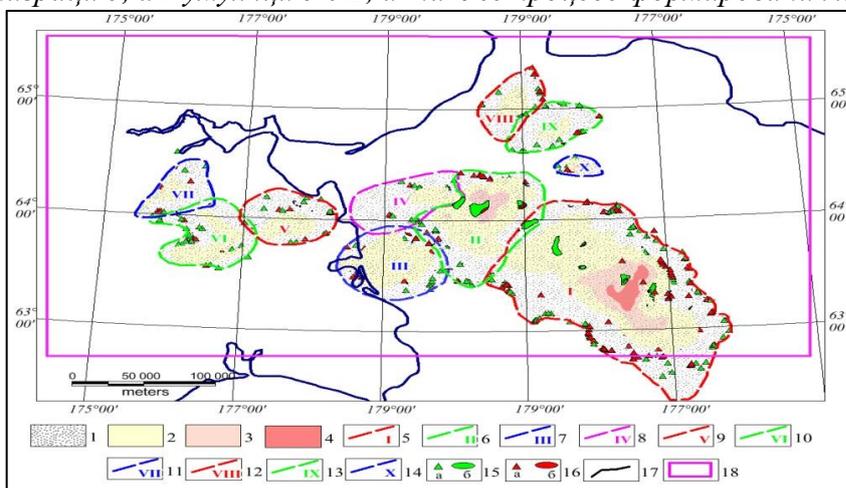


Рис. 1 – Карта майницко-собольковских ГАУС: 1 – область распространения ГАУС; 2- область преимущественной генерации нефти; 3- область преимущественной генерации газа; 4 - область развития перезрелой породы; 5 –14 границы и номера ГАУС; 15 – прогнозируемые скопления жидких УВ в пластовых условиях (а – мелкие, б – крупные скопления); 16 – прогнозируемые скопления газообразных УВ в пластовых условиях (а – мелкие, б – крупные скопления); 17 – береговая линия; 18 - район исследований; ГАУС: I – Майницко-собольковская Восточно-Анадырской впадины, II – Николаевская майницко-собольковская, III – Майницко-собольковская Лагунного прогиба, IV – Соломатинская майницко-собольковская, V – Оленинская майницко-собольковская, VI – Майницко-собольковская Майницкого прогиба, VII – Великореченская майницко-собольковская, VIII – Уэлькальская майницко-собольковская, IX – Куримская майницко-собольковская, X – Энмеленская майницко-собольковская

Результаты исследований и моделирования углеводородных систем свидетельствуют о развитии на акватории Берингова моря в отложениях палеогена-нижнего миоцена следующих ГАУС (рис. 1): I – Майницко-собольковская Восточно-Анадырской впадины, II – Николаевская майницко-собольковская, III – Майницко-собольковская Лагунного прогиба, IV – Соломатинская майницко-собольковская, VIII – Уэлькальская майницко-собольковская, IX – Куримская майницко-собольковская, X – Энмеленская майницко-собольковская.

Изученные углеводородные системы отличаются площадью и размерами очага генерации, а значит и объемами произведенных углеводородов. В большинстве ГАУС зрелость ОБ НГМТ не превышает уровня «нефтяного окна». В наиболее погруженных частях очагов генерации систем Майницко-собольковской Восточно-Анадырской впадины и Николаевской майницко-собольковской НГМТ находятся в области преимущественной генерации газообразных УВ.

В неогеновой части разреза в качестве потенциально нефтегазоматеринской толщи рассматривалась гагаринская свита собольковского горизонта нижнего миоцена, в качестве резервуаров - отложения собольковской и автаткульской свит. В качестве регионального флюидоупора для акваториальной части Анадырского прогиба могут выступать диатомовая толща среднего-верхнего миоцена [1].

В акваториальной части Анадырского прогиба, представляющей основной интерес для целей настоящей работы, выделяются восемь вероятных ГАУС (рис. 2): Корякская гагаринско-автаткульская (I), Южно-чукотская гагаринско-автаткульская (II), Северо-чукотская гагаринско-автаткульская (III), Северо-николаевская гагаринско-автаткульская (IV), Южно-николаевская гагаринско-автаткульская (V), Гагаринско-автаткульская Лагунного прогиба (VI), Западно-николаевская гагаринско-автаткульская (VII), Соломатинская гагаринско-автаткульская (VIII).

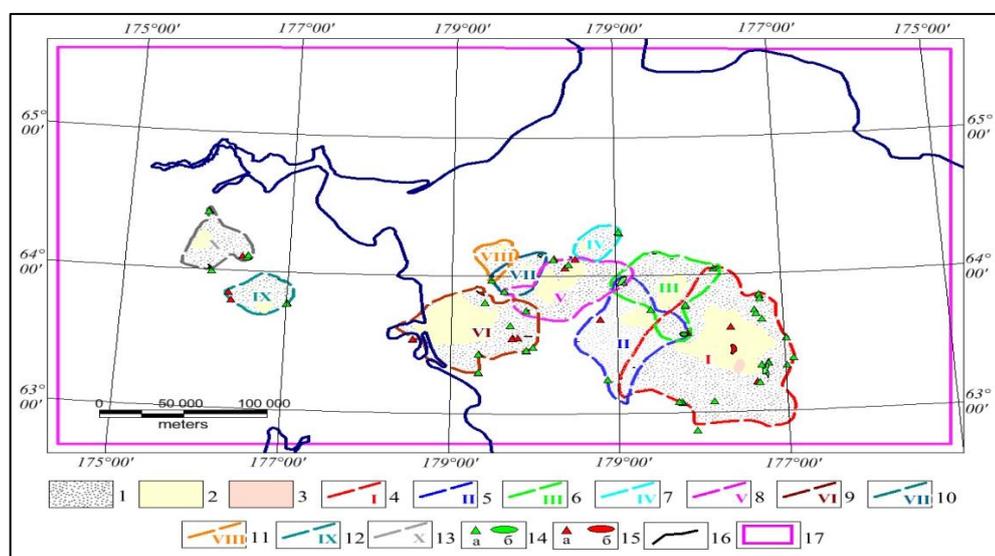


Рис. 2 – Карта гагаринско-автакульских ГАУС: 1 – область распространения ГАУС; 2 - область преимущественной генерации нефти; 3 - область преимущественной генерации газа; 4 –13 границы и номера ГАУС; 14 – прогнозируемые скопления жидких УВ в пластовых условиях (а – мелкие, б – крупные скопления); 15 – прогнозируемые скопления газообразных УВ в пластовых условиях (а – мелкие, б – крупные скопления); 16 – береговая линия; 17 - район исследований; ГАУС: I – Корякская гагаринско-автаткульская, II – Южно-чукотская гагаринско-автаткульская, III – Северо-чукотская гагаринско-автаткульская, IV – Северо-николаевская гагаринско-автаткульская, V – Южно-николаевская гагаринско-автаткульская, VI – Гагаринско-автаткульская Лагунного прогиба, VII – Западно-николаевская гагаринско-автаткульская, VIII – Соломатинская гагаринско-автаткульская, IX - Гагаринско-автаткульская Проточного прогиба, X – Великореченская гагаринско-автаткульская

Очаги генерации, указанных ГАУС расположены в пределах Корякской, Чукотской, Николаевской котловин, Соломатинской впадины и Лагунного прогиба [2]. Области аккумуляции прогнозируются в пределах приподнятых областей: поднятий Беринговского и Васильевского, акваториального продолжения Туманского горста и северо-западного борта Лагунного прогиба.

В результате моделирования были созданы трехмерные модели зрелости (рис. 3а) и преобразованности (Рис. 3б) органического вещества ОВ НГМТ, плотности генерации УВ верхнего мела (Рис. 3а), среднего-верхнего палеогена (Рис. 3б) и нижнего миоцена (Рис. 3в), графики генерации и эмиграции УВ, карты и профили ГАУС (рис. 1, 2).

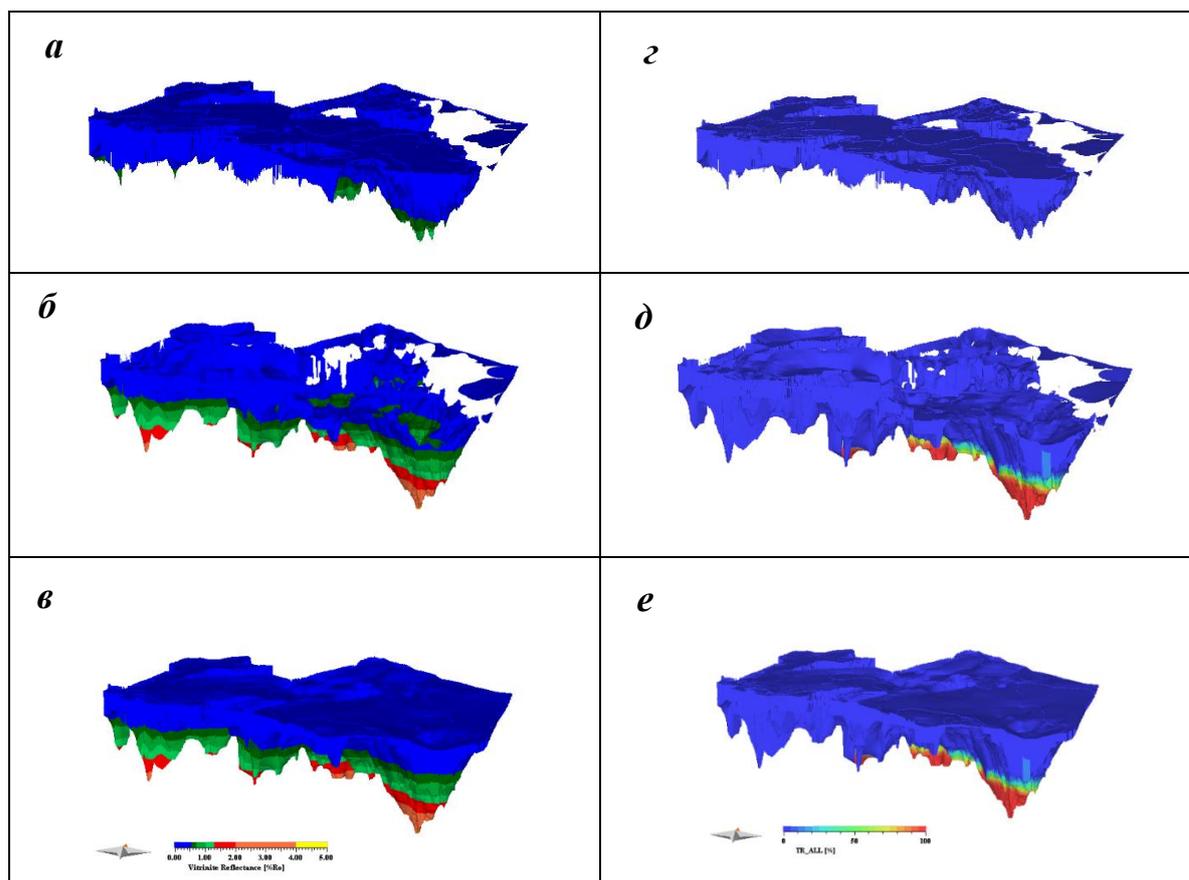


Рис. 3 – Модели зрелости (а, б, в) и преобразованности (г, д, е) органического вещества отложений верхнего мела (а, г), среднего-верхнего палеогена (б, д) и нижнего миоцена (в, е)

**Майницко-собольковские ГАУС.** Генерация и эмиграция углеводородов в ГАУС началась около 20 млн. лет назад. Интенсивность этих процессов постепенно нарастала вплоть до плиоцена, а затем резко снизилась, в связи с прекращением погружения этой части Анадырского прогиба.

Анализ моделей степени зрелости потенциальных НГМТ показывает, что в пределах наиболее прогнутых частей прогибов Анадырского, Лагунного и Креста, все они достигли достаточной зрелости для генерации углеводородов [3].

В большинстве ГАУС зрелость ОВ НГМТ не превышает уровня «нефтяного окна». В наиболее погруженных частях очагов генерации систем Майницко-собольковской Восточно-Анадырской впадины и Николаевской майницко-собольковской НГМТ находятся в области преимущественной генерации газообразных УВ. Соответственно различается и степень преобразованности ОВ материнских пород.

**Гагаринско-автакульские ГАУС.** В неогеновой части разреза в качестве потенциально нефтегазоматеринской толщи рассматривалась гагаринская свита собольковского горизонта нижнего миоцена, в качестве резервуаров - отложения

собольковской и автаткульской свит. Результаты выполненного моделирования показали, что на суше очаги генерации располагаются в Майницком прогибе и Великореченской котловине. В западной части Анадырского прогиба аккумуляции можно ожидать в пределах приподнятого участка, разделяющего Великореченскую котловину и Майницкий прогиб, а также Александровского поднятия.

**Прогноз скоплений УВ и количественная оценка углеводородного потенциала.** В результате моделирования ГАУС сделан прогноз скоплений УВ (Рис. 4) и дана количественная оценка углеводородного потенциала.

По указанным показателям выделяется Николаевская майницко-собольковская ГАУС, характеризующаяся расчетным коэффициентом аккумуляции на уровне 27% и повышенными удельными плотностями начальных геологических ресурсов, позволяющих отнести ее территорию к четвертой категории перспективных земель [4].

Результаты моделирования позволили дать количественную оценку углеводородного потенциала ГАУС, в результате которой было определено, что у Майницко-Собольковской ГАУС, генерационный баланс составляет 2088 млн. т УТ, эмиграционный баланс, 2083 млн. т УТ, аккумулировано в резервуаре 219.82 млн. т УТ.

Наиболее высоким генерационным и эмиграционным потенциалом характеризуются майницко-собольковские ГАУС Восточно-Анадырской впадины, Николаевская и Лагунного прогиба.

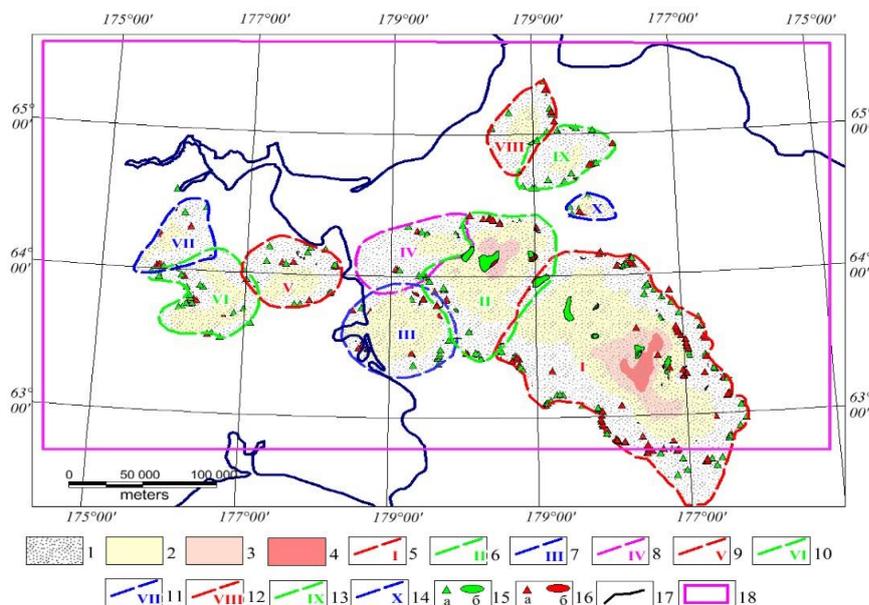


Рис. 4- Прогнозируемые скопления УВ в отложениях палеогена (майницкая свита): 1 – область распространения ГАУС; 2- область преимущественной генерации нефти; 3- область преимущественной генерации газа; 4 - область развития перезрелой породы; 5 –14 границы и номера ГАУС; 15 – прогнозируемые скопления жидких УВ в пластовых условиях (а – мелкие, б – крупные скопления); 16 – прогнозируемые скопления газообразных УВ в пластовых условиях (а – мелкие, б – крупные скопления); 17 – береговая линия; 18 - район исследований; ГАУС: I – Майницко-собольковская Восточно-Анадырской впадины, II – Николаевская майницко-собольковская, III – Майницко-собольковская Лагунного прогиба, IV – Соломатинская майницко-собольковская, V – Оленинская майницко-собольковская, VI - Майницко-собольковская Майницкого прогиба, VII – Великореченская майницко-собольковская, VIII – Уэлькальская майницко-собольковская, IX – Куримская майницко-собольковская, X – Эмеленская майницко-собольковская

Все неогеновые ГАУС характеризуются крайне низкой степенью реализации генерационного потенциала своих НГМТ – не превышающего в основном 10%, что

обусловлено низкой зрелостью ОВ пород. Только в Гагаринско-автаткульской ГАУС Лагунного прогиба генерационный потенциал материнской породы реализован на уровне 20÷30%, а в Корякской гагаринско-автаткульской - около 40 % [5]. Результаты моделирования позволили дать количественную оценку углеводородного потенциала ГАУС, результате которой было определено, что в гагаринско-автакульских ГАУС, генерационный баланс составляет **70 млн. т УТ**, эмиграционный баланс **65 млн. т УТ**, аккумуляровано в резервуаре **14.70 млн. т УТ**.

**Заключение.** На шельфе *Берингова моря* с точки зрения поисков углеводородов наиболее перспективной является Анадырский прогиб. Многочисленные признаки нефтегазоносности и четыре небольших месторождения в наземной части прогиба указывают на существование активных углеводородных систем в осадочном чехле и позволяют прогнозировать хороший углеводородный потенциал территории.

В акватории Берингова моря, отложениях палеогена-нижнего миоцена расположены Майницко-собольковские ГАУС: Восточно-Анадырской впадины, Николаевская, Лагунного прогиба, Соломатинская, Уэлькальская, Куримская, Энмеленская. Все системы характеризуются синхронными НГМТ майницкой толщи, резервуарами собольковской свиты и флюидоупорами нижнего миоцена. При этом ГАУС различаются временем генерации, миграции, аккумуляции и критическим моментом, что обуславливается особенностями геологического строения каждого нефтегазогенерационного бассейна и глубиной залегания в нем НГМТ. Изученные углеводородные системы отличаются площадью и размерами очага генерации, а значит и объемами произведенных углеводородов. В акватории Берингова моря, в неогеновой части разреза выделяются восемь вероятных Гагаринско-автаткульских ГАУС: Корякская, Южно-чукотская, Северо-чукотская, Северо-николаевская, Южно-николаевская, Лагунного прогиба, Западно-николаевская и Соломатинская, в которых в качестве потенциально нефтегазоматеринской толщи выделяется гагаринская свита собольковского горизонта нижнего миоцена, в качестве резервуаров - отложения собольковской и автаткульской свит. В качестве регионального флюидоупора могут выступать диатомовая толща среднего-верхнего миоцена.

На основании результатов численного моделирования бассейнов и углеводородных систем Берингова моря выполнены: количественная оценка их углеводородного потенциала, оценка геологических рисков. На основании полученных результатов были выделены наиболее перспективные участки, рекомендованные для лицензирования, и даны рекомендации дальнейших ГРП на этих участках с целью уточнения их углеводородного потенциала и снижения геологических рисков.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуриянов С.А. Структурно-тектонические условия развития осадочных бассейнов Берингова моря // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2022. № 4. С. 54-63.
2. Гуриянов С.А. Палеографические и литолого-фациальные условия формирования мезо-кайнозойских отложений Анадырского прогиба // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2020. № 4. С. 39-51.
3. Лавренова Е.А., Гуриянов С.А., Керимов В.Ю. Оценка углеводородного потенциала Берингова моря // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2020. № 5. С. 42-56.
4. Mustaev R., Kerimov V., Bondarev A., Guryanov S. Assessment of geological risks when performing prospecting and exploration for oil and gas // Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. T. 315 LNNS. С. 271-282.
5. Kerimov V.Y., Mustaev R.N., Guryanov S.A., Leonov M.G. Postmagmatic tectonics of basement granites of the Far Eastern seas of Russia // Eurasian Mining. 2020. Т. 2020. № 2. С. 3-6.

## СЕЗОННЫЕ И МНОГОЛЕТНИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПОЧВЫ СЕВЕРА ЕВРАЗИИ

*Китаев Л.М.<sup>1</sup>, Аблеева В.А.<sup>2</sup>, Туткова Т.Б.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Институт географии РАН, г. Москва, [kitaev@igras.ru](mailto:kitaev@igras.ru)

<sup>2</sup> Приокско-Террасный государственный заповедник, Московская обл., поселок Данки

Значительные поля снежного покрова, имеющие продолжительность залегания в высоких широтах Северного полушария до семи месяцев, во многом определяют связь климатических процессов и изменений в состоянии поверхности. С одной стороны, будучи зависимым от изменений климата, снежный покров существенно влияет на особенности годового водного баланса, состояние почвы и растительности [1, 2 и др.]. С другой стороны, резкие изменения альбедо в моменты установления и схода снега осенью и зимой обуславливают через радиационный баланс характер изменений метеорологического режима. Кроме сезонного хода осадков как приходной части, процесс снегонакопления определяется теплообменом в цепочке грунт – снежный покров – атмосфера, в связи с чем В.А. Кудрявцевым уже в 1954 году была предложена система уравнений, описывающих этот процесс [3]. Подобные работы проводились как для зоны сезонного промерзания почвогрунтов, так и, в большей степени, для территорий с вечной мерзлотой, в результате чего уточнялся механизм промерзания почвы в условиях потепления второй половины 20 в.

Вместе с тем, соотношение сезонного хода приземной температуры воздуха, толщины снега и температуры почвы неоднозначно и оценено недостаточно, особенно на уровне региональных пространственно-временных обобщений. Так, выявлено наиболее тесное взаимодействие исследуемых параметров в начале снежного периода при, тем не менее, недостаточной изученности региональных различий в сопряженности хода характеристик [4, 5]. Можно упомянуть работу В.И. Слепцова с соавторами [6], где предложен алгоритм расчета количества циклов замерзания и оттаивания мерзлых грунтов в связи с изменениями температуры воздуха – но только для осеннего и весеннего малоснежных периодов Центральной Якутии.

Основная цель проведенных исследований состоит в выявлении значимости снежного покрова в изменчивости температуры почвы в современных климатических условиях севера Евразии в границах России. С точки зрения исследования динамики температуры почвы в зимних условиях, данная территория интересна преобладанием субарктического типа климата и наличия регионов как с сезонно-мерзлыми грунтами, так и с вечной мерзлотой. Достижение цели реализуется посредством количественных оценок особенностей сезонного и многолетнего хода температуры верхних слоев почвы, толщины снега, приземной температуры воздуха. Исследования проведены с использованием данных наблюдений восьми реперных метеорологических станций, расположенных в основных секторах Евразийской субарктики: Кандалакша и Нарьян-Мар – Восточно-Европейская равнина; Березово и Наксимволь – Западная Сибирь; Бор и Ербогачён – Центральная Сибирь; Верхоянск и Оймякон – Восточная Сибирь. Анализируются суточные значения приземной температуры воздуха, толщины снежного покрова и температуры почвы периода 1989-2015 гг. ([www.meteo.ru](http://www.meteo.ru)) Для максимально полной проработки особенностей изменчивости, динамика характеристик в период с устойчивым снежным покровом рассматривается в сравнении с их динамикой осенью и весной. И, таким образом сезонные особенности, ввиду разной продолжительности залегания снежного покрова, рассматриваются для периодов октябрь-ноябрь / декабрь - март / апрель - май для Восточно-Европейской равнины и для периодов сентябрь - октябрь / ноябрь - апрель / май - июнь для регионов Сибири. Зимний период в этих случаях (декабрь - март и ноябрь - апрель) как правило имеет устойчивый снежный покров с десятибалльным покрытием территории.

**Сезонная изменчивость температуры почвы, толщины снега и приземной температуры воздуха.** Для севера Восточно- Европейской равнины (метеостанции Кандалакша и Нарьян-Мар) ход характеристик близок к ранее выявленным для Восточно-Европейской равнины в целом закономерностям [7]: в период с устойчивым снежным покровом температура стабилизируется в диапазоне  $+1 - -1$  °С при изменчивости в этот период приземной температуры воздуха и толщины снега в диапазоне  $0 - -15$  °С и  $10 - 60$  см (рис.1; табл. 1). После установления устойчивого снежного покрова стандартное отклонение температуры почвы существенно снижается по сравнению с осенним и весенними периодами в  $1,5 - 9$  раз, стандартное отклонение приземной температуры воздуха превышает стандартное отклонение температуры почвы в  $5 - 9$  раз (табл. 1; рис. 1).

Таблица 1 – Характеристики сезонного хода температуры почвы (1989-2015).

Пункт	Глубина, см	Характеристики		
		среднее, °С / стандартное отклонение, °С		
		октябрь–ноябрь* сентябрь–октябрь**	декабрь–март* ноябрь–апрель**	апрель–май* май– июнь**
Кандалакша*	20	0,8 / 2,2	-1,6 / 0,4	2,9 / 3,5
	40	2,0 / 2,0	-0,9 / 0,3	2,1 / 2,8
	80	3,3 / 1,9	0,0 / 0,3	1,9 / 2,0
Нарьян-Мар*	20	0,9 / 1,7	-3,3 / 0,9	-0,5 / 1,4
	40	1,6 / 1,5	-2,4 / 0,9	-0,5 / 1,1
	80	2,3 / 1,5	-1,4 / 0,9	-0,5 / 0,8
Березово**	20	5,4 / 3,4	-0,8 / 0,5	6,8 / 5,1
	40	6,1 / 3,1	-0,2 / 0,6	6,0 / 3,8
	80	7,2 / 2,6	0,7 / 0,8	2,7 / 2,8
Няксимволь**	20	6,0 / 3,5	-1,0 / 0,8	9,3 / 4,5
	40	6,7 / 2,9	-0,4 / 0,7	6,1 / 3,8
	80	7,4 / 2,4	0,4 / 0,9	5,1 / 3,4
Бор**	20	4,1 / 3,6	-5,2 / 1,8	7,1 / 4,9
	40	4,6 / 3,3	-4,4 / 1,4	5,0 / 4,0
	80	5,3 / 4,9	-2,0 / 1,0	2,1 / 2,5
Ербагочен**	20	6,1 / 4,1	-1,5 / 1,1	10,1 / 6,3
	40	7,0 / 3,9	-0,7 / 1,0	3,9 / 5,9
	80	8,0 / 3,4	0,6 / 0,9	6,3 / 5,0
Верхоянск**	20	-0,3 / 5,0	-20,4 / 5,6	6,6 / 4,9
	40	0,3 / 3,5	-19,5 / 5,6	2,5 / 4,5
	80	0,9 / 1,4	-14,9 / 5,3	-3,5 / 3,0
Оймякон**	20	-0,1 / 3,5	-16,4 / 4,2	2,6 / 3,9
	40	0,6 / 1,9	-14,5 / 4,5	-0,3 / 4,3
	80	0,7 / 0,8	-12,1 / 4,3	-4,0 / 2,3

\* - осреднение для октября-ноября, декабря-марта, апреля-мая (Восточно-Европейская равнина);

\*\* - осреднение для сентября-октября, ноября-апреля, мая-июня (Сибирь).

Для Сибири, в соответствии с усилением континентальности, в период с устойчивым снежным покровом происходит снижение с запада на восток приземной температуры воздуха и толщины снега: для средних за сезон от  $-14$  до  $-35$  °С и от 46 см до 20 см (рис. 1) – с наиболее низкими значениями в Верхоянске и Оймяконе. Аналогичным образом снижается температура почвы, в среднем за период с устойчивым снежным покровом от  $0,7 - -0,8$  °С в Березово до  $-15 - -20$  °С в Верхоянске (табл. 1; рис. 1). При этом вариабельность сезонного хода приземной температуры воздуха и температуры почвы с запада на восток увеличивается – с коэффициентом стандартного отклонения соответственно от 7 до 12 °С и от 0,5 до 5,6 °С, т.е. при

различиях в 2 – 14 раз. При этом, вариабельность температуры почвы в период со снежным покровом остается ниже вариабельности температуры почвы весны и осени в 2,5 – 7 раз. Исключение составляет Восточная Сибирь (Верхоянск и Оймякон), с меньшими различиями значений стандартного отклонения – в 1,2 – 3,8 раза.

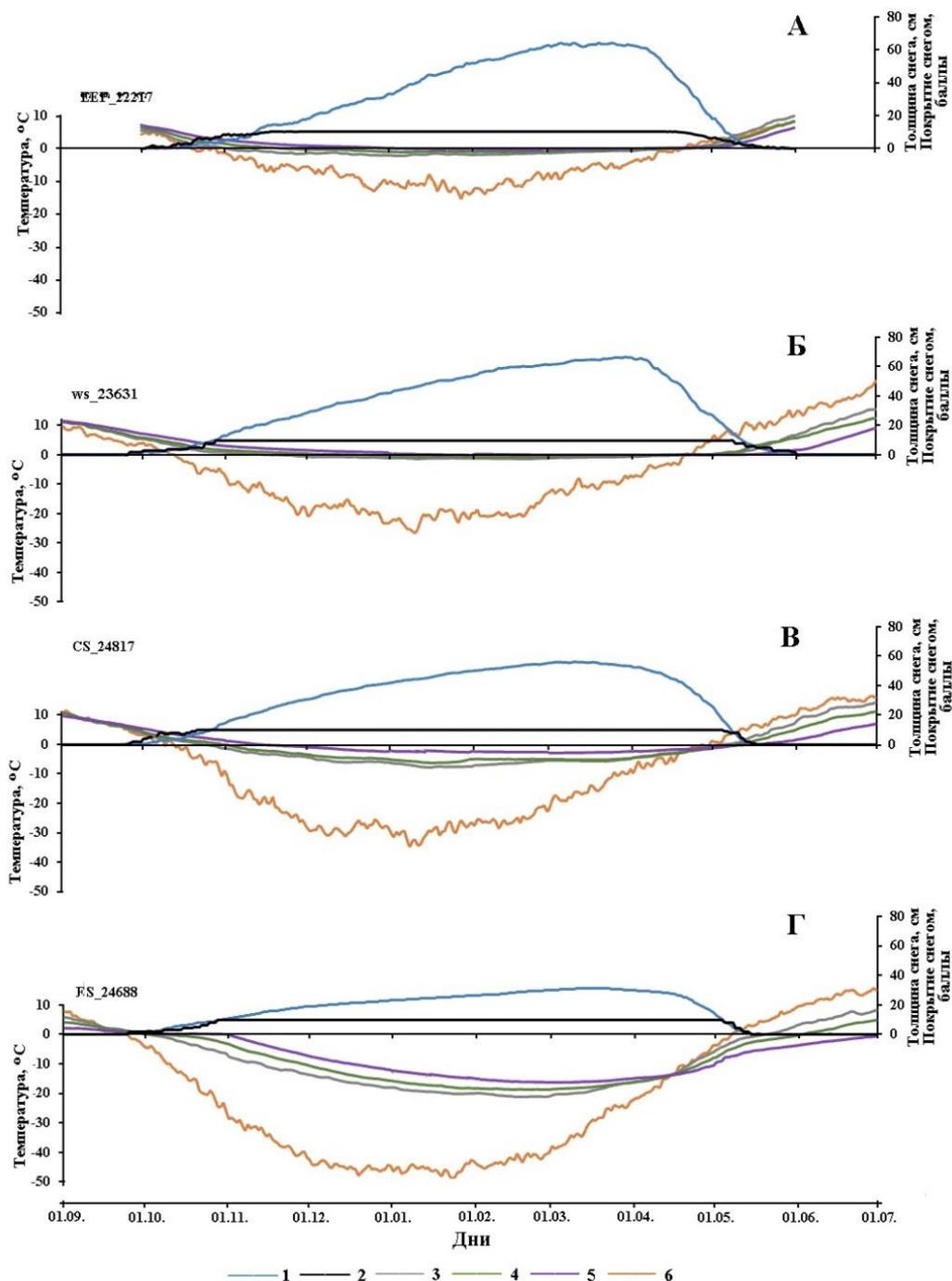


Рис. 1 – Сезонный ход толщины снега (1), температуры почвы на глубинах 20 (3), 40 (4) и 80 см (5), приземной температуры воздуха (6). Обозначения: А – Кандалакша (Восточно-Европейская равнина), Б – Березово (Западная Сибирь), Г – Ербогачен (Центральная Сибирь), Д – Оймякон (Восточная Сибирь)

**Многолетняя изменчивость температуры почвы, толщины снега и приземной температуры воздуха.** В связи с наличием в свободном доступе данных многолетних наблюдений метеорологических станций ([www.meteo.ru](http://www.meteo.ru)), наряду с особенностями

сезонного, хода была проведена оценка особенностей межгодовой изменчивости и многолетних тенденций исследуемых характеристик для периода 1989-2015 гг., который охватывает основные основные вариации потепления климата. В этом случае в период с устойчивым снежным покровом также происходит закономерное, связанное с усилением континентальности, некоторое снижение толщины снега и существенное снижение температуры приземного воздуха с запада на восток – от 46 – 50 см и от -9 – -14 °С в Европейском секторе до 19 – 24 см и -34 – -35 °С на северо-востоке Восточной Сибири (рисунок 2 – на примере метеорологических станций Кандалакша, Березово, Ербогачен, Оймякон). Температура почвы, соответственно изменениям приземной температуре воздуха, также значительно снижена на северо-востоке Восточной Сибири при увеличении диапазона температур разных глубин (рис. 2; табл. 2).

Таблица 2. Характеристик многолетнего хода температуры почвы (1989-2015 гг.).

Пункт	Глубина, см	Характеристики		
		среднее, °С / стандартное отклонение, °С / тренд, °С/год		
		октябрь–ноябрь* сентябрь–октябрь**	декабрь–март* ноябрь–апрель**	апрель–май* май–июнь**
Кандалакша *	20	0.8 / 1.2 / 0.033	-1.6 / 0.7 / -0.022	2.9 / 0.9 / 0.049
	40	2.0 / 0.9 / 0.042	-0.9 / 0.6 / 0.009	2.1 / 0.8 / 0.050
	80	3.3 / 0.8 / 0.044	0.2 / 0.5 / 0.016	1.5 / 0.7 / 0.050
Нарьян-Мар*	20	0.9 / 1.0 / 0.035	-3.2 / 0.8 / -0.014	-0.4 / 1.2 / 0.015
	40	1.5 / 0.9 / 0.051	-2.6 / 0.7 / 0.049	-0.5 / 1.3 / 0.022
	80	2.2 / 0.7 / 0.031	-1.4 / 0.9 / 0.025	-0.5 / 0.7 / 0.020
Березово **	20	5.4/1.0/0.041	-0.8 / 0.6 / 0.033	6.9 / 1.9 / 0.043
	40	6.1/0.9/0.020	-0.2 / 0.5 / 0.015	6.1 / 2.3 / 0.226
	80	7.2/0.9/0.004	0.6 / 0.3 / -0.002	3.0 / 0.4 / -0.006
Няксимволь **	20	6.0 / 1.0 / 0.050	-1.1 / 0.8 / 0.026	9.4 / 1.4 / -0.044
	40	6.7 / 0.9 / 0.039	-0.4 / 0.5 / -0.005	6.3 / 2.2 / 0.211
	80	7.4 / 0.7 / 0.006	0.5 / 0.4 / -0.016	5.2 / 1.2 / -0.003
Бор **	20	4.1 / 0.9 / 0.008	-5.4 / 1.3 / -0.037	7.2 / 1.2 / 0.006
	40	7.0 / 1.2 / 0.031	-0.8 / 1.0 / 0.024	8.9 / 1.4 / 0.081
	80	5.3 / 0.7 / 0.009	-1.9 / 0.5 / 0.024	2.1 / 1.7 / 0.015
Ербогачён **	20	6.1 / 1.3 / 0.038	-1.5 / 1.2 / -0.021	10.1 / 1.5 / 0.085
	40	2.0 / 0.9 / 0.042	-0.9 / 0.7 / 0.009	2.1 / 0.8 / 0.050
	80	3.3 / 0.8 / 0.044	0.0 / 0.5 / 0.016	1.6 / 0.7 / 0.052
Верхоянск **	20	-0.3 / 1.7 / 0.092	-20.2 / 3.5 / 0.241	6.6 / 1.3 / 0.051
	40	0.3 / 1.1 / 0.083	-19.5 / 1.8 / 0.068	2.5 / 0.9 / 0.047
	80	0.9 / 0.5 / 0.008	-14.9 / 1.2 / 0.036	-3.5 / 1.5 / 0.168
Оймякон **	20	-0.1 / 0.7 / 0.023	-16.3 / 1.2 / 0.052	2.6 / 0.7 / 0.027
	40	0.6 / 0.5 / 0.011	-14.6 / 2.1 / 0.106	0.4 / 1.9 / -0.154
	80	0.6 / 0.6 / -0.058	-12.1 / 1.1 / 0.019	-4.1 / 0.8 / -0.064

*Курсивом выделены незначимые тренды;*

\* - средние для октября-ноября, декабря-марта, апреля-мая (Восточно-Европейская равнина);

\*\* - средние для сентября-октября, ноября-апреля, мая июн (Сибирь).

Стандартное отклонение многолетнего хода толщины снежного покрова составляет на севере Восточно- Европейской равнины 6,6 – 7,5 см, увеличиваясь в Западной и центральной Сибири до 9,6 – 11,6 см и 8,7 – 12,2 см и вновь снижаясь на северо-востоке Восточной Сибири до 5,0 – 6,5 см. Стандартное отклонение приземной температуры воздуха в период с устойчивым снежным покровом повсеместно

превышает стандартное отклонение этих характеристик осенью и весной (соответственно 1,6 – 2,7 °С и 1,0 – 2,5 °С). Стандартное отклонение температуры почвы в это время напротив имеет меньшие, в 1,5 – 4,5 раз, значения нежели стандартное отклонение осени и весны (табл. 2). Исключение составляет северо-восток Восточной Сибири (метеорологические станции Верхоянск и Оймякон) – с меньшим, в 1,3 – 2,7 раза, соотношением значений стандартного отклонения.

Значимые тенденции в многолетнем ходе толщины снега отсутствуют, приземная температура воздуха увеличивается лишь в весенний период – повсеместно, с коэффициентами линейного тренда в диапазоне 0,04 – 0,10 °С / год. Особенность северо-востока Восточной Сибири (метеорологические станции Верхоянск и Оймякон) состоит в наличии только здесь значимой многолетней тенденции хода температуры почвы с коэффициентами линейных трендов 0,05 – 0,17 °С / год – при отсутствии значимых изменений в других регионах (табл. 2).

Также рассмотрены значения характеристик, превышающие стандартное отклонение в период 1989-2015 гг. как в положительной, так и в отрицательной областях распределения – при снятых многолетних трендах за вычетом величины стандартного отклонения. Как положительные, так и отрицательные аномалии температуры почвы повторяются по 3 – 7 раз за исследуемый период, т.е. в 12 – 27 % от всех случаев. При этом, совпадения аномальных значений температуры почвы на разных глубинах, будучи немногочисленными, носят случайный характер в своем расположении в многолетнем ряду. В том числе не обнаружено закономерностей в распределении в многолетнем ряду немногочисленных совпадений аномалий температуры почвы и аномалий толщины снега и приземной температуры воздуха.

*Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания по теме FMGE-2019-0009 «Изменения климата и их последствия для окружающей среды и жизнедеятельности населения на территории России».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Львович М.И. Вода и жизнь. М.: Мысль. 1986. 253 с.
2. Николаев А.Н., Скачков Ю.Б. Влияние снежного покрова и температурного режима мерзлотных почв на радиальный прирост деревьев Центральной Якутии // Журнал Сибирского федерального университета, серия Биология. 2012. №5. С.43-51.
3. Кудрявцев В. А. Температура верхних горизонтов вечномерзлой толщи в пределах СССР. М.: Изд-во АН СССР. 1954. 182 с.
4. Павлов А.В. Мониторинг криолитозоны . Новосибирск. Академическое издательство “Гео”. 2008. 230 с.
5. Осокин Н.И., Сосновский А.В. Влияние динамики температуры воздуха и высоты снежного покрова на промерзание грунта // Криосфера Земли. 2015. № 1. С. 99–105.
6. Слепцов В.И., Мордовской С.Д., Петров Е.Е. Расчет количества циклов замерзания-оттаивания породного массива для условий центральной Якутии на горизонтальных поверхностях // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. 9. С. 101-105.
7. Китаев Л.М., Аблеева В.А., Асаинова Ж.А., Желтухин А.С., Коробов Е.Д. Сезонная динамика температуры воздуха, снеготпасов и промерзания почвы в центральной части Восточно-Европейской равнины // Лед и Снег. 2017. Т. 57. № 4. С. 518-526.

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ, БЕЗОПАСНОСТИ И РЕСУРСА СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ СЕВЕРА И АРКТИКИ**

*Лепов В.В., Лукин Е.С., Голиков Н.И., Павлов Н.В., Прохоров Д.В.*

Институт физико-технических проблем Севера СО РАН – обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр СО РАН», г. Якутск, [lepov@iptpn.yasn.ru](mailto:lepov@iptpn.yasn.ru)

Современная ситуация в Арктике с каждым сезоном становится острее в результате как политических, так и климатических изменений. И кроме сохранения окружающей среды, остро стоит проблема рационального освоения минеральных и возобновляемых ресурсов, обеспечения эффективной, надёжной и безопасной работы энергетических и транспортных комплексов, сложных технических систем, машин и инфраструктуры портов, посёлков, исследовательских и оборонных баз в Арктике и на Крайнем Севере.

Обеспечение надёжности эксплуатации сложных технических систем в экстремальных климатических условиях Арктики и Субарктики, характерных для северных и центральных районов Республики Саха (Якутия), тесно связано с решением задач своевременной диагностики и мониторинга технического состояния, развития методик натурных испытаний и физического эксперимента, комплекса методов неразрушающего контроля элементов конструкций и узлов машин, алгоритмов вычислительного эксперимента, расчетных средств оценки и продления ресурса.

Для достижения этой цели, необходимо сконцентрировать усилия на двух основных направлениях – транспортная доступность и устойчивое энергоснабжение удаленных населенных пунктов. Оба этих направления затрагивают широкий круг задач, которые необходимо решать.

Важность решения проблемы обеспечения целостности, надёжности, безопасности, а также продления остаточного ресурса сложных технических систем, таких как объекты тепловой и ядерной энергетики, химической промышленности, наземного, надводного, воздушного транспорта, космической техники, промышленной и гражданской инфраструктуры, трубопроводов и резервуаров нефти и газа в регионах с экстремальными условиями эксплуатации обусловлена также высокой вероятностью катастрофических разрушений, вызванных как процессами постепенной деградации структуры и свойств материалов, применяемых на Севере и в Арктике, так и глобальных климатических изменений, таяния мерзлоты.

Как часть обеспечения целостности сложных технических систем, безопасности и надёжности магистральных трубопроводных систем и резервуарных парков в процессе их длительной эксплуатации в арктических и северных регионах, является одной из наиболее важных для страны научно-технических задач. Обеспечить гарантированную безопасность металлоконструкций в экстремальных условиях (высокий уровень рабочих напряжений, низкие температуры, высокий запас упругой энергии деформации и др.) возможно только на основе совершенствования и создания единой научной концепции обеспечения высокого уровня надёжности и хладостойкости металлоконструкций, включая их сварные соединения.

Наряду с обеспечением транспортной доступности, логистической связности территории, немаловажным фактором является строительство электростанций малой мощности вблизи морских портов и крупных месторождений полезных ископаемых в Арктике. Выбор правильных стратегических и технологических решений позволит сделать обновленная Энергетическая Стратегия Республики Саха (Якутия) и Арктики в целом до 2050 года, а также научно-техническое обоснование строительства (и дальнейшей безопасной эксплуатации) как атомных станций малой мощности, так и малых гидроэлектростанций на хорошо изученных реках.

В настоящее время снабжение удаленных районов республики носит сезонный характер и во многом зависит от навигационной обстановки на реках Якутии, и с большинством районов Якутии отсутствует круглогодичное автомобильное сообщение в силу неразвитой сети автодорог, железных дорог и отсутствия мостовых переходов. Проблему северного завоза не решает и эксплуатация Севморпуть, поскольку он тоже носит сезонный характер. Устойчивое энергоснабжение также связано с транспортной доступностью удаленных районов республики.

Таким образом, для эффективного и быстрого освоения удаленных территорий, безопасного развития добывающей и перерабатывающей промышленности, а также повышения обороноспособности страны в условиях мобилизации экономики необходимо обеспечить максимально комфортное проживание и жизнедеятельность человека в экстремальных условиях окружающей среды.

Для достижения поставленной цели необходимо:

- развивать транспортную сеть (круглогодичную сеть автомобильных дорог, ж/д сообщение, авиатранспорт, Севморпуть);
- обеспечить устойчивое энергоснабжение удаленных районов (научно обоснованные проекты атомных станций малой мощности, новых экономических дизельных электростанций, использование возобновляемых источников энергии).

При решении указанных задач, необходимо опираться на научную базу Федерального исследовательского центра «ЯНЦ СО РАН», которая позволит выбрать наиболее оптимальные пути развития региона, как в экономическом, так и в социальном направлении. Академические институты Федерального исследовательского центра могут содействовать решению сложных научно-технических задач, и оказывать научное сопровождение по широкому кругу вопросов, связанных со строительством и эксплуатацией сложных технических систем, добычей и переработкой минерально-сырьевых природных ресурсов, экологического состояния в регионе и многое другое. Заказчиком НИР на первых этапах реализации проектов могут выступать крупные добывающие и перерабатывающие предприятия.

Общепризнана необходимость многоуровневого, многомасштабного подхода при анализе эволюции структуры и свойств в процессе накопления повреждений и разрушения материалов и деградации сложных технических систем, эксплуатируемых в экстремальных условиях Севера и Арктики, а также ограничения применяемых в России и всём мире подходов, основанных на концепции приемлемого риска, механике сплошных сред и теории предельных состояний, привела к разработке нового системно-структурного подхода к анализу многоуровневых процессов различной физической природы. Реализация данного подхода предусматривает проведение комплексных исследований по разработке научных основ повышения эффективности и безопасности использования существующего парка технических систем и крупноразмерных сварных конструкций, продлению их остаточного ресурса в сложных эксплуатационных и климатических условиях Северо-востока России, включая арктический регион, а также по созданию новых материалов и технологий, обеспечивающих новый уровень надежности и работоспособности сложных технических систем в экстремальных условиях окружающей среды.

Основные принципы многоуровневого моделирования разрушения конструкций из материалов с микроструктурой и фазовыми переходами. Многомасштабные методы численного моделирования [1-4] стали популярным инструментом оперирования на нескольких масштабах, и позволили уменьшить степени свободы на основе организации локальных автономных вычислений. Более того, эти методы позволяют получить строгие макроскопические уравнения для многомасштабных задач без разделения решения и строгих ограничений. Сама концепция многомасштабного моделирования появилась в последние десятилетия для описания задач симуляции механического, физического или химического поведения в уровне сплошного тела на основе информации, получаемой из численных моделей на более тонких масштабных

уровнях в системе, не прибегая к эмпирическим конститутивным моделям. Было разработано большое количество методов, использующих множество подходов для связывания пространственных и временных шкал [5-8].

Одной из ключевых концепций многомасштабного моделирования в последние годы является применение различных методов сокращения сложности таких моделей, в частности, применением специальных численных методов для снижения сложности решения физических задач и задаваемых степеней свободы. Однако следует сделать некоторые терминологические замечания. Многоуровневый подход применяется в системном анализе, и связан с понятием уровней (не обязательно чётко разграниченных по масштабам пространства или времени) системы (от греч. целое, составленное из частей; соединение), или совокупности элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, образующих определённую целостность, единство [8]. В данной работе имеется ввиду сложная техническая система (СТС), или человеко-машинная система, например, транспортная, состоящая из трубопроводов, станций, резервуаров, операторов, и т.д., или энергетический комплекс, тепловая электростанция.

Отсюда видны и различия методов многомасштабного моделирования и системно-структурного многоуровневого подхода. Последний как более общий обосновывает разработку методов и моделей, облегчающих анализ и разработку новых технических и человеко-машинных систем, слабо подверженных воздействию неблагоприятных внешних факторов, включая низкие температуры и сезонные колебания климата, а также позволяющих обеспечить целостность и единство, работоспособность и ресурс сложных технических систем, конструкций инфраструктуры в условиях глобального изменения климата и возрастания роли человеческого фактора.

Следующим принципом, требующимся при построении моделей накопления повреждений и разрушения в рамках системно-структурного подхода, является переход количества в качество.

В настоящее время уточнена природа и выявлена общая кинетика низкотемпературного вязко-хрупкого перехода (ductile-to-brittle transition). Гипотеза о в/х переходе как изменении характера решеточных связей с ионных на ковалентные сменилась представлением о структурном фазовом переходе II или III рода, в целом приводящего к изменению внутренней симметрии фононно-дислокационной системы, и снижению энергии активации процесса разрушения [10].

Из принципов относительности, или многоуровневости, и перехода количества в качество вытекает и третий, иерархичности структуры и свойств, или системный, лежащий в основе теории систем и системного подхода в целом. При моделировании в материаловедении учитываются законы сохранения в самых различных формулировках – от самой простой в формулировке Ломоносова-Лавуазье-Майера до наиболее общей в теореме Нётер: любой симметрии системы соответствует свой закон сохранения (массы, энергии, движения, импульса, заряда и др.).

Надёжность и ресурс сложных технических систем, процессы накопления в них повреждений и разрушения элементов конструкций, эксплуатирующихся в экстремальных условиях Севера и Арктики рассмотрены на основе многоуровневого системно-структурного подхода. В отличие от многомасштабного моделирования, многоуровневый метод позволяет абстрагироваться от пространственного масштаба и оперировать с множествами, включая разновременные и мультифизические модели, и основываться на фундаментальных законах, а не на эмпирических аналитических соотношениях, и обеспечивать сшивки различных уровней расчета различными численными моделями и методами. Многоуровневое моделирование применено для физического и численного моделирования кинетики разрушения перспективных для сложных условий эксплуатации материалов, например, модифицированного органического фиброй бетона, устойчивого к сейсмическим воздействиям, и для плотных грунтов в условиях отсутствия влаги, для композитов, льда, дерева.

Удовлетворительное согласие с экспериментальными данными позволяет рекомендовать построение моделей на основе многоуровневого системно-структурного подхода для сложных технических систем, конструкций, опорных сооружений, эксплуатирующихся в экстремальных климатических условиях.

Заключение. Регионы российских Севера и Арктики могут стать полигоном для апробации и тестирования новых технологий и материалов, техники, эксплуатирующейся в экстремальных условиях. В области развития и применения новых материалов и технологий, обеспечения надёжности, безопасности и ресурса сложных технических систем предлагается:

1. Обеспечить комплексное применение современных информационных технологий, ГИС и ДДЗЗ для анализа и оценки риска природно-техногенной безопасности территорий республики, на примере оценки риска наводнений во время весеннего половодья на участках реки Лена, обеспечения безопасного функционирования сложных технических систем в условиях криолитозоны.

2. Создание и совместное участие в Программе развития региона междисциплинарных исследовательских коллективов, состоящих из сотрудников ФИЦ «ЯНЦ СО РАН», институтов СО РАН и УрО РАН, университетов, расположенных в РС(Я), Сибири, Урале и на Дальнем Востоке с привлечением производственных предприятий России, выпускающих станочное, сварочное и энергетическое оборудование, и отечественные марки расходных материалов, а также производственные и промышленные организации, в выполнении проектов, ориентированным на повышение надёжности и безопасности эксплуатации сварных конструкций ответственного назначения, в условиях Севера и Арктики.

3. Организация работы научно-технических советов при Президиуме РАН по направлению «Новые материалы и технологии для работы в экстремальных условиях», «Энергетические комплексы и системы», «Сварка, родственные процессы и технологии», возможна консолидированная работа с комиссией РАН по техногенной безопасности, созданной при Президиуме РАН; Поддержка предложения научно-технической общественности РФ по организации в стране Государственного органа по науке и технике, деятельность которого будет направлена на решение производственных и промышленных задач в области оптимального промышленного освоения Севера и Арктики.

4. Разработать технологические условия для создания испытательных полигонов холодного климата для исследования коррозии и старения металлоконструкций, полимерных изделий, лакокрасочных покрытий, испытаний сварочных материалов и оборудования, крупногабаритных образцов в г. Якутске, Оймяконском районе (п. Томтор и п. Ючюгей), Булуанском районе п. Тикси (морской климат). Разработать совместный проект ИЦ и искать заказчиков для х/д и грантовых исследований.

5. Обратиться в ОУС по физико-техническим наукам Академии наук РС(Я) и научно-технический совет при Главе РС(Я) с просьбой поддержки мероприятий, направленных на научно-технологическое развитие Республики Саха (Якутия), с целью перехода экономики Якутии на новый высокотехнологический уровень путём реализации тесного сотрудничества научно-образовательных и производственных организаций, в том числе в рамках НОЦ «Север: территория устойчивого развития».

6. Рекомендовать министерствам и ведомствам Правительства Республики Саха (Якутия) заинтересовать производственные предприятия и промышленные компании к непосредственному участию в реализации крупных междисциплинарных проектов в качестве индустриальных партнеров с целью внедрения и применения в практике разработок научных коллективов, научно-обоснованного решения существующих производственных проблем, развития фундаментальной и прикладной науки в области сварки и родственных технологий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hughes T.J.R. Multiscale phenomena: Green's functions, the Dirichlet-to-Neumann formulation, subgrid scale models, bubbles and the origins of stabilized methods // *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.* 1995, 127. С. 387-401.
2. Лепов В.В., Архангельская Е.А., Иванова А.А., Лепова К.Я. Многоуровневое иерархическое эволюционное моделирование процессов разрушения материалов // *Вычислительные технологии.* 2008. Т. 13. № 3. С. 315.
3. Lepov V. Multiscale modelling of damage and fracture processes in nanomaterials // *Journal of Physics: Conference Series.* 2011. Т. 291. № 1. С. 012031.
4. Панин В.Е., Егорушкин В.Е. Деформируемое твердое тело как нелинейная иерархически организованная система // *Физическая мезомеханика,* 2011. 3(14). С. 7-26.
5. Weinan E., Engquist B., Huang Z.Y. Heterogeneous multiscale method: a general methodology for multiscale modeling // *Phys. Rev. B* 2003, 67, 092101.
6. D Wang L. et al, The fracture mechanism of softwood via hierarchical modelling analysis. *J Wood Sci* 65, 58 (2019). doi.org/10.1186/s10086-019-1837-x.
7. Fish J., Wagner G.J., Keten S. Mesoscopic and multiscale modelling in materials. *Nat. Mater.* 20, 774-786 (2021). URL: <https://doi.org/10.1038/s41563-020-00913-0>.
8. Лепов В.В., Бисонг С.М., Голых Р.Н. Многоуровневый подход к моделированию процессов разрушения материалов с субмикроструктурой, применимых в условиях Арктики и Субарктики // *Природные ресурсы Арктики и Субарктики,* 2023. 28(1). С. 156-171.
9. Lepov V.V., Arkhanel'skaja Ekaterina, Achikasova Valentina. Kinetics of brittle fracture in metals under the influence of hydrogen // *Procedia Structural Integrity,* 2019. 20. P. 24-29. DOI: 10.1016/j.prostr.2019.12.110.
10. Ачикасова В.С., Лепов В.В. Низкотемпературный вязкохрупкий переход и внутреннее трение // *Природные ресурсы Арктики и Субарктики,* 2015. С.1-15.
11. Лепов В.В., Бисонг С.М., Голых Р.Н. Многоуровневый подход к моделированию процессов разрушения материалов с субмикроструктурой, применимых в условиях Арктики и Субарктики. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики.* 2023. 28(1). С. 156-171.

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СТОКА КОЛЫМЫ В XXI ВЕКЕ

*Лисина А.А.<sup>1,2</sup>, Сазонов А.А.<sup>1,2</sup>, Крыленко И.Н.<sup>1,2</sup>, Калугин А.С.<sup>2</sup>, Фролова Н.Л.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, [lisanasty99@mail.ru](mailto:lisanasty99@mail.ru)

<sup>2</sup>Институт водных проблем РАН, г. Москва

В последние годы для исследования особенностей гидрологического режима и изучения его динамики все чаще применяются современные физико-математические модели формирования речного стока с распределенными параметрами. В качестве объекта исследования в работе выбран бассейн р. Колыма – крупнейший речной бассейн, полностью расположенный в зоне сплошного распространения многолетней мерзлоты. В работе для бассейна Колымы впервые применен ИМК ЕСОМАГ, широко применяющийся для арктических бассейнов в условиях изменяющегося климата [3].

Площадь бассейна р. Колымы составляет 647 000 км<sup>2</sup>, около половины его территории занимает Магаданская область, примерно по четверти приходится на Республику Якутия и Чукотский АО, к Хабаровскому краю относится менее 1% бассейна. Колыма образуется при слиянии рек Аян-Юрях и Кулу, которые берут начало на Нерском плоскогорье. Река имеет протяженность 2129 км и впадает в Колымский залив Восточно-Сибирского моря. В соответствии с орографическими условиями в

бассейне Колымы можно выделить две зоны: к горной местности относятся верхнее и среднее течение, к равнинной – нижнее. Крупнейшими реками бассейна, помимо Колымы, являются р. Омолон (площадь бассейна  $F = 113000 \text{ км}^2$ ), р. Анюй ( $F = 107000 \text{ км}^2$ ), р. Большой Анюй ( $F = 57300 \text{ км}^2$ ), р. Малый Анюй ( $F = 49800 \text{ км}^2$ ), р. Коркодон ( $F = 49800 \text{ км}^2$ ), р. Ясачная ( $F = 35900 \text{ км}^2$ ), р. Березовка ( $F = 28400 \text{ км}^2$ ). Сток р. Колымы зарегулирован Колымским каскадом ГЭС, включающим в себя две ГЭС сезонного регулирования: верхняя ступень – Колымская ГЭС (1894 км от устья) и нижняя ступень – Усть-Среднеканская ГЭС (1678 км от устья).

#### **Материалы и методы исследования**

В работе используется информационно-моделирующий комплекс (ИМК) ЕСОМАГ, представляющий собой пространственно-распределенную модель гидрологического цикла и формирования стока. В основе пространственной структуры ЕСОМАГ лежат отдельные ландшафтные единицы (“элементарные водосборы”), образующие нерегулярную сетку. Подобная схематизация позволяет передать пространственные неоднородности рельефа, почв, типов землепользования и учесть пространственные особенности гидрометеорологических полей [Мотовилов, Гельфан, 2018].

Расчет по модели производился в створах, для которых имелись продолжительные ряды наблюдений: в двух створах на Колыме, Колымское (283 км от устья) и Среднеколымск (641 км от устья), а также на крупном притоке – р. Большой Анюй в створе станции Константиновская. Так как сток Колымы зарегулирован, в модели использовались данные о сбросах воды Колымской ГЭС как условия на верхней границе участка. В качестве входной информации использованы ежесуточные расходы воды в исследуемых створах, взятые из гидрологических ежегодников и с сайта АИС ГМВО [1] за период 1979–2013 гг. Источником ежесуточных данных о температуре воздуха, количестве осадков и дефиците влажности послужили архивы наблюдений 37 метеостанций в исследуемом регионе.

ЕСОМАГ содержит набор физически обоснованных параметров, калибровка которых модели производился вручную путем расчета критерия Нэша-Сатклифа  $R_{NS}^2$ , часто используемого на практике для оценки точности работы модели, и ошибки среднего BIAS, рассчитываемых по формулам:

$$R_{NS}^2 = 1 - \frac{\sum (q_{oi} - q_{si})^2}{\sum (q_{oi} - \bar{q})^2}$$

$$BIAS = \frac{\bar{Q}_f - \bar{Q}_s}{\bar{Q}_f} \cdot 100\%$$

а также с помощью визуального сравнения фактических и смоделированных гидрографов. Значения  $R_{NS}^2$ , превышающие принятое в практике пороговое значение 0,75, и  $|BIAS| < 10\%$ , характеризуют качество расчетов по модели как хорошее. При  $R_{NS}^2$ , находящемся в диапазоне от 0,5 до 0,75, и  $|BIAS|$  от 10% до 15% – как удовлетворительное [2]. При калибровке параметров модели приведенные выше критерии качества рассчитывались для трех створов и усреднялись с учетом веса, пропорционального площади бассейна для каждого створа.

#### **Результаты и выводы**

##### **Воспроизводимость фактических данных моделью ЕСОМАГ**

Расчеты продемонстрировали хорошую воспроизводимость моделью ЕСОМАГ фактических расходов воды (табл. 1) для обоих створов на р. Колыме, гидроствор Колымское и г.Среднеколымск, для которых критерий Нэша-Сатклифа  $R_{NS}^2$  за период верификации составил 0,87 и 0,85 соответственно, ошибка среднего – 1,31% и 1,92% соответственно. Качество расчетов для створа р. Большой Анюй – ГМС Константиновская с меньшей площадью водосбора по принятым грациям оказалось

хуже: удовлетворительным по  $R_{NS}^2$  ( $0,50 \leq \dots < 0,75$ ), хорошим по величине ошибки среднего BIAS (менее 10% по модулю).

Таблица 1 — Значения критериев качества расчета суточного и месячного стока в бассейне р. Колымы для периодов калибровки и верификации

Река – гидропост	Площадь бассейна, тыс.км <sup>2</sup>	Расстояние от устья	Период калибровки 1979–1996 гг.		Период верификации 1997–2013 гг.				
			сутки		месяц		сутки		месяц
			$R_{NS}^2$	BIAS, %	$R^2$	$R_{NS}^2$	BIAS, %	$R^2$	
Колыма – гидропост Колымское	526	283	0,90	1,58	0,94	0,82	1,92	0,85	
Колыма – г. Среднеколымск	361	641	0,87	5,09	0,92	0,84	-1,31	0,87	
Большой Анной – ГМС Константиновская	49,6	67	0,51	5,25	0,87	0,51	7,26	0,79	

Анализируемые ряды расходов воды были разделены на две половины: 1979–1996 гг. и 1997–2013 гг. На рис. 1 для р. Колыма – гидропост Колымское представлены типовые гидрографы, ординаты которых получены как средние расходы воды за каждую дату в среднем для двух периодов.

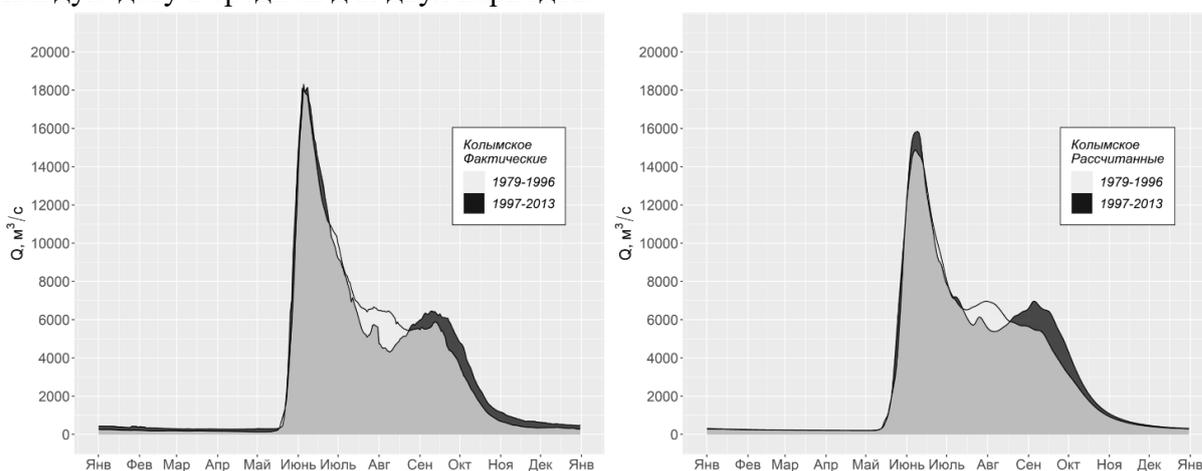


Рис. 1 — Фактические и рассчитанные типовые гидрографы за периоды калибровки (1979–1996 гг.) и верификации (1997–2013 гг.) для р. Колыма – гидропост Колымское

ИМК ЕСОМАГ хорошо воспроизводит изменение объема годового стока: в гидропосте Колымское по результатам расчетов сток увеличился на 5,7% (от 95,6 км<sup>3</sup> до 101,1 км<sup>3</sup>), а по фактическим рядам – на 5,2% (от 99,4 км<sup>3</sup> до 104,5 км<sup>3</sup>). Для створа г. Среднеколымск рассчитанный годовой сток увеличился на 8,3% (от 68,4 км<sup>3</sup> до 74,1 км<sup>3</sup>), фактический – на 15,9% (от 68,6 км<sup>3</sup> до 79,6 км<sup>3</sup>). Для Большого Анюя снижение стока демонстрируют и данные наблюдений (на 9,2% – от 8,8 км<sup>3</sup> до 8,0 км<sup>3</sup>), и расчеты по модели (на 10,8% – от 8,1 км<sup>3</sup> до 7,2 км<sup>3</sup>).

Гидрографы (рис. 1) иллюстрируют хорошую воспроизводимость ИМК ЕСОМАГ следующих внутригодовых изменений стока: смещения волны половодья на более ранние даты, более позднего наступления зимней межени и увеличения стока во второй половине августа – октябре. Однако стоит отметить, что расчеты по ЕСОМАГ несколько искажают изменения максимальных расходов воды. В створе р. Колыма – гидропост Колымское по фактическим данным средние значения максимальных суточных расходов воды снизились на 0,5% (от 18300 м<sup>3</sup>/с до 18200 м<sup>3</sup>/с), тогда как рассчитанные значения для Колымского увеличились на 8,5% (от 14900 м<sup>3</sup>/с до 16100 м<sup>3</sup>/с). Подобные различия между фактическими и смоделированными данными в

гидростворе Колымское для периода верификации связаны, вероятно, с тем, что с 1998 г. перестали производиться измерения скоростей течения в Колымском и значения расходов воды стали восстанавливаться по зависимостям  $Q=f(H)$ . Качество получаемых данных с сети Росгидромета ухудшилось.

#### Оценка возможных изменений стока р. Колыма в XXI веке на основе глобальных климатических моделей

Для оценки отклика стока р. Колыма к климатическим изменениям использованы данные четырёх глобальных моделей (GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR, MIROC5), входящих в проект CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5). Рассматривались четыре сценария антропогенного воздействия - RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0, RCP 8.5 (значения соответствуют радиационному воздействию в Вт/м<sup>2</sup> на верхней границе атмосферы). По сценарным значениям температур воздуха и осадков запущены модель ECOMAG, в результате получены ряды расходов воды Колымы в 2020-2099 гг. (рис. 2 - 4).

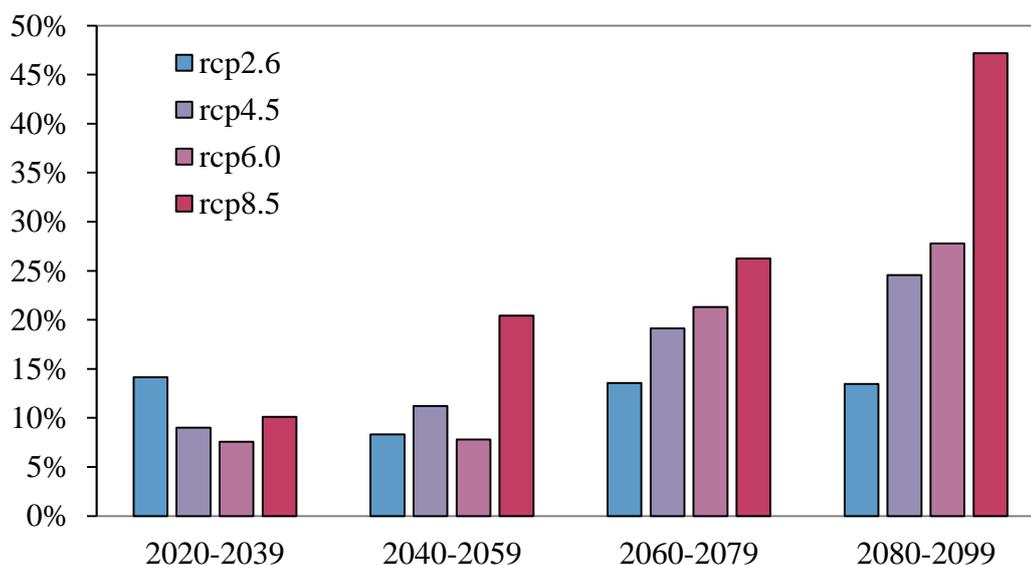


Рис. 2 — Аномалии рассчитываемых значений годового стока для створа р. Колыма – Колымское (в % относительно текущих 109 км<sup>3</sup> или 3460 м<sup>3</sup>/с).

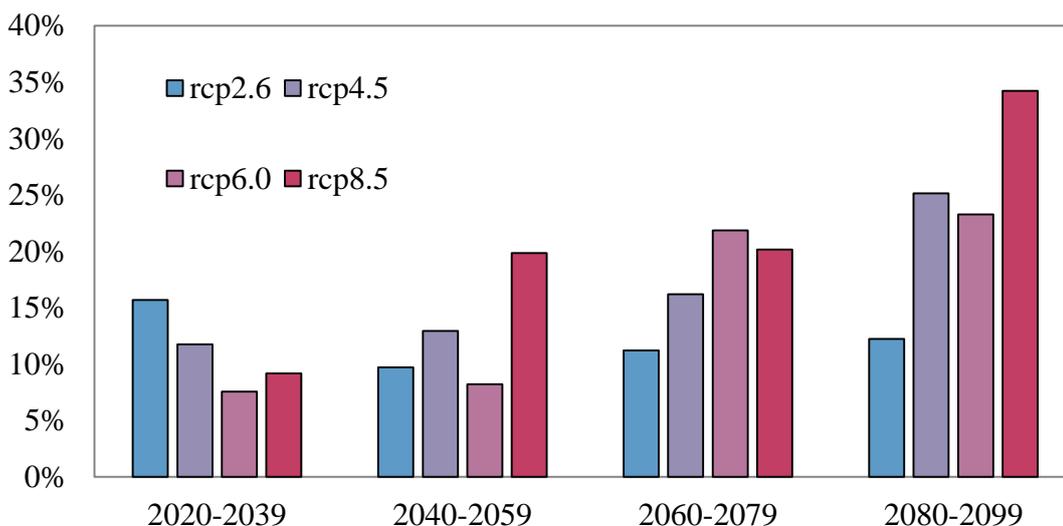


Рис. 3 — Аномалии рассчитываемых значений стока в летне-осенний период для створа р. Колыма – Колымское (в % относительно текущих 43,5 км<sup>3</sup> или 5070 м<sup>3</sup>/с).

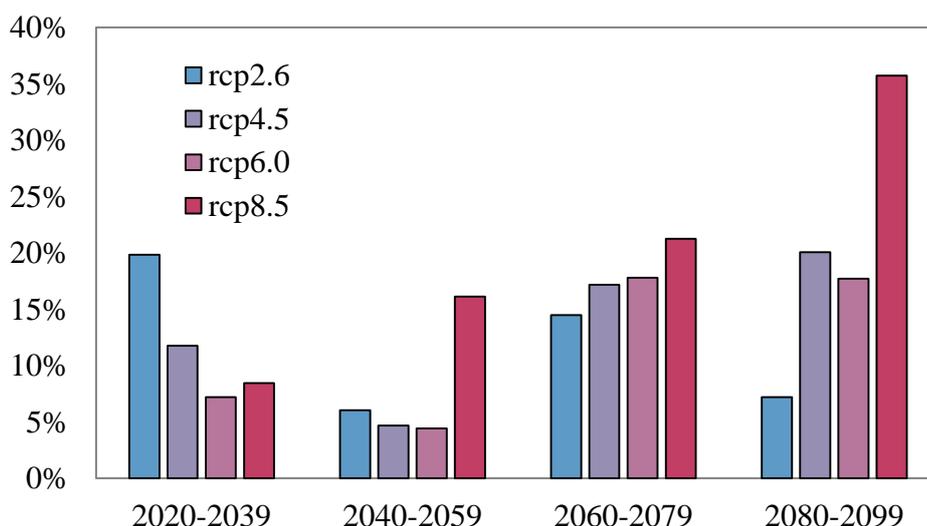


Рис. 4 — Аномалии рассчитываемых значений максимального расхода воды для створа р. Колыма – Колымское (в % относительно текущих 23200 м<sup>3</sup>/с).

При рассмотрении сценария RCP 4.5, как наиболее вероятного, сток Колымы относительно текущих 109 км<sup>3</sup> возрастет в 2020-2039 гг. на 9%, к 2040-2059 гг. – на 11%, к 2060-2079 гг. – на 19%, к концу века – на 25%. При этом сток в летне-осенний период и объем половодья вырастут к концу века также примерно на четверть.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23-77-01097 - оценка изменений будущего стока) и темы FMWZ-2022-0001 Государственного задания ИВП РАН (моделирование стока за исторический период).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) [Электронный ресурс]: URL: <https://gmvo.skniivh.ru> (дата обращения 01.08.2023).
2. Мотовилов Ю.Г., Гельфан А.Н. Модели формирования стока в задачах гидрологии речных бассейнов. М: Российская академия наук. 2018. 296 с.
3. Gelfan A., Motovilov Y., Krylenko I., Moreido V., Zakharova E. Testing the robustness of the physically-based ECOMAG model with respect to changing conditions // Hydrological Sciences Journal. 2014. 60 (7-8). P. 1266-1285.

## ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ В ИСТОРИИ «СМУТНОГО ВРЕМЕНИ» РУССКОГО ГОСУДАРСТВА В XVII ВЕКЕ

Лобанов К.В., Чичеров М.В.

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии  
ИГЕМ РАН, г. Москва, lobanov@igem.ru

**Царь Борис Годунов.** В 1598 году, после смерти сына Ивана Грозного, Фёдора Иоанновича, последнего царя из династии Рюриковичей, царём всея Руси стал позже забытый и оклеветанный, но поистине великий - Борис Годунов! Он не просто взойдёт на трон законно, он станет единственным царём во всей истории России, «утверждённым всей землёй» [1, 3].

Борис Годунов – это законный русский царь из второй русской династии Годуновых, которая вклинилась в эпоху правления Рюриковичей, правда, в самый момент ее заката. Он стал царем после смерти Федора Иоанновича, и проправил страной всего 8 лет, после чего царем стал его наследник - царевич Федор, а после того, как бояре его убили, династия Рюриковичей воцарилась на Руси снова, только в лице царя Василия Шуйского.

После смерти Ивана Грозного в 1584 году российский трон принял его сын Федор Иоаннович, а уже в следующем году Годунов получил единоличную власть (рис. 1, 2). Новый царь не имел желания к управлению государством, и он с радостью отдал все свои фактические полномочия своему ставленнику, то есть, главному над всеми, кроме царя.



Рис. 1 – Царь Федор Иоаннович надевает на Бориса Годунова золотую цепь



Рис. 2 – Царь Борис Годунов

Годунов оставался в этой должности целых 13 лет, и за эти годы он сделал для государства больше, чем сделал сам Иван Грозный, при этом он без всякого кровавого насилия, свойственного всем предыдущим царям России начиная с Ивана III. На посту он пробыл с 1585 года по 1598 год. Естественно, первой кандидатурой на должность царя и стал Годунов, так как за все предыдущие годы он сделал все, чтобы на все важные должности в государстве посадить своих людей [1].

Борис Годунов придал полностью независимый статус Московской церкви, потому что русская Киевская метрополия, обосновавшаяся в Москве еще с XIV века, юридически подчинялась Константинополю. Назначив Московским патриархом московского митрополита, Годунов вывел Московскую церковь на один международный уровень с Ватиканом, подтвердив статус Русского государства как «Третьего Рима», после которого «четвертому не бывать». Были пересмотрены негативные для России результаты Ливонской войны. В 1590 году Годунов отнял у шведов всё, что к ним отошло в 1583-м, включая и значительную часть побережья Балтийского моря. Началось широкомасштабное освоение диких раньше территорий

на юге и востоке Евразии. Для начала русские войска нанесли ряд поражений Крымскому ханству, и на всем юге России воцарился мир, нарушенный татарами. Окончательно было разгромлено Сибирское ханство.

Были присоединены новые земли на южных границах и в Сибири, и основаны города: Воронеж (1585); Ливны (1586); Самара (1586); Белгород (1586); Тюмень (1586); Тобольск (1587); Царицын (1589); Саратов (1590); Елец (1592), Сургут (1594); Обдорск (1595); Надым (1598.); Мангазея (1601); Томск (1604). Возведены крепостные стены «Белого города» длиной 9,5 км в Москве и в Смоленске - 6,5 км [3].

Годунов понимал, что Россия во многих отношениях отстает от Европы в культурном отношении, и он, был первым русским правителем, который начал разрушать изоляцию страны. Было приглашено множества самых разных иноземных специалистов в самых разных сферах. Он собрался открывать в России университет с помощью приглашенных из Европы профессоров. Всю страну наводнили европейские архитекторы, которые занимались обустройством новых городов, и осуществляли новую застройку старых. При Годунове был построен первый в России водопровод, который стал образцом для создания подобных сооружений по всей империи.

Много еще полезного сделал Годунов для России в при своем властвования, но еще гораздо большие планы у него появились, когда он, наконец, стал царем Всея Руси в 1598 году. Он еще больше расширил пределы миграции всех нужных государству людей из Европы. В Россию валом валили с Запада купцы, врачи, промышленники, военные, множество ученых людей. Они получали хорошие должности, высокое жалование, земли с крестьянами и прочие подобные вознаграждения.

Открытие Руси Западу не понравилось церкви. Годунов построил множество церквей и храмов, пытаясь задобрить духовенство. Но она боялась того, что вместе со знанием, культурой и прочими новшествами на Русь придут и всяческие ереси. Как только Годунов стал царем, началось усиливаться противодействие его нововведениям, с которым следовало бороться самыми радикальными мерами [1].

Борис Годунов имел все возможности сделать то, что через 100 лет после него начал делать Петр I, но гораздо более жестокими методами. Однако он недооценил коварство духовенства, которое дождалось своего часа в 1601 году, когда на страну обрушился неурожай. Годунов собирался организовать рекрутский набор в армию по западному образцу и строить русский флот в Архангельске. К сожалению, осуществить эти планы помешали катастрофические геологические изменения климата начала XVII века.

**Геологические факторы начала «Смутного времени» в Русском государстве.** Неурожай - это не такое редкое явление в истории Русского государства. Однако неурожай 1601 года был вызван совершенно иным событием - извержением вулкана Уайнапутина в Испанском Перу 19 февраля 1600 года, которое продолжалось до 6 марта (рис. 3). В результате извержения в атмосферу Земли на высоту до 35 километров было выброшено около 30 кубокилометров пепла. Пепел, разнесенный воздушными потоками в атмосфере, резко снизил количество солнечного света, достигавшего поверхности Земли. В ходе извержения вулкана вместе с пеплом в атмосферу также попали соединения серы, образующие в воздухе аэрозоли, небольшие частички вещества, которые находятся в газовой среде или атмосфере. Серные соединения и пепел, попадая в верхние слои атмосферы, отражают солнечное тепло, и оно не доходит до Земли - получается эффект парниковых газов только наоборот [5]. Таким образом, недополучая часть тепла, температура на поверхности Земли понижается, вегетационный сезон сокращается, а значит крестьяне не успевают вырастить урожай.

Поскольку вулкан Уайнапутина находится вблизи экваториальной зоны, выбросы из него постепенно распространились на огромные расстояния, в том числе в

северном полушарии. Следы пепла и других вулканических пород, вылетевших из жерла Уайнапутины, были найдены в Гималаях, Антарктиде, Тибете, Гренландии [6]. В разных местах мира выпали кислотные дожди.

Последствия извержения коснулись не только Американского континента, но и стали причиной череды катастроф и катаклизмов природного и связанного с ним социально-экономического свойства по всему земному шару [5]. Летние заморозки в последующие несколько лет погубили зерновые, вызвав массовый голод и мор населения Евразии (рис. 4).

Установлено, что где-то с конца XIII - начала XIV на Земле был Малый ледниковый период - общее похолодание, и извержение перуанского вулкана резко усилило этот процесс. Судя по древесным кольцам, можно говорить о страшных морозах, во многих местах зима 1600-1601 года была самой холодной за много веков [1]. Температура зимой в Западной Европе была до  $-30^{\circ}\text{C}$ , а в Центральной части России -  $40-50^{\circ}\text{C}$ , в Арктической зоне -  $60^{\circ}\text{C}$ .



Рис. 3 – Вулкан Уайнапутина (Перу)



Рис. 4 – Зимний пейзаж с льдинами 1608. Худ. Хендрик Аверкам

В 1601 году волна вулканического пепла добралась до Европы, но больше всего проблем причинила европейской части России. Между вулканом и Москвой около 13 тысяч километров (рис. 5). Вряд ли кто-то в Московском государстве в начале XVII века знал о существовании Перу, не говоря уже о существовании этого вулкана.

Весною 1601 года небо омрачилось густой тьмой, и весь год, а также следующий год до 27 июля из-за высотного дыма солнце и луна были красноватые, бледные и без блеска. Дожди лили в течение десяти недель непрерывно так, что сельские жители пришли в ужас: не могли ничем заниматься, ни косить, ни жать. Мороз ударил в Москве 28 июля. 15 августа Москва-река замерзла, по Чёрному морю в Константинополь ездили на санях. В сентябре выпадало много снега, не оставляя урожаю ни малейшего шанса, образуя устойчивый снежный покров, как зимой [2].

Так начался один из самых трагичных эпизодов истории Смутного времени - «Великий голод». 10 октября замерз Днепр как зимой. Цена хлеба увеличилась в 100 раз. Страну охватили сильнейшие неурожаи, голод, чума. Летом 1602 года снова ударил мороз и опять погубил посевы. Летом неоднократно шли снегопады. В первой половине года цены на рожь подскочили в 6 раз. 1603 год по сравнению с 1601 годом цены на хлеб подскочили в 18 раз. В 1604 году «По ночам на небе появлялось грозное сверканье, как если бы одно войско билось с другим, и от него становилось так светло и ясно, как будто взошел месяц... Много раз поднимались днем невиданные бури, которые сносили башни городских ворот и кресты со многих церквей...». Дождливое лето. «На Москве среди лета выпал снег великий, и мороз был, в санях ездили» [3].

В течение трех лет (1601-1604 годы) заморозки на территории Российского государства не прекращались ни летом, ни осенью. В братских могилах одной лишь столицы Российского Царства - Москве было похоронено не менее 127 тысяч при численности населения города 100 тысяч человек (рис. 6). Всего от голода погибло по некоторым оценкам до 2 миллионов человек (при общей численности населения 6 миллионов) [3, 4].

Недовольство народа привело к ослаблению государственной власти и запустило череду событий, приведших к Великой Смуте и поставивших на грань уничтожения само Русское государство.

Стремясь разрешить ситуацию, царствующий в то время Борис Годунов приказал раздавать нуждающимся хлеб и деньги. Поскольку нуждающихся было крайне много, а четкой процедуры реализации решения не было, это лишь усилило бедствие - началась дезорганизация и произвол.



Рис. 5 – Карта мира с вулканом и Русское государство



Рис. 6 – Раздача хлеба голодающим в Москве

Государственных запасов не хватило даже на один год. Временно был восстановлен «Юрьев день» – разрешение на переход крестьян от одного феодала к другому. Помещики, не имея средств к содержанию холопов и слуг, часто массово изгоняли их из поместий. Грабежи и разбой процветали [3]. Когда голод повторился на второй год - в народе пошла молва, что это Бог не благословляет Бориса Годунова на царствование. При этом церковь, недовольная правлением Годунова, поддерживала эти слухи.

Русь стала стремительно обезлюдеть - многие сотни тысяч умерли от голода, еще больше просто бежали из страны туда, где можно было спастись. За три года экономика государства развалилась, начались всякие бунты и восстания, царь и его бояре буквально потеряли над Россией контроль. Россию постигает беда, какой не помнили ни деда, ни прадеды. Деньги потеряли цену, а хлеб подорожал в 100 раз. К голоду присоединилась холера. Ели кошек, собак, мышей. Началось людоедство.

Конфисковать у Церкви и знати хлеб Годунов не решился, хотя и запретил продавать хлеб дороже определённого предела и преследовал тех, кто поднимал цены, но безуспешно. Он также приказывал раздавать бедным деньги, чтобы они могли купить у знати и в монастырях хлеб, которого в стране было более чем достаточно. Однако бояре и монастыри отказывались отдавать хлеб. Они придерживали хлеб, желая продать его дороже и максимально нажиться на голоде. Годунова, пытающегося регулировать цены, они ненавидели всё больше и больше [1].

Голод и резкое усиление крепостного гнёта привели к развитию повстанческого движения. Народный бунт было уже не погасить. Годунов лишился своей единственной верной поддержки - народной любви. Голод уменьшился осенью 1604 года благодаря первому хорошему урожаю. Но Россию подстерегала новая беда.

Уже в октябре 1604-го человек, называющий себя царевичем Дмитрием, с большим войском, состоящим из поляков и казаков, вступил в пределы Русского государства.

Вся эта беда настолько подорвала здоровье Годунова, что в начале 1605 года он умер, а его сына, который взошел на трон, убили заговорщики. Началась Великая Смута, которая в итоге привела к вторжению в Россию поляков и шведов и чуть не стала концом для всего Государства Российского.

Эпоха Годунова завершилась. Россия упустила блестящий шанс без смут и потрясений задолго до многих других европейских государств стать просвещённой монархией, динамично развивающейся современной державой. Столетие спустя, когда из-за Смуты Россия экономически и политически сильно отстанет от своих соседей, Пётр Первый продолжит дело Годунова. Он будет жёстко, сурово ломать старую Русь, чтобы реформировать её по европейскому образцу.

**Выводы.** Борис Годунов был фактическим руководителем Русского государства 13 лет при Федоре Иоанновиче, 8 лет - царем, и сделал больше, чем Иван Грозный, без всякого кровавого насилия, свойственного всем предыдущим царям России, начиная с Ивана III. Годунов не просто взошел на трон законно, он стал единственным царём во всей истории России, «утверждённым всей землёй».

Россия, в связи с колоссальным природным катаклизмом - извержением вулкана, оказавшим влияние на всю планету Земля, упустила шанс без смут и потрясений задолго, до многих других европейских государств, стать просвещённой монархией, динамично развивающейся державой. Пётр Великий продолжит дело Бориса Годунова и осуществит все намеченные реформы. Он будет жёстко, сурово ломать старую Русь, чтобы реформировать её и стремиться к сближению с Европой.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боханов А.Н. Борис Годунов. М.: «Вече», 2012. 352 с
2. Буссов Конрад. Московская хроника. 1584-1613 гг. / Пер. и комм. И. И. Смирнова. - М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1961. - 400 с.
3. Козляков В.Н. Борис Годунов: Трагедия о добром царе. М.: «Молодая гвардия», 2011. 320 с.
4. Морозова Л.Е. Два царя: Фёдор и Борис: канун смутного времени. М.: ООО «Русское слово», 2012, 413 с.
5. Thouret, J.-C.; Juvigné, E.; Gourgaud, A.; Boivin, P.; Davilla, J. Reconstruction of the AD 1600 Huaynaputina eruption based on the correlation of geologic evidence with early Spanish chronicles (англ.) // Journal of Volcanology and Geothermal Research: journal. 2002. 30 June (vol. 115, no.3-4). P. 529-570.
6. Verosub, K. L.; Lippman, J. Global Impacts of the 1600 Eruption of Peru's Huaynaputina Volcano (англ.) // Eos Trans. AGU: journal. 2008. 8 April (vol. 89, no. 15). P. 141-148.

## ВЫСОКОРАЗРЕШАЮЩЕЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ И ТЕРМОХАЛИННОЙ СТРУКТУРЫ КАРСКОГО МОРЯ И ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНОГО ЗАДАНИЯ РЕЧНОГО СТОКА В МОДЕЛИ

*Мартьянов С.Д.*

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, [martyanov.sd@gmail.com](mailto:martyanov.sd@gmail.com)

Одной из ключевых особенностей Карского моря является интенсивный речной сток, достигающий  $1350 \text{ км}^3$  пресной воды в год [1]. Эти речные воды существенно влияют на плотностную стратификацию верхних слоев Карского моря. Помимо формирования специфической плотностной стратификации, реки приносят в море растворенные и взвешенные органические и неорганические вещества, что существенно влияет на функционирование морской экосистемы.

Детальные исследования приливной динамики в Карском море, проведенные в [2] с использованием региональной численной модели высокого разрешения, уточнили структуру поверхностного и внутреннего прилива  $M_2$ , оценили бюджет баротропной и бароклинной приливной энергии и вклада приливов в формирование климатических характеристик Карского моря. Многолетняя изменчивость Карского моря изучалась также с использованием другой региональной модели высокого разрешения в условиях реалистичного внешнего воздействия в работе [3] с целью исследовать взаимосвязь между первичной продукцией фитопланктона и морским льдом в Баренцевом и Карском морях в период 1966–2005 гг.

Настоящее исследование посвящено изучению влияния речного стока на циркуляцию, термохалинную структуру и ледовый режим Карского моря на основе разработанной региональной модели океана высокого разрешения.

В настоящей работе использовалась региональная численная модель Карского моря высокого разрешения (KASM), основанная на модели общей циркуляции Массачусетского технологического института MITgcm [4]. Являясь региональной реализацией MITgcm, KASM была специально настроена для условий Карского моря с учетом его региональных особенностей, таких как изрезанная береговая линия, множество мелких островов и проливов, мелководность региона, наличие толстого морского льда в море зимой, а также большой приток речных вод. Горизонтальное разрешение KASM составляет в среднем по домену 1.5 км. Вертикальное разрешение KASM составляет 2–5 м в верхних слоях и увеличивается до 50 м в самых глубоких слоях. Поле глубин было взято из базы данных GEBCO и интерполировано в модельную сетку KASM. В расчетах шаг по времени составлял 60 секунд, при этом использовалась неявная схема по времени, реализованная в MITgcm. Расчеты были выполнены и проанализированы для периода 2012–2021 гг.

На твердых границах задавались условия прилипания и непроницаемости для тангенциальной и нормальной составляющих скорости течения и морского льда соответственно. Для всех трассеров были установлены нулевые потоки на твердых границах. Потоки тепла и влаги между океаном и атмосферой рассчитываются в модели на основе параметризаций [5], учитывающих возможное наличие морского льда и снега. Кроме того, использовались данные океанского реанализа MERCATOR [6] для задания начальных условий и задания условий на открытых боковых границах. Атмосферное воздействие задавалось с использованием данных атмосферного реанализа ERA5. Воздействие речного стока задавалось в KASM с использованием данных из различных источников, а именно: среднемесячных климатических расходов рек из базы данных R-ArcticNET и среднесуточных данных расхода рек из базы данных GloFAS [7].

Для калибровки и верификации KASM использовались данные натуральных измерений температуры и солености воды в виде вертикальных профилей, представленные в базе данных UDASH [8], а также спутниковые данные с горизонтальным разрешением  $0.05^\circ \times 0.05^\circ$  из базы данных Copernicus Climate Change Service о температуре поверхности океана (SST) и сплоченности морского льда (SIC).

Расчеты показали, что модель успешно воспроизводит региональные особенности гидрофизических характеристик Карского моря (рис. 1–3), принимая во внимание сложность динамических и термохалинных процессов в Карском море и тот факт, что в KASM не используются какие-либо методы ассимиляции или релаксации к наблюдаемым значениям.

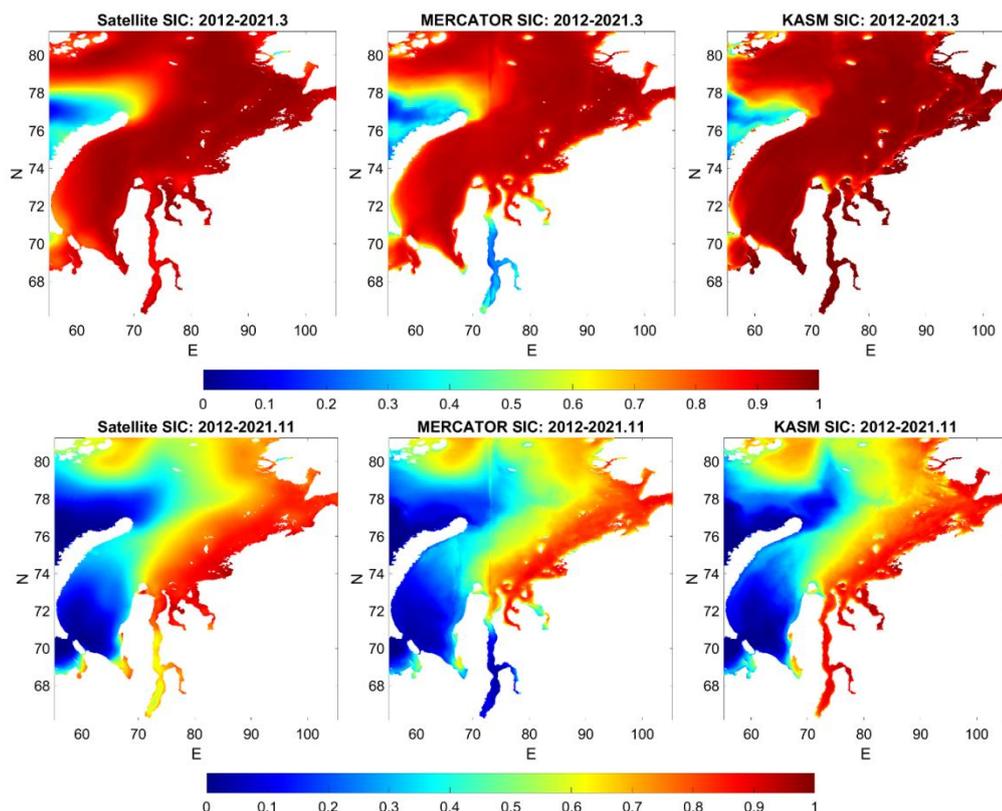


Рис. 1 – Сравнение среднемесячных значений сплоченности льда (SIC) в марте и ноябре за период 2012–2021 гг., полученных с помощью спутниковых измерений (слева), океанского реанализа MERCATOR (в центре) и региональной модели KASM (справа)

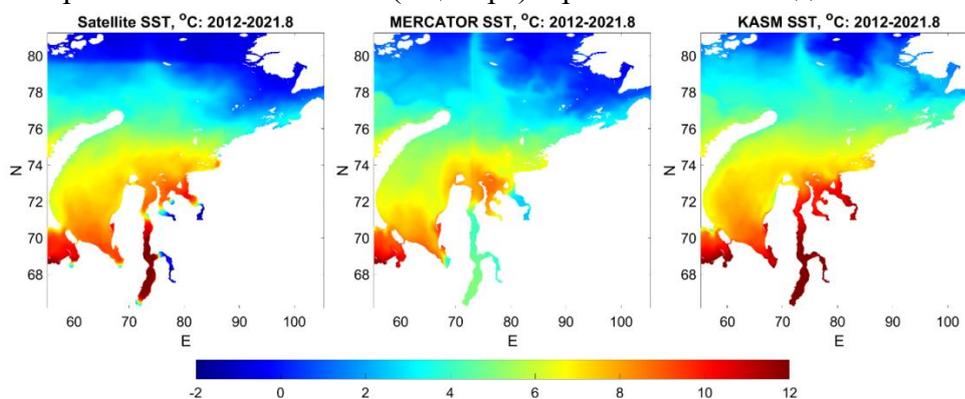


Рис. 2 – Сравнение среднемесячных значений ТПО (SST) в августе за период 2012–2021 гг., полученных с помощью спутниковых измерений (слева), океанского реанализа MERCATOR (в центре) и региональной модели KASM (справа)

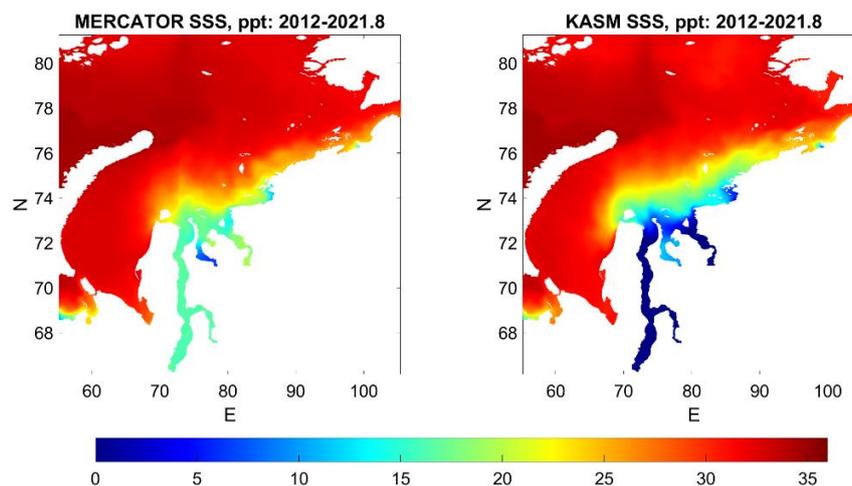


Рис. 3 – Сравнение среднемесячных значений солёности на поверхности моря (SSS) в августе за период 2012–2021 гг., полученных с помощью океанского реанализа MERCATOR (слева) и региональной модели KASM (справа)

Как видно из рис. 1, KASM реалистично воспроизводит пространственное распределение сплоченности морского льда в Карском море. Основываясь на сравнении со спутниковыми данными, можно сделать вывод, что результаты KASM более адекватно воспроизводят распределение льда по сравнению с результатами глобального реанализа океана MERCATOR, несмотря на то что в последнем используется продвинутая система ассимиляции данных наблюдений. Особенно это касается распределения морского льда в Обской губе, где он практически отсутствует в океанском реанализе в течение всего года, что представляется явно ошибочным результатом, который может быть вызван некоторыми свойствами глобальной трехполюсной сетки модели GLORYS12. Кроме того, региональная модель KASM гораздо лучше отражает распределение морского льда в Енисейском заливе. Таяние морского льда, происходящее в мае–июле, также лучше воспроизводится в KASM, чем в глобальной модели (не показано на рисунках).

Как и в случае концентрации льда, пространственное распределение ТПО также лучше представлено в результатах KASM по сравнению с глобальной моделью (рис. 2).

Пожалуй, самым значительным отличием результатов KASM от океанского реанализа является распределение солёности поверхностного слоя (SSS, рис. 3) в районе наиболее интенсивных источников поступления пресной воды в Карское море. По данным реанализа MERCATOR, SSS в этих регионах составляет около 25–30 ‰ в январе–марте и ноябре–декабре, а в тёплый период (май–сентябрь) снижается до 15–17 ‰. По данным натурных наблюдений известно, что в самой северной части Обской губы солёность составляет всего около 4–12 ‰, а в районах южнее большая часть воды практически пресная [9]. Это хорошо согласуется с результатами KASM, которое правильно отражает внутригодовой цикл притока пресной воды в Карское море (рис. 3).

В рамках настоящей работы модель KASM была откалибрована и настроена для реалистичного моделирования не только горизонтального распределения основных гидрофизических характеристик (рис. 1–3), но и их вертикальной структуры. Сравнение результатов KASM с данными океанического реанализа, а также с измерениями температуры и солёности, полученными из архива UDASH, показано на рис. 4. Вертикальные профили температуры и солёности воды, демонстрируют, что в большинстве случаев KASM воспроизводит вертикальную структуру соответствующих полей лучше, чем модель глобального океана GLORYS12, лежащая в основе океанского блока реанализа MERCATOR.

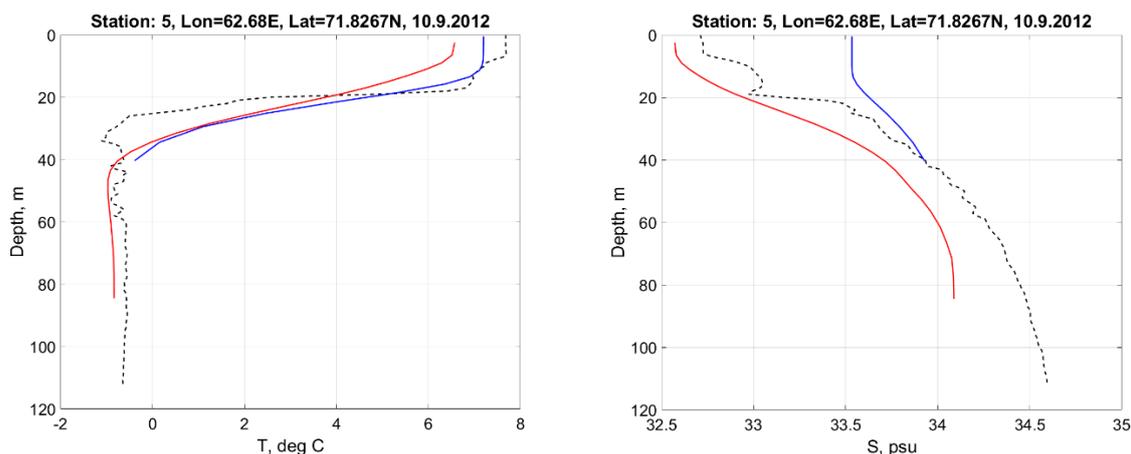


Рис. 4 – Вертикальные профили температуры воды  $T$  (слева) и солёности  $S$  (справа) по данным измерений, взятым из базы данных UDASH (черная пунктирная линия), по данным океанского реанализа MERCATOR (сплошная синяя линия) и по результатам региональной модели KASM (сплошная красная линия)

По сравнению с рядом других исследований Карского моря, где речной сток задавался в моделях только как среднемесячные климатические значения или не задавался вообще, в настоящей работе было выполнено сравнение результатов расчетов, выполненных для относительно длительного временного периода (10 лет), где речной сток задавался как в виде климатологического среднемесячного, так и в виде среднесуточного. Соответствующие результаты в виде вертикальных профилей представлены на рис. 5.

Таким образом, из рис. 5 можно сделать вывод, что использование среднесуточного речного стока дает, в целом, несколько лучшее модельное решение, которое ближе к наблюдаемому вертикальному распределению температуры и солёности. Преимущества включают в себя более резкий модельный термоклин и галоклин. Этот результат соответствует выводам, полученным в недавнем исследовании влияния несезонного речного стока на солёность поверхности моря [10]. Кроме того, результаты, полученные в настоящей работе, также хорошо согласуются с выводами, представленными в [11] о преимуществах использования неклиматического речного стока в океанских моделях.

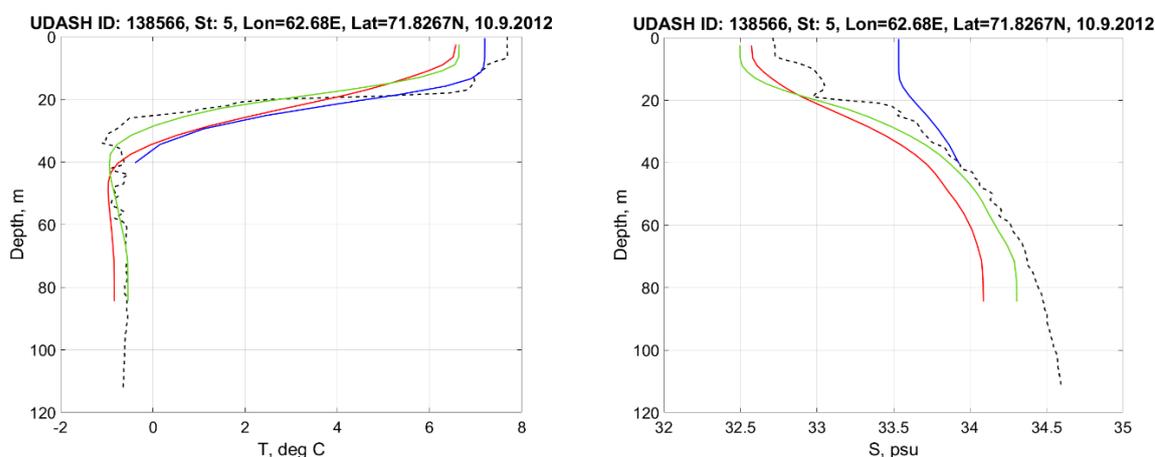


Рис. 5 – Вертикальные профили температуры воды  $T$  (слева) и солёности  $S$  (справа) по данным измерений, взятым из базы данных UDASH (черная пунктирная линия), по данным океанского реанализа MERCATOR (сплошная синяя линия) и по результатам региональной модели KASM, в которой использовался среднемесячный климатический (сплошная красная линия) и среднесуточный (сплошная зеленая линия) речной сток

Таким образом, кратко описанные здесь результаты позволяют сделать вывод, что разработанная региональная модель KASM является полезным инструментом для изучения региональной термохалинной структуры и ледового режима Карского моря в масштабах от дней до лет.

*Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания по теме FMWE-2021-0014 (ИО РАН).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pavlov V.K., Pfirman S.L., “Hydrographic Structure and Variability of the Kara Sea: Implications for Pollutant Distribution,” *DeepSea Res. Part II* 42 (6), 1369–1390 (1995).
2. Kagan, B.A., Timofeev, A.A. (2017). Simulation of surface and internal semidiurnal tides in the Kara Sea. *Izv. Atmos. Ocean. Phys.* 53, 233–241. <https://doi.org/10.1134/S0001433817020050>.
3. Martyanov S. D., Dvornikov A. Yu., Ryabchenko V. A., Sein D. V., Gordeeva S. M.: Investigation of the relationship between primary production and sea ice in the arctic seas: assessments based on a small-component model of marine ecosystem. *Fundamentalnaya i Prikladnaya Gidrofizika*. 2018, 11, 2, 108—117. doi: 10.7868/S2073667318020107
4. Marshall, J., A. Adcroft, C. Hill, L. Perelman, and C. Heisey, A finite-volume, incompressible Navier-Stokes model for studies of the ocean on parallel computers, *J. Geophys. Res.*, 102(C3), 5753–5766, 1997.
5. Parkinson, C.L., Washington, W.M. (1979). A large-scale numerical model of sea ice. *J. Geophys. Res.*, 84(C1), 311–337. doi:10.1029/JC084iC01p00311
6. Jean-Michel L, Eric G, Romain B-B, Gilles G, Angélique M, Marie D, Clément B, Mathieu H, Olivier LG, Charly R, Tony C, Charles-Emmanuel T, Florent G, Giovanni R, Mounir B, Yann D and Pierre-Yves LT (2021) The Copernicus Global 1/12° Oceanic and Sea Ice GLORYS12 Reanalysis. *Front. Earth Sci.* 9:698876. doi: 10.3389/feart.2021.698876
7. Zsoter, E., Harridans, S., Barnard, C., Wetterhall, F., Ferrario, I., Mazzetti, C., Alfieri, L., Salamon, P., Prudhomme, C. (2021): River discharge and related historical data from the Global Flood Awareness System. v3.1. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). DOI: 10.24381/cds.a4fdd6b9 (Accessed on 27-01-2022)
8. Behrendt, A., Sumata, H., Rabe, B., and Schauer, U.: UDASH – Unified Database for Arctic and Subarctic Hydrography, *Earth Syst. Sci. Data*, 10, 1119–1138, <https://doi.org/10.5194/essd-10-1119-2018>, 2018.
9. Ilyin, G.V. (2018). Hydrological conditions of the Ob Bay as new area of maritime wildlife management in the Russian Arctic. *Science in the South of Russia*, 14 (2), 20–32. DOI: 10.23885/2500-0640-2018-14-2-20-32. (in Russian).
10. Chandanpurkar, H. A., Lee, T., Wang, X., Zhang, H., Fournier, S., Fenty, I., et al. (2022). Influence of nonseasonal river discharge on sea surface salinity and height. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 14, e2021MS002715. <https://doi.org/10.1029/2021MS002715>.
11. Feng, Y., Menemenlis, D., Xue, H., Zhang, H., Carroll, D., Du, Y., Wu, H. (2021). Improved representation of river runoff in Estimating the Circulation and Climate of the Ocean Version 4 (ECCOV4) simulations: implementation, evaluation, and impacts to coastal plume regions, *Geosci. Model Dev.*, 14, 1801–1819, <https://doi.org/10.5194/gmd-14-1801-2021>.

## ДИСТАНЦИОННАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НЕФТЕГАЗОВЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ ЯНАО В 2019-2022 ГГ.

Морозова А.Э.<sup>1,2</sup>, Сизов О.С.<sup>1</sup>, Миронова М.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, г. Москва, anmmorozova@strelka-kb.com

<sup>2</sup> ООО КБ «Стрелка», г. Москва

Качество атмосферного воздуха – один из основных факторов природной среды, который оказывает непосредственное влияние на здоровье человека. В настоящее время регулярные мониторинговые наблюдения за содержанием в атмосферном воздухе загрязняющих веществ нефтегазовых городах почти не осуществляются. Вместе с тем за последние годы значительно расширились возможности дистанционных наблюдений за состоянием атмосферы. В этом отношении одним из наиболее перспективных инструментов для дистанционных исследований химического состава атмосферы Земли является спектрометр TROPOMI (Tropospheric Monitoring Instrument), установленный на спутнике Sentinel-5P.

С помощью спектрометра TROPOMI впервые выполнена дистанционная оценка концентрации метана (CH<sub>4</sub>), диоксида азота (NO<sub>2</sub>) и диоксида серы (SO<sub>2</sub>) (рис.1-3) в атмосфере населенных пунктов нефтегазового профиля, расположенных в пределах Ямало-Ненецкого автономного округа за 2019-2022 гг.

Наиболее высокие уровни загрязнения атмосферы наблюдаются вблизи промышленных центров и крупных городов (Новый Уренгой, Салехард и Надым). Выявлено повышенное загрязнение вдоль газопроводов (вблизи компрессорных станций). Максимальные усредненные значения содержания диоксида азота зафиксированы в Новом Уренгое (1,34 моль/м<sup>3</sup>, пики загрязнения отмечаются в зимние месяцы).

Повышенные концентрации диоксида серы обнаружены в поселках городского типа. Наиболее высокие усредненные значения зафиксированы в Старом Надыме (20,35 моль/м<sup>3</sup>).

Максимальное содержание метана (1866,2 ppb) зафиксировано в Новом Уренгое. Городской воздух в целом имеет повышенное содержание метана. Тем не менее, очаги распространения метана отмечаются и за пределами городов, что может быть следствием глобального потепления.

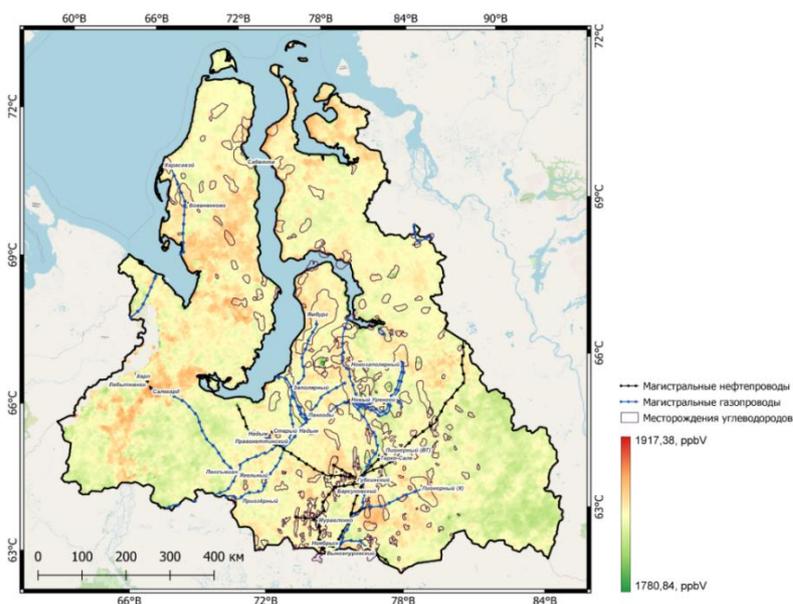


Рис. 1 – Пространственное распределение CH<sub>4</sub> в 2021 году в 2019 году над ЯНАО

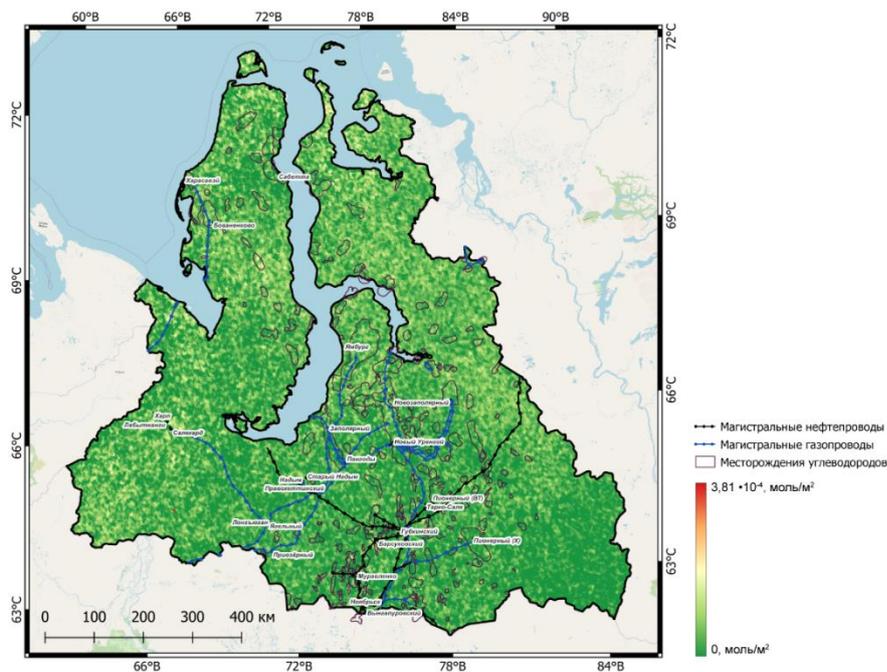


Рис. 2 – Пространственное распределение  $\text{SO}_2$  в 2019 году над ЯНАО

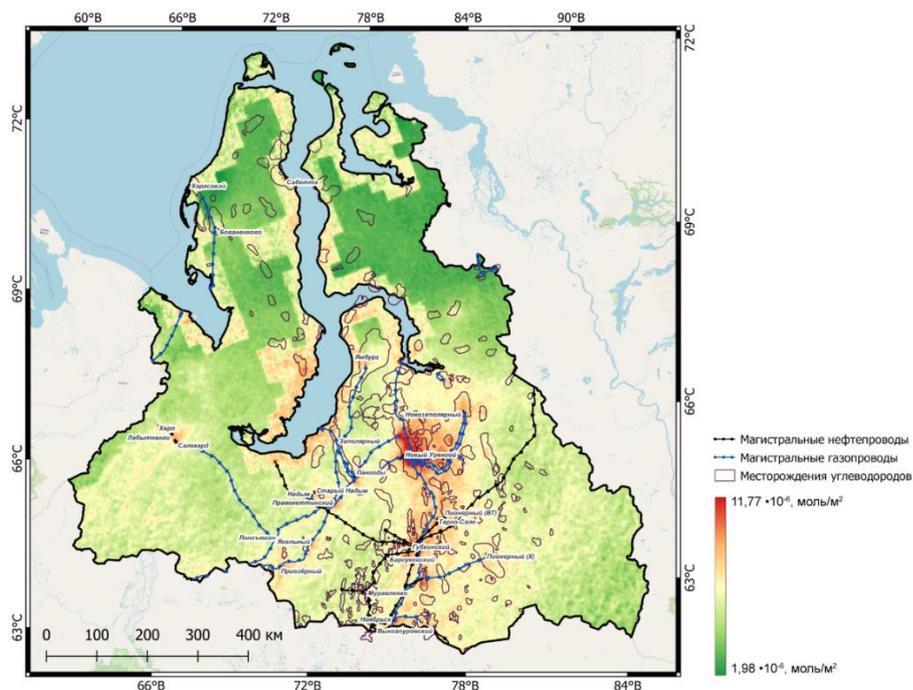


Рис. 3 – Пространственное распределение  $\text{NO}_2$  в 2019 году над ЯНАО

*Исследование выполнено в рамках реализации научной темы Российского государственного университета нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И. М. Губкина.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богоявленский В. И., Сизов О.С., Никонов Р. А., Богоявленский И. В., Каргина Т. Н. Дегазация земли в Арктике: генезис природной и антропогенной эмиссии метана // Арктика: экология и экономика. 2020. № 3 (39). С. 6–22.
2. Адушкин В.В., Кудрявцев В.П. Об эмиссии метана в Арктическом регионе // Актуальные проблемы нефти и газа. – 2018. – №4 (23). – С. 1-9.

3. Губайдуллин М.Г., Макарский Н.А., Янгиров И.В. Исследования термического режима мерзлых пород, находящихся под тепловым воздействием нефтедобывающей инфраструктуры // Arctic Environmental Research. – 2015. – №2. – С. 13-21.
4. Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone // Remote Sensing of Environment. 2017. № 202. P. 18-27.

## СОВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ТЕРРИТОРИИ КАРЕЛИИ

*Назарова Л.Е.*

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, г. Петрозаводск,  
nazarova@nwpi.karelia.ru

Изменение и изменчивость характеристик температуры воздуха и почвы в Карелии оценивались по данным многолетних наблюдений на метеорологических станциях Росгидромет, расположенных на территории республики, а также в Мурманской области.

В Карело-Кольском регионе устойчивое повышение средней годовой температуры воздуха наблюдается с 1989-90 гг. (рис. 1). Следует отметить, что колебания температурного режима (похолодание, потепление) происходит синхронно по всей рассматриваемой территории.

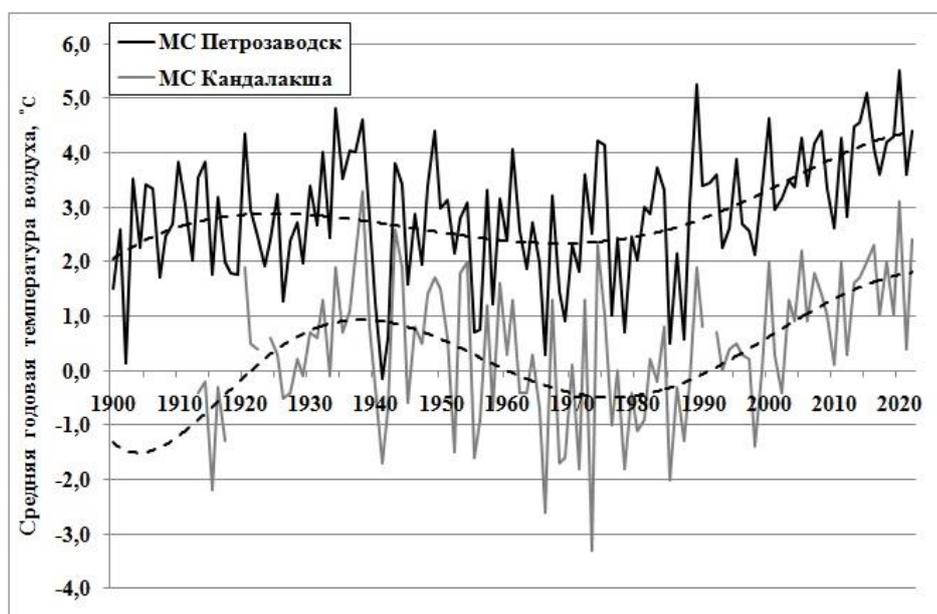


Рис. 1 – Средняя годовая температура воздуха (°C) по данным наблюдений метеорологических станций Петрозаводск и Кандалакша. Пунктирная линия – полиномиальный тренд 6-й степени

Сравнение значений современных (1991-2020 гг.) климатических норм средней годовой температуры воздуха для разных пунктов наблюдений, расположенных на территории Респ. Карелия, с климатическими нормами предыдущего стандартного периода (1961-90 гг.) позволяет сделать следующие выводы. В настоящее время средние многолетние значения годовой температуры воздуха повсеместно превышают

величины, характерные для второй половины XX века. Для территории от Кольского полуострова до южных районов Карелии климатические нормы выросли на 1.0-1.3°C (рис. 2).

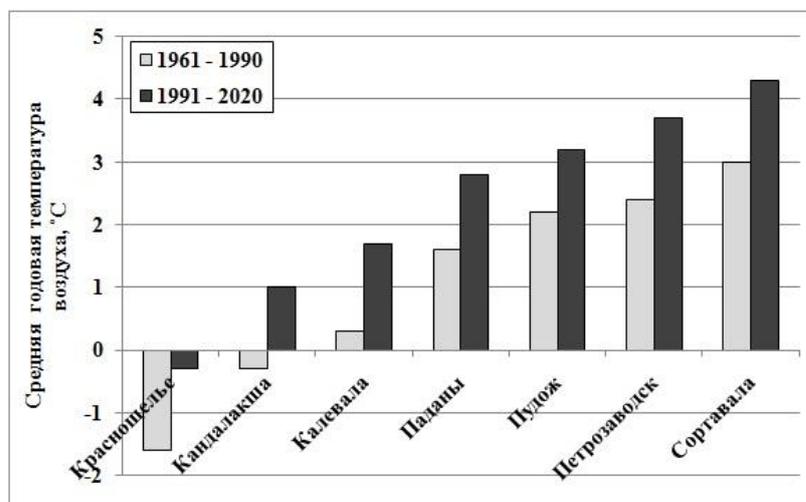


Рис. 2 – Средние многолетние значения годовой температуры воздуха (°C) за 1961-90 и 1991-2020 гг. по данным наблюдений метеорологических станций

Анализ изменений средних месячных значений температуры воздуха показал, что современные климатические нормы превышают предыдущие значения во все месяцы года по всей территории. Наибольшее повышение характерно для зимних месяцев. Декабрь стал теплее в среднем на 2.0-2.8°C, январь на 3.0-3.3 °C. В остальные месяцы нормы выросли на 0.5-1.0°C.

Общее повышение температуры воздуха повлияло на смещение сроков наступления климатических сезонов года. Так продолжительность холодного периода года сократилась в среднем на две-две с половиной недели. Ранее устойчивый переход средней суточной температуры воздуха через 0°C в область отрицательных значений наблюдался в основном в последние числа октября. В настоящее время это происходит в конце первой декады ноября. Даты окончания холодного периода сместились в среднем со второй декады апреля на первую. Продолжительность летнего сезона (устойчивый период со средней суточной температурой воздуха выше 10.0°C) увеличилась на 2 недели в современных климатических условиях. Лето начинается в среднем в третьей декаде мая и продолжается до 1-2 декады сентября.

Исследования многолетней динамики средней годовой температуры поверхности почвы показали, что эти тенденции характерны и для значений данной климатической характеристики. Современные климатические нормы превышают средние значения за предыдущий базовый период на 1.2-1.4°.

Температура почвы на различных глубинах испытывает значительно меньшие колебания от года к году, чем температура поверхности почвы и прилегающих слоев атмосферы. Однако и на глубинах до 320 см отмечено значительное повышение температуры с начала XXI века. Были оценены изменения средних годовых и месячных значений температуры за новый базовый период 1991-2020 гг. на глубинах 20, 80 и 160 см, суммы средних суточных значений температуры выше 10°C в течение теплого периода года на глубине 20 см, продолжительность периода с температурой почвы, равной и ниже 0°C на глубине 20 см. Показано, что с начала XXI века почти на всей исследуемой территории отмечается рост температуры почвы во все месяцы года, изменились даты устойчивого перехода температуры почвы через значение 10.0°C на глубине 20 см, увеличены суммы средних суточных значений температуры выше 10°C в течение теплого периода.

Изменение температурного режима региона оказало влияние на изменение ледового режима водных объектов. Так для озер территории Карелии установлено сокращение периода ледостава на 16-20 суток из-за смещения дат установления и разрушения ледяного покрова на более поздние даты осенью и ранние весной соответственно [1]. Для озер Кольского полуострова сокращение периода ледостава оценивается до 12 суток [2].

Снижение глубины сезонного промерзания почв и возрастание частоты оттепелей приводит к увеличению запасов влаги в почвах, усилению питания подземных вод и повышению их уровня. В результате этих процессов возрастает зимний сток рек [3,4,5]. Для территории Карелии этот процесс рассмотрен в работе [6] на примере р. Шуя – второго по величине притока Онежского озера.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Efremova T., Palshin N., Zdrovennov R. Long-term characteristics of ice phenology in Karelian lakes // *Estonian Journal of Earth Sciences*. 2013, 62, 1, 33-41.
2. Вуглинский В.С. Оценка изменений характеристик ледового режима водных объектов для различных регионов страны в современных климатических условиях // *Вестник Санкт-Петербургского университета*. 2014. Сер. 7, вып. 3. С. 32-45.
3. Джамалов Р.Г., Сафронова Т.И., Телегина Е.А. Внетригодное распределение стока рек с оценкой роли зимней межени // *Водные ресурсы*. 2017. Т. 44, № 6. С. 603-611.
4. Калюжный И.Л., Лавров С.А. Механизм влияния глубины промерзания почв речных бассейнов на зимний сток // *Водные ресурсы*. 2017. Т.44, №4. С. 442-451.
5. Шикломанов И.А., Борзенкова И.И., Георгиевский В.Ю., Колосов П.А., Сперанская Н.А. Водные ресурсы // *Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т.2. Последствия изменений климата*. М.: Росгидромет, 2008. С. 77-86.
6. Назарова Л.Е., Исакова К.В., Калинин Н.М., Балаганский А.Ф. Влияние потепления климата на зимний сток реки Шуя и последствия для зообентоса Онежского озера // *Известия русского географического общества*. 2022. Т. 154, № 1. С. 28-36.

#### РАСЧЕТНЫЕ ПРОГНОЗНЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ГРУНТОВ АРКТИКИ И СУБАРКТИКИ ЯКУТИИ ПРИ ПОТЕПЛЕНИИ КЛИМАТА

*Новоприезжая В.А.*

Институт мерзлотоведения им. М.П. Мельникова СО РАН, г. Якутск,  
schwarz999@mail.ru.

С середины 80-ых годов и по настоящее время, весьма актуальна тема глобального потепления. В особенной зависимости к изменениям климата территории распространения многолетнемерзлых пород, так как мерзлота влияет на гидрологические, геоморфологические и биологические процессы. Деграляция мерзлоты приводит к оседанию грунта, что далее негативно сказывается на функционирование инфраструктуры и проблемам к эксплуатации сооружений. В данной работе произведена оценка устойчивости криогенных ландшафтов Арктики и Субарктики Якутии при потеплении климата посредством численного моделирования геокриологических свойств.

На долю республики приходится 1/3 арктической зоны РФ и 40% республики приходится за Полярным кругом, где проживает 68 тысяч человек. Центральная Якутия

наиболее обжитая и населенная часть республики, где сосредоточены промышленность и сельскохозяйственная отрасль, входит в субарктический пояс. Субарктический пояс располагается примерно между 60° и 70° с.ш. Мощные отложения ледового комплекса распространены практически повсеместно в Якутии. Около 30-35% территории Субарктики и Арктики России по мнению Н.А. Граве и П.И. Мельникова, неустойчивые к климатическим воздействиям [1]. Площадь морских льдов сократилась на 40% за последние 40 лет [2]. Тренд потепления климата среднегодовой температуры воздуха составляет в арктической части Якутии 0,01-0,02°С/год, в Центральной Якутии 0,02-0,03°С/год [3]. Также отмечаются сообщения наступления зоны лесотундры на тундру [4], что свидетельствует о существенном изменении климата в Арктике, а в Центральной Якутии отмечена миграция клещей с юга.

Характерный ландшафт для криолитозоны аласный тип местности представляет собой округлые котловины, образовавшиеся в результате вытаявания льдистых отложений. Аласы в Якутии возникли в периодах потеплений в позднем плейстоцене и голоцене. В настоящее время отмечается интенсификация и активизация криогенных процессов на безлесных нарушенных участках.

Моделирование производилось с помощью программы программой Frost 3D (ООО «НТЦ «Симмэйкерс», Беларусь). Для расчета использовались теплофизические свойства грунтов, среднемесячные высота и плотность снежного покрова по среднедекадным значениям, производилась выборка характерных среднемесячных температур воздуха по метеостанциям для вывода повышения на определенный градус [5,6,7,8]. Верификация произведена путем сопоставления расчетных и фактических температурных режимов грунтов полигонов Юкэчи и Умайбыт и установления в моделях теплового баланса на основе климатических характеристик в определенный период температурных замеров грунтов. Литогенная составляющая моделей представлена в Центральной Якутии: 0,0-0,1 почвенно-растительный слой, в интервале 0,1-2,4 м супеси и суглинки, 2,4-15,0 м повторно-жильный лед, ниже пески с галькой; в арктической зоне Якутии: 0,0-0,1 почвенно-растительный слой, в интервале 0,1-1,8 м супеси и суглинки, 1,8-15,0 м повторно-жильный лед, ниже галечниковые грунты и пески. Прогнозные расчеты температур грунтов производились с 2020 года по 2100 год, приведены на глубине нулевых годовых колебаний 10-15 м в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты моделирования температур грунтов

Участок/климатические изменения	Тундра (Арктика)			Лесотундра (Субарктика)		
	Саскылах	Чокурдах	Тикси	Покровск	Чурапча	Амга
Соврем. значения	-7	-7,5	-9,3	-2,5	-3,1	-3,2
При +2°С	-5,3	-6	-7,7	-1,7	-2,2	-2,4
При +3°С	-4,7	-5,3	-6,8	-1,6	-2,0	-2,1
При +4°С	-3,1	-4,7	-6,4	-1,5	-1,8	-1,8
При +2°С и снеге 10%	-4,9	-5,7	-7,5	-1,6	-2	-2
При +3°С и снеге 10%	-4,1	-4,9	-6,6	-1,5	-1,8	-1,7
При +4°С и снеге 10%	-3,4	-4,1	-6,1	-1,4	-1,7	-1,6
При +2°С и снеге 30%	-3,9	-4,8	-6,7	-1,4	-1,7	-1,8
При +3°С и снеге 30%	-3,3	-4	-6,3	-1,4	-1,6	-1,7
При +4°С и снеге 30%	-3,2	-3,4	-5,6	-1,3	-1,5	-1,6

Сопоставление арктических и субарктических расчетных температур грунтов показывает более чуткий отклик температур грунтов территории Арктики на изменения климата. Но даже при увеличении до +4 среднегодовой температуры воздуха и снежного покрова, который является теплоизолятором в экстремально морозные месяцы, грунты сохраняют низкотемпературные значения. Максимальные изменения прогнозируются на участке Саскылах, разница от современных температур до

прогнозных от 1,7°C при повышении среднегодовой температуры воздуха на +2°C до 5,9°C при повышении среднегодовой температуры воздуха на +4°C и увеличении снежного покрова на 30%.

Субарктические районы не реагируют столь резко на изменения климата, разница от современных температур к прогнозным в максимальном значении у участка Амга и Чурапча, от 0,8-0,9°C при повышении среднегодовой температуры воздуха на +2°C до 1,6°C при повышении среднегодовой температуры воздуха на +4°C и увеличении снежного покрова на 30%. Следует отметить, что субарктические территории характеризуются более рыхлым снегом и его ветер не заметает как в арктических районах, потому возможно на повышения среднегодовых температур воздуха, что в Центральной Якутии отмечено преимущественно зимой, реагирует не так резко. Прогнозная глубина сезонно-талого слоя в арктических участках практически не меняется, достигая максимальной глубины 0,9 м, а для субарктических участков изменения более существенные, при повышении среднегодовой температуры воздуха на 4°C глубина протаивания достигает 2,5-2,8 м, достигая кровли ледового комплекса. При увеличении снега на 10-30% таяние ледового комплекса начинается и при увеличении среднегодовой температуры воздуха на +3°C. Таким образом, многолетнемерзлые грунты арктических территорий слабо реагируют на изменения климата, низкие температуры способствуют сопротивлению быстрому отклику на потепление, а в субарктических территориях при увеличении количества снега возможно изменение верхних горизонтов многолетнемерзлых грунтов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Граве Н.А., Мельников П.И. Критерии и прогнозы устойчивости мерзлотных ландшафтов // Факторы и механизмы устойчивости геосистем. М., Институт географии АН СССР, 1989. с. 163–171.
2. Семенов В.А. Современные исследования климата Арктики: прогресс, смена концепций, актуальные задачи // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2021. Том 57, №1. С. 21-33.
3. Шац М.М., Скачков Ю.Б. Климат Севера: потепление или похолодание? // Климат и природа. 2016.
4. Калиничева С.В., Никифорова Н.Н., Максимов Н.А., Мисайлов И.Е., Федоров А.Н. Исследование наступления леса на тундру в регионе Восточной Сибири в условиях меняющегося климата с применением ГИС и данных дистанционного зондирования // Вестник СВФУ. Серия «Науки о Земле». 2021. №. 4 (24). С. 73-82.
5. Гаврильев Р.В. Теплофизические свойства горных пород и напочвенных покровов криолитозоны. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 1998. 280 с.
6. Научно-прикладной справочник по климату СССР, выпуск 24, часть II, IV. - Ленинград: Гидрометеорологическое издательство, 1989.
7. Справочник по климату СССР, выпуск 24, часть II, IV. Ленинград, Гидрометеорологическое издательство. 1968.
8. Фельдман Г.М., Тетельбаум А.С., Шендер Н.И. и др. // Пособие по прогнозу температурного режима грунтов Якутии. Якутск, изд-во ИМЗ СО АН СССР, 1988. 240 с.
9. Справочно-информационный портал "Погода и климат". <http://www.pogodaiklimat.ru>

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РАЙОНОВ КРУГЛОГОДИЧНОГО СУДОХОДСТВА В АРКТИКЕ ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ

*Петрова А.А., Латышева О.В.*

Санкт-Петербургский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, г. Санкт-Петербург, aa\_petrova@inbox.ru

В зимний период 2022-2023 гг. был впервые осуществлен проект круглогодичного судоходства по Северному Морскому пути (СМП). Для повышения безопасности транспортной коммуникации проводятся научные исследования механизмов возникновения природных явлений, влияющих на процесс таяния льда, в том числе факторов глубинного характера. В ходе работы установлены специфические особенности строения литосферы в районах ускоренного разрушения многолетнего льда с образованием тонкого льда и проталин, способствующих расширению периода мореплавания в акватории СМП и шельфовых морей РФ.

Исследования глубинного строения литосферы Северного Ледовитого океана (СЛО) с учетом спутниковых наблюдений за изменением толщины льда позволяют оценить влияние термофлюидных каналов глубинного заложения на разрушение и формирование ледяного покрова [1-8]. Визуализация неоднородностей земной коры проводится на основе протяженных геофизических разрезов.

Построение магнитных и плотностных разрезов земной коры осуществляется по аномалиям магнитного поля Земли (МПЗ) и аномалиям силы тяжести методом спектрально-пространственного анализа (СПАН) [9-13]. Разрезы позволяют оценить мощность и глубину залегания комплексов, отличающихся по физическим свойствам. Положение маркирующих горизонтов подтверждается сейсмическими границами. Горизонты с пониженными магнитными и плотностными свойствами отвечают зонам инверсий скоростей в ослабленных разгрузочных поверхностях разделов. Сопоставление плотностных и сейсмических разрезов позволяет опознать конкретные границы раздела сред, связать их с местоположением литолого-стратиграфических комплексов в геологическом разрезе и провести идентификацию выделяемых поверхностей. Термофлюидные каналы визуализируются на магнитных и плотностных разрезах как зоны пониженной плотности и намагниченности. Физические параметры геологических образований на разрезах СЛО идентифицированы по сейсмическим скоростным разрезам акватории [3].

Анализ регулярного спутникового мониторинга ледяного покрова СЛО позволяет понять закономерности формирования ледового режима. Годовые изменения ледяного покрова в период с 2007 по 2023 гг. позволили идентифицировать эффект флюидодинамического глубинного фактора в процессе разрушения льда. По каналам термофлюидной проработки земной коры из мантии поднимаются геотермальные потоки флюидов [1-3]. Пример траектории каналов в земной коре и мантии представлен на плотностном разрезе на рис. 1.

Субвертикальный разлом, выходящий из мантии с глубины более 80 км, хорошо выражен на плотностном разрезе котловины Подводников. Зоны влияния потока глубинных флюидов проявляются по изменениям толщины зимних ледяных покровов за период с 2019 и 2023 гг. [6]. За четыре года изменилась толщина зимнего льда в районе выхода разломных зон в котловине Подводников, так как здесь дрейфующий лед в течение нескольких лет попадает под влияние тепловых потоков глубинных разломов (рис. 1).

Совместный анализ спутникового мониторинга ледовых разрушений СЛО и положений термофлюидных каналов за длительный период с 2007 по 2023 гг. показал, что гидротермальные потоки глубинных флюидов, поднимаясь к поверхности морского

дна, оказывают существенное влияние на процесс таяния льдов [1-3]. Термальные потоки флюидов, воздействуя на толщину ледяного покрова с глубины 30-80км, формируют границы и кромки разновозрастных льдов.

Исследование глубинного строения литосферы СЛО показало, что пространственное расположение зон ускоренного таяния льда зависит от положения мантийных линз флюидных систем. Флюидонасыщенные слои в виде зон пониженной намагниченности четко проявились в измерениях спутников CHAMP и Swarm на высотах 400-450 км в виде отрицательных аномалий модуля и вертикальной компоненты МПЗ (рис. 2) [14]. Зоны выходов термофлюидных каналов к поверхности дна приурочены к минимумам магнитных и плотностных свойств, создаваемых флюидными линзами земной коры и мантии. Выходы каналов прогнозируют районы зон разрушения льда под направленным влиянием глубинного флюидодинамического фактора. Минимумы магнитных аномалий МПЗ на высоте спутников отвечают распределению намагниченности в низах земной коры и мантии. К минимумам намагниченности приурочены наиболее вероятные крупные районы ускоренного протаивания льда в СЛО под действием глубинного флюидодинамического фактора (рис. 2).

Проявления мантийной флюидной системы в арктических морях, например, в море Лаптевых, Чукотском и Восточно-Сибирском морях в отрицательных аномалиях модуля  $T$  и вертикальной компоненты  $Z$  МПЗ наглядно демонстрируются по спутниковым измерениям миссии CHAMP [14] (рис. 2).

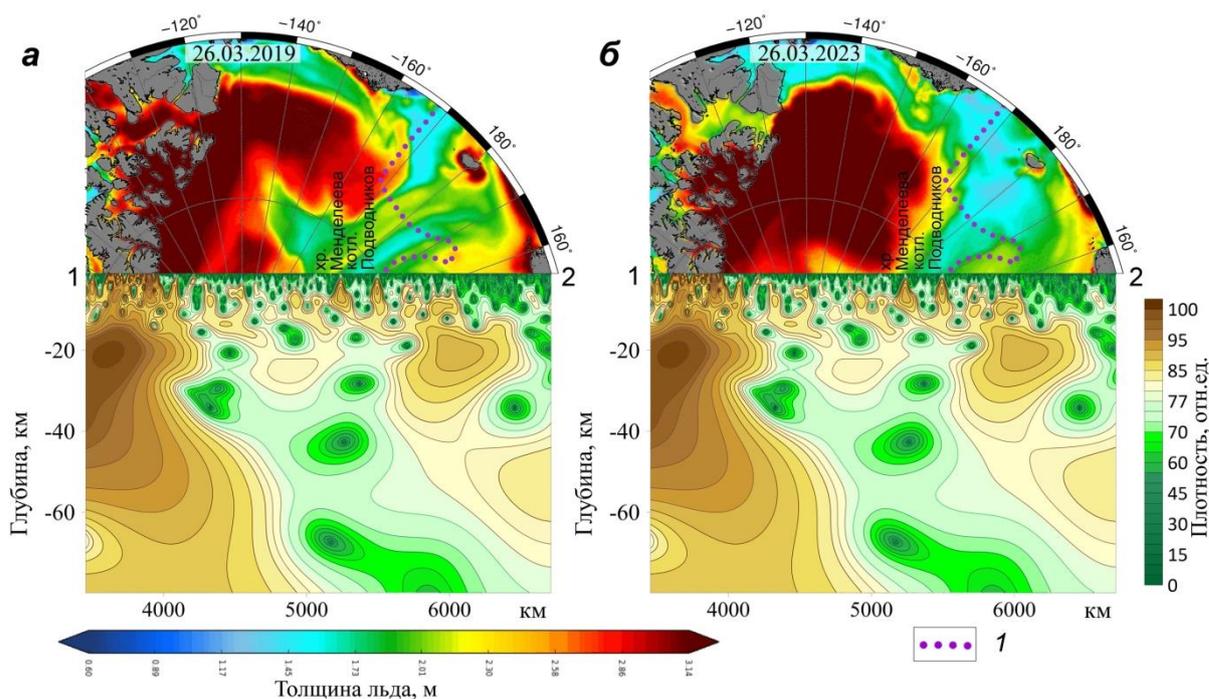


Рис. 1 – Изменение состояние зимнего льда за период с 2019 г. (а) по 2023 г. (б) в районе выхода термофлюидного канала (по расчетам плотностного глубинного разреза литосферы восточной части Арктической зоны). 1 – граница СМП

Более легкий тип ледовых условий в западной части Карского моря, в морях Лаптевых и Чукотском приходится на расположение выходов флюида из глубинных флюидонасыщенных слоев верхней мантии, где исходные термальные потоки из линз флюидных систем, находящиеся в вязком состоянии, могут достигать температур 950-1300°C [15].

Определение местоположения ареалов выходов термофлюидных каналов к поверхности морского дна дает возможность выявлять районы влияния

флюидодинамического фактора земной коры и мантии на многолетний и однолетний ледяной покров.

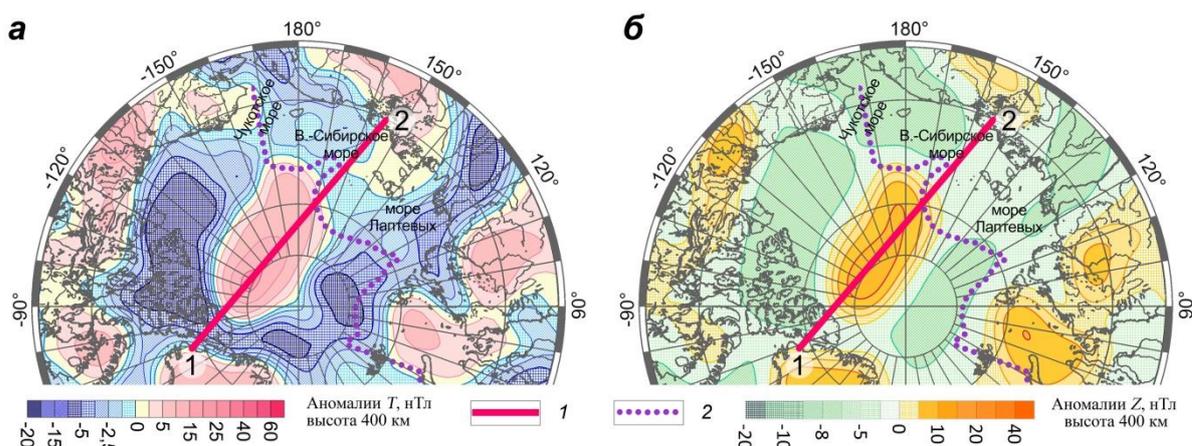


Рис. 2 - Распределение минимумов намагниченности по магнитным измерениям на спутнике CHAMP [14] (высота 400 км): (а) – по аномалиям модуля  $T$ ; (б) – по аномалиям вертикальной компоненты  $Z$  МПЗ. 1 – положение плотностного разреза (рис. 1); 2 – граница СМП

Отмечено, что на формирование условий процессов ледообразования, нарастания и сохранения остаточных льдов влияет характер горизонтальной слоистости земной коры. Детальное изучение особенностей строения земной коры позволит намечать наиболее вероятные районы скопления остаточных льдов и льдов повышенной сплочённости.

Глубинные разрезы дают возможность выявлять горизонтальную слоистость блоков верхней части земной коры, стимулирующую процесс повышенного ледообразования в осенний период и аномально быстрого накопления льдов. Горизонтальные слои верхней части земной коры перекрывают потоки глубинного тепла и тем самым создают условия для сохранения остаточных льдов, скопление которых существенно ухудшает условия осеннего мореплавания.

Таяние полярных льдов – сложный многоплановый процесс, требующий дальнейшего изучения с учетом выявленного влияния флюидодинамического фактора, который позволит предсказать районы, в которых процесс таяния может происходить более интенсивно. Термофлюидные каналы вносят дополнительный вклад в процесс разрушения льда, и его, вероятно, необходимо принимать во внимание при составлении долгосрочных прогностических моделей эволюции ледяного покрова.

Для уменьшения рисков мореплавания по результатам комплексной интерпретации магнитных аномалий, аномалий силы тяжести и сейсмологических данных исследована возможность выявления выходов флюидовыводящих разломов глубинного заложения вдоль трасс СМП.

#### Заключение

1. Проведено исследование глубинного строения литосферы СЛО. На основе совместной интерпретации спутниковых наблюдений толщины льда, аномалий МПЗ, аномалий силы тяжести и сейсмологических данных выяснено, что литосфера в зонах ускоренного таяния льда имеет специфическое строение.

2. На основе визуализации флюидоподводящих каналов разломных зон на глубинных разрезах и сейсмологических данных возможен прогноз районов выходов теплового потока к морскому дну.

3. Рассмотрен механизм природного явления в виде флюидодинамического фактора направленного действия, влияющего на процессы формирования зимних и летних ледовых условий.

4. По результатам комплексной интерпретации геофизических данных намечены районы выходов термофлюидных потоков разломных зон заложения к трассам проводки караванов судов, что дает возможность выбора оптимальных маршрутов круглогодичного судоходства.

5. Выявлено местоположение глубокофокусных линз флюидных систем и конфигурация траекторий термофлюидных каналов, влияющих на процесс образования зон с пониженной толщиной льда в зимний период, а также на скорость и величину таяния льда в летний период.

6. Полученные результаты открывают возможность составлять долгосрочные прогнозы состояния ледового покрова с учетом влияния флюидодинамического фактора и предсказывать зоны ускоренного разрушения льда.

7. Выявлены особенности глубинного строения литосферы в районах ускоренного таяния. На основе полученных данных возможен прогноз локализации проталин эндогенного происхождения в Арктических морях.

8. Отмечено, что детальное изучение горизонтальной расслоенности в верхней части земной коры позволит прогнозировать появление в стабильных областях зон остаточных льдов, стимулирующих раннее осеннее ледообразование.

9. Исследования глубинного строения Арктики имеют научно-практическое и прикладное значения для уточнения ледовых прогнозов зон деградации льда и оценки дополнительного влияния эндогенного характера, что увеличивает конкурентоспособность круглогодичного судоходства по трассам Северного Морского пути.

*Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания по теме № 16.5. «Исследование физической природы пространственно-временных изменений магнитного поля Земли и солнечно-земных связей» № 0037-2014-000 (2019-2023 гг.), государственной программы РФ «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации» (Указ Президента РФ от 05.03.20 г. № 164).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Копытенко Ю.А., Латышева О.В., Петрова А.А. Влияние разломных зон земной коры на эволюцию толщины и кромки ледяного покрова Арктики // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2020. Вып. 674. С. 207-212.
- 2 Петрова А.А., Петрищев М.С., Копытенко Ю.А., Латышева О.В. Выявление флюидоподводящих каналов в Арктических морях по аномалиям магнитного и гравитационного полей // Материалы Всероссийской конференции: Глобальные проблемы Арктики и Антарктики. ФИЦКИРАН. Архангельск 2020. С. 810-815.
- 3 Петрова А.А., Латышева О.В., Копытенко Ю.А. Природные явления эндогенного происхождения в Арктическом бассейне // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2020. № 4. Вып. 48. С. 37-53. DOI: 10.31431/1816-5524-2020-4-48-49-63.
- 4 Петрова А.А., Латышева О.В., Копытенко Ю.А. Глубинное строение Арктики и Антарктики по магнитным аномалиям компонент и аномалиям силы тяжести // Космические исследования. 2022. Т. 60. № 4. С. 331–347. DOI: 10.31857/S0023420622030086.
- 5 Petrova A.A., Latysheva O.V., Petrova A.I. Deep Factors of Ice Destruction of the Arctic Ocean // Problems of Geocosmos–2020: Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. 2022. P. 41-52. DOI: 10.1007/978-3-030-91467-7\_4.
- 6 Mercator Ocean International [Электронный ресурс]. URL: <http://bulletin.mercator-ocean.fr/> (дата обращения 23.05.2022).

- 7 Центр «Север» ФГБУ ААНИИ [Электронный ресурс]. URL: <http://www.aari.ru/> (дата обращения 21.08.2023).
- 8 Шалина Е. В., Бобылев Л. П. Изменение ледовых условий в Арктике согласно спутниковым наблюдениям // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т.14. № 6. С. 28-41. DOI:10.21046/2070-7401-2017-14-6-28-41.
- 9 Петрова А.А., Копытенко Ю.А. Флюидные системы Мамско-Бодайбинской минерагенической зоны Северного Забайкалья // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. 2019. Вып. 41. №1. С. 37–53. DOI: 10.31431/1816-5524-2019-1-41-37-53.
- 10 Петрова А.А. Цифровые карты компонент вектора индукции магнитного поля // Сб. трудов ИЗМИРАН, М.: 2015. С. 412–423.
- 11 Копытенко Ю.А., Петрова А.А. Результаты разработки и применения компонентной модели магнитного поля Земли в интересах магнитной картографии и геофизики // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2016. Т.9. №2. С. 88–106
- 12 Копытенко Ю.А., Петрова А.А. Мировые карты компонент магнитного поля Земли эпохи 2020 / Труды XV Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». СПб, 21 – 25 сентября 2020 г. С. 288-291. 2020.
- 13 Bonvalot S., Balmino G., Briais A. et al. World Gravity Map // Commission for the Geological Map of the World. Eds. BGI-CGMW-CNES-IRD. Paris. 2012. <http://bgi.omp.obs-mip.fr>.
- 14 Thebault E., Vigneron P., Langlais B., Earth, Hulot G. A Swarm lithospheric magnetic field model to SH degree 80. Planets and Space, 2016, vol. 68, Article number 126. DOI: 10.1186/s40623-016-0510-5.
- 15 Павленкова Н.И. Роль флюидов в формировании неоднородности земной коры и верхней мантии // Сборник трудов конференции Современная тектонофизика. Методы и результаты. Москва. 2013. С. 56–68.

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ И СТРОЕНИЕ ЛЕДОВОГО КОМПЛЕКСА УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ Р. ЛЕНЫ

*Платонов И.А.<sup>1,2</sup>, Григорьев М.Н.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, [platonovignat@yandex.ru](mailto:platonovignat@yandex.ru)

<sup>2</sup>Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, г. Якутск

**Введение.** Дельта р. Лены — крупнейшая в Евразии. Её площадь составляет 29630 км<sup>2</sup> [1]. Дельта начинается от о. Тит-Ары, у которого она распадется на главное русло и Булкурскую протоку. Ниже по течению она делится на Оленекскую, Большую Туматскую, Сардахскую и Быковскую протоки. Помимо дельты, к устьевой области р. Лены относятся прилегающее к ней побережье моря Лаптевых, в частности, Быковский п-ов, о. Муостах и окрестности пос. Тикси, которые парагенетически связаны с дельтой. Четвертичные отложения, слагающие дельту р. Лены, подстилаются верхнепалеозойскими алевролитами, аргиллитами, песчаниками в ее южной части, а в центральной и северной — неогеновыми конгломератами, галечниками [2]. П-ов Быковский и о. Муостах приурочены к палеоген-неогеновым толщам, в районе пос. Тикси на поверхность выходят аргиллиты, алевролиты, песчаники каменноугольного возраста [3].

Дельта р. Лены имеет три геоморфологических уровня: первая терраса имеет высоту до 12 м над уровнем моря и сложена голоценовыми аллювиально-морскими отложениями; вторая терраса высотой до 30 м над уровнем моря сложена аллювиальными песками; третья терраса состоит из эдомных возвышенностей высотой

до 55 м над уровнем моря — позднеплейстоценовых едомных останцов, образовавшихся в результате частичного протаивания единой едомной поверхности, сложенной породами ледового комплекса (ЛК) [4,5]. ЛК на Быковском п-ове и о. Муостах также приурочен к этим уровням.

ЛК — толщи высокольдистых синкриогенных отложений, имеющие позднеплейстоценовый возраст и содержащие мощные повторно-жильные льды (ПЖЛ) [6]. Проблема происхождения ЛК остается дискуссионной. В разное время были выдвинуты гипотезы его аллювиального [7], криогенно-эолового [8], склонового [9], генезиса. В настоящее время наиболее актуальна гипотеза полигенетического происхождения ЛК [10]. Согласно ей, ЛК накапливается в результате разных геологических процессов, а свойства толщи: высокая льдистость, преобладание частиц крупнопылевой фракции, наличие сингенетических ПЖЛ и т.д., формируются в результате криогенеза.

**Цель работы** — описать распространение ЛК приустьевой области р. Лены и выявить особенности его строения на примере изученных разрезов четвертичных отложений. В ходе полевых работ августа 2023 г., проводимых под руководством Григорьева М.Н. (ИМЗ СО РАН) исследованы 3 разреза четвертичных отложений: Курунгнах-Сисе в дельте р. Лена, Мамонтовий-Хайата на Быковском п-ове и разрез о. Муостах. Составлены криолитологические описания обнажений, отобраны образцы на гранулометрический и минералогический анализ. Для изотопного анализа текстурных льдов была подготовлена водная вытяжка из грунтовых образцов.

**Распространение ледового комплекса в устьевой области р. Лены.** ЛК распространен в южной части дельты р. Лена (рис. 1). Им сложены останцовые едомные возвышенности, поверхность которых образует уровень третьей террасы. Его характерные абсолютные высоты — 35-45 м [4]. На Быковском п-ове ЛК соответствует едомной поверхности, которая в голоцене подверглась термокарстовому расчленению. О. Муостах полностью сложен отложениями ЛК (рис. 1).

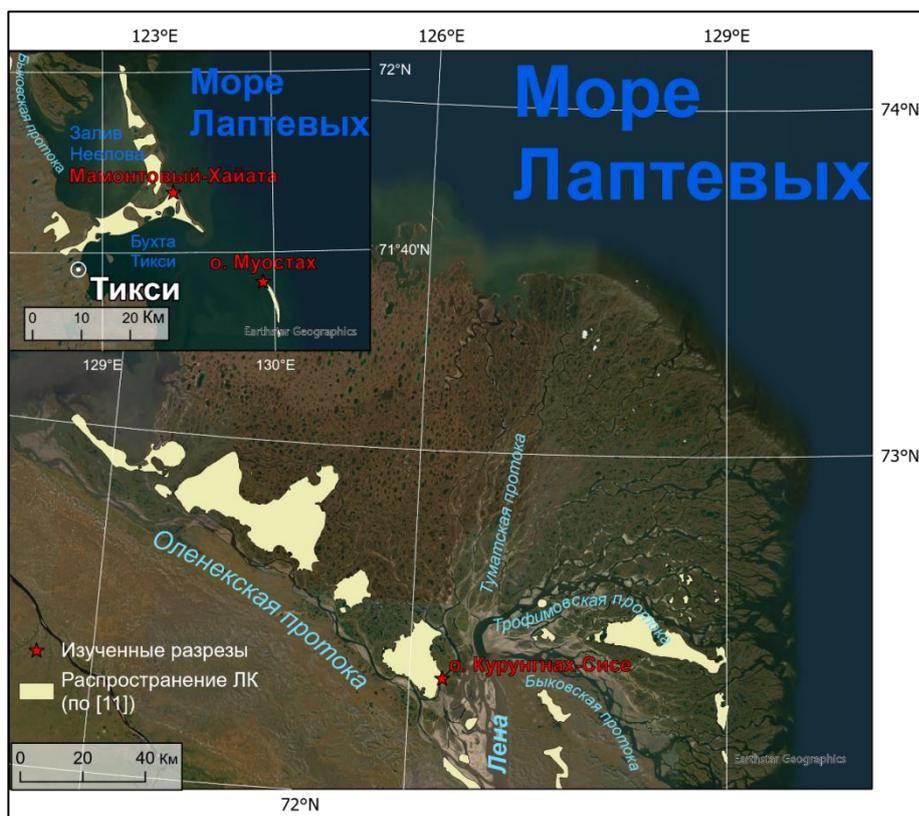


Рис. 1 – Исследуемый район (картографическая основа – ESRI World Imagery)

Известно также, что ЛК встречается к юго-востоку от пос. Тикси в непосредственной близости от него. Так, в 2020 г. был обследован овраг, в стенках которого вскрывались отложения ЛК с ПЖЛ. На 2023 г. овраг сильно заплыл, вскрываются лишь верхние 20 см ПЖЛ. В существующей базе геоданных [11] наличие толщ ЛК к юго-западу от пос Тикси не указано. ЛК здесь приурочен к слабонаклонной поверхности, продолжающей склон г. Лялькина. Вероятно, здесь ЛК имеет склоновое происхождение.

Характер распространения ЛК в приустьевой области р. Лены и разное положение относительно путей переноса материала (аллювиального и склонового) вещества могут свидетельствовать о неоднородности происхождения ЛК внутри нее.

**Результаты полевых исследований.** В ходе полевых работ исследованы три разреза четвертичных отложений (рис. 1): о. Курунгнах-Сисе, Мамонтовый-Хайата на Быковском п-ове и о. Муостах.

*О. Курунгнах-Сисе.* Разрез (рис. 2) приурочен к берегу высотой 35 м. Абсолютная высота острова достигает 55 м. Подстилающие ЛК отложения представлены серовато-охристыми аллювиальными песками с линзами оторфованного суглинка у кровли. Пески имеют массивную криотекстуру. Кровля песчаной толщи находится на уровне 15 м над урезом воды. Она перекрыта толщей сильно оторфованных буровато-серых супесей, содержащих линзы песка толщиной 3 см в пределах расчистки и длиной более 40 см. В супесях находятся включения древесных остатков. Кровля оторфованной толщи находится на отметке 20 м, в обнажении не вскрывается. ЛК представлен пачкой переслаивания буровато-серой льдистой супеси и оторфованного суглинка. Криогенная текстура супеси — поясковая, местами линзовидная. Оторфованный суглинок имеет массивную криотекстуру. Ледяные линзочки имеют как вертикальную, так и горизонтальную ориентировку. Толщина прослоев составляет порядка 30-50 см. Видимая ширина сингенетических ПЖЛ может превышать 6 м.

В обнажении ЛК имеет мощность порядка 15 м. В наиболее высокой точке острова она может достигать и более 30 м. Толща имеет неоднородное литологическое и криогенное строение по толщине, что может свидетельствовать об изменениях фациальных условий во время осадконакопления.



Рис. 2 – Разрез о. Курунгнах-Сисе

*Мамонтовый-Хайата.* На Быковском п-ове был изучен ЛК в береговом обнажении Мамонтовый-Хайата (рис. 3), бровка которого находится на уровне 39 м над уровнем моря. Подошва ЛК находится на 10 м ниже уровня моря [4]. На уровне 1,5 м над уровнем моря он представляет собой однородную супесчано-суглинистую толщу серо-бурую с редкими включениями ожелезненных частиц торфа до 0,5 см. Криогенная текстура отложений — поясковая. На высоте 24 м криогенная текстура изменяется на хаотично-линзовидную с толщиной линзочек до 2 мм. На расстоянии 15 см друг от друга находятся поясковидные прослойки с атакситовой криогенной текстурой.



Рис. 3 – Разрез Мамонтовый-Хайата

Встречаются редкие включения ожелезненного торфа размером 1-3 см. На уровне 33 м над уровнем моря криогенная текстура становится атакситовой. Объемное содержание льда превышает содержание грунта. В толще присутствуют редкие включения блоков торфа размером до 10-15 см в поперечнике. Залегание подошвы ЛК ниже уровня моря вызвано более низким положением базиса эрозии в позднем неоплейстоцене. Изменение криогенного строения толщи отражает изменение фациальных условий.



Рис. 4 – Разрез о. Муостах (высота лопаты в кадре – 1,5 м)

*О. Муостах.* Остров сложен отложениями ЛК (рис. 4). В настоящий момент его площадь стремительно сокращается. Высота бровки обнажения составляет 24 м. Подошва ЛК уходит на 10 м под уровень моря [12]. Отложения ЛК представлены буровато-серым пылеватым суглинком с поясковой криогенной текстурой. Пояски образованы прослоями чистого льда толщиной до 10 см. Между поясками отложения имеют волнисто-линзовидную криогенную текстуру. В отложениях находятся линзы

автохтонного торфа. Толща ЛК состоит из пачек переслаивания оторфованного материала в нижней части пачки и суглинка в верхней части. Их мощность составляет 2-3 м. Всего в толще было обнаружено 4-5 таких пачек. Размер ячеек полигональной сети — 10,5 м. Помимо сингенетических, в прослоях торфа находятся головы эпигенетических ледяных жил.

Наличие пачек переслаивания торфа и суглинков, вероятно, вызваны циклическим изменением фациальных условий формирования ЛК.

**Заключение.** ЛК в приустьевой области р. Лены распространен преимущественно в южной части, слагая останцы третьей террасы. ЛК слагает о. Муостах и Быковский п-ов, встречаясь также к юго-востоку от пос. Тикси. В разрезе о. Курунгах-Сисе ЛК образован переслаиванием оторфованного материала и суглинка ЛК, причем льдистость отложений также отличается. В разрезе Быковского п-ова неоднородно криогенное строение толщи: льдистость увеличивается снизу вверх по разрезу, в разрезе о. Муостах выделяются пачки переслаивания торфа и суглинка, что может свидетельствовать о циклических изменениях фациальных условий при формировании ЛК.

Работа выполнена в рамках проекта НИОКТР 12201140051-0 «Деградация мерзлоты и трансформация рельефа в береговой зоне и на шельфе арктических морей восточного сектора РФ: динамика, прогноз и риски», а также гранта РНФ 21-17-00054 «Четвертичный эоловый рельеф и покровные отложения бассейна р. Лены (Восточная Сибирь): строение, возраст, палеогеографическое значение».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Большианов Д.Ю., Макаров А.С., Шнайдер В., Штоф Г. Происхождение и развитие дельты реки Лены. СПб.: ААНИИ, 2013. 268 с.
2. Большианов Д.Ю., Васильев Б.С., Виноградова Н.П., Гавриш А.В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Лаптево-Сибироморская. Лист S-51 – Оленёкский зал., S-52 – дельта р. Лены. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2014. 274 с. + 9 вкл.
3. Герцева М.В., Борисова Т.П., Чибисова Е.Д., Емельянова Е.Н. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Верхояно-Колымская. Лист R-52 – Тикси. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016. 312 с. + 3 вкл.
4. Григорьев М.Н. Криоморфогенез устьевой области р. Лены. Якутск: Институт мерзлотоведения СО РАН, 1993. 176 с.
5. Schwamborn G., Rachold V., Grigoriev M.N. Late Quaternary sedimentation history of the Lena Delta // *Quaternary International*. 2002. Т. 89. С. 119-134.
6. Романовский Н.Н. Основы криогенеза литосферы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993, 336 с.
7. Попов А.И. Особенности литогенеза аллювиальных равнин в условиях сурового климата // *Известия АН СССР. Серия географическая*. 1953. №. 2. С. 29 – 43.
8. Томирдиаро С.В. Лессово-ледовая формация Восточной Сибири в позднем плейстоцене и голоцене. М.: Наука, 1980. 184 с.
9. Гравис Г.Ф. Склоновые отложения Якутии. М.: Изд-во «Наука», 1969. 128 с.
10. Schirrmeister L., Froese D., Tumskey V. et al. Yedoma: Late Pleistocene ice-rich syngenetic permafrost of Beringia // *Encyclopedia of Quaternary Science*. 2nd edition. Elsevier, 2013. С. 542–552.
11. Strauss J., Laboor S., Schirrmeister L. et al. Circum-Arctic Map of the Yedoma Permafrost Domain // *Frontiers in Earth Science*. 2021. С. 1001 – 1016.
12. Куницкий В.В. Криолитология низовья Лены. Якутск, ИМЗ СО АН СССР, 1989, 164 с.

## ВКЛАД ЛЕТНЕГО ПОТЕПЛЕНИЯ В АНОМАЛИИ ВОДНОСТИ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ ЗА ПОСЛЕДНЕЕ СТОЛЕТИЕ

Попова В.В.<sup>1</sup>, Насонова О.Н.<sup>2</sup>, Бокучава Д.Д.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт географии РАН, г. Москва, valeria\_porova@mail.ru

<sup>2</sup>Институт водных проблем РАН, г. Москва

Возросшая повторяемость экстремальной летней жары и засухи, помимо непосредственного воздействия на природную среду, засух, лесных пожаров и пр., оказывают критическое влияние на речной сток и водообеспеченность обширных регионов. Примером таких явлений стали засухи 2022-2023 гг. в Европе, которые охватили более 50% территории и вызвали обмеление крупных речных систем и, как следствие, нарушение судоходства, ограничения водопотребления и выработки электроэнергии. На юге европейской части России (ЕЧР), в бассейнах Дона, Кубани и Терека в последние десятилетия также наблюдается сокращение стока. В средней полосе и на севере ЕЧР критических изменений увлажненности и водного баланса речных бассейнов не наблюдается с середины 1970-х гг., в то же время, в отдельные годы фиксировались сокращение водности Волги и Северной Двины и связанные с ним ограничения судоходства и водопотребления.

Многочисленные исследования связывают рост вероятности экстремальной жары и засух с антропогенными изменениями климата, в этой связи встает вопрос о природе и интенсивности подобных событий в доиндустриальную эпоху. Зафиксированные в многолетних рядах гидрологических наблюдений беспрецедентный подъем и сокращение годового стока Волги и Северной Двины, свидетельствуют о крупномасштабных аномалиях увлажнения в период 1920-1940 гг. Хронология этих событий предполагает связь с потеплением середины XX столетия (ПСДВ) и его механизмами, включая Атлантическую мультideкадную осцилляцию (АМО) и др. [1]. В представленной работе рассматриваются климатические факторы стока и периоды падения водности Северной Двины (в створе Усть-Пинега) за 1910-2020 гг. на фоне изменений климата от ПСДВ до современного потепления.

Учитывая неоднородность, связанную с изменениями измерительных приборов и методик, а также недостаточную плотность и неравномерность гидрометеорологических наблюдений, для получения надежных количественных оценок и их физической обоснованности в исследовании, помимо данных гидрологических наблюдений и сеточных архивов метеопказателей (HadCRUT5, CRUts4) исследуются результаты расчетов годового стока на модели SWAP (Институт водных проблем РАН) [2] с использованием климатических данных специализированного реанализа WFDE5 [2].

*Климатические условия периодов маловодья в бассейне Северной Двины за 1910-2020 гг.* Многолетние данные о годовом стоке Северной Двины свидетельствуют об экстремально высокой амплитуде аномалий и резком переходе от режима переувлажнения, в 1920-х гг., к засушливости в конце 1930-х гг. Учитывая отсутствие искусственной зарегулированности стока и антропогенной нагрузки на ее водосборе в первой половине XX столетия, можно говорить об уникальности гидроклиматического режима этого региона 1920-1940 гг. Многоводный период, продолжавшийся в течение 14 лет (1922-1935 гг.) отмечен двумя максимумами – абсолютным за период наблюдений (68% от нормы за 1961-1990 гг.) в 1923 г., и следующим по значимости (59% от нормы) в 1928 г. После 1935 г. наблюдается резкое падение водности, 1937 и 1938 гг. до настоящего времени остаются первым и вторым по рангу повторяемости за период наблюдений., с дефицитом годового стока 43% и 33%, соответственно. Фаза низкой водности сохранялась до 1940 г., ее непрерывная продолжительность составила 6 лет и остается рекордной до настоящего времени. Тренд летней температуры за 1921-

1940 гг. на водосборе Северной Двины по данным наблюдений (HadCRUT5) составил 1,0°C, что на 0,2-0,3°C уступает росту температуры в 1991-2010 гг. Реанализ WFDE5 показывает еще более высокие темпы роста температуры в ПСДВ – 1,6°C/20лет.

Анализ метеопараметров в бассейне Северной Двины в периоды сокращения ее водности от ПСДВ (1930-1940 гг.) до начала 21 столетия позволяет судить об особенностях режима температуры и осадков в 1960-1970-х и 2000-2010 гг. по сравнению с периодом экстремальной засухи 1930-1940 гг. (табл. 1).

Таблица 1 – Климатические показатели (в аномалиях относительно 1961-1990гг.) в периоды пониженной водности в бассейне Северной Двины, 1931-1940 (*I*), 1965-1974 (*II*), 2004-2013 (*III*), а также их изменения *D* относительно 1931-1940 гг., по сезонам: лето (июнь-август), осень (сентябрь-октябрь), холодный период, ХП, (ноябрь-апрель) и теплый период, ТП (май-октябрь)

Данные	HadCRUT.5/WFDE5				HadCRUT.5/WFDE5			
	Температура, °С				Осадки, %			
Сезон	Лето	Осень	ХП	ТП	Лето	Осень	ХП	ТП
<i>I</i> (1931-1940)	0,9/0,8	0,6/ 0,4	0,5/0,2	0,6/ 0,0	-11/ -14	10/9	-4/-8	-5/-6
<i>II</i> (1965-1974)	-0,1/0,1	-0,2/-0,1	-0,6/-1,0	-0,3/-0,6	-11/-13	3/5	0/-1	-4/-4
<i>III</i> (2004-2013)	1,1/ 0,9	1,7/ 1,5	1,3/0,8	1,4/0,9	1/-1	2/8	8/8	-1/3
<i>D<sub>II-I</sub></i>	-1,0/-0,7	-0,8/-0,5	-1,1/-1,2	-0,9/-0,6	0/1	-7/-4	4/7	1/2
<i>D<sub>III-I</sub></i>	0,2 /0,1	1,1 /1,1	0,8 /0,4	0,8 /0,9	12 / 13	-8/-1	12/16	4/9

Максимальные значения летней температуры в 1972 и 1974-х гг. (2,3°C) были сравнимы с 1936 гг. (2,4°C), который оставался рекордным до 2013 г., хотя фоновая температура и летом, и осенью, была значительно ниже – на 1,1°C и 0,5-0,8°C, соответственно. Значительных изменений осадков не выявляется, хотя реанализ WFDE5 показывает их рост в холодный период на 7%. Перечисленные факторы позволяют сделать вывод, что гидротермический режим маловодной фазы 1960-1970 гг. отличался от 1930-1940 гг. высокой повторяемостью холодных летне-осенних сезонов, что говорит о снижении потерь на испарение. Дополнительным фактором, возможно, стал рост осадков холодного периода, хотя он не превышает 4-7% и частично нивелируется снижением осенних.

В середине 2000-х-начале 2010-х гг. максимум летней температуры в 2013 г. – 2,4°C, по данным HadCRUT, несмотря на ее непрерывный рост с начала 1990-х гг., не увеличился по сравнению с прежним температурным рекордом 1936 г. (отметим, что реанализ WFDE5 в 2013 г. показывает 2,0°C). Выросли на 0,1-0,2°C, по сравнению 1930-1940 гг., фоновые значения летней температуры. Существенно, более, чем на 1,0°C, повысилась, фоновая температура в начале осени (сентябрь-октябрь). При этом, заметно, на 12-16%, возросли осадки летнего сезона и холодного периода, что указывает на отличительную особенность гидротермического режима этого периода. Увеличение осадков стало основным фактором водного баланса, который не позволил перейти снижению водности в полноценную маловодную фазу, несмотря на летнее и, особенно, осеннее потепление и связанный с ним рост испарения. Отметим, что в силу физических закономерностей отмеченный рост осадков может быть вызван, наряду с вариациями атмосферной циркуляцией, потеплением климата.

*Изменения вклада сезонных осадков как фактор аномалий стока.* Северная Двина – река с преимущественного снегового питания. Благодаря накоплению в

течение длительной зимы осадков в виде снега и интенсивного таяния объем стока весеннего половодья достигает 50 % годовой величины стока воды. Тем не менее, в отдельные периоды, а также за 1910-2020 гг. в целом, осадки теплого периода (ТП) вносят больший вклад в изменчивость годового стока Северной Двины по сравнению с осадками холодного периода (ХП), основную долю которых составляют снегозапасы. На это указывают коэффициенты корреляции между стоком и метеопараметрами, представленные по 15-летним скользящим периодам за 1910-2020 гг. (рис. 1а). Оценки, полученные по данным наблюдений за стоком и осадками (CRUts) за 1910-2020 – 42% ( $p \leq 0,05$ ) и 19% ( $p \leq 0,10$ ), соответственно, подтверждаются, с небольшими расхождениями, результатами моделирования и данными WFDE5 (49% ( $p \leq 0,01$ ) и 21% ( $p \leq 0,08$ )).

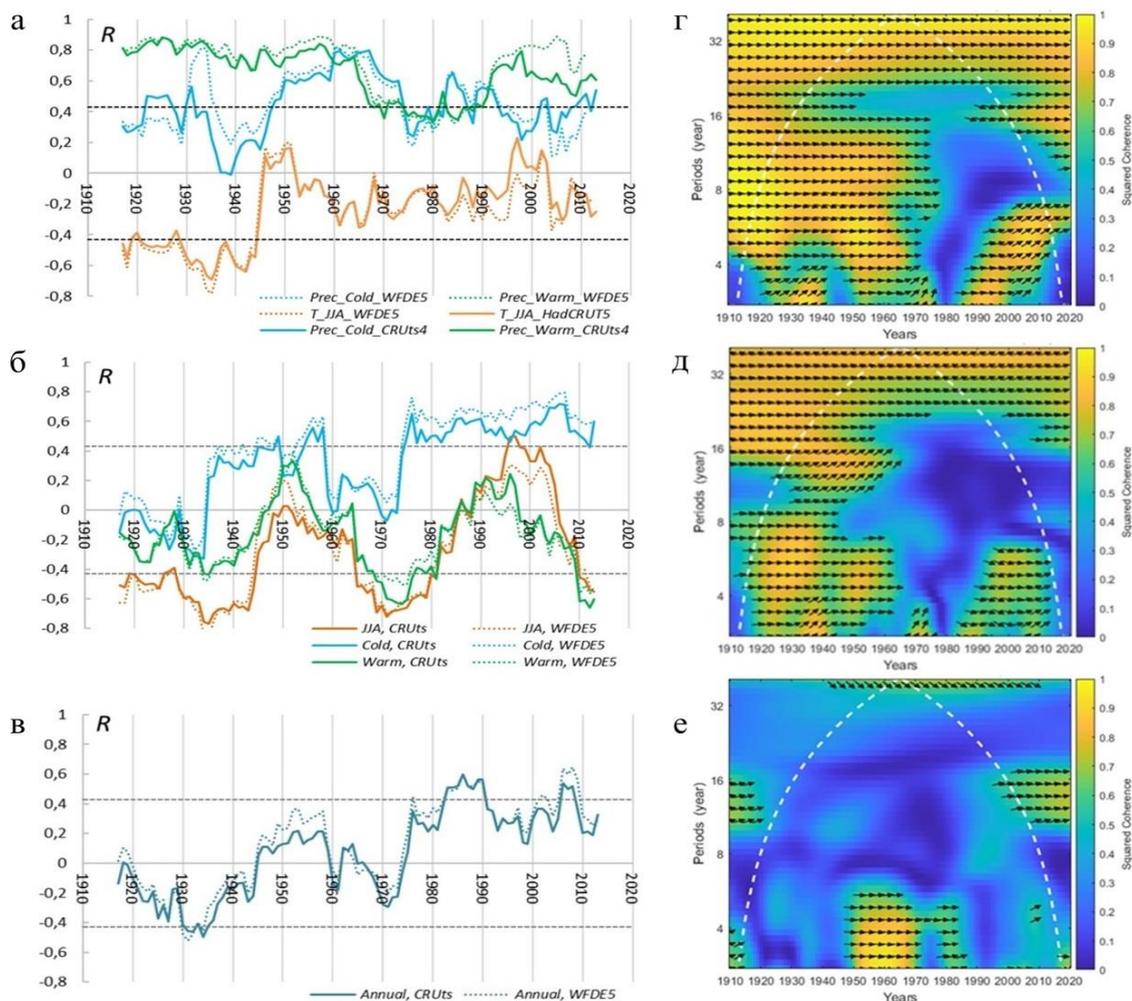


Рис.1 – Связь годового стока Северной Двины (Усть-Пинега) с сезонными осадками и температурой по данным наблюдений (HadCRUT5, CRUts4) и реанализа WFDE5: а,б,в – коэффициенты линейной корреляции по 15-летним скользящим периодам (а) стока с осадками ХП, ТП и летней температурой, (б) летних осадков, осадков ХП и ТП с температурой, (в) годовых осадков с температурой; г,д,е – спектры вейвлетной когерентности между стоком и (г) осадками ТП, (д) летних осадков и (е) осадков ХП

Доля общей изменчивости осадков ТП и годового стока, держится на высоком уровне, 50-80%, в период ПСДВ, до 1960-х. Вклад изменчивости, связанной с осадками ХП, в 1920-1930-х гг. достигает 18-50 % по данным CRUts (WFDE5 – до 60-64%). В конце 1940-х корреляция стока и осадками ХП возрастает, достигая максимума– 0 74-0,80 ( $p=0,00$ ) (60-64% их общей изменчивости) в 1960 -х гг. на фоне падения вклада

осадков ТП. С 1980-х теснота корреляции стока с осадками ХП и ТП колеблется в противофазе, при этом вклад осадков ХП не поднимается выше 42%, а с середины 1990-х проявляется кратковременно. Доля изменчивости стока, связанная с осадками ТП, напротив, в 1990-х достигает максимума, 60-64%, к середине 2010-х держится на уровне 36-40%. Данные WFDE5 и модельных расчетов стока показывают более продолжительный рост корреляции между стоком и осадками ТП – до конца 2000-х с максимумом 0,86 ( $p=0,00$ ), т.е. 74% от общей изменчивости.

Вейвлетные спектры когерентности позволяют анализировать полученные оценки с точки зрения частотно-временной структуры изменчивости стока Северной Двины. С осадками ТП (рис.1г) связана основная часть дисперсии годового стока, прежде всего, максимумы 1920-1940 гг., в области периодов 5-7 лет, и 1950-1960 гг., в области 4-5-летних периодичностей. В области высокочастотной изменчивости, около 2-3-летних периодов, связь ожидаемо слабее, поскольку формирование стока связано с инерционными процессами, обусловленными увлажнением/иссушением бассейна, уровнем грунтовых вод и пр. Максимальными значениями когерентности в высокочастотной области выделяются 1930-1940 гг. и 1990-2000 гг. Полоса высокой когерентности в низкочастотной области, выше 0,9, указывает на связь колебаний с периодам 30-35 лет с осадками ТП. Хотя с ними связана небольшая часть дисперсии, в многолетнем ходе годового стока Северной Двины эти колебания очень заметны, и представляют интерес с точки зрения сохранения этих периодичностей и соответствующих направленных тенденций, продолжительностью 15-18 лет. Когерентность с летними осадками (рис. 1д) показывает более локализованные очаги, и демонстрирует основной вклад в изменчивость стока, особенно в области высокочастотных колебаний, в том числе в 1920-х, в первой половине 1970-х, а также в конце 2000-х- начале 2010 гг.

В отличие от ТП вклад осадков ХП в изменчивость годового стока Северной Двины (рис.1е) проявляется в спектре когерентности в ограниченной области периодов, 2- 5 лет, и очень локально – в период с 1950-х до середины 1980 гг. с «перерывом» на начало 1970-х, а также в 2000-х. Период 1950-1970 гг. отмечен максимальной когерентностью, выше 0,9, в области высокочастотных колебаний от 2 до 4 лет. В 1980-х вклад осадков ХП проявляется в том же частотном диапазоне, но значительно ослабевает, в 2000-х статистически значимая когерентность сохраняется только в области межгодовых, 2-летних, колебаний.

*Вклад современного потепления в тренд осадков в бассейне Северной Двины.* Наряду с физическими закономерностями, выраженными законом Клаузиса-Клапейрона, связь осадков с температурой обусловлена особенностями атмосферной циркуляции. В бассейне Северной Двины осадки в основном связаны с усилением зонального переноса и поступают с североатлантическими циклонами, с которые, приносят потепление зимой и похолодание в летом [4]. С ослаблением зональной циркуляции связан рост повторяемости блокирующих антициклонов, сопровождающихся сокращением осадков, на фоне роста температуры в ТП, и ее понижения в ХП. Очевидно, что перечисленные выше циркуляционные условия аномалий температуры и осадков могут исказить оценки связи осадков с ростом температуры на фоне потепления.

На это указывает неустойчивый и неоднозначный характер изменений коэффициентов корреляции между осадками температурой, представленных по 15-летним скользящим отрезкам (рис. 1б). Меняется не только теснота связи, но и знак. Это характерно для летних осадков – в 1910-1940-х, 1960-1990-х, а также с 2010-х гг., наблюдается достаточно тесная отрицательна связь с температурой, до  $r=-0,77(p=0,00)$ ; с середины 1990-х до начала 2000-х связь становится положительной. Похожий временной ход демонстрирует корреляция температуры с осадками ТП, но за

рассматриваемый период в целом корреляция между осадками ТП и температурой отсутствует, а в случае летнего сезона проявляется слабо ( $r=-0,29$ ,  $p<0,05$ ).

В холодный период связь осадков с температурой, в целом, положительная и более стабильна (рис.16). С середины 1970-х корреляция практически не опускается ниже статистической значимости, и в среднем составляет 0,56-0,66, по данным CRUts, и WFDE5, соответственно. С середины 1930 до конца 1950-х гг. связь ослабевает, по данным CRUts4 статистически значимой она становится только в середине 1950-х гг. Поэтому в целом за 2010-2020 гг. корреляция осадков с температурой в ХП слабая –  $r = 0,30$  ( $p=0,05$ ), по данным HadCRUT5,  $r= 0,39$  ( $p=0,03$ ), по данным WFDE5.

Регрессионные оценки указывают на существенный рост осадков ХП связанный с потеплением этого сезона в последние тридцатилетие (1991-2020 гг.) – 8-12 мм/1°C, по данным CRUts и WFDE5, соответственно. В период ПСДВ эта зависимость не выявляется, а в целом за рассматриваемый период составляет 6-9мм/1°C, что примерно соответствует соотношению Клаузиса-Клапейрона. В летний сезон зависимость осадков от температуры в целом за рассматриваемый период имеет противоположный знак, в период ПСДВ (1911-1940 гг.) сокращение осадков при росте температуры достигало 19-21 мм/1°C, в целом за 1910-2020 гг. оно составляет 7-8 мм/1°C. В последнем тридцатилетии эта зависимость утрачивается, что вероятно, можно расценивать как эффект потепления, компенсирующий влияние ослабление зональной циркуляции.

*Заключение.* Полученные результаты приводят к выводу о существенных различиях роли осадков ХП и ТП в колебания стока Северной Двины. В первую очередь, они связаны с преобладающим вкладом осадков ТП, а также летних осадков, в изменчивость речного стока, включая межгодовые, квазидесятилетние и долгопериодные колебания.

Осадки холодного периода вносят основной вклад в формирование объемов стока, но их роль в 110-летней изменчивости, ограничена как временным, так и частотным интервалом. Это связано с процессами формирования снегового стока, способствующими трансформации основного объема снегозапасов в сток. Осадки ТП на 30-40% превышают осадки ХП, помимо формирования стока и затрат на испарение, значительная их часть идет на увлажнение бассейна и пополнение грунтовых вод, аномалии которых вносят определенный вклад в формирование стока последующих нескольких лет. Этим объясняется преобладающий вклад осадков ТП в изменчивость стока во всем спектре колебаний, включая низкочастотные, с периодом 30-35 лет, с которыми связана повторяемость маловодных фаз в бассейне Северной Двины.

Климатический режим современного летнего потепления и снижения водности Северной Двины в конце 2000-2010-х гг. качественно подобен аномалиям периода ПСДВ. Кроме того, что в обоих случаях драйвером летнего потепления является положительная фаза АМО [2], это сходство проявляется в росте вклада летних осадков в изменчивость стока и увлажнения. В то же время, экстремумы летней температуры, не уступающие значениям 1930-х гг., а также возросшая фоновая температура ТП в целом, не вызывают засухи и существенного падения водности Северной Двины. Это отличие современного потепления от ПСДВ обусловлено ростом осадков, в основном в холодный период, который, как подтверждают результаты анализа связи осадков с температурой, может расцениваться как следствие современного глобального потепления.

*Исследования проведены при финансовой поддержке РФФ, проект №22-27-00495«Климатические и циркуляционные факторы аномалий увлажнения крупных речных бассейнов Европейской России в эпоху потепления середины XX столетия»*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Popova V., Aldonina T., Bokuchava D. Manifestation of the Early 20th Century Warming in the East-European Plain: Atmospheric Circulation Anomalies and Its Connection to the North Atlantic SST and Sea Ice Variability // *Atmosphere* 2023, 14, 428.
2. Gusev, E.M., Nasonova, O.N., Dzhogan, L.Ya., Kovalev, E.E., Northern Dvina runoff simulation using land-surface model SWAP and global databases // *WaterResour.*, 2011, vol. 38, no. 4, pp. 470–483.
3. Cucchi, M., Weedon, G. P., Amici, A., et al. WFDE5: bias-adjusted ERA5 reanalysis data for impact studies. *Earth System Science Data* // 2020,12, 2097–2120.
4. Попова В.В. Современные тренды осадков и атмосферной циркуляции в речных бассейнах европейской части России // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 2023, № 87(1), С. 60-76.

### **ПОКАЗАТЕЛИ СПЛОЧЕННОСТИ МОРСКОГО ЛЬДА В КАЧЕСТВЕ ИНДИКАТОРА ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА ЗА ПЕРИОД 1979-2022 Г.Г.**

*Попова В.Г.*

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, popovavi.popova@yandex.ru

С каждым годом споры по вопросу изменения климата нарастают. Причем не только среди научных исследователей, но и среди простых жителей. Причиной этому становится явные скачки метеорологических показателей (в первую очередь температура воздуха, показатели ветрового режима, атмосферное давление и др.). Изменчивость климата оказывает существенное влияние на экономическую и хозяйственную деятельность населения. На арктическом шельфе широко развита добыча углеводородов, созданы порты для морского сообщения как внутри страны, так и с другими странами.

В Арктическом регионе изменение климата наиболее заметно можно пронаблюдать по изменениям показателей морского льда морей (сплоченность, возраст, формы льда, торосистость и др.). Одним из основных считается сплоченность, показатели которой и приведены в данной работе.

Сплочённость льда – условная величина, которая характеризует степень покрытия поверхности воды дрейфующим льдом; её количественное значение оценивается через отношение общей площади льда к общей площади видимой морской поверхности [1]. Наиболее часто мерой измерения сплоченности принято считать баллы. В данной работе значения сплоченности приводятся также в тысячах квадратных километрах.

В данной работе проведен анализ сплоченности в северо-западной части Северного Ледовитого океана. Выделение отдельных районов (секторов) было выполнено в соответствии с классификацией Арктического и антарктического научно-исследовательского института (ААНИИ), за период 1979–2022 гг.

Источником данных служит база данных по морскому льду ААНИИ [2]. Исследуемый район – сектора акватории СЛЮ между Северным полюсом, Гренландией, Шпицбергенем и Землей Франца-Иосифа площадью 980,5 тыс. км<sup>2</sup> (рис. 1а). Данный район в наименьшей степени исследован российскими и зарубежными авторами. Он представляет интерес с точки зрения наблюдаемой максимальной площади льда в течение всего года по сравнению с районами СЛЮ, непосредственно примыкающими к окраинным арктическим морям. Здесь следует ожидать

минимальную сезонную изменчивость, поскольку ледяной покров в данном районе присутствует круглый год. Конкретными объектами наших исследований стали сектора (по классификации ААНИИ) под номерами 26, 27, 33 и 34 (см. рис. 1б).

По показателям сплоченности выбранных районов (рис. 2) (по классификации Арктического и Антарктического научно-исследовательского института) можно выделить следующие закономерности:

1. За последние 10-15 лет значительно увеличилась межгодовая изменчивость показателя;
2. Во всех выбранных районах наблюдается тенденция к уменьшению значений сплоченности.

Наименьшие значения сплоченности во всех исследуемых районах наблюдается в 2016 году. Также следует отметить, что максимальной сплоченности за весь период исследования не наблюдалось. Из вышесказанного можно сделать вывод, что за последние 20 лет произошла смена ледового режима, что свидетельствует об изменении климата. Изменения климата в северных районах планеты ощутимы и значимы наиболее остро.

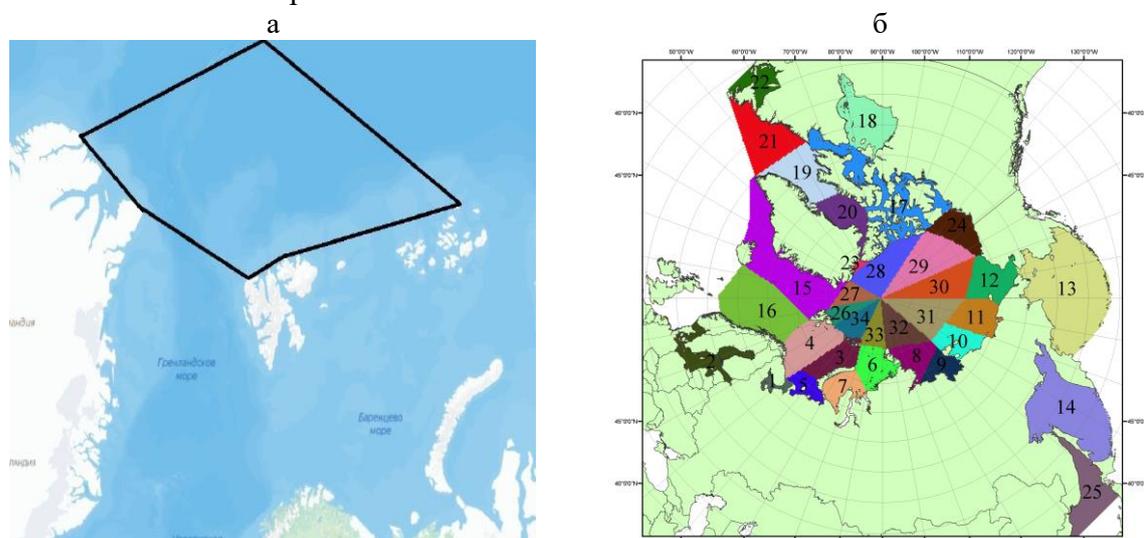


Рис. 1 – Район исследования на карте (а) и районирование СЛО по классификации ААНИИ (б)

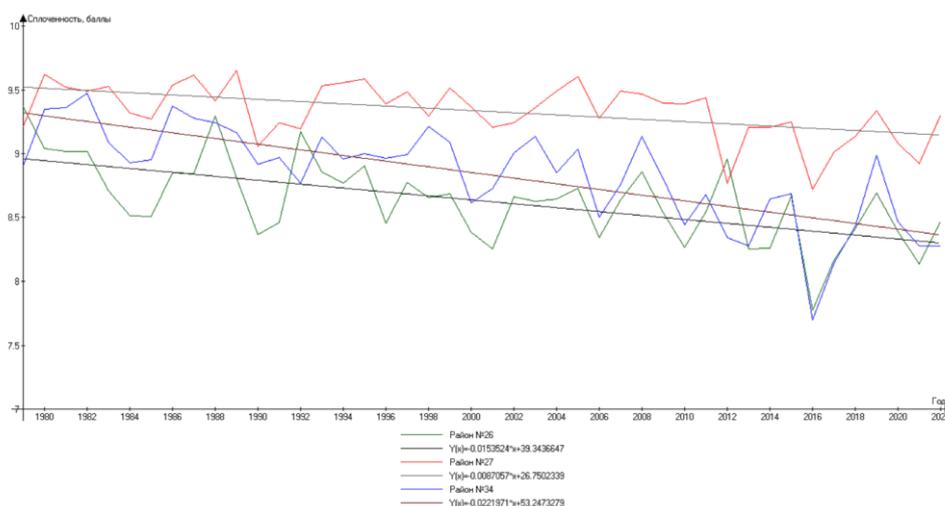


Рис. 2 – Среднегодовая сплоченность по данным ААНИИ (1979-2022г.г.)

В экономическом плане изменение климата в сторону потепления с какой-то стороны выгодно. Во-первых, сокращение площади льдов, а также их большая

разрозненность (меньшая сплоченность) будет плюсом судоходству, так как увеличивается время, когда по территории Северного Ледовитого океана могут проходить суда с меньшим ледовым классом.

Во-вторых, на шельфе Северного Ледовитого океана широко развита добыча углеводородов. Меньшие ледовые показатели будут способствовать меньшим затратам на укрепление нефтяных платформ. Ну и наконец, смягчение климатических характеристик приводит к более благоприятной жизни и самого населения. Из-за сокращения суровых условий, может происходить меньший отток населения в более теплые регионы. А также наблюдается заинтересованность со стороны туристов посетить северные, но уже не столько суровые местности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Номенклатура морских льдов. - Ленинград: Гидрометеиздат, 1974. 77 с.
2. Мировой центр данных по морскому льду Арктического и Антарктического Научно-Исследовательского Института (МЦД МЛ ААНИИ) [Электронный ресурс] – URL:<https://wdc.aari.ru/datasets/ssmi/>, свободный (дата обращения: 24.06.2023).

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАССЕЙЯНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ, ВЫЗВАННОГО ЧАСТИЦАМИ АЭРОЗОЛЯ В АТМОСФЕРЕ

*Потапова И. А.<sup>1</sup>, Бобровский А. П.<sup>1</sup>, Дьяченко Н.В.<sup>1</sup>, Михтеева Е.Ю.<sup>1</sup>,  
Ржонсницкая Ю.Б.<sup>1</sup>, Саноцкая Н. А.<sup>1</sup>, Скобликова А. Л.<sup>1</sup>, Хлябич П. П.<sup>1</sup>, Яковлева Т.Ю.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург, [potapovaira@yandex.ru](mailto:potapovaira@yandex.ru)

Разработка методов лидарного зондирования атмосферы, важных для целей экологического мониторинга также и в арктической части воздушного бассейна, предполагает решение ряда научных проблем, включая задачу интерпретации лидарной информации. С помощью бесконтактных оптических методов зондирования можно не только определить концентрацию загрязняющих веществ, но их структуру и вид. В настоящее время в воздушном арктическом бассейне существенно повысилась концентрация загрязняющих веществ, как результат горения лесов, извержения вулканов, антропогенного воздействия больших городов и т.д.

В последнее время возникла необходимость выделять виды загрязняющих веществ, таких как парниковые газы, черный углерод и других. Для решения данной проблемы удобно использовать бесконтактные оптические методы зондирования атмосферы. Для использования результатов зондирования необходимо разработать методы определения вида веществ по их оптическим свойствам. Для этого решают лидарное уравнение.

Существенно усложняют проблему неопределенность лидарного уравнения, обращение которого лежит в основе интерпретации результатов, и математическая некорректность обратной задачи. Эти особенности негативно сказываются на достоверности определения искомым величин. Для повышения достоверности определения оптических характеристик атмосферного аэрозоля в работах [1-6] развиты интегральные методы многопозиционного зондирования атмосферы.

В условиях лидарного зондирования слабо рассеивающей атмосферы, зондирования атмосферного аэрозоля, выполняемого на значительных расстояниях от приемопередатчика, возрастает значение случайной и систематической погрешности измерений, в том числе, погрешности из-за неточного знания фоновой засветки, как это

показано в работах [7-10].

### 1. Результаты анализа данных аэрозольных экспериментов.

Необходимость параметризации оптико-микроструктурных свойств аэрозольных частиц связана с определением характеристик микроструктуры аэрозоля, в том числе, по коэффициенту ослабления частиц. Выполнение такой параметризации осложняется из-за существования различных оптических особенностей аэрозольных фракций, рассмотренных в работах [11-15].

Среди других факторов, усложняющих задачу, можно выделить значительную изменчивость рассеивающих характеристик частиц, не укладывающуюся в рамки теории рассеяния света однородной частицей. В связи с этим осуществляется моделирование рассеивающих свойств атмосферного аэрозоля с учетом данных эксперимента. В процессе выполнения совместных лидарных, трансмиссометрических и фотоэлектрических измерений была установлена корреляция между коэффициентом ослабления и концентрацией частиц. В частности, оказалось, что существует тесная связь между коэффициентом ослабления и интегральной счетной концентрацией частиц. Найденную связь можно использовать для определения содержания аэрозоля в воздухе. Она оказалась стабильной в серии выполненных экспериментов.

Для объяснения экспериментальных фактов рассматривается оптическая модель частиц, основанная на данных выполненных экспериментов, и полученное в них распределение частиц по размерам, т. е. факторы, которыми определяется коэффициент ослабления аэрозоля. При этом учитываются результаты фильтровых измерений, проведенных в экспериментах, выполненных одновременно с фотоэлектрическими измерениями.

Известно, что в атмосфере наблюдаются частицы, состоящие из ядра и оболочки, обладающие разными оптическими свойствами. Примером могут служить обводненные частицы аэрозоля. Рассмотрим зависимость отношений размеров частиц  $D(OC)$ ,  $D(FU)$ , найденных, соответственно, оптическим счетчиком OC и фильтровым устройством FU от коэффициента ослабления  $\sigma \text{ км}^{-1}$ , представленную на рис. 1.

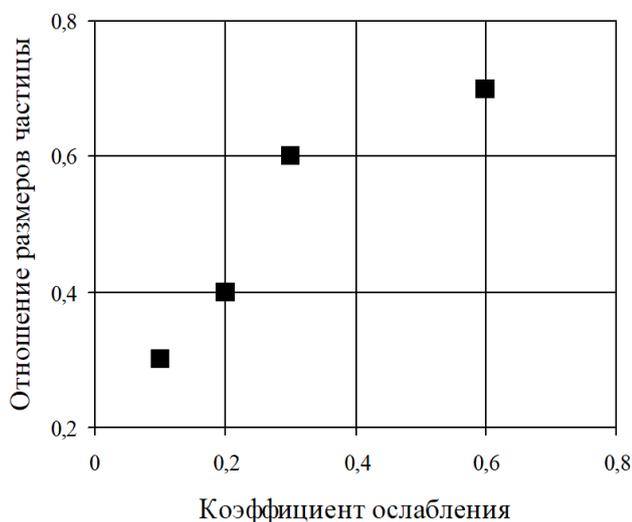


Рис. 1 – Результаты сравнительного анализа размеров частиц, измеренных OC, FU

Представленные результаты показывают, что размеры частиц, полученные оптическим счетчиком, меньше размеров, полученных фильтровым аспирационным устройством. Это означает, что индикатриса рассеяния под прямым углом, пропорциональная квадрату размера частицы, у натуральных частиц меньше индикатрисы рассеяния градуировочных частиц, причем различие, достигая, в среднем, порядка величины, может значительно превышать порядок величины. Следует обратить внимание на то, что этот факт относится, в основном, к частицам грубодисперсной

фракции, размеры которых существенно превышают 1 мкм.

## 2. Результаты моделирования характеристик рассеяния излучения частицей

Для детального анализа данных натуральных измерений рассматривается модель неоднородной частицы с радиально изменяющимся показателем преломления в оболочке, покрывающей однородное ядро. Результаты расчетов для частицы с ядром из сажи, показатель преломления которой  $1.82-0.64i$ , представлены на рис. 2.

Здесь  $IR(1)/I(1,33)$  - относительная индикатриса рассеяния. Угол рассеяния 90 градусов выбран для моделирования процесса рассеяния в фотоэлектрическом счетчике частиц,  $IR=I(L)/I(0)$ ,  $L=\rho_1-\rho_0$  - безразмерная толщина покрытия,

$$IR(1.33): \quad m=(0.98-1.28i)/(1+d)+0.84+0.64i, \quad (1)$$

$$IR(1): \quad m=(1.64-1.28i)/(1+d)+0.18+0.64i, \quad (2)$$

$$d = (\rho - \rho_0) / (\rho_1 - \rho_0), \quad \rho = \rho_0 (1 + 0,01k).$$

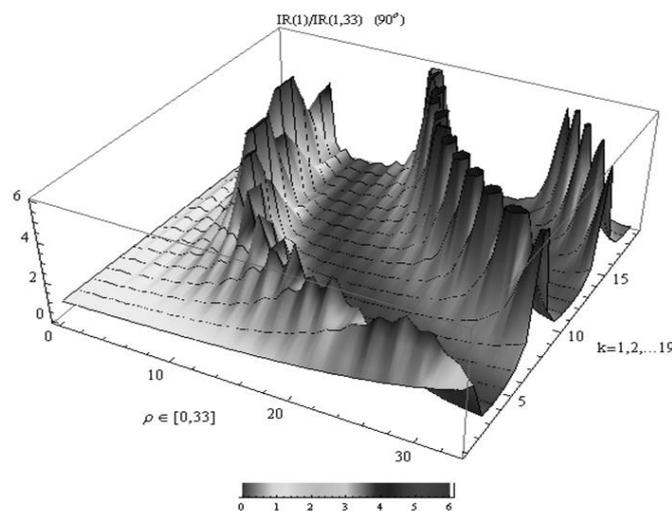


Рис. 2 – Зависимость относительной индикатрисы рассеяния от структуры и размера частицы

Величина  $(1+0,01k)$  представляет собой отношение размера частицы, включая покрытие, к размеру ее ядра. Формула (1) моделирует неоднородное покрытие из сажи с водой. Формула (2) моделирует неоднородное покрытие из сажи без воды. На рис. 2 приведены зависимости величины  $IR(1)/IR(1,33)$  от величин  $\rho_0$ ,  $k$  и хорошо видна область минимумов отношений  $IR(1)/I(1,33)$ . На рис. 3 представлено значение  $G$  величины  $k$ , соответствующее минимуму относительной индикатрисы рассеяния при наличии увлажненного покрытия.

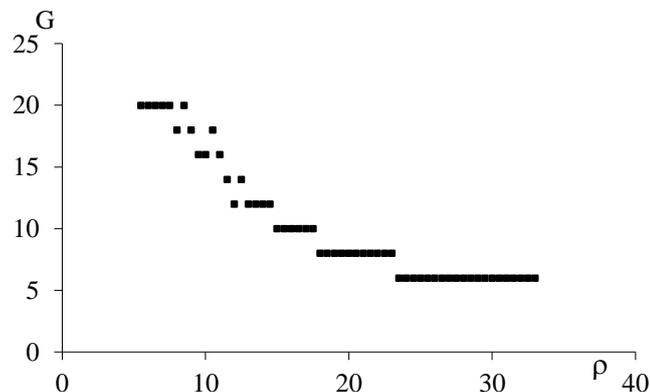


Рис. 3 – Значение величины  $k$ , соответствующее минимуму индикатрисы

На рис. 4 представлен минимум относительной индикатрисы рассеяния для разных размеров частиц, факт существования которого негативно сказывается на достоверности результатов оптических измерений аэрозольных характеристик.

Приведенные данные согласуются с экспериментальными результатами, показывающими существенное уменьшение индикатрисы рассеяния, которое объясняется структурированностью частицы. Расчеты показывают, что проинтегрированный по углам и при углах рассеяния, меньших 30 градусов, эффект уменьшения индикатрисы рассеяния за счет структурированности частицы выражен значительно слабее.

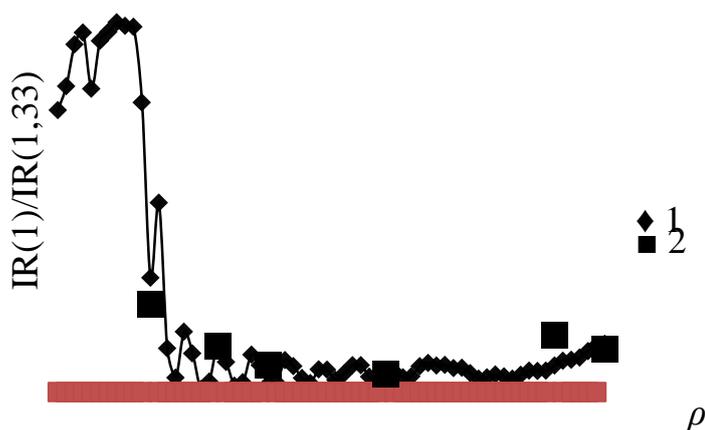


Рис. 4 – Минимум относительной индикатрисы рассеяния при наличии увлажненного покрытия. Результаты измерений (1) и расчетов (2)

Таким образом, разработана модель сферически неоднородной рассеивающей частицы, включающей однородное ядро и оболочку с радиально переменным показателем преломления, отличающаяся диапазоном отношений оболочка/ядро, что позволило достаточно адекватно описать данные эксперимента.

#### **Заключение**

Для целей определения микроструктурных характеристик по результатам оптических измерений разработана модель сферически неоднородной рассеивающей частицы, включающей однородное ядро и оболочку с радиально переменным показателем преломления, отличающаяся диапазоном отношений оболочка/ядро, адекватно описывающая данные эксперимента. Установлено слабое влияние структурированности малых частиц на их рассеивающие свойства, что повышает точность оптических измерений их микроструктурных характеристик.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Yegorov A.D., Potapova I.A., Rzhonsnitskaya Yu.B. Atmospheric aerosols measurements and reliability problem // International Journal of Remote Sensing, 2008. 29. Pp. 2449 – 2468.
2. Potapova I.A., Bobrovsky A.P., Dyachenko N.V., Rzhonsnitskaya Yu.B., Sanotskaya N.A., Mikhteeva E.Yu., Khlyabich P.P., Kostsov V.V. Method for solving the inverse problem of lidar sounding of a weakly turbid atmosphere // Journal of Instrument Engineering. 2021. Т. 64. № 5. С. 384-391.
3. Егоров А.Д., Потапова И.А., Ржонсницкая Ю.Б., Ошуркова А.А. Методы лидарного зондирования аэрозольных загрязнений атмосферы импульсами конечной длительности // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2011. № 18. С. 48-56.
4. Егоров А.Д., Потапова И.А. Лидарные исследования прозрачности атмосферы // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2004. № 553. С. 131-

142.

5. Потапова И.А., Бобровский А.П., Дьяченко Н.В., Ржонсницкая Ю.Б., Саноцкая Н.А., Скобликова А.Л., Яковлева Т.Ю. Модель процесса экстремального рассеяния света частицей атмосферного аэрозоля // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2021. Т. 64. № 5. С. 376-383.
6. Бобровский А.П., Дьяченко Н.В., Егоров А.Д., Косцов В.В., Калинин Д.В., Куклин О.А., Михтеева Е.Ю., Потапова И.А., Скобликова А.Л., Хлябич П.П., Яковлева Т.Ю. Алгоритм лидарного определения фоновой засветки и коэффициента ослабления слабо замутненной атмосферы без итерационного процесса // В книге: Современные проблемы гидрометеорологии и устойчивого развития Российской Федерации. Сборник тезисов Всероссийской научно-практической конференции. 2019. С. 58-60.
7. Egorov A.D., Potapova I.A., Rzhonsnitskaya Yu.B. "The treatment of low-power lidar signals" // J. Opt. Technol., 2007. 74. Pp. 665-668.
8. Егоров А.Д., Потапова И.А., Ржонсницкая Ю.Б. Оценка случайных погрешностей лидарных измерений атмосферных характеристик // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2011. № 17. С. 51-55.
9. Егоров А.Д., Потапова И.А., Ржонсницкая Ю.Б., Саноцкая Н.А. Оценка погрешностей результатов лидарного зондирования слабо замутненной атмосферы // Оптический журнал. 2013. Т. 80. № 3. С. 58-60.
10. Егоров А.Д., Потапова И.А., Привалов Д.В. Систематические погрешности обращения лидарных сигналов малой мощности // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2006. № 555. С. 30-34.
11. Whitby K.T. (1978). The Physical Characteristics of Sulfur Aerosols. // Atmos. Environ. Vol. 12, p. 135-159.
12. Егоров А.Д., Потапова И.А. Способ определения прозрачности атмосферы // Патент на изобретение RU 2439626 С2, 10.01.2012. Заявка № 2009144060/28 от 27.11.2009.
13. Егоров А.Д., Потапова И.А., Ржонсницкая Ю.Б., Саноцкая Н.А. Определение оптических и микроструктурных характеристик атмосферного аэрозоля // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2009. № 11. С. 71-78.
14. Егоров А.Д., Потапова И.А. Определение характеристик аэрозоля лидарными системами // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2003. № 552. С. 14-18.
15. Егоров А.Д., Ржонсницкая Ю.Б., Потапова И.А., Саноцкая Н.А. Определение характеристик атмосферного аэрозоля по данным оптических измерений // Естественные и технические науки. 2010. № 1 (45). С. 215-222.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОГО ШУМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЛАВАЮЩЕГО ЛЬДА**

*Преснов Д.А.<sup>1</sup>, Собисевич А.Л.<sup>1</sup>, Шуруп А.С.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, presnov@physics.msu.ru

<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва

Исследование Северного Ледовитого океана и прибрежных районов крайне актуально для Российской Федерации, обладающей самым протяженным арктическим шельфом, благодаря чему в последние годы активно развиваются геофизические методы его изучения [1, 6, 7]. Толщина ледового покрова является одним из важнейших параметров замерзающих морей, который определяет возможности судоходства и

создания ледовых переправ. Эффективным способом наблюдения за ледовой обстановкой являются спутниковые методы, однако они не всегда дают точную информацию о характеристиках льда, в связи с чем перспективными представляются геофизические методы мониторинга ледового покрова. В настоящей работе представлены результаты разработки и натурной апробации неконтактного метода определения свойств льда вдоль протяженных трасс между расположенными на льду сейсмометрами. Упругие изгибно-гравитационные волны в слое плавающего льда обладают дисперсией скорости распространения, которая зависит от упругих параметров и толщины льда. Это позволяет на основе анализа фоновых сейсмоакустических шумов с использованием двух сейсмических станций измерять скорости изгибных волн и решать обратную задачу для оценки параметров среды распространения между этими станциями.

Для ледовой пластины, лежащей на жидком полупространстве, на частотах ниже 50 Гц сейсмоакустическое поле формируется преимущественно тремя модами: продольной модой, поляризованной вдоль направления распространения волны, поперечной модой с горизонтальной поляризацией вдоль поверхности пластины и изгибно-гравитационной модой [4, 8]. В случае использования трехкомпонентного сейсмоприемника, установленного вертикально на поверхности льда, один из горизонтальных каналов которого ориентирован вдоль трассы распространения, указанные волны естественным образом разделяются и дают преимущественный вклад каждая на соответствующем канале: изгибно-гравитационная мода регистрируется на вертикальном канале, поперечная мода – на горизонтальном канале, ориентированном перпендикулярно направлению распространения волны, продольная – на горизонтальном канале, ориентированном вдоль трассы распространения, где также будет наблюдаться и вклад от изгибно-гравитационной волны, так как для нее характерна эллиптическая поляризация. При этом продольная и поперечные моды практически не обладают дисперсией в рассматриваемом частотном диапазоне и распространяются со скоростями продольных и поперечных волн в безграничном упругом пространстве; в то же время для изгибно-гравитационной волны дисперсия проявляется заметно [2, 7]. Характерный вид временной зависимости изгибно-гравитационной волны начинается с высокочастотной части, которая приходит раньше, и завершается медленно распространяющейся низкочастотной составляющей поля этой моды. В рассматриваемой в настоящей работе схеме оценки параметров ледового покрова используются одноканальные датчики, регистрирующие вертикальную компоненту сейсмического шума в низкочастотной области, где основной вклад в регистрируемое поле дает изгибно-гравитационная волна.

Дисперсионное уравнение изгибно-гравитационной волны, распространяющейся вдоль упругого однородного изотропного ледового слоя, расположенного на жидком полупространстве [4], позволяет по заданным параметрам льда  $h$ ,  $\rho$ ,  $E$ ,  $\mu$  ( $h$ ,  $\rho$  – толщина и плотность ледовой пластины;  $E$ ,  $\mu$  – модуль Юнга и коэффициент Пуассона) рассчитать дисперсионную зависимость фазовой скорости изгибно-гравитационной волны  $c(f)$ . Вычисление групповой скорости  $v(f)$  осуществляется путем численного дифференцирования значений  $c(f)$  на основе формулы Рэлея. В итоге, решение обратной задачи может быть основано на минимизации многопараметрического функционала невязки

$$\varepsilon_{gr}(h, \rho, E, \mu) = \left\| v(f) - v^{(ph)}(f; h, \rho, E, \mu) \right\|_{L_2}, \quad (2)$$

где  $v(f)$  – групповая скорость, оцененная из экспериментальных данных,  $v^{(ph)}(f; h, \rho, E, \mu)$  – результаты численного моделирования, которые зависят от искомых параметров льда  $h, \rho, E, \mu$ ;  $\|\dots\|_{L_2}$  обозначает норму  $L_2$ .

Для исследования многопараметрического функционала мы использовали байесовский подход и, в частности, алгоритм Метрополиса-Гастингса, который позволяет оценить апостериорную функцию плотности вероятности для искомым параметров модели. Результат моделирования при следующих истинных параметрах  $h_0 = 1.1$  м,  $\rho_0 = 870$  кг / м<sup>3</sup>,  $E_0 = 8$  ГПа,  $\mu_0 = 0.3$  представлен на рис. 1, где цветовая шкала гистограмм соответствует нормированной частоте, с которой значения параметров модели встречаются в общем ансамбле сгенерированных решений.

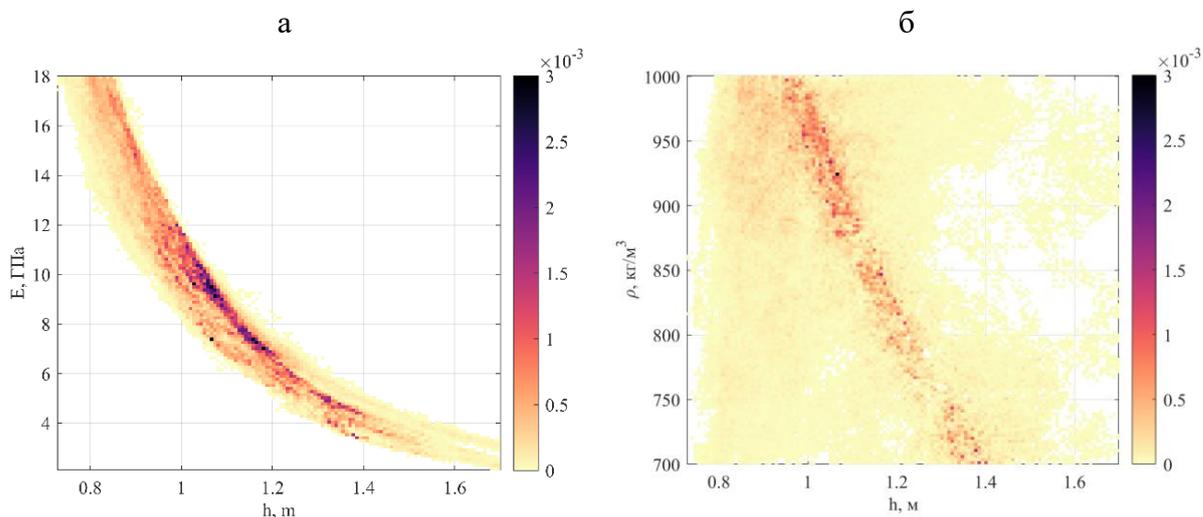


Рис. 1 – Двумерные гистограммы, описывающие функцию распределения вероятностей для рассматриваемой обратной задачи в зависимости от: толщины ледового слоя и модуля Юнга (а), толщины и плотности льда (б)

Таким образом, входными данными для решения обратной задачи и определения параметров ледового покрова является дисперсионная кривая скорости изгибно-гравитационной волны, которую необходимо оценить в эксперименте. При этом может применять два подхода: оценка групповой скорости волны по трассе между двумя удаленными приемниками и оценка фазовой скорости волны непосредственно в месте размещения многоканальной сейсмической косы.

Эффективным способом оценки времени распространения сигнала между двумя приемниками является исследование функции взаимной корреляции шумов [4]. За счет усреднения за длительный период накопления шумового сигнала вклад в функцию взаимной корреляции будут оказывать только источники, расположенные вблизи оси между приемниками, в результате чего функция взаимной корреляции должна иметь два симметричных относительно нулевой временной задержки максимума, положения которых соответствуют времени пробега сигнала между приемниками. В случае диспергирующей волны в ледовом покрове сигнал растягивается во времени, однако его симметричность также остается важным критерием достоверной оценки времени пробега.

На данном этапе проводимого исследования была выбрана одна пара приемников, расположенных на расстоянии  $R \approx 974$  м, в рамках эксперимента, выполненного на озере Байкал [5], где в качестве приемников использовались специально разработанные автономные сейсмические станции [3]. При обработке экспериментальных данных использовались стандартные операции удаления линейного тренда и полосой фильтрации. Необходимыми процедурами являются «нормализация» амплитуды и «обеление» спектра сигнала, которые можно считать стандартными в

задачах, где применяется шумовая интерферометрия [4]. В результате была получена взаимно-корреляционная функция следующего вида (рис. 2).

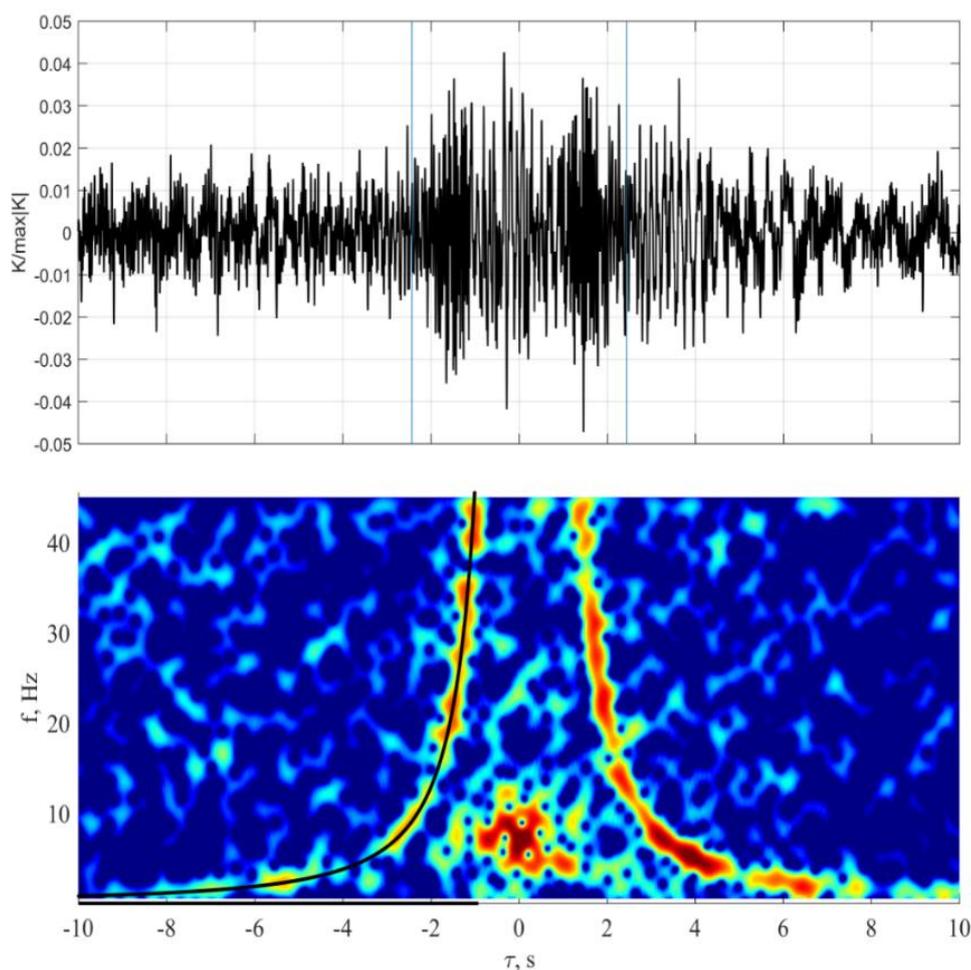


Рис. 2 – Взаимно-корреляционная функция сейсмоакустического шума, принимаемого датчиками, установленными на льду, и её спектрограмма.

В дальнейшем будет анализироваться полусумма фрагментов функции взаимной корреляции, соответствующих положительным и отрицательным задержкам, что позволяет дополнительно повысить отношение сигнал/помеха за счет учета взаимности распространения сигналов между сейсмоприемниками. На рис. 2 внизу представлен модуль спектрограммы функции взаимной корреляции. Сама спектрограмма рассчитывалась, как оконное Фурье-преобразование. При вычислении спектрограммы функция окна имела характерную длительностью  $\approx 0.77$  с; сдвиг по центральной временной задержке осуществлялся с шагом  $\approx 0.04$  с. На рис. 2 отчетливо прослеживаются максимумы спектрограммы, соответствующие временам прихода основной энергии сигнала в различные моменты времени на различных частотах. Другими словами, наблюдается дисперсионная зависимость групповой скорости изгибно-гравитационной волны, которая дает основной вклад в регистрируемую вертикальную компоненту колебательной скорости сейсмоакустического шума. Определение координат  $(\tau, f)$  максимумов модуля спектрограммы дает оценку зависимости групповой скорости от частоты  $\nu(f)$ , где  $\nu = R/\tau$ . Полученная на основе максимумов зависимость  $\tau(f)$  изображена на рис. 2 черной линией. Ошибка полученной оценки  $\nu(f)$  по данным, представленным на рис. 2 не превышает 3% в среднем по рассматриваемому частотному диапазону. В итоге, частотно-временной анализ функции взаимной корреляции шумового поля, зарегистрированного на

поверхности ледового покрова парой разнесенных в пространстве сейсмоприемников, позволяет оценить усредненную вдоль трассы между приемниками дисперсию групповой скорости  $v(f)$  изгибно-гравитационной волны. Эти данные используются далее для оценки параметров льда  $h$ ,  $\rho$ ,  $E$ ,  $\mu$ , которые также следует понимать как средние значения вдоль линии соединяющей приемники.

В качестве метода поиска минимума функции многих переменных (2) использовался стандартный для геофизических приложений алгоритм «имитации отжига» (simulated annealing). Одной из особенностей этого подхода является вероятностный метод определения направления поиска минимума в пространстве неизвестных параметров; в рассматриваемом случае – на множестве возможных значений параметров  $h, \rho, E, \mu$ . Многократное применение алгоритма «отжига» позволяет получить набор решений, обеспечивающих минимальное значение  $\varepsilon(h, \rho, E, \mu)$  с ошибкой не более заданного уровня, определяемого в нашем случае точностью эксперимента. В результате решения обратной задачи была получена оценка модуля Юнга  $E=10\pm 3$  ГПа (соответствует значениям, полученным независимо другими авторами) и оценка толщины льда  $h=0.79\pm 0.08$  м (находится в соответствии с наблюдениями, проводимыми в ходе выполнения настоящего эксперимента).

Таким образом, в работе предложен и апробирован метод оценки толщины, плотности, модуля Юнга и коэффициента Пуассона плавающего ледового покрова с упрощенными требованиями на его практическую реализацию. Используются всего лишь два разнесенных в пространстве сейсмоприемника, регистрирующих вертикальную компоненту колебательной скорости сейсмоакустического шума. Спектрально-корреляционный анализ зарегистрированных шумов позволяет оценить дисперсионную зависимость групповой скорости изгибно-гравитационной моды ледового покрова, что является исходными данными для восстановления средних значений параметров льда между точками наблюдения. Результаты обработки экспериментальных данных с помощью представленного подхода указывают на возможность решения обратной задачи с приемлемой точностью. Это связано с тем, что фактическое количество используемых частот  $\approx 150$ , заметно превышает количество восстанавливаемых параметров льда (четыре характеристики льда  $h, \rho, E, \mu$ ). Также важным фактором является сравнительно высокое отношение сигнал/помеха, которое удалось получить в рассматриваемом эксперименте при спектрально-корреляционной обработке сейсмических шумов.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 22-77-00067.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рогожин Е.А., Антоновская Г.Н., Капустян Н.К. Современное состояние и перспективы развития системы сейсмического мониторинга Арктики // Вопросы инженерной сейсмологии. 2015. Т. 42. № 1. С. 58-69.
2. Преснов Д.А., Собисевич А.Л., Шуруп А.С. Исследование возможностей пассивной томографической реконструкции параметров мелкого моря по данным натуральных измерений на поверхности льда // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2020. Т. 84, № 6. С. 815-818.
3. Собисевич А.Л., Преснов Д.А., Агафонов В.М., Собисевич Л.Е. Вмораживаемый автономный геоакустический буй нового поколения // Наука и технологические разработки. 2018. Т. 97. № 1. С. 25-34.

4. Собисевич А.Л., Преснов Д.А., Шуруп А.С. Фундаментальные основы совершенствования пассивных сейсмогидроакустических методов исследования шельфа Арктики // *Акустический журнал*. 2021. Т. 67. № 1. С. 72-97.
5. Собисевич А.Л., Преснов Д.А., Тубанов Ц.А., Черемных А.В., Загорский Д.Л., Котов А.Н., Нумалов А.С. Байкальский сейсмоакустический эксперимент // *Доклады Российской академии наук. Науки о Земле*. 2021. Т. 496. № 1. С. 82-86.
6. Яковлев А.В., Ковалев С.М., Шиманчук Ег.В., Шиманчук Ев.В., Ньюбом А.А. Сеть сейсмических станций, установленная на дрейфующих льдах: эксперимент на севере Баренцева моря // *Доклады Российской академии наук. Науки о Земле*. 2021. Т. 496, № 2. С. 158-163.
7. Moreau L., Boué P., Serripieri A., Weiss J., Hollis D. et al. Sea ice thickness and elastic properties from the analysis of multimodal guided wave propagation measured with a passive seismic array // *J. Geophys. Res.: Oceans*. 2020. V.125. N.4. P. e2019JC015709.
8. Serdyukov A., Koulikov I., Yablokov A. Numerical modelling of seismic waves from earthquakes recorded by a network on ice floes // *Geophysical Journal International*. 2019. V. 218. № 1. P. 74-87.

## **АСТРОГЕОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА АРКТИКИ**

*Ретеюм А.Ю.*

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва,  
aretejum@yandex.ru

Стратегия развития Арктики должна определяться с учётом строго объективных данных науки, призванной решить проблему происхождения эпох потепления и похолодания в интересах предвидения возможностей и рисков. Есть веские основания полагать, что наблюдаемые ныне радикальные изменения климата есть результат ускоренного дрейфа ядра Земли к Северному географическому полюсу, вызванного расширением Южного полушария, темпы которого контролируются движением Солнца относительно барицентра планетной системы.

В ноябре 2021 г. на Северном морском пути тяжелые льды остановили движение 24 судов. Такая обстановка возникла впервые за много лет. Спутниковые снимки говорят о том, что первые признаки сдвига сезонных сроков на акватории Восточно-Сибирского моря появились ещё в июне. Это событие, произошедшее на фоне длительного потепления, – одна из серии аномалий, наблюдаемых в Арктике, которые требуют чёткого физического объяснения. Прежде всего, имеются в виду факты ускоренного таяния льдов. В последнее время потепление на высоких широтах предлагается считать эффектом обратной связи, поддерживаемой за счет снижения альбедо земной поверхности и увеличения площади открытой воды. Особая чувствительность природы Севера не подлежит сомнению, однако вопрос заключается в географическом положении источника энергии. Гипотеза поступления тепла с юга поддается проверке.

Рассматривая ход температуры приземного слоя воздуха в январе у Северного полюса за период 1990-2023 г., мы видим, что потепление происходит при морозной погоде в условиях полярной ночи, причём тогда, когда сокращение площади льдов минимально.

Характер теплообмена Арктики хорошо отражает направление и скорость меридионального ветра. Имеющие данные указывают на преобладание северного переноса воздуха в тропосфере пограничного субарктического пояса; иначе говоря, Арктика все более изолируется от окружающего пространства.

Наконец, нужно принять во внимание, несоответствие между размещением населения в Северном полушарии (как потенциального климатообразующего фактора), сосредоточенного к югу от 60-й параллели и трендами температуры воздуха в отопительный сезон (рис. 1). Таким образом, гипотеза внешнего антропогенного импульса не подтверждается.

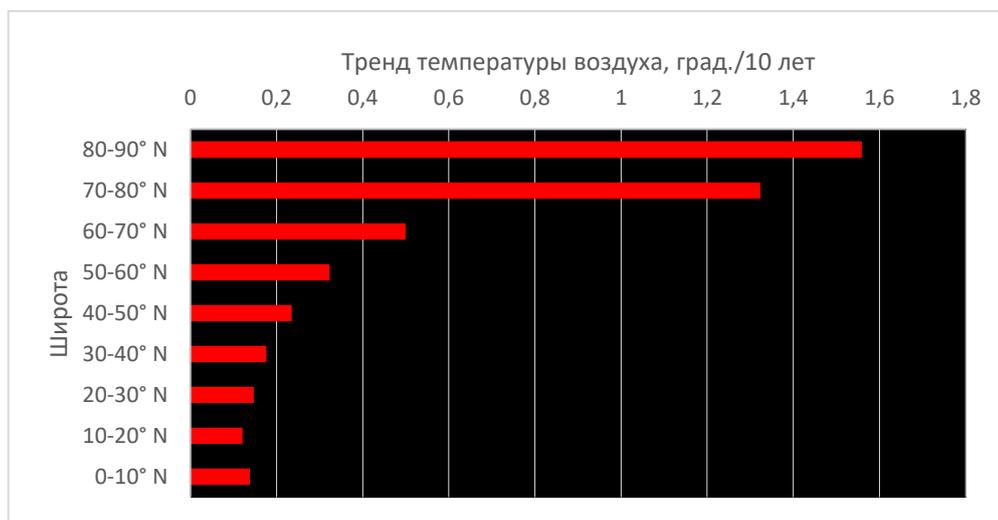


Рис. 1 – Тренды изменений температуры приземного слоя воздуха в январе за период 1990-2023 гг. по широтам Северного полушария

Если в самом деле «Арктика – кухня погоды», должен быть и очаг. Обнаруживаются несколько признаков увеличения в Арктике внутренней энергии. Достаточно назвать три из них, касающихся разных геосфер. Во-первых, к ним относится быстрый рост сейсмической активности недр (рис. 2).

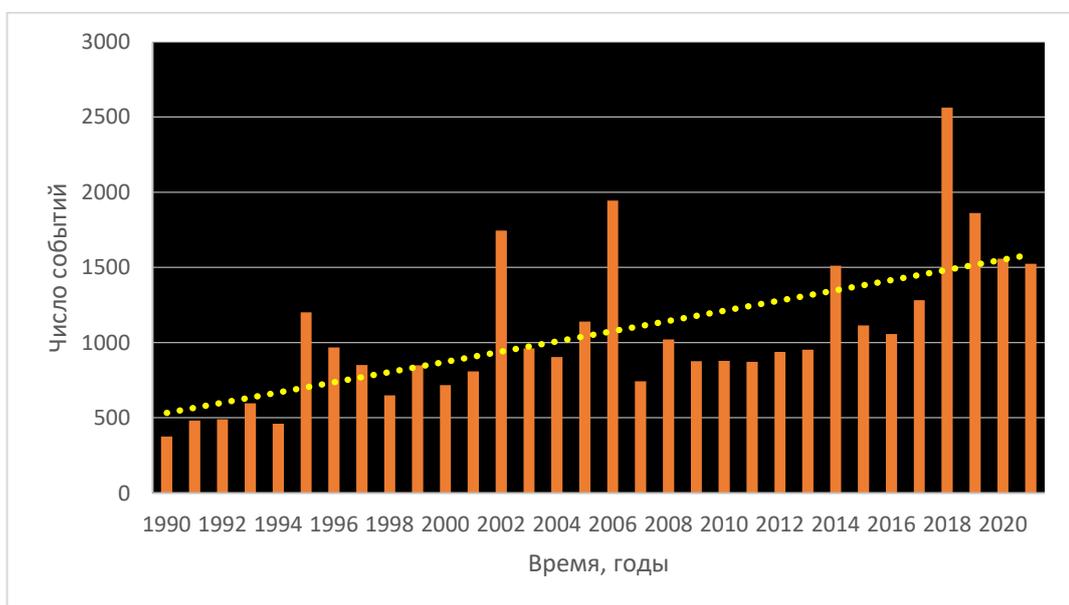


Рис. 2 – Землетрясения с магнитудой  $\geq 3$  к северу от широты  $60^\circ$  в период 1990-2021 гг. Показан линейный тренд.

Источник: расчет по данным <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/catalogue/>

Во-вторых, – высокий динамизм Восточно-Сибирского моря, отделенного от центров действия в Тихом и Атлантическом океанах более статичными Чукотским морем с одной стороны и морем Лаптевых – с другой (рис. 3).

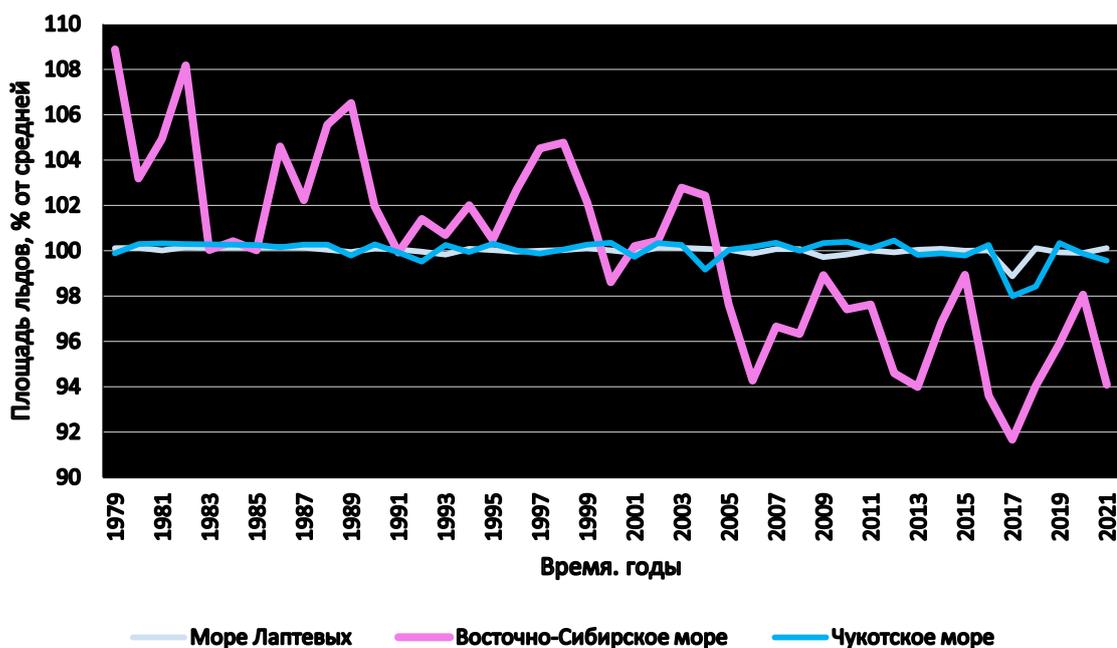


Рис. 3 – Межгодовые изменения площади льдов в море Лаптевых, Восточно-Сибирском море и Чукотском море. Январь.

Источник: расчет по данным <https://nsidc.org/arcticseaicenews/>

В-третьих, – процесс разрушения озонового слоя, исключительно важный для понимания сути происходящего в природе Арктики. Последняя, уникальная по величине и длительности жизни отрицательная аномалия озона существовала в 2020 г. на протяжении четырёх (!) месяцев (рис. 4).

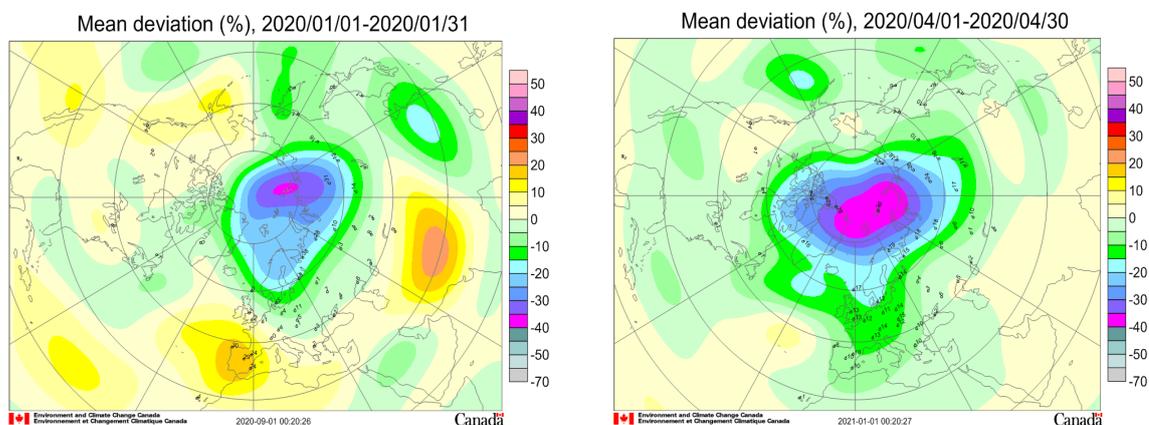


Рис. 4 – Аномалия озона, январь и апрель 2020 г.

Источник: по данным <https://exp-studies.tor.ec.gc.ca/>

В то время над полуостровом Таймыр в стратосфере на уровне 50 гПа скорость зонального ветра превышала 30 м/с, и в аномалии происходило многократное обновление воздуха в течение суток, но несмотря на интенсивный привнос газа со стороны, центр практически не менял своего положения более 120 дней. Такую устойчивость можно объяснить только тем, что в данном месте находится постоянный источник разрушения озона. Географическая сущность его понятна – это высокоактивная зона сочленения Тихоокеанского и Континентального полушарий, проходящая по меридиану 102° в.д. Перед нами неоспоримое доказательство реальности поразительного эффекта разрушения озона из стратосферы при дегазации глубинного водорода, открытого В.Л.Сывороткиным 30 лет назад.

Как и следовало ожидать, момент усиленной дегазации в 2020 г. был отмечен не только снижением общего содержания озона до рекордных значений, но и развитием комплекса последствий соединения водорода с кислородом, включая рост до абсолютного максимума температуры воздуха у земной поверхности и содержания в нём влаги, а также необычное сокращение площади морских льдов. В стратосфере между тем наблюдалось сильнейшее похолодание, достигшее абсолютного минимума из-за незначительной поглощающей способности озонового слоя.

Глубинный водород поступает из ядра Земли, которое испытывает колоссальное давление со стороны расширяющегося Южного полушария. Наиболее интенсивный подъем водорода в мантии идет в зоне проекции пограничного слоя ядра у  $60^\circ$  с.ш. О явлении водородной дегазации можно судить, в первую очередь по распределению эпицентров глубокофокусных землетрясений, частота которых на  $59-61^\circ$  с.ш. возрастает в 3-5 раз по сравнению со средней для пояса  $56-71^\circ$ .

Закономерно, что на широте проекции пограничного слоя ядра фиксируется разрушение озонового слоя быстрыми темпами. Именно к широте  $60^\circ$  приурочено резкое усиление процесса истончения озонового слоя.

Помимо многочисленных косвенных свидетельств ускорения водородной дегазации на планете в последние десятилетия есть прямые доказательства его реальности. Имеются в виду результаты наблюдений, проводимых по программе Advanced Global Atmospheric Gases Experiment на берегу острова Ирландии, хотя они относятся к тектонически спокойному региону, находящемуся много южнее аномальной зоны  $60$ -й параллели.

Причина наблюдаемого ускорения водородной дегазации заключается в перемещении ядра планеты к Северному полюсу. Феномен движения ядра в северном направлении обнаруживается по данным дистанционного мониторинга, а также по парадоксальному сокращению длительности суток в последние 50 лет.

В настоящее время ведущая роль в геодинамике перешла к дрейфу ядра, который в полном соответствии с законом сохранения кинетического момента ( $K = I \omega = \text{const}$ ) ведёт к уменьшению момента инерции ( $I$ ) пропорционально квадрату радиуса шарообразного тела планеты на уровне его центра тяжести, смещающего на север, и, следовательно, к повышению скорости вращения ( $\omega$ ). Кроме того, движение ядра подтверждают факты уменьшения радиуса полюдия, т.е. сокращения амплитуды колебаний земной оси и перемещения географического Северного полюса в сторону Западного полушария, следующего вдоль меридиана  $102^\circ$  в.д./ $78^\circ$  з.д.

Увеличение доли массы планеты к северу от экватора доказывает положительный тренд величины силы тяжести, наблюдаемый на абсолютном гравиметре в Страсбурге, работающем с 1996 г.

Судя по соотношениям показателей вулканической и сейсмической активности в Северном и Южном полушариях, а также и другим индикаторам, при своём движении ядро Земли время от времени испытывает ускорения. Дело в том, что процесс обращения Солнца и Земли относительно барицентра планетной системы циклический и подчинён 179-летней периодичности, что чётко выражено в упорядоченности количеств солнечных пятен, например, в восьмикратной повторяемости цикла Хейла ( $22,1 \text{ года} \times 8 \approx 179 \text{ лет}$ ).

Моменты максимального сближения Солнца и Земли с барицентром планетной системы отмечены масштабными возмущениями всех слоев атмосферы Земли, а также Мирового океана и литосферы. Особое значение для геодинамики имеет перемещение Солнца и Земли к северу и к югу от барицентра планетной системы.

Существуют две принципиально различные последовательности событий в планетной системе и на Земле, с которыми сопряжены потепление и похолодание климата высоких широт Северного полушария (рис. 5, 6).



Рис. 5 – Связи «Космос - Земля» в эпохи потепления Арктики



Рис. 6 – Связи «Космос - Земля» в эпохи похолодания Арктики

Установлены факты соответствия между максимумами температуры воздуха в 1870–1879 гг. и 1930–1939 гг., с одной стороны, и крайним северным положением Солнца и Земли относительно барицентра планетной системы, с другой. Знание этой связи и результаты расчёта эфемерид дали основание предполагать, что периоды

необычного потепления в Евразии, сопоставимого с новейшей аномалией, должны датироваться десятилетиями около 1750, 1400, 1000 и 750 гг. Имеющиеся материалы дендроиндикации полностью подтверждают данный ретропрогноз.

Итоговый критический эксперимент для проверки найденной закономерности должен был продемонстрировать формирование определённых условий пространства-времени в Солнечной системе, которые благоприятны для потепления климата Арктики не только в отдельные моменты, но и во всей известной нам истории, в данном случае — на протяжении VIII—XX веков в периоды 1811-1989 гг., 1632-1811 гг., 1275-1453 гг., 917-1096 гг. и 738-917 гг.

Выполненное обобщение по дендрохронологии лесов Лапландии показало высокую степень хронологической упорядоченности связей: три из шести событий приурочены к одним и тем же годам 179-летнего цикла, которые составляют всего 4% его длины. Вместе с тем оно служит доказательством (дополнительным к приведенным в свое время П.Д. Хозе и другими исследователями) реальности 179-летнего цикла с его структурой, подобной тому, что свойственно 22-летнему циклу Хейла.

Таким образом, множество фактов не оставляет никаких сомнений относительно существования тесной зависимости климата высоких широт на Земле от процессов Солнечной системы, обусловленных обращением планет по эллиптическим орбитам. Космический импульс передаётся дрейфующим к Северному полюсу ядром Земли через химическую реакцию соединения глубинного водорода с кислородом и физические процессы тепломассопередачи между геосферами. На циклы накладываются направленные изменения режима атмосферы, вызываемые ростом планеты.

## **ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ И БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИХ АКАДЕМИЧЕСКИХ ОКЕАНОЛОГОВ В АРКТИКЕ**

*Родионов А.А.<sup>1,2</sup>, Дворников А.Ю.<sup>1</sup>, Зимин А.В.<sup>1</sup>, Романенков Д.А.<sup>1</sup>, Малова Т.И.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, malova.ti@yandex.ru

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский научный центр РАН, г. Санкт-Петербург

Северный Ледовитый океан (СЛО) и прилегающие к территории России северные моря имеют важное значение для решения геополитических, хозяйственных и экологических задач государства. Суровые условия Арктики и изменение климата оказывают существенное влияние на методы и средства освоения СЛО. Это обуславливает высокую актуальность проведения гидрофизических и биогеохимических исследований, лежащих в основе морской деятельности.

В докладе приводятся результаты изучения влияния приливов в СЛО на климатические характеристики гидрофизических полей и изменения климата на биогеохимические процессы, обобщены экспериментальные данные по изменению параметров фронтальных зон в последние два десятилетия, обосновывается необходимость моделирования динамики морской среды в акваториях со сложным рельефом дна на основе негидростатических подходов.

### **Влияние приливов на климатические характеристики Баренцева, Карского морей и моря Лаптевых (результаты представлены для Баренцева моря) [1–2]**

Влияние приливов на климат океана связано с такими явлениями как приливный дрейф льда, остаточная циркуляция, подледный и придонный пограничные слои и приливное диапикническое перемешивание. Последнее возникает, когда поверхностный прилив в стратифицированном море обтекает неровности дна, генерирует бароклинный

прилив или внутренние приливные волны (ВПВ), которые могут распространяться далеко от места генерации. Их диссипация приводит к приливному диапикническому перемешиванию водной толщи.

Горизонтальное разрешение современных климатических моделей не позволяет корректно воспроизводить ВПВ. Предполагается, что для климатических расчетов даже при явном учете приливного форсинга, если пространственное разрешение недостаточно, требуется дополнительная параметризация приливного диапикнического перемешивания. Предлагается способ учета приливного перемешивания, основанный непосредственно на оценках диссипации бароклинной приливной энергии, полученных по результатам трехмерной модели высокого разрешения, явно воспроизводящей ВПВ. Апробация параметризации была выполнена на основе серии численных экспериментов по установлению средних климатических характеристик моря в летний период с учетом и без учета приливов и с предложенным косвенным способом учета приливов.

**Цель исследования:** рассчитать динамические и энергетические характеристики поверхностного и внутреннего прилива в окраинных морях СЛО; оценить вклад ВПВ в диапикническое перемешивание; обосновать косвенный способ учета прилива в климатических моделях.

**Метод:** для расчета приливной динамики использовалась трехмерная конечно-элементная высокоразрешающая гидростатическая модель QUODDY-4.

**Результаты** моделирования представлены для Баренцева моря (см. рис. 1). Расчеты с явным учетом приливной динамики и без ее учета показывают, что имеются различия двух решений при сравнении пространственных распределений для температуры морской воды. Отличия в придонном слое моря могут достигать практически  $1^{\circ}\text{C}$ , в то же время в поверхностном слое они в среднем в два раза меньше. Полученные оценки индуцируемой ВПВ диапикнической диффузии в разных частях моря оказались по величине того же порядка, что и типичные оценки вертикальной турбулентной диффузии. Индуцируемое внутренними приливами диапикническое перемешивание вызывает ослабление стратификации. Наибольшие приливные изменения климатических характеристик, в частности, температуры и солености морской воды, находятся в нижних, а не в верхних слоях моря. Численное решение с параметризацией вклада ВПВ в диапикническую диффузию (косвенный учет приливного перемешивания) близко к численному решению с явным учетом прилива.

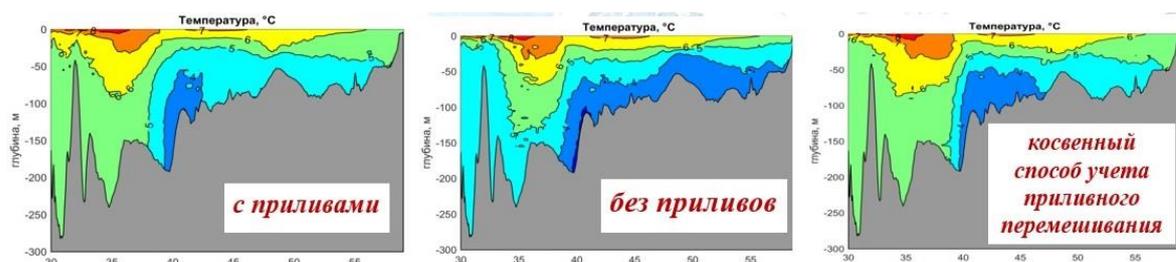


Рис. 1 – Баренцево море, разрез поля температуры вдоль широты  $70^{\circ}\text{N}$

Аналогичные исследования были выполнены и для других Арктических морей [3–4].

**Выводы.** Вклад приливов в формирование климата морей является значимым наряду с другими климатообразующими факторами. Предложенный метод параметризации эффекта ВПВ может быть использован в климатических моделях, разрешение которых не позволяет корректно воспроизводить внутренний прилив.

**Влияние изменения климата на биогеохимические процессы в Арктических морях**

Изменение климата оказывает влияние на закономерности взаимодействия динамических и экосистемных процессов в Арктике. Для оценки этого взаимодействия разработаны региональные совместные эко-гидродинамические модели Баренцева, Карского и Белого морей, включая модели гидродинамики моря (MITgcm), морского льда (Zhang, Hibber), морской экосистемы пелагиали (11 компонент) и океанского углеродного цикла (7 компонент) [5–6]. Модель Баренцева, Карского и Белого морей с разрешением по горизонтали ~3,5 км и высокоразрешающая модель Карского моря с разрешением 0,9 км.

**Цели исследований:** исследование влияния изменения климата в Баренцевом и Карском морях на частоту и величину морских опасных (экстремальных) явлений, таких как цветение вредоносных водорослей, наводнения, ветровые волны; изучение эволюции речных плюмов и динамики фронтальной зоны в Карском море и влияния речного стока на моделируемую термохалинную структуру вод; изучение взаимодействия физических и биогеохимических процессов в Карском море путем использования в расчетах совместной физико-биогеохимической модели.

**Метод:** верификация и численные эксперименты на основе разработанных моделей.

**Результаты:** проведены модельные климатические расчеты для прошлого (1975–2005 гг.) и будущего (2035–2065 гг.) климата для региона арктического шельфа. Подробно проанализирован временной ход интегральной первичной продукции (ПП), ее связь с площадью льда и падающей коротковолновой радиацией (КВР). Показано, что основной причиной падения рассчитанной ПП в конце периода 1975–2005 гг. является падение фотосинтетически активной радиации (ФАР) в верхнем слое – большая площадь льда нивелирует влияние падающей КВР из атмосферы: она не проходит в воду или значительно ослабляется (см. рис. 2).

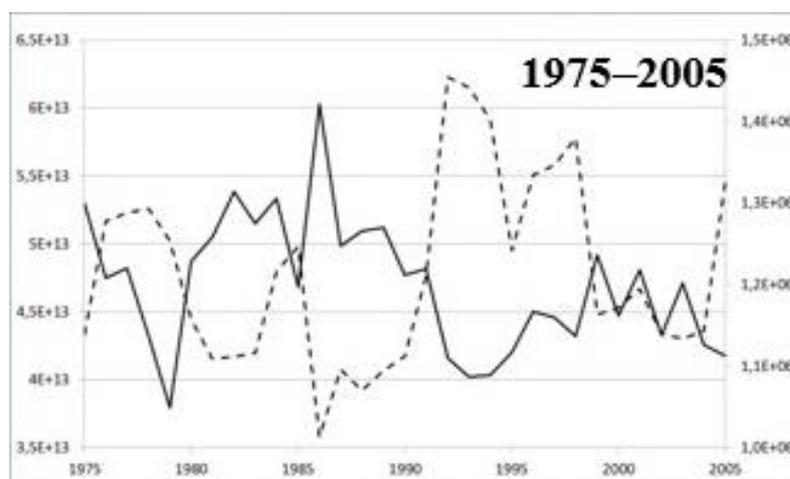


Рис. 2 – Межгодовая изменчивость рассчитанных суммарной годовой первичной продукции (сплошная линия, [g C], левая шкала) и среднегодовой площади льда (пунктирная линия, [км<sup>2</sup>], правая шкала)

По результатам расчета 1975–2005 гг. получена регрессионная зависимость (модель множественной линейной регрессии – МЛР) для суммарной за год ПП (г C) от установленных ранее основных предикторов: среднегодовой площади льда (SIarea, км<sup>2</sup>) и среднегодовой интегральной по области падающей коротковолновой радиации (КВР, Вт):

$$ПП = -4,41 \times 10^7 \times SI_{area} + 0,47 \times SWR + 2,42 \times 10^{13}, R^2 = 0,75$$

Установлено, что если для периода 1975–2005 гг. в целом, наблюдался рост площади льда и падение ПП, то для периода 2035–2065 гг. характерна обратная картина, причем в будущем климате она более отчетливо выражена. Нужно отметить, что по сравнению с периодом 1975–2005 гг., для 2035–2065 гг. величины суммарной ПП значительно выше, а площадь льда существенно снизилась. Полученная для периода 1975–2005 гг. модель МЛР показала хорошие результаты на независимой выборке 2035–2065 гг., что говорит о том, что модель МЛР неплохо воспроизводит изменчивость исходного ряда, полученного по совместной эко-гидродинамической модели (коэффициент корреляции 0,95).

Для изучения эволюции речных плюмов и динамики фронтальной зоны в Карском море, а также влияния речного стока на моделируемую термохалинную структуру вод разработана региональная модель Карского моря высокого разрешения KASM. В исследовании рассмотрены следующие источники данных: R-ArcticNet, GRDC, данные (Prange, 2002), входной речной сток из проекта AOMIP, данные системы Global Flood Awareness System (GloFAS), данные из (Bryzgalo et al., 2015). По ним проведены четыре сравнительных долгосрочных модельных расчета с разным речным воздействием. Для сравнения с модельными результатами и проверки модели KASM использовались результаты океанского реанализа MERCATOR и натурные T,S-профили, представленные в базе данных UDASH (Behrendt et al., 2018).

Показано, что во всех случаях использование среднесуточного речного стока из системы GloFAS дает лучшее модельное решение, которое ближе к наблюдаемому вертикальному распределению T и S воды по сравнению с тремя другими расчетами.

Модель KASM использовалась для изучения взаимодействия физических и биогеохимических процессов в Карском море путем использования в расчетах совместной физико-биогеохимической модели. Показано, что зоны повышенного потока CO<sub>2</sub> из атмосферы в океан совпадают с зонами повышенной биологической продуктивности вследствие потребления растворенного в воде углерода в процессе роста фитопланктона. Интегральная ПП и площадь льда сплоченностью 0.15–0.8 высоко коррелированы в период цветения ранним летом. Это говорит о необходимости адекватного представления прикромочной зоны льда в модели для корректной оценки биологической продуктивности. Разработанная модель может быть использована для оценки потоков углекислого газа между океаном и атмосферой в Карском море.

**Вывод.** Выполненные исследования свидетельствуют о значительном влиянии изменения климата на закономерности взаимодействия динамических и экосистемных процессов в Арктических морях.

### **Особенности изменчивости основных фронтальных зон Баренцева и Карского морей в XXI в.**

В последние десятилетия в арктическом регионе наблюдаются значительные климатические изменения, которые оказывают существенное влияние на положения и характеристики фронтальных зон различного генезиса, формирующихся в морях Северного Ледовитого океана (СЛО).

Увеличение площадей открытых ото льдов вод и появление новых спутниковых сенсоров позволяет шире использовать поступающие на постоянной основе данные дистанционных измерений, что открывает новые возможности в исследовании поверхностных проявлений фронтальных зон и позволяет сформировать представление об их изменчивости за несколько десятилетий. Однако неоднородность распределения и малая величина поверхностных градиентов гидрофизических полей во фронтальных зонах морей Арктики является препятствием для получения количественных оценок их положения и характеристик на обширных акваториях, что, в свою очередь, делает необходимым совершенствование методик их выделения.

**Цель исследований:** формирование представлений об изменчивости основных

физико-географических характеристик фронтальных зон Баренцева и Карского морей за первые два десятилетия XXI в. в условиях меняющегося климата.

**Метод:** обработка, анализ и обобщение дистанционных экспериментальных данных.

Исходными данными для работы послужили среднемесячные температура поверхности моря (ТПМ) спутников Aqua и Suomi NPP VIIRS, соленость поверхности моря (СПМ) спутника NASA SMAP и абсолютная динамическая топография (АДТ) продукта AVISO за период с мая по октябрь 2002–2020 гг.

**Результаты.** Создана универсальная методика определения пространственного положения и количественных оценок поверхностных проявлений фронтальных зон в морях Арктики на основе кластерного анализа разнородных спутниковых данных [7]. На основе разработанной методики получены количественные оценки физико-географических характеристик на внутрисезонном и межгодовом интервалах Стоковой (СФЗ), Полярной (ПФЗ) и Арктической (АФЗ) фронтальных зон Баренцева и Карского морей в течении двух десятилетий XXI в. [8–10].

Установлено, что во втором десятилетии XXI в.:

- СФЗ сместилась на 70 км на север, в сторону арх. Новая Земля, величина градиента ТПМ уменьшилась на  $0,04^{\circ}\text{C}/\text{км}$ , а площадь сократилась на 100 тыс.  $\text{км}^2$ ;
- ПФЗ сместилась на 100 км на север к  $77^{\circ}$  с.ш., градиент ТПМ уменьшился на  $0,02^{\circ}\text{C}/\text{км}$ , а площадь сократилась на 150 тыс.  $\text{км}^2$ , что отразилось преимущественно на восточной части ПФЗ; на рис. 3 показаны изменения характеристик ПФЗ за исследуемый период;
- АФЗ сместилась на север на 150 км в область открытых вод СЛО, температура в области АФЗ на фоне таяния льдов в последнее десятилетие растет, при этом температурный градиент и площадь зоны в целом остаются стабильными; на рис. 4 показаны положения АФЗ в первом и втором десятилетиях XXI в.

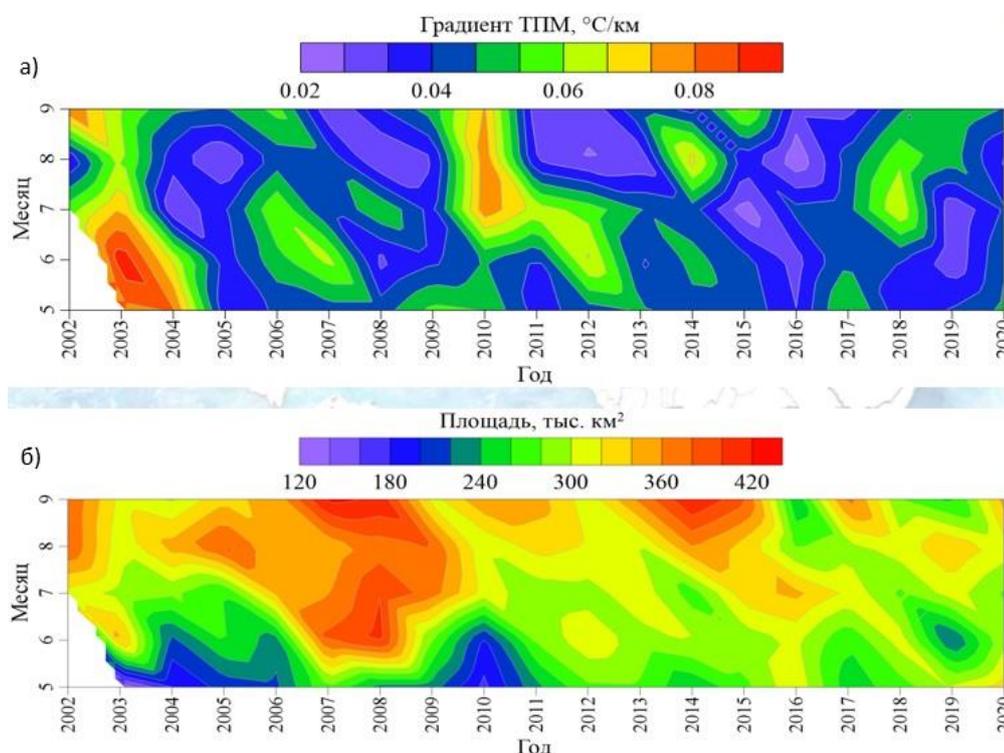


Рис. 3 – Характеристики ПФЗ за период с мая по сентябрь с 2002 по 2020 гг.:  
а – градиент ТПМ; б – площадь

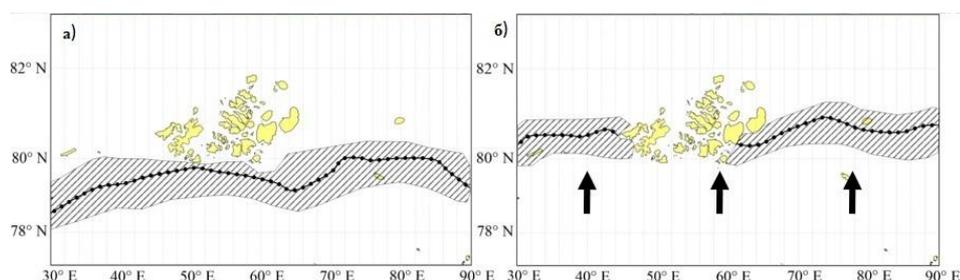


Рис. 4 – Диаграммы повторяемости координат северной границы АФЗ:  
а – диаграмма за период с 2002 по 2010 гг.; б – диаграмма за период с 2011 по 2020 гг.

**Вывод.** Глобальные климатические изменения существенно влияют на характеристиках фронтальных зон во втором десятилетии XXI в.: они смещаются в северном направлении, градиент ТПМ в них ослабевает, а площади сокращаются.

### Негидростатическая гидродинамика течений в акваториях со сложным рельефом дна

В классическом представлении геофизическая гидродинамика рассматривает задачи в гидростатическом приближении. Горный рельеф представляется фактором, ограничивающим сферу пригодности гидростатических моделей. Регионы с горным рельефом в Мировом океане имеют естественнонаучное и прикладное значение.

Развитие новых подходов к моделированию динамики в областях с подводным горным рельефом в полной негидростатической постановке потребовало строгого обоснования в части постановки физических задач и методов их численного решения [11]. Опираясь на эти результаты, численные эксперименты показали преимущество разработанного подхода для расчета приливной динамики в проливах Мирового океана, задач опускания плотных вод по континентальному склону, волнового поля, генерируемого подводным или надводным оползнем, и ряда других процессов в трехмерных областях со сложной нерегулярной топографией.

**Цель исследований:** моделирование процессов на материковом склоне, в подобластях выраженного горного рельефа типа подводной горы, подводной гряды, барьеров и рифов на основе полной модели.

**Метод:** численные эксперименты на основе оригинальной модели в гидростатической (Гс) и негидростатической (Нг) постановках.

Динамика опускания плотных морских вод по крутому континентальному склону. Решение негидростатической (полной) задачи устойчиво на весь период моделирования, тогда как гидростатическая задача неустойчива при движении тяжелой воды вниз по склону (см. рис. 5).

Вертикальные поля негидростатической скорости реалистичны: с одной зоной подъема перед фронтом линзы и зоной опускания – за фронтом линзы.

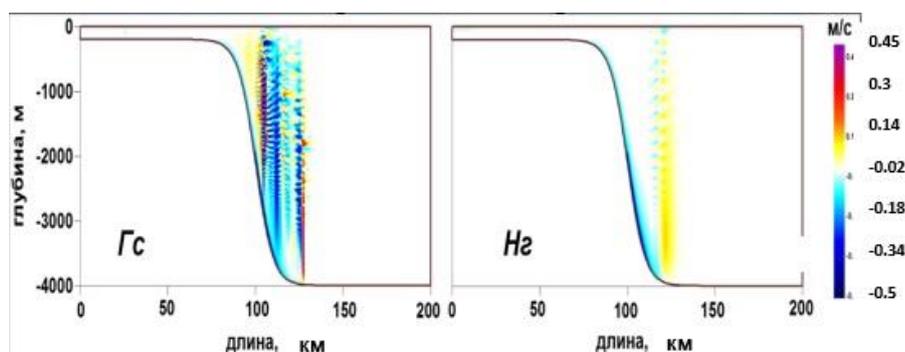


Рис. 5 – Опускание плотностной линзы по склону в Гс и Нг постановках.  
Вертикальная скорость

Пролив Ломбок – глубокий пролив с крутой подводной горой и стремительным течением над ее вершиной, является важнейшим звеном западной ветви Индонезийского прохода между Тихим и Индийским океанами. По результатам расчетов приливной динамики и гидрологии пролива Ломбок выявлено, что сильные приливы Индийского океана препятствуют тихоокеанскому переносу, при этом в отдельные фазы приливного цикла учет негидростатического фактора дает существенный вклад как в суммарный транспорт воды через пролив, так и в его вертикальных слоях. Поле вертикальной скорости на свале глубин в Гс приближении полностью искажено (зашумлено нелинейными гармониками) и нереалистично.

Моделирование приливной динамики Четвертого Курильского пролива показало, что учет динамической компоненты давления лишь уточняет, хотя и существенно, значения горизонтальных компонентов скорости, но ее влияние на уровень может проявиться и качественно, так как меняется направление транспорта воды через пролив (рис. 6).

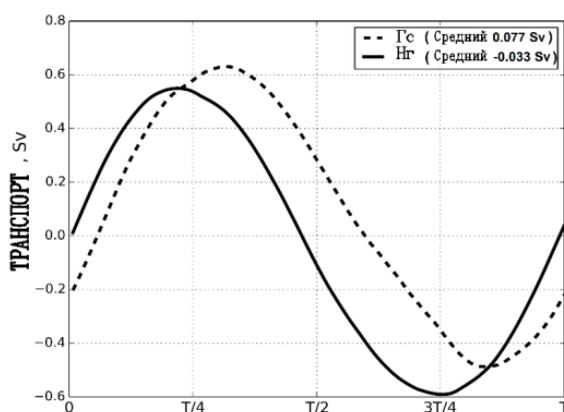


Рис. 6 – Транспорт воды через Четвертый Курильский пролив за приливной период  $T = 12.42$  часа полусуточной волны  $M_2$  в Гс- и Нг-постановках

**Вывод.** По результатам расчетов приливной динамики и гидрологии проливов Ломбок и Четвертого Курильского, а также процесса каскадинга плотных вод показана непригодность моделирования динамики в гидростатическом приближении на крутых донных склонах и в случае сложной морфометрии области.

*Работа выполнена в рамках тем госзадания: FMWE-2021-0014 (ИО РАН), 075-00869-22-00 (СПбНЦ РАН).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каган Б.А., Софьина Е.В. Приливные изменения регионального климата морской системы: два способа их учета применительно к Баренцеву морю летом // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2016. Т. 9. № 1. С. 17–25.
2. Каган Б.А., Софьина Е.В. Способ учета приливных изменений региональных климатов водоемов на примере безледного Баренцева моря // *Океанология*. 2017. Т. 57. № 2. С. 275–283.
3. Каган Б.А., Софьина Е.В., Тимофеев А.А. Влияние приливов на климатические характеристики Карского моря в безледный период // *Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана*. 2019. Т. 55. № 2. С. 51–60.
4. Каган Б. А., Софьина Е. В. Влияние приливного диапикнического перемешивания на климатические характеристики моря Лаптевых в безледный период // *Морской гидрофизический журнал*. 2022. Т. 38. № 2. С. 218–234.
5. Martyanov S.D., Dvornikov A.Yu., Gorchakov V.A., Losa S.N. Model estimates of the ecosystem contribution in the carbon dioxide exchange between the ocean and the atmosphere

- in the Barents Sea // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2017. Т. 10. № 1. С. 11–16.
6. Martyanov S.D., Dvornikov A.Yu., Ryabchenko V.A., Sein D.V., Gordeeva S.M. Investigation of the relationship between primary production and sea ice in the arctic seas: assessments based on a small-component model of marine ecosystem // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2018. Т. 11. № 2. С. 108–117.
7. Коник А.А., Зимин А.В., Атаджанова О.А., Педченко А.П. Оценка изменчивости характеристик Стоковой фронтальной зоны Карского моря на основе комплексирования данных спутникового дистанционного зондирования // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2021. Т. 18. № 2. С. 241–250.
8. Konik A.A., Zimin A.V., Kozlov I.E. Spatial and temporal variability of the Polar frontal zone characteristics in the Barents Sea in the first two decades of the XXI century // *Fundamental and Applied Hydrophysics*. 2021. Vol. 14. No. 4. P. 39–51.
9. Коник А.А., Зимин А.В. Пространственно-временная изменчивость характеристик Арктической фронтальной зоны в Баренцевом и Карском морях в летний период в первые два десятилетия XXI века // *Морской гидрофизический журнал*. 2022. Т. 38. № 6 (228). С. 679–693.
10. Коник, А.А., Зимин А.В., Атаджанова О.А. Пространственно-временная изменчивость характеристик стоковой фронтальной зоны в Карском море в первые два десятилетия XXI века // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2022. Т. 15. № 4. С. 23–41.
11. Вольцингер Н.Е., Андросов А.А. Моделирование длинноволновой негидростатической динамики на горном рельефе. СПб.: «ПОЛИТЕХ-ПРЕСС», 2022. 170 с.

## **РАЗВИТИЕ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ ПРИ ПУСКАХ РАКЕТ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

*Рожко О.И.*

Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, г. Москва, rozhkoo@mail.ru

Одной из научных задач, решаемых ВНИИ ГОЧС (ФЦ) (далее – Институт) в рамках совершенствования научных основ мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций (ЧС) является осуществление научно-обоснованных эффективных оперативных прогнозов техногенного характера на территории Российской Федерации для подразделений центрального аппарата и территориальных органов МЧС России, центров управления в кризисных ситуациях, группировок сил МЧС России, а также профильных органов государственной власти, государственных корпораций<sup>1</sup>.

Соответственно, одним из научно-практических направлений космической деятельности, осуществляемой в целях мониторинга и прогнозирования ЧС техногенного, техногенно-социального и природно-техногенного характера, является прогнозирование ЧС, возможных в результате падения, разрушения ракетно-

---

<sup>1</sup> Подп. 4 п. 4.5. разд. «Основные научно-технические проблемы, решаемые ВНИИ ГОЧС (ФЦ) в 2021-2025 годах». Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (Федеральный центр науки и высоких технологий). Аналитический доклад // ВНИИ ГОЧС (ФЦ), М. 2021.

космического изделия (космического аппарата), наиболее вероятных при пусках ракет космического назначения (РКН) (далее – ЧС при пусках РКН).

Прогнозирование ЧС при пусках РКН осуществляется в качестве реализации требования о ракетно-космических катастрофах и авариях на стартовых комплексах и в населенных пунктах и вне стартовых комплексов и населённых пунктов. В соответствии с п. 1.1.8 Критериев информации о чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера, утвержденных приказом МЧС России от 05.07.2021 № 429, к ЧС относится любой факт падения и (или) разрушения ракетно-космического изделия (космического аппарата).

#### **Договорные основы. Межведомственная рабочая группа.**

Основными участниками межведомственного взаимодействия на случай аварий при пуске РКН с космодромов Байконур и «Восточный» являются МЧС России, ФМБА России, Росгидромет, Роскосмос. Пуски с космодрома «Плесецк» обуславливают необходимость участия в этом взаимодействии Минобороны России.

В настоящее время, указанное межведомственное сотрудничество осуществляется в соответствии с Соглашением от 30.12.2019 № 118/МК-13-23С/82 / 2-4-38-54 / С-140-110 /32-019/351, заключенным Государственной корпорацией по космической деятельности «Роскосмос» (Роскосмос), Минприроды России, МЧС России, Росгидрометом и ФМБА (далее – Соглашение).

В соответствии с абз. 2 п. 3.1. Соглашения, Госкорпорации «Роскосмос» информирует МЧС России о возникновении возможных угроз населению и территориям в связи с пуском РКН, а также сообщает иные сведения, необходимые для подготовки рекомендаций по организации и выполнению комплекса мероприятий по защите населения и проведению работ по ликвидации последствий аварии в районах пуска РКН и падения отделяющихся частей ракет, а также по трассе полета РКН.

В свою очередь, МЧС России в соответствии с абз. 4 п. 2.4. Соглашения осуществляет заблаговременное планирование действий сил и средств на случай аварии при пуске РКН.

В то же время, в части прогноза ЧС при пуске РКН, информация о которых предусмотрена п.п. 1.1.8 Критериев информации о чрезвычайных природного и техногенного характера, утвержденных приказом МЧС России от 05.07.2021 № 429 (далее – прогноз ЧС), решен ряд вопросов организации предусмотренного Соглашением взаимодействия, а именно:

- принято решение о необходимости единого (межведомственного) порядка мониторинга, прогнозирования и анализа ЧС<sup>2</sup>,

- принято решение о создании постоянной межведомственной рабочей группы (МВРГ) научно-прикладного характера в целях реализации Соглашения – т.е. проведения заранее согласованных мероприятий прогнозирования ЧС при нештатных ситуациях, возможных при запуске конкретных космических аппаратов с космодромов Байконур и «Восточный»<sup>3</sup>;

- принято решение о разработке типовых сценариев возникновения, развития и ликвидации ЧС на притрассовых территориях (территории по трассам запуска космических аппаратов) при пусках РКН, в районах падения отделяющихся частей РКН, на прилегающих к ним территориях, при вылетах составных частей РКН и их фрагментов

---

<sup>2</sup> В дальнейшем поручение закреплено протоколом от 12.03.2021 № 1/21-пр, п. 4, ч. 1;

<sup>3</sup> Протокола совещания представителей сторон Соглашения в группе управления и контроля Госкорпорации «Роскосмос» от 28.08.2020 № МХ-1073-пр), п. 2.1.;

за границы районов падения (далее - типовые сценарии ЧС), а также типовые сценарии возникновения и развития нештатных ситуаций с РКН<sup>4</sup>;

– актуализирован перечень и содержание мероприятий и действий участников РСЧС (министерств и ведомств) при возникновении ЧС техногенного космического характера и ликвидации их последствий<sup>5</sup>;

– организована разработка аварийных карточек на пуск РКН в рамках РСЧС (по аналогии с аварийными карточками РСЧС на транспортировку особо опасных грузов).

В целях реализации решений данного совещания представителей сторон Соглашения, МЧС России (письмо от 18.09.2020 № 43-7204-12, И. П. Денисов) в целях реализации единого межведомственного порядка мониторинга, прогнозирования и анализа риска ЧС, возникающих при пусках РКН с космодромов Байконур и «Восточный» предложено:

1) осуществить создание указанной постоянно-действующей МВРГ на базе Института<sup>6</sup>;

2) разработать и утвердить положение о МВРГ, принять регламент план работы МВРГ<sup>7</sup>;

3) разработать и установить параметры и формат предоставления соответствующих данных;

4) разработать и согласовать с заинтересованными ведомствами, а также органами власти субъектов Российской Федерации дорожную карту МВРГ на период до 2025 года<sup>8</sup>;

5) предусмотреть целевое финансирование необходимых научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) в области прогнозного мониторинга и моделирования ЧС, возникающих при нештатных запусках космических аппаратов и пуска РКН с космодромов Байконур и «Восточный»;

6) при необходимости, заключить прямые двусторонние соглашения между участниками Соглашения, направленные на регулирование совместных действий по реализации Соглашения, в том числе между Институтом и НПО «Гайфун»;

7) разработать перечень и содержание мероприятий, действий министерств, ведомств и организаций при возникновении и ликвидации ЧС, их последствий.

В рамках предложенных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, МЧС России предложено разработать:

модели и методики прогнозирования, мониторинга и оценки рисков ЧС, возникающих при пусках РКН с космодромов Байконур и «Восточный»;

методические рекомендации для территориальных подсетей СНЛК, гражданской обороны (ГО) и защиты населения субъектов Российской Федерации трассовых территорий в случае указанных выше нештатных ситуаций,

порядок взаимодействия и информационно-технического сопряжения средств Центра управления полетами АО «ЦНИИмаш» со средствами ГУ «НЦУКС» МЧС России, а также центром поддержки принятия решений (ЦППР) Института в интересах МВРГ по выделенным каналам связи при нештатных ситуациях на трассах пуска РКН с космодромов Байконур и «Восточный».

#### **Формат информационного взаимодействия**

Информационное взаимодействие между Институтом и организациями Госкорпорации «Роскосмос» согласуется с положениями Концепции создания

<sup>4</sup> Протокол совещания представителей сторон Соглашения, проведенного в группе управления и контроля Госкорпорации «Роскосмос» от 28.08.2020 № МХ-1073-пр), п. 2.1., а также, одновременно, поручение закреплено протоколом от 12.03.2021 № 1/21-пр, п. 4, ч. 2;

<sup>5</sup> Одновременно, протокол от 12.03.2021 № 1/21-пр, п. 3;

<sup>6</sup> Одновременно, протокол от 12.03.2021 № 1/21-пр, п. 2;

<sup>7</sup> Одновременно, протокол от 12.03.2021 № 1/21-пр, п. 3, ч. 1;

<sup>8</sup> Одновременно, протокол от 12.03.2021 № 1/21-пр, п. 3, ч. 2

комплексной системы информирования и оповещения населения при угрозе и возникновении ЧС<sup>9</sup>.

Также принимается во внимание, что в задачи МВРГ входит совершенствование механизмов информационного обеспечения пусков РКН, которое в настоящее время осуществляется посредством:

- предоставления по требованию организаций и граждан информации об опасности, возникающей при осуществлении пуска;
- информирования об угрозе безопасности населения и окружающей среды в случае возникновения чрезвычайной ситуации в результате аварии при осуществлении пуска РКН соответствующих органов государственной власти, а также организаций и граждан;
- организации информирования о запуске космических аппаратов (оповещение о результатах его осуществления);
- оповещения в случае аварии РКН через оперативно-дежурные органы с указанием времени и ориентировочного местоположения зоны аварии (незамедлительно по телефону).

Оперативное информационное взаимодействие с участниками Соглашения и другими участниками РСЧС осуществляется Госкорпорацией «Роскосмос» через пусковую организацию АО «ЦЭНКИ», а с Росгидрометом – через ФИАЦ Росгидромета и ФГБУ НПО «Тайфун».

Для обеспечения разработки (актуализации) каждого конкретного прогноза ЧС, контроля соответствия методическим требованиям МЧС России, Роскосмосом (письмо от 10.03.2021 № МК-2063) предложено установить непосредственное информационное взаимодействие между Институтом и профильными организациями Госкорпорации «Роскосмос» и Росгидромета.

На данном этапе формой такого информационного взаимодействия выбрана специализированная научно-практическая конференция (СМК), организуемая Институтом по средствам видеоконференцсвязи, предоставляемой Госкорпорацией «Роскосмос».

Целью СМК является формирование постоянно действующего канала прямой и взаимобратной связи с уполномоченными и потенциальными участниками процесса обеспечения безопасности населения и территорий при осуществлении пуска РКН в целях:

- доведения прогноза (сотрудники 5 НИЦ Института);
- методической отработки возможных действий сил при возникновении ЧС при пуске РКН (представители Роскосмоса);
- изложения сопутствующих вопросов и проблем территориальных образований (представители ГУ «НЦУКС» и ЦУКС территориальных подразделений МЧС России);
- разъяснений по поставленным представителями территориальных образований вопросам (сотрудники 5 НИЦ Института и/или Госкорпорации «Роскосмос», исходя из сути вопросов).

Международный формат СМК определяется потенциальным участием представителей заинтересованных иностранных органов и организаций в связи с полетом РКН над территорией соответствующих государств (например, Республика Казахстан<sup>10</sup>)

---

<sup>9</sup> Концепции создания комплексной системы информирования и оповещения населения при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций принята решением Правительственной комиссии по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности (протокол заседания от 18.06.2013 № 4, разд. 1).

<sup>10</sup> Необходимо учесть, что в соответствии с п. «с» ст. 1 Конвенции о международной ответственности за ущерб, причиненный космическими объектами (далее – Конвенция), под *запускающим государством* принято понимать как государство, которое осуществляет или

или владением космическим объектом, запускаемым на околоземную орбиту в составе РКН.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон «О безопасности» от 28.12.2010 № 390-ФЗ.
2. Закон РФ «О космической деятельности» от 20.08.1993 № 5663-1.
3. Федеральный закон «О Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос» от 13.07.2015 № 215-ФЗ.
4. Федеральный закон «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» от 21.12.1994 № 68-ФЗ.
5. Федеральный закон «О гражданской обороне» от 12.02.1998 № 28-ФЗ.
6. Федеральный закон «О пожарной безопасности» от 21.12.1994 № 69-ФЗ.
7. Федеральный закон «О радиационной безопасности населения» от 09.01.1996 № 3-ФЗ.
8. Федеральный закон «О Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» от 01.12.2007 № 317-ФЗ.
9. Приказ ФКА от 25.07.2012 № 159.
10. Постановление Правительства РФ от 21.05.2007 № 304 (ред. от 20.12.2019) «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».
11. Приказ МЧС России от от 05.07.2021 № 429 «Об утверждении критериев информации о чрезвычайных ситуациях».
12. Постановление Правительства РФ от 17.05.2011 № 376 (ред. от 11.06.2016) «О чрезвычайных ситуациях в лесах, возникших вследствие лесных пожаров» (вместе с «Правилами введения чрезвычайных ситуаций в лесах, возникших вследствие лесных пожаров, и взаимодействия органов государственной власти, органов местного самоуправления в условиях таких чрезвычайных ситуаций»).
13. «Лесной кодекс Российской Федерации» от 04.12.2006 № 200-ФЗ.
14. Постановление Правительства РФ от 07.10.2020 № 1614 «Об утверждении Правил пожарной безопасности в лесах».
15. «Земельный кодекс Российской Федерации» от 25.10.2001 № 136-ФЗ (ред. от 02.07.2021).
16. Постановление Правительства РФ от 21.05.2007 № 304 (ред. от 20.12.2019) «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».
17. Федеральный закон от 06.10.2003 № 131-ФЗ (ред. от 01.07.2021) «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации» (с изм. и доп., вступ. в силу с 30.09.2021).

---

организует запуск космического объекта, так и государство, с территории или установок которого осуществляется запуск космического объекта.

Также согласно п. 3 ст. 5 Конвенции, государство, с территории которого или с установок которого производится запуск космического объекта, всегда рассматривается в качестве участника совместного запуска.

## КОСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА В ЗОНЕ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

*Сахаров Я.А.<sup>1,2</sup>, Мёрзлый А.М.,<sup>3,5</sup> Моисеев И.А.,<sup>3</sup> Черняков С.М.<sup>2</sup>, Селиванов В.Н.<sup>4</sup>, Янаков А.Т.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Геофизический центр РАН, г. Москва, sakharov@pgia.ru

<sup>2</sup> Полярный геофизический институт, г. Мурманск

<sup>3</sup> Институт космических исследований РАН, г. Москва

<sup>4</sup> Кольский научный центр РАН, г. Апатиты

<sup>5</sup> РАН, Совет РАН по космосу, г. Москва

Термин «Космическая погода» относят, как правило, к наиболее практически важным аспектам науки о солнечно-земных связях. Эруптивные явления на Солнце сопровождаются вспышками электромагнитного излучения, инъекцией высокоэнергичных заряженных частиц, а также вызывают возмущения в солнечном ветре, которые способны воздействовать на геомагнитное поле Земли. Параметры солнечного ветра вблизи орбиты Земли оказывают существенное воздействие, особенно на магнитосферу Земли, и, следовательно, на технологические системы, расположенные на и вблизи поверхности Земли. Одним из терминальных факторов процессов воздействия потока солнечной плазмы на нашу планету является возбуждение на земной поверхности геоэлектрического поля. Это поле способно вызвать электрический ток в любой проводящей системе, в частности, в линиях электропередач (ЛЭП), в кабелях связи, металлических трубопроводах развивается ток, называемый, как правило, геоиндуцированным током (ГИТ). По отношению к переменным токам промышленной частоты ГИТ является медленно меняющимся, или почти постоянным. Величина ГИТ в проводах ЛЭП может достигать сотен ампер. Постоянный ток такой величины в сетях переменного тока способен вызвать нарушение в штатной работе систем передачи и распределения электроэнергии, вплоть до разрушения силовых трансформаторов. В России зона наиболее частых проявлений магнитосферных возмущений, или авроральная зона, расположена в Арктике, поэтому в высоких широтах технологические системы большую часть времени подвержены как климатическим воздействиям, так и воздействиям космической погоды.

Интерес к изучению воздействия факторов космической погоды на технологические системы обусловлен заботой о сохранении их надёжной работы в связи с интенсивно развивающимися энергетическими сетями, увеличением протяженности нефте- и газопроводов, расширением сетей железных дорог и иных транспортных систем в высоких широтах.

Нами проводятся исследования воздействия космической погоды на стабильную работу технологических систем, расположенных в европейском секторе Арктической зоны России.

### **Магистральные линии электропередач.**

Для непрерывного контроля ГИТ, протекающих в нейтральных трансформаторных подстанциях, был разработан измерительный комплекс, обеспечивающий регистрацию тока в глухозаземленной нейтрали, преобразование цифрового сигнала и передачу его по каналу мобильной связи на сервер сбора данных [1, 2]. Собранные информация в режиме обзора размещается на сайте eurisgic.ru. Структура эксперимента предусматривает регистрацию ГИТ на трёх – четырёх подстанциях линии «Карельский транзит» и регистрацию возмущений геомагнитного поля (МВС) на обсерваториях ПГИ, размещение точек регистрации приведено в табл. 1.

В результате длительной регистрации ГИТ нами получен уникальный материал о возбуждении токов в нейтральных трансформаторов при различных уровнях активности, установлены характерные особенности возбуждения ГИТ. На рис. 1 представлено

распределение максимальных часовых значений ГИТ на ст. Выходной за 2013г. Слева – суточный ход, справа – зависимость от уровня авроральной активности.

Таблица 1 – Положение измерительных устройств в эксперименте ГИТ

Станция	Географические		Тип
	широта	долгота	
Выходной	68,83	33,08	ГИТ
Лопарская	68,63	33,25	МВС
Ревда	67,89	34,16	ГИТ
Ловозеро	67,97	35,02	МВС
Лоухи	66,08	33,12	ГИТ
Кондопога	62,22	34,36	ГИТ

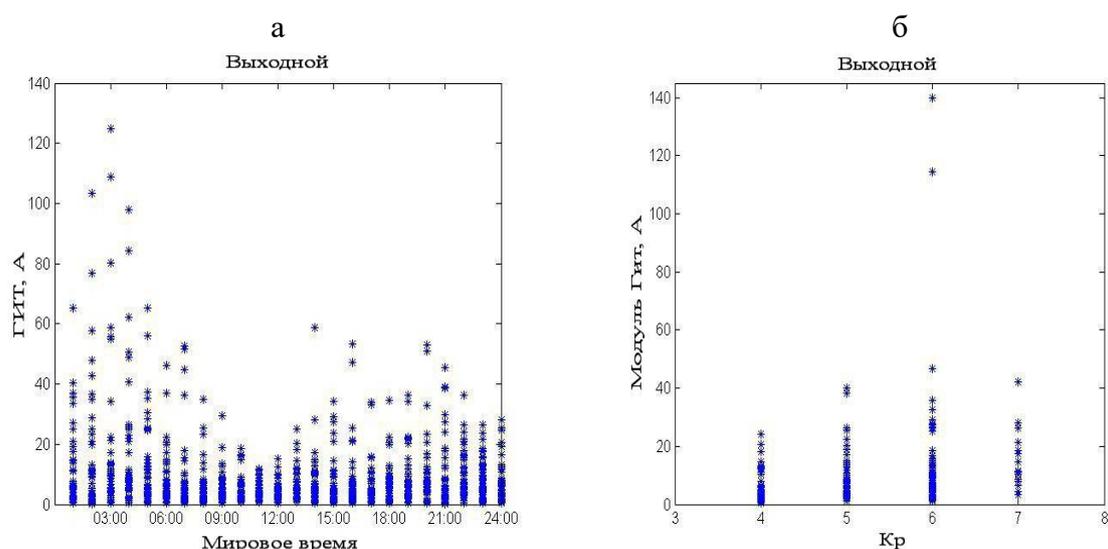


Рис. 1 – Максимальные часовые значения ГИТ на подстанции Выходной в 2013 г. *а* – суточный ход; *б* – зависимость от уровня магнитной активности [2]

На левом графике хорошо различимы пики амплитудных значений ГИТ вблизи местной полуночи (локальное время обгоняет мировое на 3 часа), в утренние часы, до и после локального полудня. Указанные максимумы, вероятно, связаны с развитием суббурь (полночь) [3], низкочастотными магнитными пульсациями (утро) [4, 5] и развитием неустойчивости Кельвина-Гельмгольца (до и после полудня) [6].

Выпадающие из плавного хода значения ГИТ на графике б) определены специфической схемой подключения распределительной аппаратуры в период проведения эксперимента. Нами также установлена связь появления импульсов ГИТ с максимальными значениями амплитуды в те моменты, когда дуга сияний возникает в непосредственной близости от контролируемой подстанции [7]. Результаты регистрации ГИТ в нейтральных трансформаторах на трех электрических подстанциях 330 кВ магистральной электрической сети «Северный транзит» за период 2011–2022 гг. размещены в открытой базе данных [8].

#### *Системы автоматизации железных дорог.*

Нами выполнен ряд работ по исследованию связи аномалий в работе ж.-д. сигнализации с геомагнитными возмущениями [9]. В диспетчерских журналах устройств сигнализации, централизации и блокировки в периоды геомагнитных возмущений встречаются записи о плавающих напряжениях, которые отражаются не только на работе автоматики, но и ухудшают качество электроэнергии. Например, во

время сильной магнитной бури 29–30 октября 2003 г. в журналах на станциях отмечены следующие аномалии [9, 10]:

- ложная занятость рельсовой цепи на участках от Беломорска до Сегежи;
- плавающий уровень питающего напряжения;
- низкое качество электроэнергии (ломаная синусоида).

Подобная ситуация развилась в бурю 7–9 ноября 2004 года, когда на Октябрьской и Северной ж.-д. отмечались синхронные множественные сбои в работе автоматики [11]. Основной характер сбоев – ложная занятость пути и многократное появление плавающих напряжений. Анализ сбоев в работе сигнальной автоматики Северной и Октябрьской ж.-д. во время сильных геомагнитных бурь 23-го цикла солнечной активности (2009–2010 гг.) показал, что аномалии в работе систем автоматики развиваются почти синхронно и в тесной связи с возбуждением значительных геоэлектрических полей. Для Октябрьской ж.-д. за период 2002–2006 гг. при низком и умеренном уровне магнитной активности аномалии в работе ж.-д. автоматики отмечались с частотой от 1% до 10% от исследуемых временных интервалов, а при среднем и высоком уровне активности частота регистрации аномалий составляла 30% и 80%, соответственно.

#### *Магистральные трубопроводы*

В протяженных трубопроводах во время геомагнитных возмущений также развиваются ГИТ, причём значительной величины [12]. Выполненные нами исследования показали, что при развитии сильной суббури даже в субавроральных широтах импульсы ГИТ в трубопроводе могут достигать величины ~ 40А практически синхронно с развитием аврорального электроджета и развитием ГИТ в линии электропередач [13]. Учитывая разветвленную сеть магистральных трубопроводов к востоку от Урала, ощущается настоятельная необходимость исследования воздействия геомагнитных возмущений на трубопроводы в восточных регионах.

#### *Системы коротковолновой связи*

Вблизи локальной полуночи при средней и высокой магнитной активности активные формы полярных сияний развиваются как раз над Кольским полуостровом. Высыпания заряженных частиц существенным образом меняют содержание электронов в верхней атмосфере. Такое повышение электронного содержания служит препятствием для распространения радиоволн коротковолнового диапазона (КВ диапазона), что может приводить к нарушению штатной работы каналов связи, а также нарушению работы радиолокационных устройств рассматриваемого диапазона. Примером может служить возмущение 24 декабря 2014 г., когда при развитии авроральной суббури над Мурманском сформировался изгиб полярных сияний (WTS) вызвавший значительное повышение полного электронного содержания (ПЭС) в ионосфере, (рис. 2). Сопоставление формы аврорального свечения, зафиксированного камерами всего неба в обл. Ловозеро, с возрастанием ПЭС, определённого по данным приёмника GPS в г. Мурманске, позволило определить конфигурацию зоны локального высыпания электронов. Эти данные были использованы в качестве входных параметров для построения траекторий распространения радиоволн коротковолнового диапазона и оценки изменения зон засветки при односкачковом распространении радиосигнала, излучаемого из региона средних широт.

Таким образом, проводимый непрерывно наземный контроль за состояние ионосферы, свечением ночного неба и развитием во времени геомагнитного возмущения дает возможность определить возможные режимы работы средств связи в Арктической зоне РФ [14].

Рассмотренные нами проявления воздействий гелиогеофизических факторов (факторов космической погоды) на работу технологических систем в арктической зоне Европейской части России подтверждают, что для сохранения устойчивого развития данного региона и уменьшения возможного негативного воздействия факторов

космической погоды на работу линий единой энергосистемы, магистральных трубопроводов, систем сигнализации железнодорожного транспорта и обеспечения КВ радиосвязи необходимо развивать единую систему наземных геофизических наблюдений, включающую регистрацию вариаций геомагнитного поля, регистрацию ГИТ в магистральных линиях электропередач, службу регистрации параметров ионосферы. Данная система должна работать в режиме реального времени, концентрируя получаемую информацию в едином центре и обеспечивая заинтересованных потребителей заблаговременным прогнозом ожидаемых возмущений.

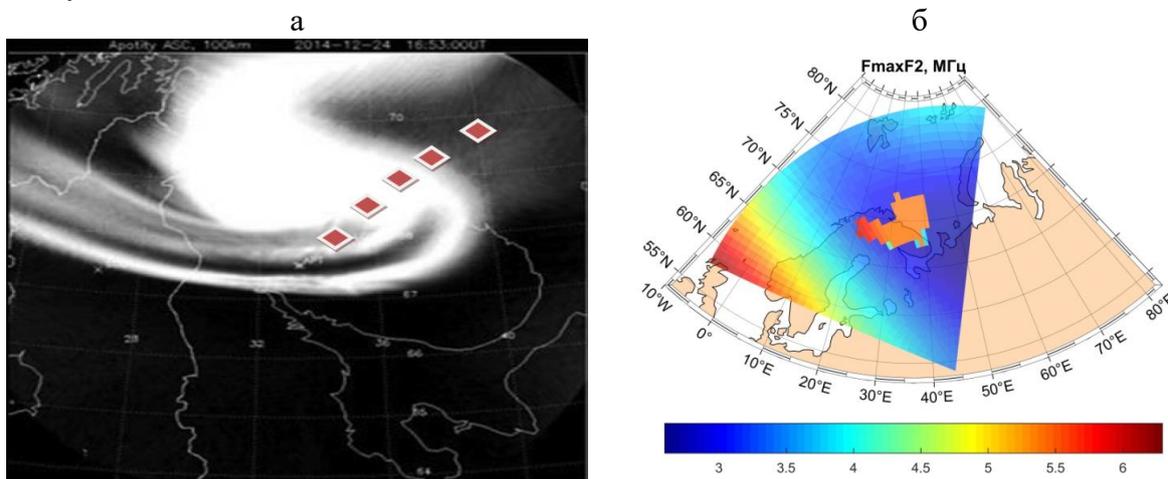


Рис. 2 – Положение формы полярного сияния и проекция положения спутника R11 на поверхность, расположенную на высоте 400 км, в период развития возмущения. Спутник проходит с Юга на Север от 15:30 до 17:45 UT (а). Критическая частота плазмы в МГц на высоте максимума F2-слоя, рассчитанная с использованием эмпирической модели ионосферы GDM1 с учетом высыпаний в момент 24.12.2014 г. 16:50 UT (б)

*Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания по теме «Пополнение баз данных и совершенствование обеспечения регулярных наземных геофизических наблюдений в Арктике (FMES-2022-0003)» № гос.регистрации 122042600105-5 и при финансовой поддержке РФФ, проект № 21-77-30010 «Системный анализ динамики геофизических процессов в российской Арктике и их воздействие на развитие и функционирование инфраструктуры железнодорожного транспорта».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранник М.Б., Данилин А.Н., Каткалов Ю.В., Колобов Б.Б., Сахаров Я.А., Селиванов В.Н., Система регистрации геоиндуктированных токов в нейтралях силовых автотрансформаторов// ПТЭ, 2012, №1. С.118-123.
2. Сахаров Я. А., Каткалов Ю. В., Селиванов В. Н. и др. Регистрация геоиндуктированных токов в региональной энергосистеме // Практические аспекты гелиогеофизики: тр. 11-й ежегод. конф. Физика плазмы в солнечной системе. М.: Институт космических исследований Российской академии наук, 2016. С. 134-145.
3. Despirak I.V., Setsko P.V., Sakharov Ya.A., Lyubchich A.A., Selivanov V.N., Geomagnetic induced currents during supersubstorms 7-8 September 2017// Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2023, BullPhys2370228
4. Apatenkov S.V., Pilipenko V.A., Gordeev E.I., Viljanen A., Juusola L., Belakhovsky V.B., Sakharov Ya.A., Selivanov V.N. Auroral omega bands are a significant cause of large geomagnetically induced currents // Geophysical Research Letters, 47, e2019GL086677. doi.org/10.1029/2019GL086677. 2020

5. Сахаров Я.А., Ягова Н.В., Пилипенко В.А. Геомагнитные пульсации Pc5/Pi3 и геоиндуцированные токи // *Изв. РАН. Серия физическая*. 2021. Т. 85, № 3. С. 445–450.
6. Weigel, R., Klimas, A., & Vassiliadis, D. (2003). Solar wind coupling to and predictability of ground magnetic fields and their time derivatives. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 108 (A7). doi: <https://doi.org/10.1029/2002JA009627>
7. Воробьев В.Г., Сахаров Я.А., Ягодкина О.И. и др. Геоиндуцированные токи и их связь с положением западной электроструи и границами авроральных высыпаний// *Труды Кольского научного центра РАН*. 2018. Т. 5, Вып. 4. С. 16–28.
8. URL: <http://gic.en51.ru> (дата обращения 15 февраля 2023 г.).
9. Пилипенко, В. А., А. А. Черников, А. А. Соловьев, Н. В. Ягова, Я. А. Сахаров, Д. В. Кудин, Д. В. Костарев, О. В. Козырева, А. В. Воробьев, и А. В. Белов, (2023), Влияние космической погоды на надежность функционирования транспортных систем на высоких широтах// *Russian Journal of Earth Sciences*, т. 23, ES2008,10.2205/2023ES000824
10. Sakharov Y. A., Kudryashova N. V., Danilin A. N., et al. Geomagnetic disturbances and railway automatic failures // *8th International Symposium on Electromagnetic Compatibility and Electromagnetic Ecology*. — St-Petersburg, Russia : IEEE, 2009. — P. 235–236.
11. Сахаров Я. А., Кудряшова Н. В., Данилин А. Н. и др. Влияние геомагнитных возмущений на работу железнодорожной автоматики // *Вестник МИИТ*. 2009. Т. 21. С. 107—111.
12. Tsurutani B.T., Hajra R. The interplanetary and Magnetospheric causes of Geomagnetically Induced Currents (GICs) > 10 A in the Mantsala Finland Pipeline: 1999 through 2019 // *J. Space Weather Clim*. V.11. A23. 2021. doi.org/10.1051/swsc/2021001
13. Дэспирак И.В., Сецко П.В., Сахаров Я.А. и др. Наблюдения геомагнитно - индуцированных токов на Северо-Западе России: отдельные случаи.// *Геомагнетизм и аэрономия*, издательство *Наука (М.)*, том 62, № 6, с. 711-23 DOI: 10.31857/S0016794022060037
14. Мерзлый А.М., Калишин А.С., Мингалев И.В., и др. , Влияние авроральных высыпаний на зоны засветки односкачковыми лучевыми траекториями, выходящими из передатчиков КВ-диапазона на средних широтах// *Распространение радиоволн. Труды XXVII Всерос. открытой научной конференции, 2021 Балтийского федерального университета им. И. Канта, Калининград, 2021. С.321 -324*

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ЗОН ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ**

*Соловьев Д.А.<sup>1</sup>, Шилова Л.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, [solovev@ocean.ru](mailto:solovev@ocean.ru)

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, [shilovala@mgsu.ru](mailto:shilovala@mgsu.ru)

Строительство и эксплуатация объектов в зонах вечной мерзлоты представляют собой сложную инженерную задачу, с которой сталкиваются специалисты различных областей. Уникальные климатические и геологические условия этой территории требуют особого подхода к проектированию, строительству и мониторингу сооружений. Одной из ключевых проблем, с которой сталкиваются инженеры и строители, является обеспечение устойчивости и безопасности сооружений при изменчивости грунтовых условий в зонах вечной мерзлоты [1].

В данном контексте, геотехнический мониторинг играет важную роль, обеспечивая постоянное контролирование параметров грунтов и сооружений в

реальном времени. Важность этого процесса высока не только в аспекте технической надежности, но и с точки зрения экологической безопасности, учитывая влияние изменений климата на структуры в зонах вечной мерзлоты [2].

Наша работа посвящена актуальной проблеме автоматизации геотехнического мониторинга для объектов строительства в зонах вечной мерзлоты. Мы исследуем вопросы, связанные с обработкой данных, созданием программных комплексов и использованием инновационных методов анализа информации. Проблема обеспечения устойчивости и долговечности сооружений в условиях изменчивых грунтовых условий приобретает особую актуальность, особенно в контексте изменений климата [3].

Анализируя современные практики обработки результатов геотехнического мониторинга, следует отметить важность скрупулезного анализа данных, полученных в ходе мониторинга. Основными задачами этого этапа является быстрая обработка и интерпретация данных для выявления трендов, аномалий и паттернов, которые могут влиять на устойчивость сооружений. Обработка данных вручную имеет ряд ограничений и недостатков, таких как высокие затраты времени и возможность допущения ошибок. В связи с этим, возникает необходимость разработки специализированного программного комплекса, который позволит автоматизировать процесс обработки результатов геотехнического мониторинга. Такой подход предоставит возможность более эффективно анализировать большие объемы данных и быстро выявлять потенциальные риски. При этом важно также учесть геополитические и санкционные факторы, связанные с использованием зарубежных программных решений. Поэтому, разработка отечественного программного комплекса становится важной задачей, обеспечивающей надежность и независимость от внешних факторов.

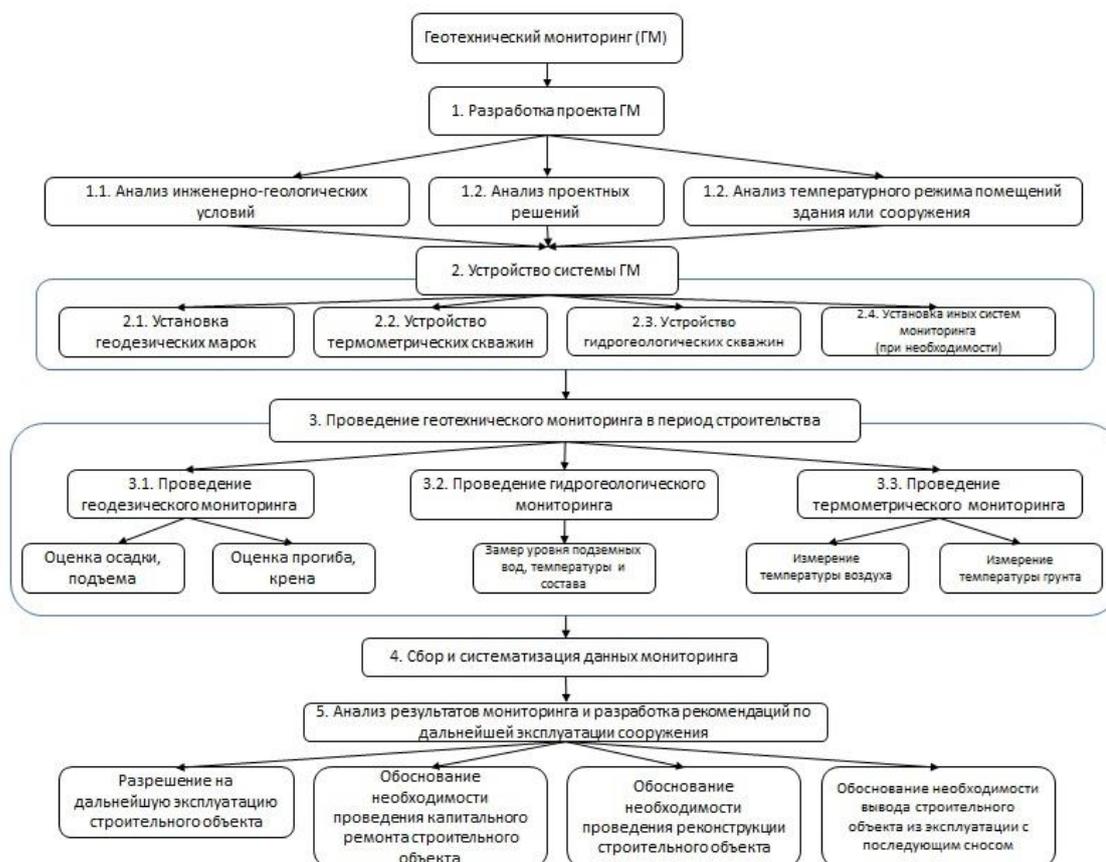


Рис. 1 – Обобщенная схема проведения геотехнического мониторинга при возведении строительного объекта в криолитозоне [5]

На основании ранее проведенных исследований [4], [5] процесс геотехнического мониторинга представлен в виде обобщенной схемы (рис. 1), из которой видно, что в процессе проведения мониторинга собирается достаточно большой массив данных, на основании которого строятся графики изменения перемещения фундаментов здания во времени, графики термометрических наблюдений за грунтовым массивом и пр. Данный факт обосновывает необходимость автоматизации сбора и обработки данных геотехнического мониторинга.

Первым этапом создания программного комплекса для обработки результатов геотехнического мониторинга для возведения строительных объектов в криолитозоне является создание блок-схемы, на которой отображен алгоритм работы программы (рис. 2, а). Для удобства и упрощения разработки программного комплекса, было принято решение написать исходный код программы и сценариев на высокоуровневом языке программирования Python. Алгоритм работы программы подробно описан в работе [4]. Для того, чтобы убедиться в правильной работоспособности созданного программного комплекса, необходимо проведено его тестирование. Для этого использованы данные мониторинга Якутского комбината строительных материалов и конструкций, предоставленными лабораторией №8 Механики мерзлых грунтов и расчета оснований Центра геокриологических и геотехнических исследований Национально-исследовательского института оснований и подземных сооружений им. Н.М. Герсеванова [17].

Для тестирования программы нужно ввести контрольное значение температуры в соответствующем поле рабочего окна программы. После нажатия на кнопку «Анализ» происходит работа алгоритма, после которого все ячейки со значениями, превышающими контрольное, были выделены синим цветом, а в виджете справа выведены строки, в которых были найдены эти значения (рис. 2, б). При необходимости можно ввести номер конкретной строки для анализа данных в ней – для этого нужно ввести номер строки в соответствующее поле. Также можно вывести график зависимости температуры от глубины грунта по заданной строке. При работе с графиком присутствует панель вспомогательных опций, таких как масштабирование, увеличение/уменьшение изображения, сохранение графика в различных расширениях и т.д.

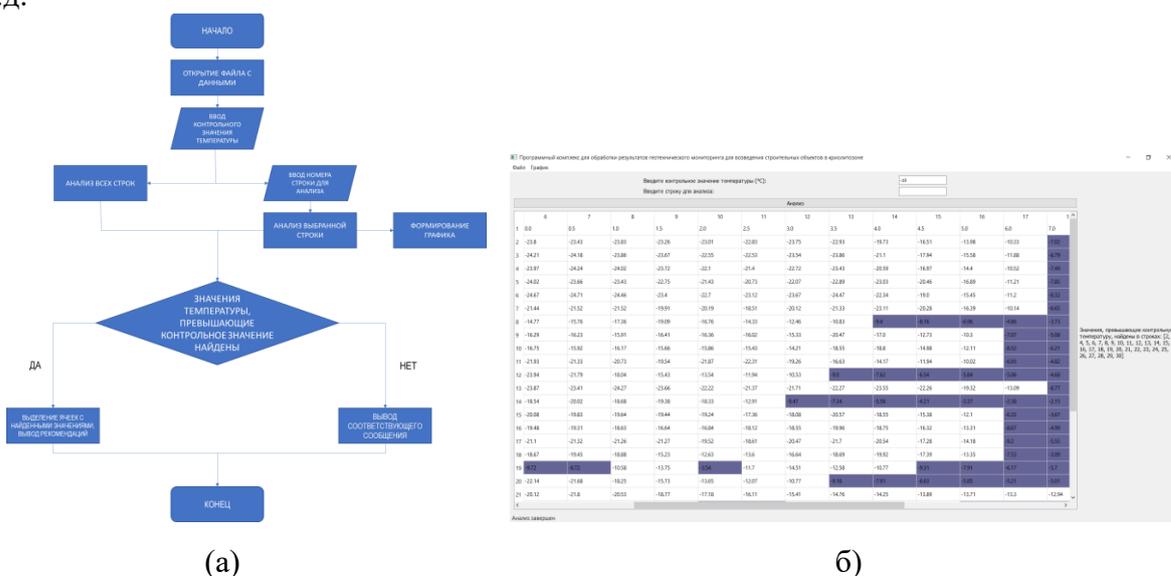


Рис.2 – (а) - блок-схема программного комплекса для обработки результатов геотехнического мониторинга, (б) – окно программы, содержащее результат работы алгоритма. Источник: данные авторов

Разработанный программный комплекс, предоставляет отечественное решение для автоматизации обработки данных геотехнического мониторинга в условиях криолитозоны. Его использование позволяет эффективно анализировать результаты геотехнического мониторинга, выявлять аномалии и риски, а также строить графики и визуализации для более наглядного представления данных. Тестирование комплекса с использованием реальных данных подтверждает его работоспособность и эффективность. Однако стоит отметить, что разработанный программный комплекс в дальнейшем можно доработать и расширить. Возможности интеграции с другими информационными системами, а также поддержка более широкого спектра параметров мониторинга, могут сделать комплекс еще более полезным и универсальным инструментом для инженеров и специалистов в области геотехники.

Разработка и внедрение такого программного комплекса имеют важное значение для устойчивого и надежного строительства в условиях криолитозоны. С возрастанием потребности в новых строительных проектах в этих регионах, автоматизированный геотехнический мониторинг становится неотъемлемой частью инженерной практики.

Разработанный программный комплекс способствует улучшению эффективности геотехнического мониторинга, сокращению временных затрат и повышению надежности строительных проектов в криолитозоне.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-55-71003 «Быстрые изменения окружающей среды в Арктике: последствия для благополучия населения, устойчивости развития и демографии Арктического региона»*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Железняк М.Н., Федоров А.Н. Устойчивость природных систем и инженерных сооружений в Арктике и Субарктике // Экономика Востока России. 2020. № 1. С. 49–55.
2. Ложкин В.В., Федорова В.С. Геотехнический мониторинг линейных сооружений в Арктической зоне // Севергеоэкотех-2016. 2016. С. 54–57.
3. Катцов В.М., Порфирьев Б.Н. Климатические изменения в Арктике: последствия для окружающей среды и экономики // Арктика: экология и экономика. 2012. № 6(2). С. 66–79.
4. Alekseev A., Shilova L., Mefedov E. An approach for automatization of geotechnical monitoring in cryolithozone // IOP Conference series: materials science and engineering. 2021. № 1(1083). С. 12080.
5. Шилова Л.А., Соловьев Д.А., Мефедов Е.С., Алексеев А.Г. Разработка программного комплекса по автоматизированной обработке результатов геотехнического мониторинга для зон вечной мерзлоты // Информационные ресурсы России. 2023. № 1(190). С. 20–35. DOI:10.52815/0204-3653\_2023\_1190\_20.
6. Мониторинг Якутского комбината строительных материалов и конструкций [Электронный ресурс]. . 2023 URL: <https://www.cstroy.ru/> (дата обращения: 6.03.2023).

## ДИНАМИКА ВЫСОТЫ И ПЛОТНОСТИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В АРКТИКЕ ПРИ СОВРЕМЕННОМ КЛИМАТЕ

*Сосновский А.В., Осокин Н.И.*

Институт географии РАН, г. Москва, alexandr\_sosnovskiy@mail.ru

Снежный покров является защитной оболочкой деятельного слоя земной поверхности в районах с отрицательными температурами воздуха. Он влияет на многие природные процессы и явления, а также на хозяйственную деятельность человека [1]. Среди параметров, определяющих свойства снежного покрова, наиболее важными являются его высота, плотность снега и снеготолщина. Если высота и плотность снежного покрова совместно с его стратиграфией влияют на коэффициент теплопроводности снега [2], термическое сопротивление снежного покрова [3] и термический режим почв, грунтов и многолетнемерзлых пород [4, 5], то снеготолщина во многом определяет весенний сток, влажность грунта, гидрологический режим водных объектов. Поэтому вопрос о влиянии потепления климата на современное состояние параметров снежного покрова в Арктике является актуальным.

Область к северу от северного полярного круга ( $66^{\circ}33'44''$  с.ш.) называется Арктикой. Однако в целях обеспечения национальных интересов Российской Федерации в Арктике были определены сухопутные территории Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) согласно указу Президента РФ «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации» от 02.05.2014 N 296 куда вошли отдельные районы, расположенные южнее северного полярного круга. Поэтому чтобы охватить основные районы, отнесенные к АЗРФ, будем рассматривать метеостанции со снегомерными съемками севернее  $64^{\circ}$ . Высота и плотность снежного покрова измеряются в ходе полевых исследований на сети метеостанций Росгидромета. Так, наряду с ежедневным измерением высоты снежного покрова на метеостанциях в стационарной точке, на 517 метеостанциях Росгидромета проводятся измерения высоты снежного покрова и его плотности в ходе маршрутных снегомерных съемок. Причем количество станций, где проводятся маршрутные снегомерные съемки, в арктической зоне России значительно меньше, чем метеостанций с измерениями на стационарных точках. Севернее  $66^{\circ}$  с.ш. расположено 28 метеостанций со снегомерными съемками, 10 метеостанций находятся между  $65^{\circ}$  и  $66^{\circ}$  с.ш. и 17 метеостанций – между  $64^{\circ}$  и  $65^{\circ}$  с.ш.

Данные по снегомерным съемкам, координаты и названия метеорологических станций России приведены на сайте Всероссийского института гидрометеорологической информации ВНИИГМИ-МЦД (<http://meteo.ru>) с 1966 г. по настоящее время. Это обусловлено тем, что после 1965 года нарушений однородности, вызванных изменением процедуры наблюдений, не было [6]. Наблюдения за снежным покровом по регламенту маршрутных снегомерных съемок осуществляются через каждые 10 дней в течение холодного периода и каждые 5 дней в период интенсивного снеготаяния. Длина маршрута составляет 1 или 2 км (в поле и лесу). Каждые 10 м в лесу или 20 м в поле измеряется высота снежного покрова и каждые 100 м в лесу или 200 м в поле измеряется плотность снежного покрова. Эти данные применяют для определения снеготолщин. Измерения проводятся зимой три раза в месяц: 10-го, 20-го и в последний день каждого месяца. Весной перед началом и в период снеготаяния производятся учащенные снегомерные съемки в каждый последний день пятидневки (5, 10, 15, 20, 25-го и последний день месяца).

В климатологии используют базовые 30-летние средние значения температуры, суммы осадков и других показателей. Эти 30-летние исторические усредненные значения называются «климатическими нормами» и могут быть посчитаны на местном, национальном или мировом уровнях. Чтобы учесть быстрые темпы изменения климата,

а также практические потребности в актуальной информации о климате Всемирная Метеорологическая Организация (ВМО) предложила обновлять климатологические базовые нормы для оперативных целей каждые 10 лет, и период 1991–2020 гг. стал новым текущим базовым периодом. Тем не менее, будет сохранен период 1961–1990 гг. как исторический базовый период для поддержания долгосрочной оценки изменения климата. (<https://meteoinfo.ru/news/1-2009-10-01-09-03-06/11151-03062015-1-r>). Для анализа влияния климатических изменений на снежный покров период 1961–1990 гг. заменен на период 1966–1990 гг., за который есть данные по снежному покрову.

Цель настоящей работы – оценка изменения средней многолетней максимальной высоты снежного покрова и плотности снега на материковой части российской Арктики за разные временные периоды.

#### Максимальная высота снежного покрова

При анализе максимальной высоты снежного покрова (МВСП) мы принимали ее максимальное значение из замеров в ходе снегосъемок в лесу и в поле. При этом надо иметь в виду, что в современный климатический период различие между значениями МВСП в лесу и в поле сокращается, что, возможно, обусловлено сменой ветрового режима [6, 7]. За период 1991–2020 гг. наибольшая средняя многолетняя максимальная высота снежного покрова до 120 см отмечена в нижнем течении р. Енисей, наименьшая – 30 см в междуречье рек Лена и Индигирка. На европейском Севере МВСП составляет в среднем 50–85 см (рис. 1, а). Распределение отношения МВСП за современный климатический период 1991–2020 гг. к 1966–1990 гг. приведено на рис. 1, б.

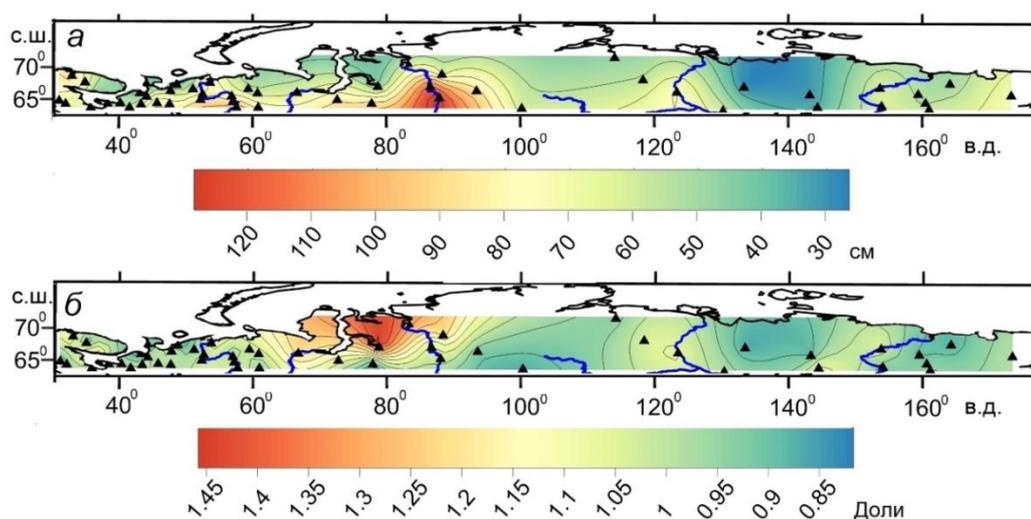


Рис. 1 - Средняя многолетняя максимальная высота снежного покрова за период 1991–2020 гг. – а и ее отношение к значениям высоты снега за период 1966–1990 гг. – б

Наибольший рост МВСП до 30–40% приходится на север Ямало-Ненецкого автономного округа. Снижение МВСП на 5–10% отмечено в северных районах Якутии и Чукотского автономного округа. На севере ЕТР изменение МВСП составляет в среднем  $\pm 10\%$ . Наибольшее изменение МВСП с 39,3 см до 82,4 см за рассмотренные периоды произошло на метеостанции Воркута (индекс ВМО станции 23226). Эта станция на карте не приведена из-за большого изменения, которое повлияет на восприятие карты в целом, обусловленного сглаживанием цветовой гаммы. По сравнению с периодом 1966–1990 гг. отмечен рост МВСП на 10–15 см на севере Западной Сибири, небольшое снижение на 5–7 см произошло на севере Восточной Сибири и восточнее р. Индигирка, а также в отдельных районах на севере ЕТР.

Рассмотрим МВСП за две первые декады 21 века (2001–2010 и 2011–2020 гг.), которые в значительной степени будут определять распределение МВСП в следующий

30-летний климатический период 2001–2030 гг. Распределение МВСП за период 2011–2020 гг. в целом совпадает с периодом 1991–2020 гг. Значения МВСП за периоды 1991–2020/2011–2020 гг.: минимальные 27,4/25,5 см, максимальные 128,3/127,4 см и средние значения 64,4/64,3 см отличаются незначительно. За период 2011–2020 гг. произошел рост МВСП на 10–20 см относительно 2001–2010 гг. на северо-востоке ЕТР, в арктических регионах Западной Сибири и на Дальнем Востоке. Наибольший рост МВСП произошел на метеостанции Воркута – с 79 см в 2001–2010 гг. до 98 см в 2011–2020 гг. Снижение МВСП на 4–8 см отмечено в отдельных районах северо-запада ЕТР и Восточной Сибири. Для самой северной метеостанции России, расположенной в поселке Баренцбург на Западном Шпицбергене (78°04'00" с. ш. 14°13'00" в. д.), снижение МВСП составило 7,7% в 2-й декаде 2011–2020 гг. по сравнению с 1-й декадой.

Сравнение МВСП за разные временные периоды для разных регионов российской Арктики приведено в табл. 1. На ЕТР произошло небольшое снижение МВСП за период 2011–2020 гг. по сравнению с другими периодами и отмечен значительный рост МВСП в Зап. Сибири. Небольшие изменения МВСП отмечены в Восточной Сибири. Отрицательные аномалии МВСП наблюдались на Дальнем Востоке до 2011–2020 гг. При этом надо отметить, что на северо-западе и северо-востоке ЕТР тенденция изменения МВСП противоположная. Так, изменения МВСП на северо-востоке ЕТР близки к тенденции роста МВСП в Западной Сибири – порядка 15–25%. Тогда как на большинстве метеостанций на севере и северо-западе ЕТР произошло снижение МВСП. При этом число метеостанций на северо-западе и севере ЕТР значительно больше, чем на северо-востоке, что и определяет среднее значение МВСП на ЕТР. Аналогично на севере Восточной Сибири – северо-запад намного более многоснежный (с метеостанциями Игарка и Туруханск с МВСП 115–125 см), чем центральная и северо-восточная часть (метеостанции Норильск и Тура с МВСП 60–65 см).

Таблица 1 – Средняя многолетняя высота снежного покрова (см) за разные временные периоды для разных регионов российской Арктики

Регионы / Периоды*	1	2	3	4	5	6
ЕТР	64	65	65	64	63	62
Западная Сибирь	67	65	66	69	67	75
Восточная Сибирь	91	91	91	91	92	92
Дальний Восток	54	55	52	53	50	55

\* – периоды: 1 – 1966–2020; 2 – 1966–1990; 3 – 1981–2010; 4 – 1991–2020; 5 – 2001–2010; 6 – 2011–2020 гг.

#### *Плотность снега в Арктике*

Плотность снега является производной многих факторов и определяется как температурными и ветровыми условиями в момент снегопада, так и процессами уплотнения и перекристаллизации снежной толщи. Плотность снега в процессе роста снежного покрова меняется от значений 0,01–0,05 г/см<sup>3</sup> для свежеснежавшего снега до 0,3–0,4 г/см<sup>3</sup> в конце сезона снегонакопления. В процессе снеготаяния происходит дальнейший рост плотности снега. Будем принимать значения плотности снега на момент максимальной высоты снежного покрова. Однако это не гарантирует его максимальную плотность до момента снеготаяния. Так как весенние снегопады могут приводить к росту высоты снежного покрова и снижению плотности снега за счет менее плотного свежеснежавшего снега.

Наибольшие значения плотности снега до  $0,32\text{--}0,39\text{ г/см}^3$  за период 1991–2020 гг. приходятся на прибрежные и северные районы ЕТР и Западной Сибири (рис. 2, а). Наименьшие значения плотности снега порядка  $0,16\text{--}0,2\text{ г/см}^3$  (при толщине снега порядка 30 см – см. рис. 1, а) отмечены на севере Якутии.

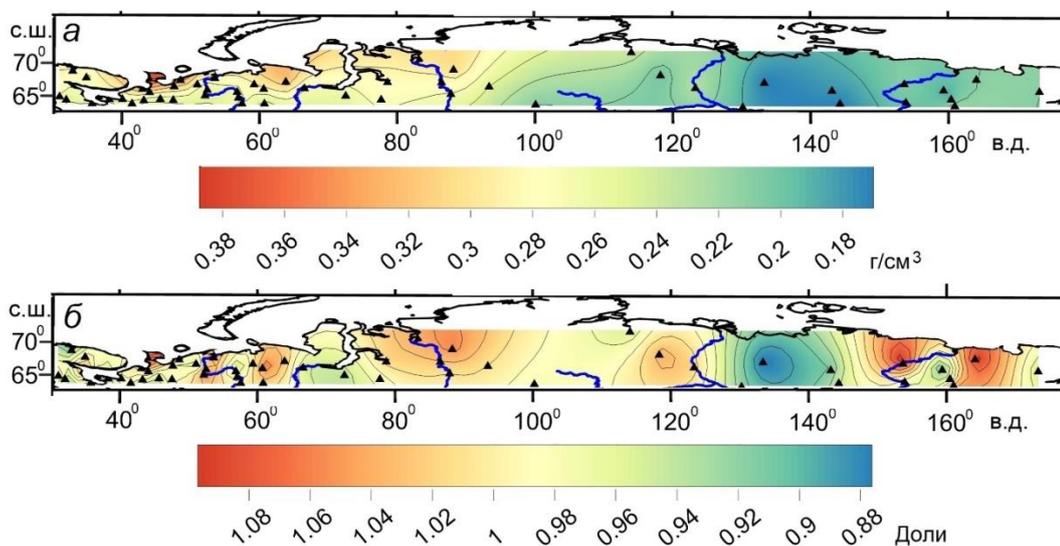


Рис. 2 -Средняя многолетняя максимальная плотность снега за период 1991–2020 гг. – а и ее отношение к значениям плотности снега за период 1966–1990 гг. – б

При этом в период 1991–2020 гг. плотность снега изменилась приблизительно на  $\pm 0,025\text{ г/см}^3$  по сравнению с периодом 1966–1990 гг., что составляет порядка  $\pm 12\%$  (рис. 2, б). Наибольшее снижение плотности снега произошло на севере Якутии, тогда как на остальной территории Арктики в целом произошел небольшой рост плотности снега, наиболее значимый на севере Западной Сибири, отдельных районах севера ЕТР и Дальнего Востока.

В период 2011–2020 гг. диапазон изменения плотности снега увеличился за счет плотности снега на метеостанции Мыс Микулкин (восточная точка полуострова Канин Нос, на север от залива Чёшская губа), где плотность снега составила  $0,46\text{ г/см}^3$ , что на  $0,17\text{ г/см}^3$  больше, чем в среднем по европейскому Северу.

Одной из причин роста плотности снега является его оседание под влиянием собственного веса [8]. При расчете снеговых нагрузок на покрытия применяются разные зависимости плотности снега от его толщины. Так, в нормативных документах (ГОСТ Р ИСО 4355-2016) приведены зависимости, применяемые в разных странах. Согласно этим зависимостям при толщине снега 25–100 см рост толщины снега на 10 % приводит к росту плотности снега на 3–5%. Этим частично объясняется рост плотности снега в районах с положительной динамикой высоты снежного покрова. На северо-западе ЕТР к этому прибавляется влияние оттепелей. Так, на самой западной метеостанции России – метеостанции Баренцбург рост числа оттепелей и их продолжительности [9] приводит к увеличению плотности снега [10]. Поэтому, несмотря на уменьшение максимальной высоты снежного покрова на метеостанции Баренцбург, указанной выше, плотность снега на момент максимальной его толщины может увеличиться. Снижение плотности снега на севере Якутии (см. рис. 2, б) возможно связано со снижением высоты снежного покрова (см. рис. 1, б), при котором растет температурный градиент и происходит более интенсивный рост слоев глубинной изморози с небольшой плотностью.

*Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания по теме «Оледенение и сопутствующие природные процессы при изменениях климата» № гос.*

регистрации АААА-А19-119022190172-5 и при финансовой поддержке проекта № 1023032400458-8 «Влияние деградации оледенения на изменчивость ландшафтов острова Западный Шпицберген».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воейков А.И. Снежный покров, его влияние на почву, климат и погоду и способы исследования // Зап. Русск. геогр. об-ва по общей географии. 1889. № 2. 213 с.
2. Осокин Н.И., Сосновский А.В. Экспериментальные исследования коэффициента эффективной теплопроводности снежного покрова на Западном Шпицбергене // Лёд и снег. 2014. № 3. С. 50-58.
3. Осокин Н.И., Сосновский А.В. Влияние термического сопротивления снежного покрова на устойчивость многолетнемерзлых пород // Криосфера Земли. 2016. № 3. С. 105–112.
4. Осокин Н.И., Самойлов Р.С., Сосновский А.В., Сократов С.А. О роли некоторых природных факторов в промерзании грунтов // Материалы гляциологических исследований (МГИ). 2000. №88. С. 41–45.
5. Осокин Н.И., Самойлов Р.С., Сосновский А.В. Оценка влияния толщины снежного покрова на деградацию мерзлоты при потеплении климата // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2006. № 4. С. 40–46.
6. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год / М.: Изд-во Росгидромет, 2023. 104 с.
7. Сосновский А.В., Осокин Н.И., Черняков Г.А. Динамика снегозапасов на равнинной территории России в лесу и в поле при климатических изменениях // Лёд и Снег. 2018. № 2. С. 183–190.
8. Чернов Р.А. Метаморфизм и термические свойства свежесвыпавшего снега (по исследованиям в Подмосковье) // Лёд и Снег. 2016. № 2. С. 199–206.
9. Осокин Н.И., Сосновский А.В. Динамика параметров снежного покрова, влияющих на устойчивость многолетней мерзлоты на архипелаге Шпицберген // Лёд и Снег. 2016. №2. С. 189-198.
10. Сосновский А.В., Осокин Н.И. Влияние оттепелей на снежный покров и промерзание грунта при современных изменениях климата // Лёд и Снег. 2019. №4. С. 475-482.

#### НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ВОДЫ ПО ВОДОВОДАМ В СЕВЕРНОЙ СТРОИТЕЛЬНО-КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ

*Терехов Л.Д.<sup>1</sup>, Терехова Е.Л.<sup>2</sup>, Майны Ш.Б.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Петербургский государственный университет путей сообщения г. Санкт-Петербург, levter4@rambler.ru

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург

<sup>3</sup> Тувинский государственный университет, г. Кызыл, shonchikspb@mail.ru

Около 70% территории России расположено в северной строительно-климатической зоне, характеризующейся продолжительными холодными зимами и наличием вечномёрзлых грунтов. В этих районах находится более 400 населенных пунктов и проживает около 11 млн. человек.

На строительство и эксплуатацию систем водоснабжения в северных районах расходуется много средств. Себестоимость воды здесь в 15-20 раз выше, чем в средней

полосе страны. Удорожание эксплуатации связано с дополнительными затратами на выполнение мероприятий по предотвращению замерзания воды в трубах и просадки водоводов. В этой связи в северных районах страны применяют: специальные виды прокладки трубопроводов, устройства для подогрева воды, теплоизоляцию труб, незамерзающую арматуру и защиту труб от разрушения при замерзании воды.

Более чем 20-летний опыт работы с системами водоснабжения БАМа, Забайкальской железной дороги, Норильского промышленного района дает основание считать, что существующие нормативы по назначению теплового режима водоводов необоснованно завышены. Это приводит к значительному перерасходу топлива и электроэнергии. В соответствии с СП [1] при транспортировании воды по водоводам, проложенным на вечномерзлых грунтах, воду в начале водовода нужно нагревать до такой степени, чтобы в конце водовода она имела температуру не ниже  $+3^{\circ}\text{C}$ . При таких условиях воду для протяженных водоводов подогревают на  $8\div 12^{\circ}\text{C}$ , что требует больших затрат топлива.

По действующим нормативам при эксплуатации водовода образование льда на внутренней поверхности труб не допускается [2]. Такое требование обусловлено недостаточным знанием процесса внутреннего обледенения труб и желанием повысить защиту труб от замерзания, отодвинув опасную границу фазового перехода путем излишнего подогрева воды, что приводит к большому перерасходу топлива. Предлагается новый подход к решению вопроса экономичности подачи воды и на его основе разработана принципиально новая технология транспортирования воды в условиях Севера. Сущность ее состоит в том, что отрицательная температура воздуха, как естественный природный холод Севера из отрицательного фактора, на борьбу с которым затрачивалось много средств, обращается в положительный. Для этого при подаче воды необходимо задавать такие гидравлические и тепловые параметры, при которых в водоводе на внутренней поверхности трубы образуется тонкая корка льда. Именно она коренным образом меняет сложившуюся традицию в назначении тепловых режимов, основных параметров и принципов эксплуатации.

Учитывая, что отрицательная температура воздуха на Севере держится в течение восьми-девяти месяцев, то довольно продолжительный период года эта технология подачи воды может работать.

Как показали экспериментальные исследования [3], шероховатость поверхности льда почти в 120 раз меньше эквивалентной шероховатости стальных неновых труб, по которым транспортируется вода. В связи с этим существенно уменьшаются потери напора в трубопроводе, что снижает затраты электроэнергии на 18-20% при одновременном увеличении пропускной способности до 15-20%.

Образование внутритрубного льда происходит при температуре воды близкой к  $0^{\circ}\text{C}$ . Работа трубопровода с такой температурой возможна при значительном снижении степени подогрева воды, что экономит топливо до 40%.

Покрытие внутренней поверхности трубы коркой льда за счет естественного природного холода способствует улучшению качественных показателей подаваемой воды, так как в этом случае отсутствует контакт воды с металлом трубы, что приводит к снижению коррозии, улучшению качества воды и увеличению долговечности труб.

Для работы трубопровода в режиме внутритрубного обледенения необходимо решить следующие задачи: оценить опасность и дать качественную характеристику сокращения времени перемерзания трубопровода вследствие снижения температуры транспортируемой воды; разработать теорию и на ее основе создать программный комплекс с применением компьютерной техники для расчета гидравлических и тепловых режимов с назначением оптимальных параметров, обеспечивающих работу водовода с внутренним обледенением труб; разработать специальные конструкции датчиков, контролируемых гидравлические и тепловые параметры водовода в условиях внутреннего обледенения труб; создать автоматизированный комплекс

управлением тепловых и гидравлическим режимами водоводов, обеспечивающих работу трубопровода при внутритрубном обледенении.

В нормативно-технической литературе, применяемой в практике проектирования водоводов систем водоснабжения для районов распространения вечномерзлых грунтов, изложение методов расчета ледовых режимов при движении по ним воды отсутствует.

За основу разрабатываемой методики расчета обледенения трубопроводов выбрана работа П.А. Богословского [4]. При разработке методики внесены следующие допущения, упрощающие практические расчеты при минимальном снижении точности результатов: водовод имеет равномерную по толщине теплоизоляцию с постоянными теплофизическими свойствами; коэффициент конвективного теплообмена является постоянным по всему периметру наружной поверхности водовода.

Разработанный программный комплекс позволяет решать следующие задачи: построение профиля льда по длине трубопровода и определение пространственно-временной границы фазового перехода в любом сечении трубопровода. С его помощью можно осуществить всестороннее моделирование теплового состояния водовода, условия возникновения стабилизации и таяния слоя внутритрубного льда, определить минимальный подогрев и условия, при которых формируется экономически выгодная степень обледенения.

Обеспечение работы водовода в оптимальном режиме обледенения может быть достигнуто только при условии оперативного контроля основных гидравлических и тепловых параметров трубопровода и назначения минимальной степени подогрева воды с учетом изменяющихся погодных условий [5, 6, 7].

Для осуществления этой задачи с использованием персонального компьютера разработан автоматический комплекс управления гидравлическим и тепловым режимами водоводов, который состоит из передающей и приемной частей, связанных между собой радиоканалом с радиусом действия до 30 км. Передающая часть, находящаяся в конце водовода, включает систему специальных датчиков, контролирующую основные гидравлические и тепловые параметры водовода и окружающей среды (температура воздуха и воды, скорость движения воды, давление воды и толщина льда в трубе); измерительный контролер, содержащий мультиплексор; 10-разрядный аналогово-цифровой преобразователь и радиостанцию в диапазоне УКВ. Приемная часть, расположенная на водозаборе, состоит из такой же радиостанции, измерительного контролера, персонального компьютера и устройства ввода-вывода. Персональный компьютер обрабатывает, отображает и запоминает принимаемую информацию. Путем ввода в программу полученных от датчиков значений внешних факторов рассчитываются ледовые параметры ввода и сравниваются с фактическими, полученными от датчиков; после чего происходит корректировка значений коэффициента теплообмена до полного соответствия математической модели и натурных измерений. При изменении жесткости погодных условий просчитывается несколько вариантов, из них выбирается один, по которому принимается минимальное значение подогрева воды, обеспечивающее наиболее выгодную степень обледенения. Подобная система внедрена на водоводе водоснабжения одной из станций БАМ и показала надежную и эффективную работу.

Для предотвращения разрушения труб при перемерзания в них воды разработаны специальные устройства, автоматически срабатывающие в аварийных и непредвиденных ситуациях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 31.13330.2021. Свод правил. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84. – Москва, 2021. – 47 с.

2. СН 510-78. Инструкция по проектированию сетей водоснабжения и канализации для районов распространения вечномёрзлых грунтов. – М.: Стройиздат, 1979. – 72 с.
3. Терехов Л.Д., Юдин М.Ю., Продоус О.А. О методике исследования шероховатости внутритрубного льда в водоводах // Основные направления развития водоснабжения и водоотведения, очистка природных и сточных вод и обработка осадков: Тезисы доклада Всесоюзной научно-технической конференции. – Харьков, 1986 г.
4. Богословский П.А. Ледовы режим трубопроводов гидроэлектрических станций. М. –Л.: Госэнергоиздат. 1950. 279 с.
5. Твардовская, Е. А. Определение оптимальной степени обледенения трубопровода, обеспечивающей увеличение пропускной способности / Е. А. Твардовская, Л. Д. Терехов // Транспорт: проблемы, идеи, перспективы : сборник трудов LXXXI Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Санкт-Петербург, 19–26 апреля 2021 года. – Санкт-Петербург: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2021. – С. 353-357.
6. Терехов, Л. Д. Продолжительность безопасной остановки движения воды в трубопроводе в зимний период / Л. Д. Терехов, В. М. Петров, О. В. Акимов // Водные ресурсы - основа устойчивого развития поселений Сибири и Арктики в XXI веке : Сборник докладов XXI Международной научно-практической конференции, Тюмень, 22 марта 2019 года. Том II. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2019. – С. 389-393.
7. Терехов, Л. Д. Особенности эксплуатации канализационных выпусков в условиях сурового климата / Л. Д. Терехов, Ш. Б. Майны // Арктика: современные подходы к производственной и экологической безопасности в нефтегазовом секторе : материалы Международной научно-практической конференции, Тюмень, 27 ноября 2019 года. Том I. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2020. – С. 157-162.

## **ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ ПРИЧИНЫ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕПЛО-ВЛАГООБМЕНА В СУБАРКТИКЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В ПЕРИОД МАКСИМАЛЬНОГО ЛЕТНЕГО ПОТЕПЛЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ЯНАО)**

*Титкова Т.Б., Золотокрылин А.Н.*

Институт географии РАН, г. Москва, titkova@igras.ru

Начиная с конца 70-х годов XX века скорость роста среднегодовой температуры воздуха в Арктической зоне превышает рост средне глобальной температуры [1]. Основные факторы, которые могут влиять на потепление, связаны с океаническими и атмосферными процессами. Глобальное потепление во многом обусловлено сменой режимов крупномасштабной циркуляции внетропических широт Северного полушария, наблюдаемой с середины XX века, а также мультидекадной изменчивостью температуры поверхности океана (ТПО) Северной Атлантики [4-6 и др.]. Повышение температурного фона и вариации циркуляции атмосферы влекут за собой изменение обмена явного и скрытого тепла с атмосферой зональными ландшафтами. Также, влагосодержание столба, во многом обусловленное крупномасштабной циркуляцией атмосферы в свою очередь влияет на характер радиационного обмена, режим тепла и влажности. Оценки линейных трендов потоков явного и скрытого тепла показывает неравномерность их региональных тенденций [7]. Так по оценкам [8] ожидается, что из-за повышения температуры поверхности увеличится восходящий тепловой поток.

**Цель исследования:** Выявить степень зависимости изменений тепло- влагообмена от циркуляционных факторов в Арктической зоне Западной Сибири в период максимального летнего потепления.

Для этого необходимо решить следующие задачи:

- Выявить временной максимум летнего потепления Арктической зоны Западной Сибири;
- оценить изменение тепло- и влагообмена в период максимального потепления;
- оценить степень зависимости изменений тепло-влагообмена в период максимального летнего потепления от циркуляционных факторов.

**Объекты, период исследования, материалы и методы.**

Исследования проводилось для материковой части Российской Арктики Западной Сибири, в границах Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО). Этот район представлен субарктическими (тундровыми и лесотундровыми) и бореальными (северотаежными) ландшафтами.

Для оценки периода максимального потепления в летние месяцы использовались среднемесячные данные по 69 метеостанциям на территории Западной Сибири и прилегающих районов, расположенным севернее  $65^{\circ}$  с.ш., из архива ВНИИГИМЦД (<http://meteo.ru/>) за период 1961-2020 гг. Была рассмотрена скорость температурных трендов за 10-летний период с 1991 по 2020 гг. Значимость линейных трендов температуры оценивалась с вероятностью 0.95 по критерию Стьюдента. В дополнении, выявление периода максимального потепления в летние месяцы определялось по положению изотермы  $+10^{\circ}\text{C}$ . Положение этой изотермы и ее отклонение наглядно иллюстрирует интенсивность температурных трендов. Изотерма  $+10^{\circ}\text{C}$  принимается в качестве одного из критериев южной границы Арктической зоны и ограничивает территорию, где возможна активная вегетация растений, определяет сумму активных температур необходимого для развития растений в вегетационный период [9, 10]. В условиях потепления климата такой индикатор является ключевым для определения изменения теплообеспеченности. Анализировались два климатических периода: 1961-1990 – как базовый, 1991-2020 – как период современного потепления. Дополнительно оценивалась декадная динамика потепления за 1991-2000, 2001-2010 и 2011-2020 гг. Анализировалось положение изотермы  $+10^{\circ}\text{C}$  в летние месяцы, ее стандартное отклонение, широтное смещение с точностью до  $0.5^{\circ}$  широты.

Для исследований вертикальных потоков тепло- и влагообмена привлечен глобальный архив реанализа пятого поколения ERA-5 и ERA5-Land, имеющего пространственное разрешение  $0,25 \times 0,25^{\circ}$  и  $0,1 \times 0,1^{\circ}$  соответственно, доступный за период с 1950 года по настоящее время (<https://climate.copernicus.eu/>). Использовались характеристики переноса тепла и влаги: поток явного тепла SL (Дж/м<sup>2</sup>), поток скрытого тепла SS (Дж/м<sup>2</sup>), средняя проинтегрированная по вертикали дивергенция влаги MD (кг/м<sup>2</sup> в сек). По соглашению ECMWF для вертикальных потоков положительное значение указывает на поток вниз. Проведена оценка трендов потоков за период 1991–2020 гг. для зональных ландшафтов равнин России с оценкой значимости вероятности 0.95 по критерию Стьюдента.

Для рассмотрения вклада крупномасштабной циркуляции атмосферы в изменчивость вертикальных потоков тепло- и влагообмена были рассмотрены циркуляционные моды: NAO (Северо-Атлантическое колебание), AO (Арктическое колебание), PNA (Тихоокеанско-Североамериканское колебание), SCAND (Скандинавская мода), EA (Восточно-Атлантическая мода) и EAWR (колебание «Восточная Атлантика/Западная Россия»), представленные на официальном сайте Центра прогнозирования погоды и климата NOAA (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/telecontents.shtml>) с 1950 г. В дополнение привлечены данные среднемесячных температур поверхности океана (ТПО) северной части Атлантического океана в регионе  $75^{\circ}$ – $0^{\circ}$  з.д.,  $0^{\circ}$ – $60^{\circ}$  с.ш. с пространственным

разрешением  $1 \times 1^\circ$  из архива Центра Гадлея Метеослужбы Великобритании, HadISST1.1 [1].

АО – колебание разности атмосферного давления между средними и высокими широтами Северного полушария, в своей положительной фазе увеличивает повторяемость циклонов в субарктических ландшафтах ЗС. NAO – колебания градиента давления между субтропиками и субполярными широтами Атлантики, отражает интенсивность зональной атмосферной циркуляции и перенос тепла и влаги с Атлантики на север Евразии [11]. PNA отражает режимы усиления и блокировки зонального переноса для Северо-Тихоокеанского сектора, а также, в силу телеконнекции, на ЕТР [12]. Региональные индексы SCAND и EAWR отражают колебания блокировки зонального переноса над Северной Евразией [2, 3]. ТПО северной части Атлантики играют заметную роль в изменениях климата окружающих ее континентальных регионов [5]. В устойчивые периоды более теплых вод ТПО возрастает количество атмосферных засух [13], что может приводить к росту потоков явного тепла и падению потоков влаги.

Вклад циркуляционных мод и температуры воздуха в изменчивость вертикальных потоков тепла и влаги анализировался по бета-коэффициентам ( $\beta$ ) переменных в уравнении регрессии, общему коэффициенту корреляции и коэффициенту детерминации. Вклад рассмотренных параметров считается низким при  $-1 < \beta < 1$ , при  $\beta = 1(-1)$  – умеренным, при  $\beta > 1 (< -1)$  – высоким.

#### **Результаты.**

Среди летних месяцев, июньское потепление на севере Западной Сибири (ЗС) за 1991-2020 гг. было самым сильным (до  $+2^\circ\text{C}/10$  лет) (рис. 1а) и вызвало заметный декадный сдвиг изолинии  $+10^\circ\text{C}$  к северу в пределах  $2-3.5^\circ$  широты. В этом районе среднее июньское положение изолинии  $+10^\circ\text{C}$  в период 1991-2000 гг. сместилось к северной границе стандартного отклонения периода 1961-1990 гг., а затем продолжило продвигаться на север. В период 1961-1990 гг. ее положение определялось границами северотаежной зоны. В десятилетие 2011-2020 гг. среднее положение изолинии  $+10^\circ\text{C}$  наблюдалось уже в зоне тундры.

Июльское потепление было слабее, с положительными трендами июльской температуры до  $+1.5^\circ\text{C}$ . Положение изотермы находится в пределах границ тундровой зоны. В период 2011-2020 гг. положение июльской изотермы уже находится в северной части стандартного отклонения положения изотермы в период 1961-1990 гг. Тренды августовской температуры были разнонаправленными и менялись в пределах  $-0.5^\circ \dots +1^\circ\text{C}$ . Изменения положения изотермы лежат в диапазоне изменчивости климатического периода 1961-1990 гг. Смещение изотермы  $+10^\circ\text{C}$  относительно границ ландшафтных зон не наблюдается, и в ЯНАО оно соответствует северной границе лесотундры.

На фоне максимального июньского потепления тренд потока явного тепла значимо растет для восходящих потоков в южной части ЯНАО – в северотаежной зоне. В районе среднего положения изотермы  $+10^\circ\text{C}$  в 2011-2020 гг. в тундре происходит смена знака преобладания тенденций потоков явного тепла. Севернее этой изотермы восходящие потоки тепла уменьшаются.

Тенденции потока скрытого тепла говорят об увеличении восходящих. Максимальный значимый тренд характерен для зоны тундры и восточной части лесотундровых и северотаежных ландшафтов ЯНАО, где восходящие потоки скрытого тепла увеличиваются со скоростью до  $20\% / 10$  лет. В зоне тундр, лесотундр и части северной тайги ЯНАО в целом наблюдается увеличение восходящих потоков влаги местами до  $24\% / 10$  лет. На востоке северной тайги, в зоне преобладания болот отмечается уменьшение восходящих потоков влаги. В таблице 1 приведены результаты линейного регрессионного анализа вариаций различных параметров.

Таблица 1 – Результаты линейного регрессионного анализа вариаций параметров: индексы циркуляции (NAO, AO, PNA, SCAND, EAWR), ТПО, Тв – по отношению к величине вертикальных потоков явного тепла (SL), скрытого тепла (SS) и дивергенции влаги (MD) в ЯНАО. В уравнения включены параметры с уровнем значимости выше 95 %.

Поток	Уравнение Регрессии	Коэфф. корреляции	R <sup>2</sup>
Явное тепло	SL=19.4-1.7*NAO+1.9*AO-0.2*PNA+1.3*SCAND-1.3*EAWR-0.9*ТПО+1.6*Тв	0,94	0,84
Скрытое тепло	SS=21.6-2.1*NAO+0.9*AO+0.5*PNA+1.1*SCAND-0.7*EAWR-0.2*ТПО+3.4*Тв	0,89	0,94
Дивергенция влаги	MD=-18.8-2.6*NAO+5.5*AO-1.6*PNA-6.1*SCAND+4.2*EAWR+7.7*ТПО-5.3*Тв	0,64	0,41

Вклад всех рассмотренных параметров в изменчивость тепловых потоков достаточно высок (R<sup>2</sup> = 0.84 и 0.94) (табл.). Коэффициент корреляции колеблется от 0.89 до 0.94. Высокий вклад в изменчивость всех тепловых потоков приносит колебание циркуляционных мод NAO, AO, EAWR, SCAND, которые ответственны за интенсивность циклонической и антициклонической циркуляции на севере ЗС, а также температурный фактор. β-коэффициенты для этих параметров больше единицы.

Вклад всех рассмотренных параметров в изменчивость дивергенции влаги ниже, чем для тепловых потоков. Значимое влияние на потоки дивергенции влаги оказывают все рассмотренные параметры, включая и аномалию ТПО.

#### **Выводы.**

Максимум летнего потепления на севере Западной Сибири в период 1991-2020 гг. наблюдался в июне. Что вызвало заметный сдвиг июньского среднего положения изолинии +10°C к северу в пределах 2-3.5° широты в период 2011-2020 гг. относительно 1961-1990гг.

Зависимости изменений тепло-влагообмена в период максимального летнего потепления в достаточной степени объясняется колебанием циркуляционных мод (NAO, AO, PNA, SCAND, EAWR, ТПО), и ростом температуры воздуха.

В целом на фоне максимального июньского потепления и колебания циркуляционных мод восходящие вертикальные потоки тепло-влагообмена увеличились на севере Западной Сибири от тундры до северной тайги.

*Исследования проведены в ходе выполнения гранта Российского научного фонда № 23-27-00047 «Структура потоков тепла и влаги в зональных равнинных ландшафтах России в условиях глобального потепления».*

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Rantanen M., Karpechko A.Yu., Lipponen A., Nordling K., Hyvärinen O., Ruosteenoja K., Vihma T., Laaksonen A. The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979 // Communications Earth & Environment. 2022. volume 3. Article number: 168
2. Бардин М.Ю., Платова Т.В., Самохина О.Ф. Изменчивость антициклонической активности в умеренных широтах Северного полушария // Фундаментальная и прикладная климатология. 2019. т. 3. С. 32–58. DOI: 10.21513/0207-2564-2019-3-32-58
3. Бардин М.Ю., Платова Т.В., Самохина О.Ф. Долгопериодные изменения повторяемости циклонов в умеренных широтах северного полушария // Фундаментальная и прикладная климатология. 2021. Т. 7. № 2. С. 57–80.

4. King M.P., Kucharski F., Molteni F. The Roles of External Forcings and Internal Variabilities in the Northern Hemisphere Atmospheric Circulation Change from the 1960s to the 1990s. // *Journal of Climate*. 2010. vol. 23. pp. 6200–6220.
5. Gillett N.P., Graof H.F., Osborn T.J. Climate change and North Atlantic Oscillation // *The North Atlantic Oscillation. Climate Significance and Environmental Impact. Geophysical Monograph 134. AGU. Washington, DC, 2003. P. 193–209*
6. Семенов В.А., Черенкова Е.А. Оценка влияния Атлантической мультидекадной осцилляции на крупномасштабную атмосферную циркуляцию в Атлантическом секторе в летний сезон // *Доклады Академии наук*, 2018. Т. 478. № 6. С. 697–701.
7. Mueller B., Hirschi M., Jimenez C., Ciais P., Dirmeyer P.A., Dolman A.J., Fisher J.B., Jung M., Ludwig F., Maignan F., Miralles D.G., McCabe M.F., Reichstein M., Sheffield J., Wang K., Wood E.F., Zhang Y., Seneviratne S.I. Benchmark products for land evapotranspiration: LandFlux-EVAL multi-data set synthesis // *Hydrology and Earth System Sciences*. 201317(10). pp. 3707–3720. DOI: 10.5194/hess-17-3707-2013
8. Wild M. Decadal changes in radiative fluxes at land and ocean surfaces and their relevance for global warming // *WIREs Climate Change*. 2016. vol. 7. No 1. pp. 91–107.
9. Вильфанд Р.М., Страшная А.И., Береза О.В. О динамике агроклиматических показателей условий сева, зимовки и формировании урожая основных зерновых культур // *Труды Гидрометцентра России*. 2016. Вып. 360. С. 45-78.
10. Титкова Т. Б., Золотокрылин А. Н. Региональная неравномерность летнего потепления материковой Арктики как индикатор природных границ северных ландшафтов // *Арктика экономика и экология*. 2021. Т. 11. № 3. С. 386–396
11. Попова В.В. Современные изменения климата на севере Евразии как проявление вариаций крупномасштабной атмосферной циркуляции // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2018. № 1. С. 84–111.
12. Попова В.В. Современные изменения температуры приземного воздуха на севере Евразии: региональные тенденции и роль атмосферной циркуляции // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 2009. № 6. С. 59-69.
13. Черенкова Е.А. Оценка влияния изменений климата в северной Атлантике и крупномасштабной циркуляции атмосферы на изменения температуры воздуха летом на европейском севере России // *Материалы 18-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»*, Москва, 2020. с. 185.

## **ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЗАТРАТ ВРЕМЕНИ НА ПРОХОЖДЕНИЕ ГАЗОВОЗОВ ТИПА YAMALMAX ОТ САБЕТТЫ ДО БЕРИНГОВА ПРОЛИВА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОДЕЛИРОВАНИЯ**

*Третьяков В.Ю.<sup>1,2</sup>, Федяков В.Е.<sup>1</sup>, Алексева Т.А.<sup>1,3</sup>, Петрова А.А.<sup>1</sup>, Мочнова Л.П.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург  
v\_yu\_tretyakov@mail.ru

<sup>3</sup>Институт космических исследований РАН, г. Москва

Россия обладает рядом крупнейших из известных месторождений природного газа, которые расположены на побережье Северного Ледовитого океана и на его шельфе. Крупнейший в мире завод по сжижению природного газа расположен в Сабетте на полуострове Ямал. В соответствии с Указом Президента Российской Федерации № 204 от 7 мая 2018 года «О национальных целях и стратегических задачах

развития Российской Федерации на период до 2024 года» поставлена цель развития Северного морского пути (СМП) и увеличения объёма грузоперевозок до 80 миллионов тонн в год. К 2030 году СМП может стать ключевым транспортным коридором перевозок сжиженного природного газа (СПГ). Yamalmax – это тип арктических танкеров-газовозов для перевозки СПГ. Головной газозов «Кристоф де Маржери» был построен в 2016 г. [1], а в марте 2017 году принят в эксплуатацию компанией «Совкомфлот» после успешного прохождения ледовых испытаний в Арктике [2]. В последующие три года было построено ещё 14 газозовов для обслуживания проекта «Ямал СПГ». Газозовы типа Yamalmax уже продемонстрировали возможности не только самостоятельного плавания в сложных ледовых условиях, но и осуществления проводки судов более низких классов ледовых усилений [3]. Исследование ледяного покрова как среды судоходства предполагает выявление количественных показателей влияния параметров ледяного покрова на скорость движения судов, установление количественных критериев начала и окончания различных этапов арктической навигации. Наиболее полное систематизированное обобщение результатов многолетних исследований влияния ледяного покрова на судоходство выполнено А.Я. Бузуевым [4]. В 80-х годах 20-го века сотрудниками ААНИИ А.Я. Бузуевым и В.Е. Федяковым была разработана эмпирико-статистическая модель количественной оценки трудности плавания во льдах [5]. Впоследствии В.Е. Федяковым эта модель была реализована в виде ряда компьютерных программ. Современная версия компьютерной модели позволяет: 1) переходить от распределения характеристик ледяного покрова в районе плавания по данным ледовых карт, созданных на основании спутниковых снимков и результатов моделирования динамики ледяного покрова, к распределению этих характеристик непосредственно на пути плавания; 2) оценивать влияние характеристик ледяного покрова на скорость движения судна, 3) рассчитывать затраты времени на преодоление судном как однородных по параметрам ледяного покрова участкам маршрута плавания, так и всего маршрута в целом.

Проведённое исследование выполнено с помощью компьютерной модели, в которой запрограммирован эмпирико-статистический метод количественной оценки трудности плавания во льдах, основанный на эмпирической модели движения судна в ледяном покрове [4]. Ледовые условия в районе плавания в компьютерной модели трансформируются в условия плавания по пути движения судна с учетом выявленных общих закономерностей, связанных с избирательным характером движения судна во льдах, разумеется при условии достаточно высокой ледовой квалификации судоводителей. В модели рассчитываются затраты времени на преодоление однородных по ледовым характеристикам участков маршрута плавания скорости движения на этих участках, а также общие затраты времени и средняя скорость плавания по всему маршруту при отсутствии сжатий дрейфующих льдов и при сжатиях интенсивностью 1 балл по российской трёхбалльной шкале, которые наблюдаются приблизительно в 80 % случаев сжатий ледяного покрова [6]. Расчет временных затрат с помощью модели требует задания следующих параметров ледяного покрова по трассе плавания для каждого однородного по характеристикам ледяного покрова участка маршрута: 1) его протяжённость в морских милях; 2) количество возрастных градаций ледяного покрова — не более 4-х; 3) частные концентрации возрастных градаций ледяного покрова; 4) формы льда (размеры льдин) по возрастным категориям, по одной форме на категорию; 5) толщина льда по возрастным категориям; средняя торосистость; 6) средняя степень разрушенности льда.

Для анализа были использованы данные Автоматической идентификационной системы (АИС) по 8 плаваниям газозовов типа Yamalmax: «Кристоф де Маржери», «Николай Урванцев», «Николай Евгенов», «Владимир Русанов», «Эдуард Толль», «Георгий Брусилов», «Георгий Ушаков», «Владимир Воронин» в мае-июне 2020-2021 гг., т.е. при наиболее сложных ледовых условиях плавания. Данные АИС записываются

в файлы таблиц Microsoft Excel, а затем в файлы формата «csv» Microsoft Excel, содержащие значения, разделённые символом точки с запятой. Далее эти файлы с помощью специально разработанных в среде создания приложений Lazarus компьютерных программ преобразовывались в текстовые файлы формата реляционных таблиц с разделителем «точка с запятой», которые в Quantum GIS служили источниками для создания координатных слоёв событий. Координатные слои событий в свою очередь сохраняются в шейпфайлы. Исходные текстовые файлы создавались двух типов: с одной группой точек и с большим количеством групп точек. В первом случае из последовательности точек в Quantum GIS создавался шейпфайл, содержащий единственный линейный объект маршрута плавания. Во втором случае в текстовом файле координаты всех точек плавания, кроме первой и завершающей, повторялись дважды. В этом случае все группы точек состояли только из двух точек: начала и конца отрезка прямой между соседними точками маршрута. Таким образом, здесь число групп точек равнялось числу Line-объектов, т.е. прямых между соседними точками. При создании шейпфайла каждая такая группа точек порождала отдельный линейный объект маршрута плавания. Шейпфайлы первого типа затем пересекались с полигональными слоями ледовой обстановки с созданием слоёв маршрутов плаваний с ледовой информацией, состоящих из объектов типа Polyline, представляющих собой участки маршрута с однородными ледовыми условиями. Эти шейпфайлы затем использовались для верификации эмпирико-статистической модели плаваний судов во льдах. Шейпфайлы второго типа применялись для анализа скоростей плавания, который необходим для оценки степени однородности ледовых условий плавания. Разумеется, не нужно анализировать весь маршрут плавания. Следует исключить маневрирование и перестановки судна в районе Сабетты или явные остановки технического характера. Следует выбирать участки маршрута с близким расположением точек друг к другу, без больших разрывов. Выбранный участок маршрута на слое точек, группы которых представляют собой начальные и конечные точки Line-объектов – прямых линий между соседними точками, построенными по данным системы АИС, должен начинаться с начальной точки какой-либо группы, и заканчиваться конечной точкой другой группы. Эти выбранные точки сохраняются в новый шейпфайл, по которому затем создаётся состоящий из Line-объектов шейпфайл маршрута. Затем в «Калькуляторе полей» рассчитывается протяжённость каждого объекта в морских милях. Время прохождения судном прямолинейных участков маршрута в часах определено ещё в таблице формата Microsoft Excel, которая служит источником данных для построения маршрута. Затем в Калькуляторе полей вычисляется скорость движения в узлах (морская миля в час) делением значений протяжённостей прямолинейных участков маршрута на продолжительность прохождения судном этих участков в часах. Следующий этап – экспорт таблицы атрибутов шейпфайла в файл формата Microsoft Excel, содержащий значения, разделённые символом запятой (формат «csv»).

Дальнейшая обработка выполняется с помощью программы, написанной на языке «Lazarus». Файл формата «csv» должен содержать 4 колонки: номер группы (номер участка плавания), протяжённость участка в морских милях, продолжительность преодоления участка судном в часах, скорость в узлах. Первая строка должна содержать названия полей: «Gruppa», «Dlmm», «Dlitchas», «Skoruzl». В результате создаётся текстовый файл, в котором в каждой строке находится только скорость судна. Значение скорости на участке плавания повторяется столько раз, во сколько раз протяжённость участка превышает 0.1 морской мили (кабельтов или 185.2 метра). Эти результаты можно использовать для получения ответов на следующие вопросы: существует ли значимая разница между скоростями движения разных газозовов в близких ледовых условиях (сравнение скоростей движения разных газозовов по одному маршруту в близкие интервалы времени); есть ли существенные

различия между скоростями движения одного и того же газовеца в разные периоды года (например, в мае и сентябре) по одному и тому же маршруту. Эти исследования можно выполнить с помощью специально разработанных рабочих областей (программ) системы компьютерной алгебры Mathcad.

Разумеется, прежде чем выполнять исследования ледовых условий плавания с помощью эмпирико-статистической модели плавания судов во льдах, предварительно следует выполнить процедуру верификации этой модели, т.е. проверки правильности её работы. Модель рассчитывает затраты времени при плавании по маршруту с определёнными ледовыми условиями. Поэтому для верификации следует выбрать участок маршрута, на котором судно двигалось без остановок, вызванных какими-либо организационными или техническими причинами. Также не следует использовать участки маневрирования на рейде Сабетты. Для каждого из 4-х морей СМП необходимо выбирать шейпфайл ледовой обстановки со временем производства исходных снимков, наиболее совпадающим с интервалом прохождения судном именно этого моря. Поэтому верификацию вполне допустимо выполнять для участков маршрутов в пределах одного моря, включая маршруты Сабетта – Карские Ворота и Сабетта – мыс Желания. Для верификации используется слой точек участка маршрута с одним значением поля группы точек, из которого затем создаётся один объект типа Polyline. В Microsoft Excel выполняется расчёт разницы времени в часах между начальной и конечной точками этого участка маршрута. Выполняется пересечение линейного объекта со слоем ледовой информации за интервал, наиболее близкий со временем прохождения судном этого участка пути. В результате создаётся линейный слой, состоящий из большого количества объектов типа Polyline, каждый из которых представляет собой участок пути судна с однородными ледовыми условиями. В Калькуляторе полей выполняется расчёт протяжённостей этих участков в морских милях. Для расчётов на модели необходимы сведения о толщинах льдов разных возрастных категорий. При этом толщины льдов всех категорий, кроме самой возрастной, задаются по серединам диапазонов их толщин. Для самой возрастной категории задаётся максимально возможная толщина. Самыми толстыми льдами в конце зимы на акватории СМП являются старые и толстые однолетние льды. Слой максимальных толщин старых и толстых однолетних льдов в конце зимнего периода были созданы на основании данных монографии «Ледовые условия морей азиатской части России» [7]. Другим необходимым параметром модели является торосистость. Для получения значений этого параметра по данным монографии И.О. Думанской [7] была построена электронная карта торосистости в пределах зоны плаваний газовецов. Формы льда (градации линейных размеров поперечников льдин) при моделировании задаются по данным электронных карт, построенных на основании спутниковых снимков. Для условий окончания зимнего периода задаётся нулевая разрушенность льда. С помощью оверлейных операций значения перечисленных выше параметров добавляются в атрибутивную таблицу слоя ледовой информации по маршруту движения судна. Затем в среде ArcGIS с помощью специально разработанной на алгоритмическом языке Python программы в таблицу атрибутов слоя добавляется несколько полей строкового формата, в которые записываются значения, которые впоследствии будут записаны в текстовый файл исходных данных для эмпирико-статистической модели плаваний судов во льдах. Таблица экспортируется в файл формата «csv», а затем преобразуется в текстовый файл исходных данных модели.

Для верификации эмпирико-статистической модели плаваний газовецов типа Yamalmax в тяжелых ледовых условиях было выполнено 20 численных экспериментов с моделью. Средние скорости движения по результатам моделирования были сравнены с реальными средними скоростями плавания на этих участках же участках маршрутов, рассчитанными по данным системы АИС. Среднее отличие модельной скорости от реальной составило 1.5%, а стандартное отклонение этого отличия – 4.5%. Очевидно,

что модель незначительно завышает скорости газозовов. Можно сделать вывод, что движение газозовов по нарушениям сплошности ледяного покрова нехарактерно, и может не учитываться при моделировании плаваний газозовов в сплоченных льдах в конце зимнего периода. В противном случае модель наоборот, занижала бы скорости движения газозовов.

Выполнен анализ межгодовой изменчивости ледовых условий плавания газозовов типа Yamalmax в пределах зоны плаваний газозовов, созданной следующим образом. На основании объединённого слоя маршрутов создаётся объединённая буферная зона всех маршрутов плаваний. Слой результата объединяется с полигональным слоем Северного Ледовитого океана. Во вновь созданном слое объединяются полигоны буферной зоны и участков акватории внутри неё, не входящих в буферную зону. Затем этот слой обрезается слоем сектора СЛО или его «клоном» с увеличением площади в сторону Аляски. Если где-либо кроме Обской губы зона плаваний газозовов «заезжает» на малые глубины, то зона плаваний редактируется, чтобы она не заходила на мелководье. Это можно сделать обрезкой слоем акватории с допустимыми для плавания газозовов глубинами, а затем отредактировать район Обской губы добавлением буферных зон маршрутов в пределах её акватории. Далее рассчитывается площадь зоны плаваний газозовов в км<sup>2</sup>.

Слои ледовой обстановки на 4-х морях, относящиеся к одним и тем же временным интервалам объединяются, и выполняется обрезка результата зоной плаваний газозовов. Затем в слое результата обрезки выполняется объединение объектов по значениям всех параметров ледяного покрова, т.е. при «объединении по признаку» следует указать все поля значений ледовых характеристик. В результате создаётся полигональный слой, содержащий объекты с уникальными комбинациями параметров ледяного покрова в пределах зоны плаваний газозовов. Затем рассчитываются площади всех этих объектов и доли, которые они составляют от общей площади зоны плаваний газозовов. Умножением этих долей на среднюю (максимальную, минимальную) протяжённость маршрута Сабетта-Берингов пролив, получаем средние (максимальные, минимальные) протяжённости участков маршрута в различных уникальных для данного интервала времени ледовых условиях. К результатам применяем программы для создания строковых значений исходных данных для модели, экспортируем эти данные в текстовые файлы, выполняем эксперименты с моделью, и оцениваем затраты времени на плавания газозовов по маршруту «Сабетта – Берингов пролив» при различных ледовых условиях. После окончания численного эксперимента компьютерная модель создаёт текстовый файл с результатами расчётов, в котором содержатся протяжённость маршрута плавания в морских милях, затраты времени на его преодоление в часах при условии отсутствия сжатий ледяного покрова и при сжатиях в 1 балл, средняя скорость плавания по маршруту без сжатий и при сжатиях в 1 балл.

Выполнено сравнение межгодовой изменчивости влияния ледовых условий на затраты времени прохождения газозовами маршрута «Сабетта – Берингов пролив». Произведены модельные расчёты затрат времени плаваний по маршруту для майских условий 1998, 1999 и 2020 гг. Эти расчёты были выполнены в связи с возможным изменением ледовых условий к тем, которые наблюдались в конце 20-го и начале 21 веков (Алексеев, 2022). В соответствии с условиями 2020 г. затраты времени на преодоление этого маршрута газозовами типа Yamalmax составляют 184.6 часа, при условиях 1998 г. – 262.7, а при условиях 1999 г. – 237.6 часа. Моделирование плаваний в сентябрьских условиях по данным этих же лет также показало существенную разницу затрат времени: 2020 г. – 159.9 часа, 1998 г. – 249.5 часа, 1999 г. – 207.9 часа. Следовательно, в случае ожидаемого к 2040 г. ухудшения ледовых условий произойдёт существенное увеличение затрат времени на прохождение участка СМП от Сабетты до Берингова пролива газозовами типа Yamalmax.

*Работа выполнена в рамках НИТР НИУ Росгидромета на 2021–2024 гг. по теме 5.1.2. Развитие существующих и разработка новых методов и технологий долгосрочного (месячного и сезонного) прогнозирования элементов ледово-гидрологического режима арктических морей, низовьев и устьевых областей рек в условиях климатических изменений. Анализ спутниковых данных выполнялся в рамках темы «Мониторинг» гос. регистрация № 122042500031-8 (Т.А. Алексеева).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Платонов В.В., Тряскин В.В. Архитектурно-конструктивные особенности арктических судов двойного действия // Арктика: экология и экономика. 2019. №3(35). С. 84-96. DOI: 10.25283/2223-4594-2019-3-84-96.
2. First icebreaking LNG carrier in ice trials // Arctic Passion News (Aker Arctic Technology Inc. Newsletter). 2017. No. 2 (14). P. 9-10. Режим доступа: [https://akerarctic.fi/app/uploads/2019/05/arctic\\_passion\\_news\\_2\\_2017\\_First-icebreaking-LNG-carrier-in-ice-trials.pdf](https://akerarctic.fi/app/uploads/2019/05/arctic_passion_news_2_2017_First-icebreaking-LNG-carrier-in-ice-trials.pdf) (дата обращения 15.05.2023)
3. Соколова Ю.В., Девятаев О.С., Афанасьева Е.В., Титова Ю.М. Сравнение самостоятельного движения и движения под проводкой ледокола газозовов типа «Yamalmax» // Российская Арктика. 2020. №11. С. 39-58.
4. Бузуев А.Я. Влияние природных условий на судоходство в замерзающих морях / Л.: Гидрометеиздат, 1981. 200 с.
5. Бузуев А.Я., Федяков В.Е. Комплексный учет характеристик состояния ледяного покрова при разработке рекомендаций для судоходства // Вопросы прочности и надежности морских портовых сооружений. М: Транспорт. 1983. С. 89-97.
6. Федяков В.Е., Фролов С.В. Новые алгоритмы учета влияния ледяных образований на надежность движения судов во льдах // Проблемы Арктики и Антарктики. 2013. №3(97). С. 28-34.
7. Думанская И.О. Ледовые условия морей Азиатской части России / Москва: Социн, 2017. 637 с.
8. Алексеев Г.В., Александров Е.И. Иванов Н.Е., Харланенкова Н.Е. Особенности климата Арктики в 2021 году и перспективы дальнейших исследований // Итоговая сессия Ученого совета ААНИИ 2022.

#### **ДИНАМИКА ЛЕДОВИТОСТИ АРКТИКИ В ПЕРИОД СОВРЕМЕННЫХ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА**

*Трофимов А.Г.*

Полярный филиал ФГБНУ ВНИРО, г. Мурманск, trofimov@pinro.ru

Льды Арктики являются хорошим индикатором изменений климата в регионе и оказывают значительное влияние как на функционирование морских экосистем, так и на хозяйственную деятельность человека [1]. Окраинные моря Северного Ледовитого океана ежегодно покрываются льдом, но некоторые, как, например, Баренцево море, не полностью за счет тепляющего влияния атлантических вод, поступающих из Северной Атлантики [2]. Принимая во внимание важность Арктики и ее морей для нефтегазовой и рыбохозяйственной отраслей, а также как транспортной артерии [3], представляется актуальной задача мониторинга, изучения и анализа океанографических условий в этом регионе, в том числе такого важного компонента морской среды как лед, особенно в условиях современных глобальных изменений климата [4]. В настоящей работе дана оценка межгодовой и декадной изменчивости ледовитости Арктики в разные сезоны за период с 1979 по 2022 г.

Для анализа межгодовых изменений ледовитости Арктики и ее связи с другими климатическими параметрами использовались данные за 1979–2022 гг.: площадь льда в Арктике [5], индексы Арктического [6], Северо-Атлантического [7] и Атлантического мультидекадного [8] колебаний, теплозапас вод Норвежского моря в слое 0–800 м [9], количество штормовых дней в центральной части Баренцева моря (68–80° с.ш. 30–40° в.д.), температура воздуха, осредненная для западной (70–76° с.ш. 15–35° в.д.) и восточной (69–77° с.ш. 35–55° в.д.) частей Баренцева моря [10], температура воды на разрезе «Кольский меридиан» (слой 0–200 м, 70°30'–72°30' с.ш. 33°30' в.д.), средняя по площади (71–79° с.ш. 25–55° в.д.) температура воды на глубине 100 м, а также площади атлантических и арктических вод в слое 50–100 м Баренцева моря в августе – сентябре. Аномалии рассчитывались на основе среднемноголетних значений за период с 1981 по 2020 г., а их нормирование выполнялось с помощью стандартного отклонения за тот же период.

В работе применялись методы описательной статистики, а также сравнительный, корреляционный, регрессионный и гармонический анализы [11–13]. Статистическая обработка данных и построение графиков выполнялись в программе Microsoft Excel 2016 (надстройка «Анализ данных»).

На протяжении последних 40 лет в Арктике происходит неуклонное сокращение площади льдов, обусловленное современным потеплением воздушных и водных масс в этом регионе. Уменьшение ледовитости отмечается во все месяцы и сезоны – тренды отрицательные и статистически значимые ( $p\text{-value} = 0,000$ ) (рис. 1). Максимальное сокращение площади льда наблюдалось летом (в среднем за сезон на 734 тыс. км<sup>2</sup> за декаду), минимальное – зимой и весной (414 и 391 тыс. км<sup>2</sup> за декаду соответственно), а осенью оно составляло 588 тыс. км<sup>2</sup> за декаду. В наиболее теплую часть года (с июля по октябрь) ледовитость уменьшалась на 685–804 тыс. км<sup>2</sup> за декаду, тогда как в холодную (с декабря по май) – почти в два раза медленнее – на 337–443 тыс. км<sup>2</sup> за декаду (см. рис. 1).

К 2010-м годам сокращение площади льда в Арктике относительно 1980-х годов в разные месяцы составило 7,4–35,6% или 1,06–2,56 млн км<sup>2</sup>: максимальное (35,6% или 2,56 млн км<sup>2</sup>) в сентябре, самый теплый месяц, когда наблюдается сезонный минимум ледовитости, а минимальное (7,4–7,8% или 1,06–1,18 млн км<sup>2</sup>) в марте – мае, сезонный максимум ледовитости и начало таяния льда (рис. 2, табл. 1). Наибольшее относительное сокращение среднедекадной ледовитости произошло летом (в среднем за сезон на 28,2% – с 8,41 до 6,04 млн км<sup>2</sup>), а наименьшее – зимой и весной (на 8,2% – с 15,47 до 14,21 млн км<sup>2</sup> и на 8,9% – с 13,67 до 12,44 млн км<sup>2</sup> соответственно), тогда как осенью оно составило 16,6% (с 11,21 до 9,34 млн км<sup>2</sup>) (см. рис. 2, табл. 2).

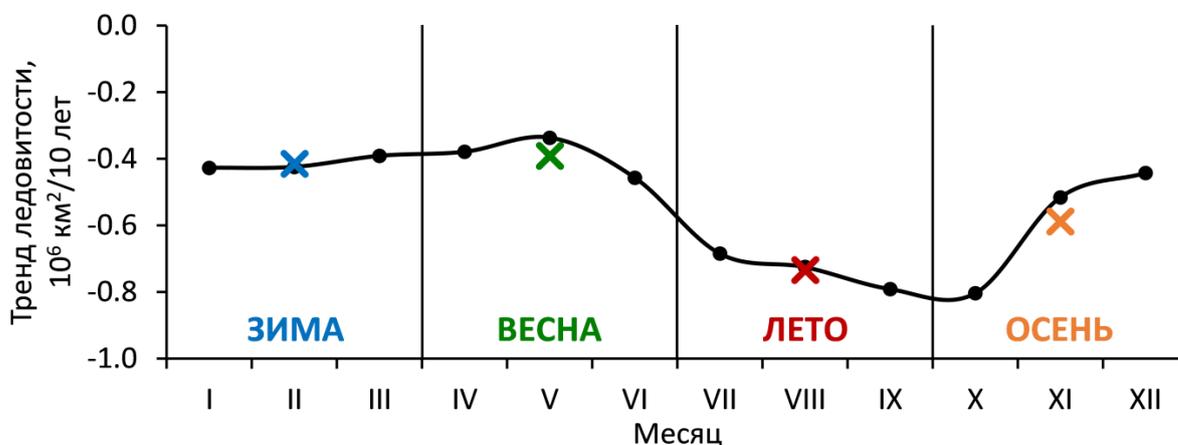


Рис. 1 – Тренды ледовитости в Арктике по каждому месяцу и сезону

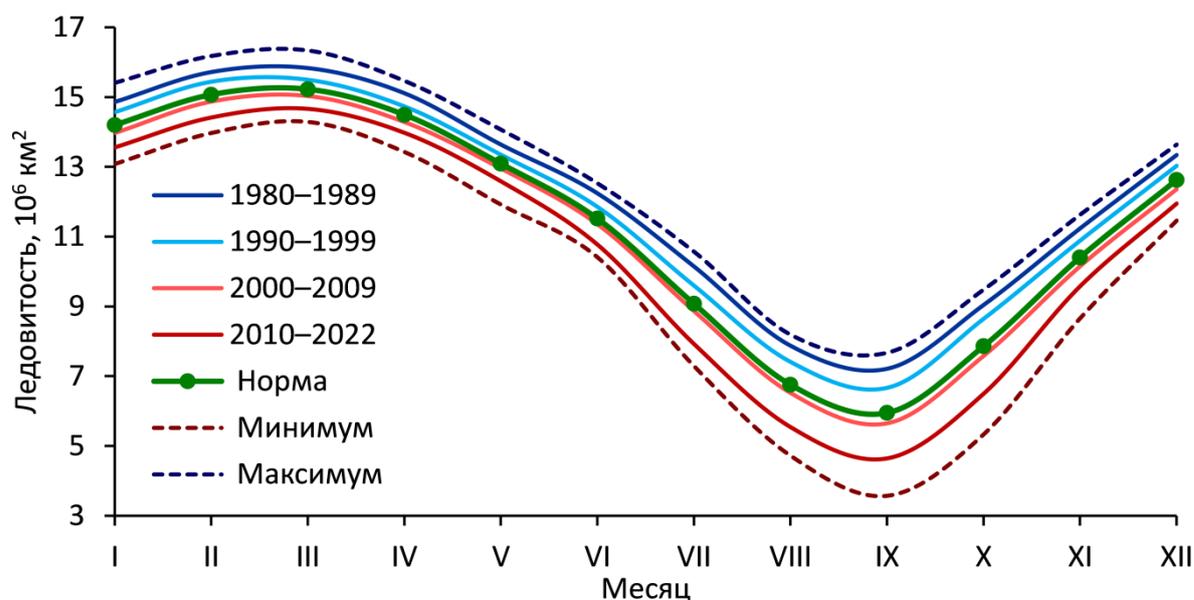


Рис. 2 – Норма (среднепогодные значения за 1981–2020 гг.), среднедекадные, минимальные и максимальные значения ледовитости Арктики по месяцам

Таблица 1 – Среднедекадная ледовитость Арктики по месяцам,  $10^6 \text{ км}^2$

Декада, годы	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1980–1989	14,86	15,72	15,84	15,12	13,64	12,24	10,15	7,87	7,21	9,04	11,24	13,34
1990–1999	14,57	15,44	15,50	14,74	13,35	11,85	9,60	7,41	6,66	8,64	10,89	13,03
2000–2009	13,97	14,88	15,04	14,29	12,96	11,36	8,87	6,52	5,65	7,58	10,15	12,37
2010–2022	13,55	14,41	14,66	13,98	12,58	10,77	7,92	5,54	4,64	6,50	9,58	11,95

Таблица 2 – Среднедекадная ледовитость Арктики по сезонам и в целом за год,  $10^6 \text{ км}^2$

Декада, годы	Сезон				Среднее за год
	Зима	Весна	Лето	Осень	
1980–1989	15,47	13,67	8,41	11,21	12,19
1990–1999	15,17	13,31	7,89	10,85	11,81
2000–2009	14,63	12,87	7,01	10,03	11,14
2010–2022	14,21	12,44	6,04	9,34	10,51

Среднегодовая ледовитость в Арктике в последние десятилетия сокращалась со скоростью  $532 \text{ тыс. км}^2$  за декаду (рис. 3). В результате в 2010-е годы льда в этом регионе стало на  $1,68 \text{ млн км}^2$  меньше по сравнению с 1980-ми: сокращение составило  $13,8\%$  (с  $12,19$  до  $10,51 \text{ млн км}^2$ ). Наибольшая ледовитость наблюдалась в 1979–1983, 1986–1988 и 1992 гг., а наименьшая – в 2007, 2011, 2012 и 2015–2021 гг., когда ее нормированная аномалия по абсолютной величине была больше одного стандартного отклонения. Самыми суровыми в плане ледовитости были 1979, 1980, 1982 и 1983 гг. (в среднем за год она превышала  $12,30 \text{ млн км}^2$  с максимальным значением  $12,47 \text{ млн км}^2$  в 1982 г.), а самыми мягкими – 2016, 2018–2020 гг. (площадь льда менее  $10,40 \text{ млн км}^2$  с рекордно низкими значениями  $10,18$  и  $10,16 \text{ млн км}^2$  в 2016 и 2020 гг.). Несмотря на то, что ледовитость Арктики в последние годы остается все еще на низком уровне, после 2016 г. наметилась тенденция на ее увеличение (см. рис. 3).

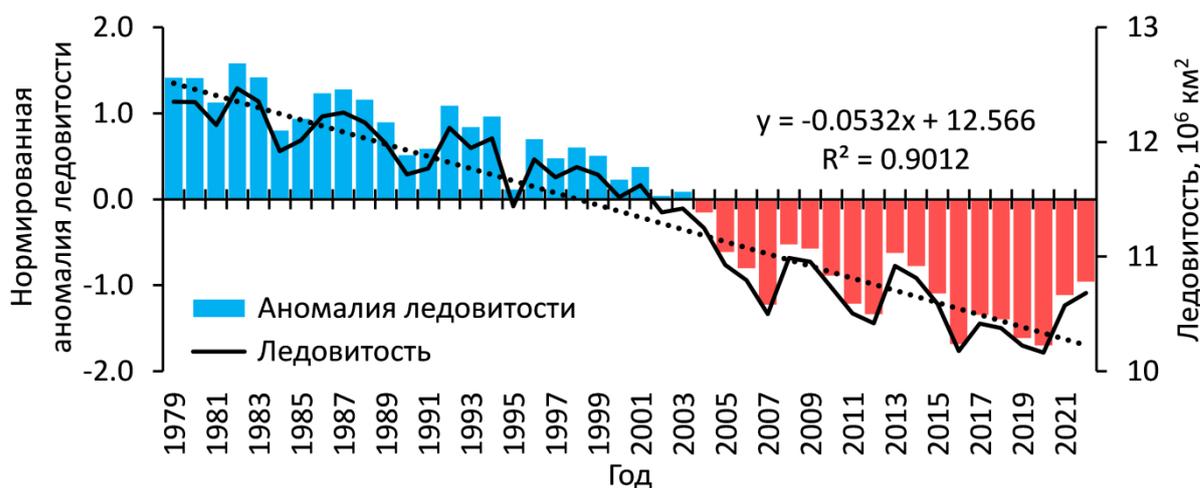


Рис. 3 – Ледовитость Арктики и ее нормированные аномалии в 1979–2022 гг.

Кроме отмеченного тренда на сокращение ледовитости Арктики, объясняющего 90% ее изменчивости, в детрендерированном ряде (полученном путем исключения тренда из исходного ряда) с помощью гармонического анализа обнаружены квази 2-, 5- и 20-летние циклические составляющие, вклад которых в остаточную дисперсию составил 11, 36 и 14% соответственно.

Выполненный корреляционный анализ выявил тесную обратную связь между ледовитостью Арктики и такими гидрометеорологическими параметрами, как индекс Атлантического мультидекадного колебания ( $r = -0,74$ ), теплозапас Норвежского моря ( $r = -0,82$  со сдвигом 1 год), штормовая активность над Баренцевым морем ( $r = -0,74$ ), температура воздуха над западной ( $r = -0,79$ ) и восточной ( $r = -0,83$ ) частями моря, температура атлантических вод на разрезе «Кольский меридиан» ( $r = -0,79$ ), средняя по площади температура воды Баренцева моря на глубине 100 м ( $r = -0,83$ ) и площадь атлантических вод в нем ( $r = -0,77$ ), а также тесную прямую связь с площадью арктических вод ( $r = 0,82$ ). Все коэффициенты корреляции статистически значимы с вероятностью 99,9%.

По итогам регрессионного анализа перечисленных выше параметров, выбрана наилучшая модель, объясняющая 87,3% изменчивости ледовитости Арктики (IceAO) и включающая в себя в качестве предикторов индекс Атлантического мультидекадного колебания (AMO), температуру воздуха на востоке Баренцева моря ( $T_a$ ) и число штормовых дней над его центральной частью (Storms):  $\text{IceAO} = 11,618 - 1,578 \times \text{AMO} - 0,229 \times T_a - 0,006 \times \text{Storms}$  ( $p\text{-value} = 0,000$ ).

Таким образом, в результате проделанной работы исследована межгодовая и декадная изменчивость ледовитости Арктики в разные сезоны. Во все месяцы и сезоны отмечались статистически значимые отрицательные тренды: площадь льда сокращалась на 39–41 тыс. км<sup>2</sup>/год зимой – весной, на 73 тыс. км<sup>2</sup>/год летом и на 59 тыс. км<sup>2</sup>/год осенью. Наибольший тренд (79–80 тыс. км<sup>2</sup>/год) отмечен в сентябре – октябре, а наименьший (34–39 тыс. км<sup>2</sup>/год) – в марте – мае. Среднедекадная ледовитость Арктики в 2010-е годы уменьшилась относительно 1980-х годов зимой и весной на 1,27 и 1,22 млн км<sup>2</sup> (8,2 и 8,9%), летом на 2,37 млн км<sup>2</sup> (28,2%), осенью на 1,87 млн км<sup>2</sup> (16,6%). За последние 40 лет среднегодовая площадь льда сократилась на 1,68 млн км<sup>2</sup> (13,8%). По результатам корреляционного анализа ледовитости Арктики и других климатических параметров наиболее тесная обратная связь отмечена с температурой воздуха на востоке Баренцева моря ( $r = -0,83$ ) и со средней по площади температурой воды на 100 м ( $r = -0,83$ ). Построена надежная регрессионная модель для ледовитости Арктики, включающая индекс Атлантического мультидекадного колебания, а также температуру воздуха и штормовую активность над Баренцевым морем.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жичкин А.П. Динамика межгодовых и сезонных аномалий ледовитости Баренцева и Карского морей // Вестник Кольского научного центра РАН. 2015. № 1. С. 55–64.
2. Ожигин В.К., Ившин В.А., Трофимов А.Г., Карсаков А.Л., Анциферов М.Ю. Воды Баренцева моря: структура, циркуляция, изменчивость. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2016. 260 с.
3. Jakobsen T., Ozhigin V.K. (Eds.). The Barents Sea: ecosystem, resources, management. Half a century of Russian-Norwegian cooperation. Trondheim: Tapir Academic Press, 2011. 825 pp.
4. Трофимов А.Г., Карсаков А.Л., Ившин В.А. Изменения климата в Баренцевом море на протяжении последнего полувека // Труды ВНИРО. 2018. Т. 173. С. 79–91.
5. Sea Ice Index Daily and Monthly Image Viewer. NSIDC. 10.03.2023. Accessible via: [https://nsidc.org/data/seaice\\_index/data-and-image-archive](https://nsidc.org/data/seaice_index/data-and-image-archive).
6. Arctic Oscillation. NOAA. Climate Prediction Center. 10.03.2023. Accessible via: [https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily\\_ao\\_index/ao.shtml](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/ao.shtml).
7. Hurrell North Atlantic Oscillation (NAO) Index (PC-based). NCAR. 10.03.2023. Accessible via: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/hurrell-north-atlantic-oscillation-nao-index-pc-based>.
8. AMO (Atlantic Multidecadal Oscillation) Index. NOAA PSL. 10.03.2023. Accessible via: <https://www.psl.noaa.gov/data/timeseries/AMO/>.
9. ICES Report on Ocean Climate (IROC). ICES. 10.03.2023. Accessible via: <https://ocean.ices.dk/core/iroc#>.
10. Monthly mean time series from the NCEP Reanalysis Dataset. NOAA PSL. 10.03.2023. Accessible via: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/timeseries/timeseries1.pl>.
11. Елисеева И.И., Юзбашев М.М. Общая теория статистики. М.: Финансы и статистика, 2004. 656 с.
12. Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. Том 2. Анализ временных рядов и случайных полей. СПб.: РГГМУ, 2020. 196 с.
13. Протасов Ю.М., Юров В.М. Гармонический анализ периодических колебаний объёмов продаж компании на основе инструмента «регрессия» MS EXCEL // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Экономика. 2016. № 2. С. 115–121.

## **ОСОБО ОХРАНЯЕМЫЕ ПРИРОДНЫЕ ТЕРРИТОРИИ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ: АДАПТАЦИЯ К ИЗМЕНЕНИЯМ КЛИМАТА, ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ**

*Фатерина А.А.*

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва,  
[anastasiya.faterina@inbox.ru](mailto:anastasiya.faterina@inbox.ru)

В настоящее время ключевую роль в вопросах обеспечения базовых потребностей человека и основных нужд народного хозяйства занимает электроэнергия. Она является основным продуктом, который производится, передается, распределяется и потребляется в системе электроэнергетики. Процесс производства, передачи и потребления электроэнергии не всегда сопровождается наличием экономических отношений. Отсутствие экономических отношений при выработке

электроэнергии относится к сферам, где основной акцент делается не на коммерческой выгоде или продаже энергии, а на других аспектах, таких как обеспечение общественных потребностей малых групп лиц, научных исследований, в частности, обеспечение энергетических потребностей труднодоступных и изолированных районов, где размещены инфраструктурные объекты природных территорий с особым правовым режимом охраны. Стоит отметить, что в силу географических особенностей и исторически сложившегося очагового типа освоения российской Арктики, такие территории не входят в энергетическую систему России.

Энергосистема России состоит из Единой энергетической системы (семь объединенных энергосистем (ОЭС) – ОЭС Центра, Средней Волги, Урала, Северо-Запада, Юга и Сибири) и территориально изолированных энергосистем (Чукотский автономный округ, Камчатский край, Сахалинская и Магаданская область, Норильско-Таймырский и Николаевский энергорайоны, энергосистемы северной части Республики Саха (Якутия)). При этом часть территорий арктических субъектов, в том числе, которые были обозначены выше, относятся к изолированным и труднодоступным. Статус изолированности и труднодоступности объясняется наличием на таких территориях исключительно локальных объектов генерации, то есть энергетически изолированных в силу их удаленности и отсутствия надлежащей транспортной инфраструктуры. Данные территории находятся в зоне децентрализованного электроснабжения, так как они не имеют ни подключений к Единой энергетической сети России, ни к изолированным энергетическим узлам. Их энергоснабжение чаще всего обеспечивается за счёт локальных объектов микрогенерации: электростанций или генераторов небольшой мощности (до 15 киловатт), где преимущественным видом топлива является дизельное. Использование данного вида экологически небезопасного и экономически неэффективного топлива в качестве основного источника выработки электроэнергии на изолированных и труднодоступных территориях Арктики происходит ни одно десятилетие и по-прежнему остается основной угрозой, которая формирует риски для развития Арктической зоны и обеспечения национальной безопасности.

Несмотря на особый режим охраны, данная проблема характерна и для труднодоступных природных территорий Арктической зоны Российской Федерации (далее АЗРФ). Помимо особого природоохранного, научного, культурного, эстетического, рекреационного и оздоровительного значения, такие территории также обладают присущей макрорегиону уникальной спецификой, в связи с чем изучение вопросов их энергоснабжения являются крайне важными и актуальными. Таким образом, основной целью доклада является обозначение общих характеристик особо охраняемых природных территорий АЗРФ и их электроснабжения.

Являясь объектам общенационального достояния, особо охраняемые природные территории (далее ООПТ) определены основным законодательством, как участки земли, водной поверхности и воздушного пространства над ними, где располагаются природные комплексы и объекты, имеющие особое природоохранное, научное, культурное, эстетическое, рекреационное и оздоровительное значение, которые изъяты решениями органов государственной власти полностью или частично из хозяйственного использования и для которых установлен режим особой охраны [1]. Обладая общими характеристиками, присущими ООПТ России, арктические, как уже обозначалось выше, при этом имеют в целом характерную для макрорегиона специфику. К совокупности их специфических свойств можно отнести: особые природно-климатические условия, уникальное географическое положение, высокую уязвимость экосистем, важнейшее историко-культурное и социально-экономическое значение.

Во мнении о том, что Арктика является «кухней погоды», или даже её «поваром», учёные сходятся однозначно [8]. Физико-географические процессы,

происходящие в Арктике, оказывают серьезное влияние на погодные и климатические условия не только России, но и других стран. Однако в настоящее время именно Арктика становится одним из самых уязвимых к изменениям климата регионов. И если за последние 10 лет температура на территории Российской Федерации растет значительно быстрее мировой – на 0,45 °С, то в АЗРФ это процесс увеличивается почти в два раза - на 0,8 °С. В некоторых полярных районах российской Арктики ученые ежегодно фиксируют преобладание теплых воздушных масс и положительных аномалий температуры воздуха, сокращение площади морских льдов и повышение уровня арктических морей. Более того, исследователи отмечают, что даже несмотря на ежегодное снижение антропогенной нагрузки на климатическую систему, в силу её инерционности и естественной изменчивости, в последующие годы в Арктике будет наблюдаться высокая вероятность сохранения тенденции ускоренного потепления.

При этом стремительное изменение климата в АЗРФ может способствовать как возникновению новых экономических возможностей в макрорегионе, так и появлению событий, которые повлекут за собой глобальные риски для хозяйственной системы и окружающей среды, неблагоприятные экологические последствия и вероятность формирования новых угроз для национальной безопасности. В рамках снижения последствий климатических изменений и недопущения их негативного влияния на социально-экономическое и экологическое состояние как АЗРФ, так и страны в целом, в Российской Федерации разрабатывается комплекс адаптационных стратегических мер и мероприятий. В частности, в целях адаптации экологических систем Арктики к изменениям климата и их сохранения стратегически важной задачей для страны является развитие на научной основе сети ООПТ и акваторий [3]. В данном контексте такое развитие прежде всего необходимо вследствие высокой уязвимости арктических экосистем к внешним воздействиям и замедленной скорости самовосстановления.

Арктические ООПТ имеют важную роль в стабилизации климата и смягчении последствий его изменения, они выполняют важные научные и социально-культурные функции, призваны сохранять уникальное природное наследие и разнообразие, обладают значительным рекреационным ресурсом и туристско-рекреационный потенциалом, а также способны стать драйвером развития «зеленой экономики» регионов АЗРФ.

Для обеспечения сохранения вышеперечисленных ценностей, арктические ООПТ становятся особым объектом контроля (надзора) со стороны государства [4]. В целях поддержания контроля за особым режимом охраны, осуществления мониторинга за пожароопасной ситуацией и развития туризма, организации просветительских мероприятий и проведения научных исследований на ООПТ создаются инфраструктурные объекты (кордоны, пожарно-химические и научные станции, визит-центры, опорные пункты и т.д.). Для ООПТ, относящихся к изолированным и труднодоступным, создание таких объектов, их функционирование и поддержание в рабочем режиме, особенно круглогодичном, возможно только при наличии локальных объектов выработки электроэнергии.

В условиях климатических вызовов, угроз сохранения высокой доли локальной генерации электроэнергии на основе использования экономически неэффективного и экологически небезопасного дизельного топлива, которые формируют риски для развития Арктической зоны и обеспечения национальной безопасности, снабжение инфраструктурных объектов изолированных и труднодоступных ООПТ надежной, доступной и экологически устойчивой электроэнергией становится приоритетной задачей.

В силу своего географического положения, большую часть арктических ООПТ можно отнести к изолированным и труднодоступным территориям. Занимая около 0,017 млн га, в их число входят 40 ООПТ федерального значения и 164 регионального. Несмотря на количественное превосходство последних, общая площадь ООПТ

федерального значения составляет 38,8 млн га, из которых почти половина (6,2 млн га) занимает морская акватория. Часть этих территорий загрязнена объектами, оказывающими негативное воздействие на окружающую среду (НВОС). К ранее существовавшим на труднодоступных территориях объектам НВОС – металлическим бочкам с остатками ГСМ, с каждым годом могут прибавляться и новые. Причиной их пополнения является использование в качестве основного источника энергоснабжения инфраструктурных объектов ООПТ дизель-генераторных установок (далее ДГУ). Помимо пустых бочек, использование ДГУ порождает зависимость от дизельного топлива (как следствие от северного завоза), выбросов продуктов сгорания, шум и вибрации.

Согласно законодательству ООПТ имеют особенности в режимах охраны, в связи с чем их принято разделять на несколько категорий: Государственные природные заказники; Государственные природные заповедники, в том числе биосферные заповедники; Дендрологические парки и ботанические сады; Национальные парки; Памятники природы; Природные парки.

Из списка категорий ООПТ, в АЗРФ представлены все, кроме биосферных заповедников и природных парков. Являясь объектами федерального значения, к одной из основных задач государственных природных заповедников относится - экологическое просвещение и развитие познавательного туризма, к задачам национальных парков - создание условий для регулируемого туризма и отдыха. Реализация данных задач сопровождается развитием на территориях государственных природных заповедников и национальных парков необходимой инфраструктуры, например, визит-центров.

Исходя из труднодоступности и изолированности большинства государственных природных заповедников и национальных парков, источником энергоснабжения для их визит-центров становятся дизель-генераторные установки, в редких случаях, выработка электроэнергии происходит от возобновляемых источников энергии или гибридных электростанций. К примеру, на территории государственного природного заповедника «Путоранский» (Красноярский край), недавно построен круглогодичный визит-центр на оз. Лама. Отсутствие официальных данных об энергоснабжении данного объекта не позволяют сделать точные расчеты сопутствующих финансовых затрат, обоснование экономической эффективности использования дизельного топлива в качестве основного источника энергии и его влияния на окружающую среду, в связи с чем на основании данных, полученных в ходе опроса сотрудников заповедника, предлагается провести примерную оценку.

Для энергообеспечения визит-центра была закуплена дизель-генераторная установка (далее ДГУ), стоимость которой можно оценить в 1 млн рублей. Мощность ДГУ составляет 12 кВт. Допустим, средний расход топлива составляет 0,25 л/кВтч, что примерно равно 250 г/кВтч (переведем в граммы для удобства). Ежедневное среднее время использования ДГУ – примерно 14 часов. Стоимость дизельного топлива, закупка которого происходит в Норильске, составляет 70 рублей за 1 литр. Исходя из полученных данных получаем расчет примерных затрат на дизельное топливо для ДГУ:

Расход дизельного топлива в сутки:  $12 \text{ кВт} * 14 \text{ ч} * 250 \text{ г/кВтч} = 42,000 \text{ г}$  (42 кг).  
Расход топлива в месяц:  $42 \text{ кг} * 30 \text{ дней} = 1260 \text{ кг}$  (1,26 тонна). Затраты на дизельное топливо:  $1,26 \text{ тонны} * 1000 \text{ л/тонна} * 70 \text{ рублей/литр} = 88,200 \text{ рублей}$  в месяц, в год - 1 млн 58400.

Практика применения ВИЭ на ООПТ Арктики показывает, что внедрение солнечных панелей позволяет сэкономить значительное количество топлива [7]. Для энергообеспечения одного из опорных пунктов национального парка «Русская Арктика», максимальная потребляемая мощность электроэнергии в круглосуточном режиме которого составляет не более 4,5 кВт, средняя – 1 кВт, было принято решение помимо генератора установить солнечные панели. По итогам эксплуатации

оборудования руководство нацпарка решило увеличить количество солнечных панелей до 36 и установить дополнительный контроллер заряда. По проведенным расчетам и сопоставлению данных по расходу топлива в 2015 году, за 2 месяца работы электростанции (с момента запуска в работу до консервации) удалось сэкономить 385 литров бензина. В 2016 году экономия по топливу составила 540 литров. Сегодня станция продолжает успешно эксплуатироваться, генераторы на традиционных источниках энергии практически не используются.

Обладая примерными расчетами по ДГУ визит-центра государственного природного заповедника «Путоранский», снижение экономических затрат на дизельное топливо, соответственно объемов его сокращения, можно достичь путем установки солнечной панели. Допустим, мощность солнечной панели будет достигать 6 кВт. Если брать среднюю солнечную радиацию в Норильске (с учетом полярного дня и ночи), получаем примерно 5 часов в день. Эффективность солнечной панели определим на уровне 15%. Стоимость установки солнечной панели обойдется природному заповеднику около 500 тыс. рублей. Далее проводим расчет по следующим категориям:

Производство электроэнергии солнечной панелью в день:  $6 \text{ кВт} * 5 \text{ часов} * 0,15 = 4,5 \text{ кВтч}$ . Производство электроэнергии солнечной панелью в месяц:  $4,5 \text{ кВтч} * 30 \text{ дней} = 135 \text{ кВтч}$ . Экономленная стоимость дизельного топлива:  $135 \text{ кВтч} * 70 \text{ рублей/кВтч} = 9450 \text{ рублей}$  в месяц, в год - 113 400 рублей. С учетом стоимости установки солнечной панели в 500 000 рублей, время окупаемости может быть рассчитано как:  $\text{Время окупаемости} = \text{Стоимость установки} / \text{Годовая экономия диз.топлива} * = 500\ 000 \text{ рублей} / 113\ 400 \text{ рублей/год} \approx 4,41 \text{ года}$  \* Годовая экономия в формуле представляет собой сумму денежных средств, которая будет сэкономлена за год, используя солнечную панель для генерации электроэнергии как дополнение к ДГУ. Эта экономия обусловлена тем, что солнечная панель будет генерировать электричество бесплатно на протяжении солнечных дней и своего срока службы.

Таким образом, при установке дополнительного источника энергии – солнечной панели, визит-центру удастся сэкономить 113 400 рублей в год, что равняется 1,6 т дизельного топлива. При этом время окупаемости солнечной панели составит приблизительно 4,41 года. К тому же, необходимо учитывать факт воздействия ДГУ на окружающую среду ООПТ. Предположим, что дизельный генератор мощностью 12 кВт работает 14 часов в сутки (0,583 часа в час), его средняя эффективность сгорания дизельного топлива - 35%, а средний уровень выброса углекислого газа (CO<sub>2</sub>) при сгорании дизельного топлива - 2.7 кг CO<sub>2</sub> на 1 литр топлива. Расход топлива за один месяц определен выше - 1.26 тонн (1260 кг). Следовательно:  $\text{Расход топлива в час: } 1.26 \text{ тонн} / (30 \text{ дней} * 14 \text{ часов}) = 0.00225 \text{ тонны/час} (2.25 \text{ кг/час})$ . Расчет выбросов CO<sub>2</sub> в час:  $2.25 \text{ кг/час} * 2.7 \text{ кг CO}_2/\text{литр} = 6.075 \text{ кг CO}_2/\text{час}$ . Из рассчитанных данных следует, что использование дизельного генератора с расходом топлива 2.25 кг/час может привести к выбросу около 6.075 кг CO<sub>2</sub> в атмосферу каждый час работы генератора. Выбросы углекислого газа могут оказывать негативное воздействие на окружающую среду и климат, что может быть особенно заметно на территории особо охраняемых природных территорий, где важна экологическая устойчивость и минимизация негативных воздействий на природу. Нельзя забывать и о шумовом загрязнении. Обычно генераторы мощностью 12 кВт могут создавать шум на уровне около 70-75 дБ на расстоянии 7 метров, что также негативно сказывается на живых организмах.

Таким образом, в условиях предвидимых изменений климата, высокой значимости ООПТ для устойчивого развития АЗРФ и обеспечения национальной безопасности, со стороны государства требуется активное движение, рывок в направлении более эффективной, адаптивной и устойчивой энергетике, которая будет способна адекватно реагировать на вызовы и угрозы в своей области, а также преодолевать имеющиеся трудности. В свою очередь стоит отметить, что выявленная в ходе исследования закрытость информации об энергоснабжении ООПТ АЗРФ не

позволяет обеспечить прозрачность деятельности в сфере энергетики на природных территориях, использовать эти данные для анализа воздействия энергетических решений на окружающую среду и экосистемы, а также препятствует процессам разработки эффективных и экологически устойчивых решений.

Опыт применения ВИЭ на ООПТ АЗРФ, а также проведенные в ходе исследования предварительные расчеты, направленные на повышение экономической эффективности и снижение негативной нагрузки на окружающую среду, позволяют сделать вывод об оправданности применения «зеленых» технологий для энергоснабжения труднодоступных и изолированных территорий с особым режимом охраны.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об особо охраняемых природных территориях: Федеральный закон от 14.03.1995 N 33-ФЗ (ред. от 10.07.2023) // Собрание законодательства РФ, 20.03.1995, N 12, ст. 1024
2. Об электроэнергетике: Федеральный закон от 26.03.2003 N 35-ФЗ (ред. от 04.08.2023) // Собрание законодательства РФ, 31.03.2003, N 13, ст. 1177
3. Об Основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года: Указ Президента РФ от 05.03.2020 N 164 (ред. от 21.02.2023) // Собрание законодательства РФ, 09.03.2020, N 10, ст. 1317.
4. Об утверждении Стратегии развития системы особо охраняемых природных территорий в Российской Федерации на период до 2030 года [Электронный ресурс]: проект Распоряжения Правительства РФ (по состоянию на 07.12.2020). Режим доступа: <https://base.garant.ru/56860651/>
5. Smith K.R., Chafe Z., Woodward A., Campbell-Lendrum D., Chadee D.D., Honda Y., Liu Q., Olwoch J.M., Revich B., Sauerborn R., Rocklov J., Confalonieri U., Haines A. Human health: Impacts, Adaptation and Co-Benefits. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability: Part A: Global and Sectoral Aspects, 2015. PP. 709-754.
6. Атрашенко О.С., Галушак В.С., Сошинов А.Г. Альтернативная энергетика для электроснабжения заповедников и природных парков // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 12 (Ч. 3). С. 383-386.
7. Васильев Л. Ю. Природа и климат Арктики / Л. Ю. Васильев, И. О. Думанская. М.: Paulsen, 2019 / Филин П. А. Арктика за гранью фантастики : будущее Севера глазами советских инженеров, изобретателей и писателей / Павел Филин, Маргарита Емелина, Михаил Савинов. М.: Paulsen, 2018. 247 с.
8. Влад И.В., Шароватов А.А. Вопросы предотвращения последствий глобального изменения климата в Арктике // Инновации и инвестиции. 2023. №1. С.52-57

#### **УСТОЙЧИВОСТЬ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ЗАСТРОЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ЗАПОЛЯРЬЯ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ЛАНДШАФТНО-МЕРЗЛОТНЫХ УСЛОВИЙ (НА ПРИМЕРЕ ВАХТОВОГО ПОСЁЛКА ЯМБУРГ)**

*Хортюнова А.А.*

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва,  
alenapandaaa@yandex.ru

Вахтовый посёлок Ямбург построен в 1990-х годах с целью размещения персонала для обустройства и разработки Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения (ЯНГКМ) и не является местом постоянного проживания населения. Посёлок расположен на юго-западе Тазовского полуострова, входит в состав Ямало-

Ненецкого автономного округа. С запада полуостров ограничен Обской губой, с севера и востока – Тазовской губой, с юга – долинами крупных субширотных рек.

Территория в пределах ЯНГКМ преимущественно равнинная, рельеф пологоволнистый, осложненный врезами рек, крупными термокарстовыми озерами, обширными аласами, эоловыми раздувами, а также буграми пучения. Для территории характерен высокий процент заозеренности. На территориях, где более развита эрозионная сеть, карстовые озера приурочены преимущественно к поймам рек.

Грунтовые условия в зоне активного инженерного воздействия (до 10-20 м) — это легкоразмываемые сильно пылеватые тонкозернистые пески и супеси. [1]. Территория расположена в зоне сплошного распространения вечномёрзлых грунтов. Мощность мерзлых толщ на водораздельных пространствах изменяется от 300 до 400 м. На более низких геоморфологических уровнях может сокращаться до 150–250 м, а на поймах крупных рек – до 20–80 м (по данным технического отчета ООО «Институт ЮЖНИИГИПРОГАЗ»).

**Оценка влияния ландшафтно-мерзлотных и экологических факторов на устойчивость техногенных объектов на территории вахтового п. Ямбург.**

**Температура воздуха.** В районе исследования наблюдается тренд на повышение среднегодовых температур воздуха – около 0,1 °С в год (рис. 1). С 1987 по 2022 год температура воздуха повысилась в среднем на 2,2 °С и в 2022 году составила -6,5 °С.

**Растительный покров** на территории поселка сильно антропогенно преобразован. Большую часть территории занимает искусственно высаженный газон, а также естественная травянистая растительность, осоки и пушица. Фрагментарно присутствуют участки с естественной кустарниково-древесной растительностью с преобладанием ели лиственницы, ольхи, ивы полярной.

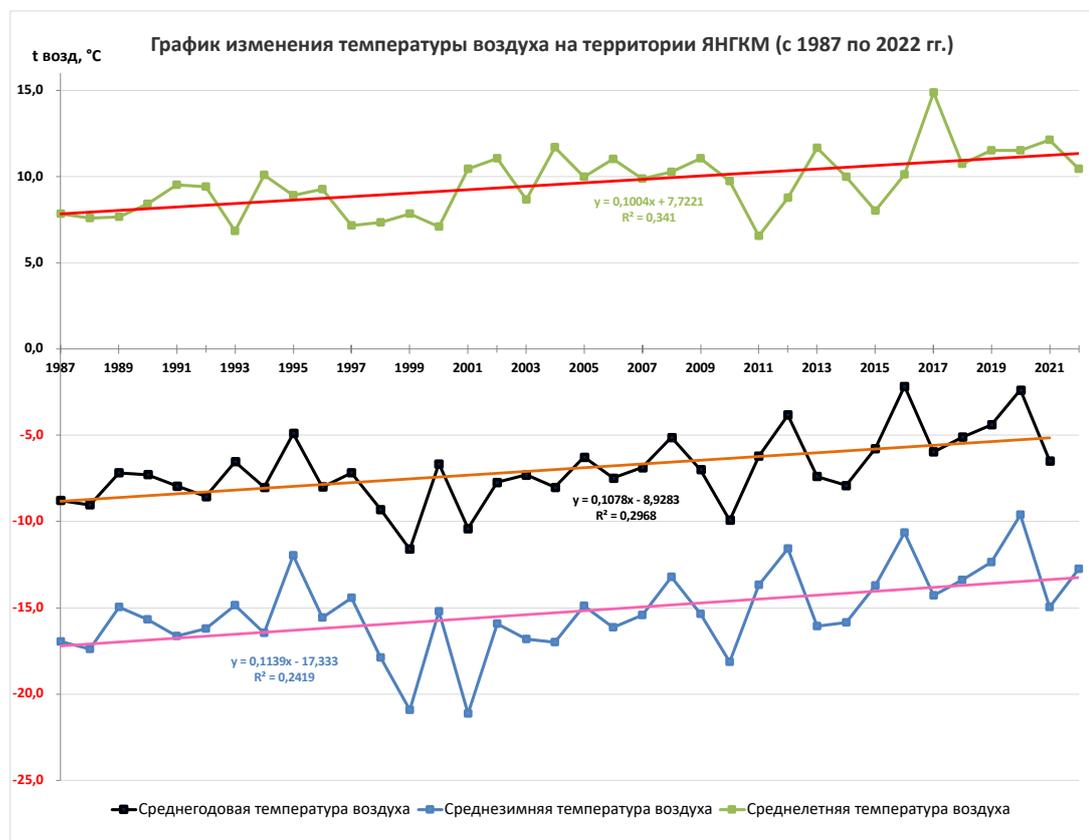


Рис. 1 – Динамика среднегодовых, среднезимних и среднелетних температур воздуха с 1987 по 2022 год (по данным метеостанции в п. Ямбург), составлено автором

**Литологический состав.** Для грунтов ЯНГКМ естественного сложения характерно повышенная льдистость, прежде всего пылеватых супесей и тонкосернистых песков, которые обладают повышенной размокаемостью и размываемостью, что приводит к интенсивному развитию термоэрозии, формированию овражно-балочных систем. Для территории посёлка в целом характерен однородный литологический профиль (табл. 1):

Таблица 1 - Литологический профиль скважины (объект – ЯРЭУ)

Глубина, м	Описание грунтов
0,0-1,9	Насыпной грунт. Песок серый пылеватый, с прослоями песка желтого мелкозернистого включениями глинистых частиц, гравия, строительного мусора.
1,9-2,0	Почвенно-растительный слой
2,0-3,5	Лед с включениями грунта
3,5-4,6	Супесь светло-серая
4,6-10,0	Песок серый мелкозернистый

**Распределение и толщина снежного покрова.** В зимний период на территории посёлка осуществляется уборка и вывоз большего количества снега, распределение толщины оставшегося снежного покрова приобретает мозаичный характер в зависимости от плотности застройки, высоты и ширины дорог, площади газонов и естественной растительности, возможности зачистки территории от снега, активности ветровой деятельности [2]. На основе данных Ямбургской лаборатории мерзлоты (ЯЛМ) была составлена карта-схема (рис. 2) распределения снежного покрова на территории посёлка для апреля (самого снежный месяц).

**Температурный режим вечномёрзлых грунтов** (рис. 3). Динамика среднегодовой температуры вечномёрзлых грунтов в естественных условиях на глубине нулевых годовых амплитуд отслеживается ЯЛМ. С 1979 по 2020 год среднегодовая температура вечномёрзлых пород на территории ЯНГКМ повысилась в среднем на 2,3 °С и в 2020 г. составила -2,1 °С [3], также составлена карта-схема распределения мощности сезонноталого слоя (рис. 4).

Также выделены и отражены на карте-схеме классы сооружений и территорий посёлка **по степени теплового воздействия на вечномёрзлые грунты** (рис. 5). Все объекты разделены на 2 группы: тепловыделяющие и нетепловыделяющие системы. К первой группе относятся здания с полами по грунту, здания с закрытыми подпольями старого фонда, здания с открытыми холодным проветриваемыми подпольями старого и нового фонда, система надземных санитарно-технических коммуникаций. Ко второй группе отнесены: заасфальтированные территории (дороги, площади), участки с травянистой и кустарниково-древесной растительностью.

На основании анализа результатов геотехнического мониторинга ЯЛМ, а также собственных визуальных обследований выделены 4 категории **технического состояния зданий и сооружений** на территории посёлка (в соответствии с ГОСТ Р 31937-2011 [4]) (рис. 6). Установлено, что в большинстве случаев причиной деформаций является потеря несущей способности грунтов за счёт изменения температурного режима и деградации вечномёрзлых грунтов, а также развития опасных криогенных процессов (морозное пучение).

Поселок можно условно разделить на две части: здания «старого фонда», которые были возведены в самом начале строительства посёлка и на данный момент сильно деформированы, и здания «нового фонда» при строительстве которых были использованы более новые технологии.

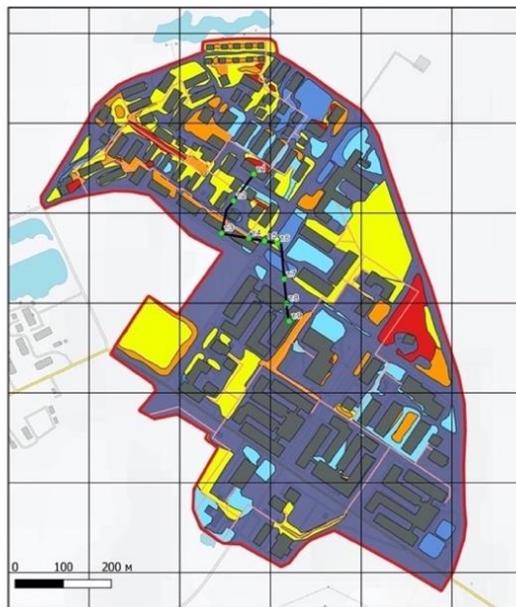


Рис. 2 – Карта-схема распределения снежного покрова на территории вахтового п. Ямбург (апрель 2022 г.), составлено автором

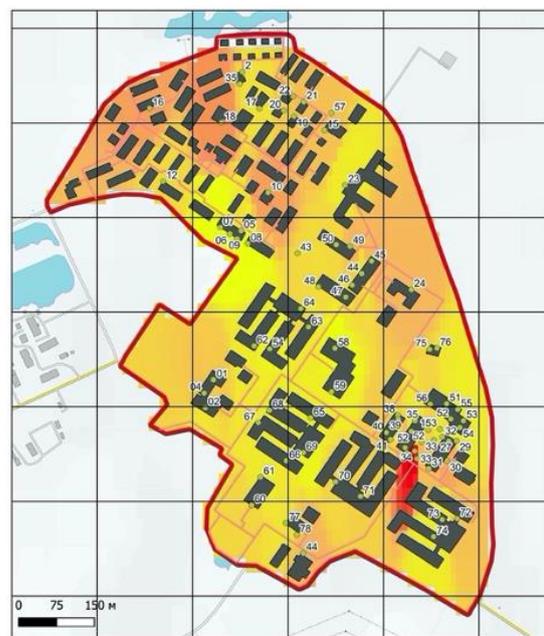


Рис. 3 – Карта-схема распределения температуры вечномерзлых пород на глубине 4 метров (июнь, 2022 г.)

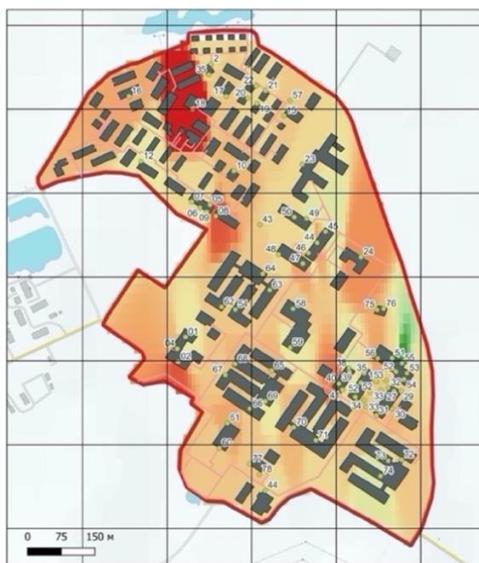


Рис. 4 – Распределение мощности сезонного слоя (сентябрь, 2022 г.)



Рис. 5 – Классификация сооружений по степени теплового воздействия на вечномерзлые грунты

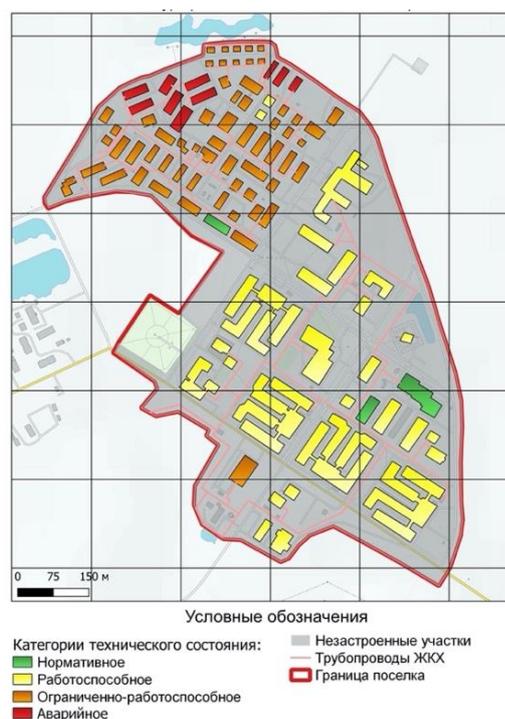


Рис. 6 – Техническое состояние зданий и сооружений (по состоянию на 2022 г.)

В результате проведенного анализа ландшафтно-мерзлотных факторов и оценки технического состояния зданий и сооружений на территории вахтового п. Ямбург выделено 3 категории устойчивости техногенных объектов (табл. 2):

Таблица 2 – Категории устойчивости техногенных элементов для территории вахтового п. Ямбург

Категория	Характеристика	% от площади
Повышенный уровень устойчивости	Отсутствие негативных изменений ландшафтно-мерзлотных условий, угрожающих стабильному функционированию техногенных элементов и/или обеспечение компенсирующих мероприятий, полностью нивелирующих негативное техногенное воздействие.	25
Пороговый уровень устойчивости	Наличие определенных изменений ландшафтно-мерзлотных условий, угрожающих стабильному функционированию техногенных элементов. Возможно нарушение проектных характеристик и возникновение деформаций, но имеющиеся изменения не приводят к нарушению работоспособности техногенного элемента. Стабильная работоспособность обеспечивается за счёт компенсирующих мероприятий.	55
Критический уровень устойчивости	Наличие значительных изменений ландшафтно-мерзлотных условий, при которых невозможно стабильное функционирование техногенного элемента за счёт отсутствия или недостаточного действия компенсирующих мероприятий.	20

Таким образом, можно сделать вывод о том, что современные методы строительства и управления за мерзлотной обстановкой на данный момент позволяют минимизировать последствия потепления климата. На территории вахтового п. Ямбург фактически исключены аварийные ситуации, связанные с возможными изменениями ландшафтно-мерзлотными условиями. Тепловое воздействие зданий и сооружений так называемого «нового фонда», нивелируется за счёт эффективно функционирующих холодных проветриваемых подполий; коммуникации, включая водопровод и

канализацию, представлены надземным типом прокладки и характеризуются минимальным тепловым воздействием. При возведении зданий и сооружений «старого фонда» были совершены ошибки на стадии проектирования объектов (недостаточные глубины заложения в замороженных свай, неэффективное действие закрытых или полужакрытых подполий, не обеспечивающих приток тепла в грунты оснований).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сухов А.Г., Кузнецова И.Л., Лахтина О.В. и др. Тазовская область // В кн.: Геокриология СССР: Западная Сибирь / Под ред. Ершова Э.Д. М.: Недра, 1989. С. 236-247.
2. Влияние механизированного перераспределения снега на многолетнемерзлые основания в городах Арктики / В. И. Гребенец, В. А. Толманов, В. А. Федин // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации: Материалы Пятнадцатой Общероссийской научно-практической конференции изыскательских организаций, Москва, 26–29 ноября 2019 года. М.: Геомаркетинг, 2019. С. 248-252.
3. Петров Б. В., Стрелецкая И.Д., Рогов В. В., Курбатов А. С. Динамика температурного режима многолетнемерзлых пород Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения. Инженерная геология, Том XVI. № 3. С. 66–77.
4. ГОСТ 31937— 2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293781/4293781963.pdf> / (дата обращения: 10.02.2023).

#### ДИНАМИКА ДЕГРАДАЦИИ ЛЕДНИКОВ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

*Эрменбаев Б.О., Чонтоев Д.Т., Ерохин С.А.*

Институт водных проблем и гидроэнергетики национальной Академии Наук Кыргызской Республики, г. Бишкек, [doku66@mail.ru](mailto:doku66@mail.ru)

Горные ледники представляют собой природные аккумуляторы пресной воды. Они чувствительны к изменениям приземной температуры воздуха и осадков, в связи с чем потепление климата, при относительно стабильном значении атмосферных осадков, является ключевой причиной деградации горного оледенения. Современная динамика оледенения Северного Тянь-Шаня изучалась и ранее, и делалось, прежде всего, на примере отклика на климатические колебания репрезентативных ледников. Таким репрезентативным ледником является ледник Кара-Баткак, находящегося на северном склоне хребта Тескей Ала-Тоо в бассейне реки Чон-Кызыл-Суу и ледник Адыгене находящиеся в Киргизском хребте верховьях бассейн реки Ала-Арча, которые проводятся мониторинг сотрудниками Института водных проблем и гидроэнергетики НАН КР. В связи с ростом среднегодовой температуры (в Киргизском Тянь-Шаня за последние 60 - 90 лет она увеличилась на 1,3-1,5<sup>0</sup>С, до 1,5<sup>0</sup>, конкретно на леднике Кара-Баткак за период 1961-2015 года увеличилось на 1,25<sup>0</sup> С) ледники Тянь-Шаня интенсивно сокращались. Деградация современного оледенения началась, с середины 19-го столетия [1], в последнее десятилетие её активность значительно возросла [2-7], что вызывает тревогу у населения, связанную со страхами катастрофических последствий полного исчезновения ледников и наступления всемирной засухи. Поэтому мониторинг ледников, оценка скорости их деградации становится первоочередной задачей, особенно актуальной при решении проблемы обеспечения населения Центральной Азии питьевой водой.

Для анализа изменения оледенения рассматриваемой территории использованы следующие материалы: 1) аэрофотоснимки в цифровом формате TIFF высокого разрешения, охватывающие период с 1967, 1977 и 1988 гг.; 2) топографические карты масштаба 1:25000 для восточной части хр. Теркей Ала-Тоо по состоянию на 1965-1977 гг.; 3) космические снимки Landsat TM, ETM+ Landsat 1-5 1977 г, Landsat -5 1990 -2006 гг.; Landsat-7 1999-2000 гг.; Landsat-8 2017, 2022г; Skysat-2018 г., Sentinel-2 2019, 2020 г. (разрешение использованных космоснимков – 3, 10, 15 метров/пиксель) и SRTM 2014 г., полученные с сайта Геологической Службы США USGS [8]. В работе использовались также спутниковые изображения за дни и время максимума абляции и минимума облачности. Дешифрирование космоснимков ледников с использованием проводилось с помощью программы ArcMap\_10. Чтобы определить точность ручного дешифрирования границ ледников, автором была выполнена повторная обрисовка нескольких ледников, в том числе, и стационарного ледника Кара-Баткак, на изображениях разного типа. Например, для определения границы ледников по состоянию одного года использовались несколько снимков с разными датами съемки. Таким образом, в процессе наведения максимально точной границы ледников было установлено, что погрешность определения их площади составляет менее 5%. В процессе дешифрирования, исходные снимки Landsat 7, Landsat 8, Sentinel-2 были преобразованы в композиции RGB с различными комбинациями каналов. Использовалась комбинация каналов 5, 6, 4 - ближнего, среднего инфракрасных каналов и красного видимого канала. Разрешение полученных изображений было увеличено до 10 м/пиксель с помощью 8-го панхроматического канала [7]. Для определения границы водоразделов и ледоразделов, использованы снимки ЦМР (SRTMDEM) полученные с сайта Национального Аэрокосмического Агентства NASA [7].

Для оценки размеров деградации оледенения было проведено сравнение площади оледенения в 1999 и 2019 гг на горном хребте Тескей Ала-Тоо, одном из наиболее крупных в горной системе северного Тянь-Шаня. Хребет имеет протяженность 400 км (рис.1). На его северном склоне в 1999г насчитывалось 481 ледник размерами более 0,1 км<sup>2</sup>, общей площадью 496,7 км<sup>2</sup>, а всего насчитывался 675 ледников общей площадью 510,1 км<sup>2</sup>, в том числе, 194 малых ледника площадью менее 0,1 км<sup>2</sup> и общей площадью 13,4 км<sup>2</sup> (табл. 1) (по данным Диких А.Н [9]).

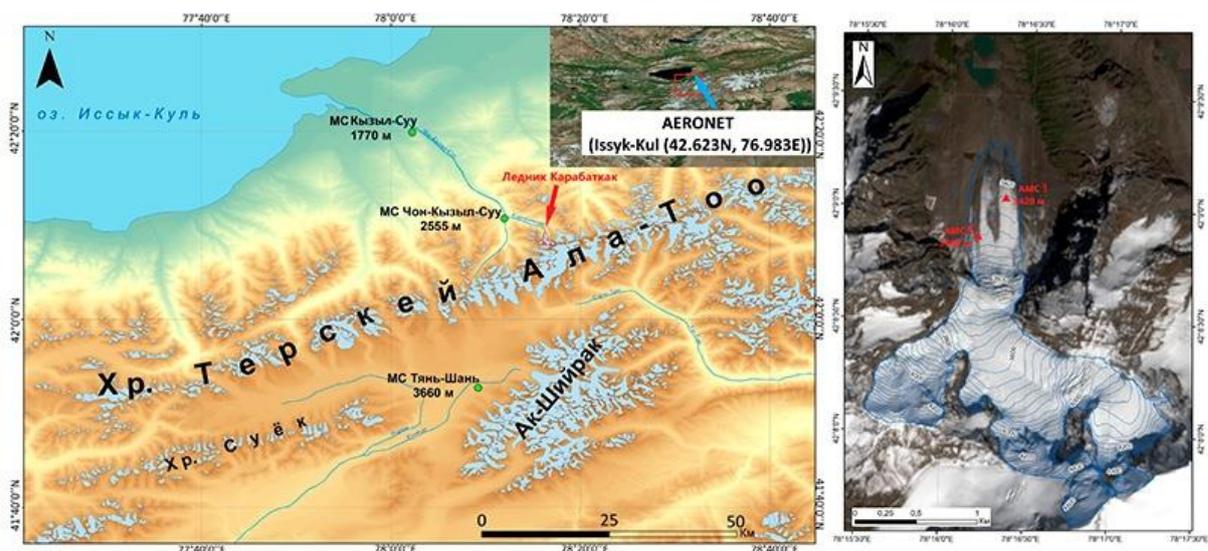


Рис. 1 – Географическое положение объекта исследования, стрелками указан ледник Кара-Баткак, справа в увеличенном виде

Таблица 1 – Общие информация о ледниках северного склона хр.Тескей Ала-Тоо [9]

К	S	V	AAR	S <sub>m</sub>	L <sub>m</sub>	T <sub>m</sub>	H <sub>min</sub>	H	H <sub>f</sub>	H <sub>maxS</sub>
675	510,1	23,316	0,52	0,8	1,52	46	3020	3658	3845	3913

К – количество ледников; S – суммарная площадь ледников (км<sup>2</sup>); V – общий объем ледников (км<sup>3</sup>); AAR – доля области аккумуляции в общей площади; S<sub>m</sub>– средняя площадь ледника; L<sub>m</sub> – средняя площадь ледника (км); T<sub>m</sub> – средняя толщина ледника (м); H<sub>min</sub> – минимальная из высот нижних концов ледников (м); H – средняя высота концов ледников; H<sub>f</sub> – средневзвешенная по площади ледников высоты фирновой линии (м); H<sub>maxS</sub>– высота максимума распределения площади всех ледников по высоте (м).

По данным дешифрирования в 1999 г. количество ледников составляло 1103 общей площадью 983 км<sup>2</sup>; в 2019 г. количество возросло до 1107, но общая площадь уменьшилась на 106 км<sup>2</sup> (10,7%) и составила 877 км<sup>2</sup>. (рис. 2). Причина увеличения количества ледников заключается в распаде небольших ледников на более мелкие, а сокращение площади - за счет полного исчезновения ледников площадью <1 км<sup>2</sup>.

Ввиду ускоренного сокращения малых ледников их общая площадь уменьшилась на 15 %, а площадь ледников более 1,0 км<sup>2</sup>- на 9% (рис.2).

Наиболее значительное сокращение произошло у небольших ледников площадью менее 5 км<sup>2</sup>. Ледники южного склона хребта сокращаются более интенсивно, чем северного.

Уменьшение площади ледников - один из показателей их деградации. Другим, возможно не вполне информативным, но весьма наглядным показателем, является «отступление ледников», то есть повышение высотной отметки языка ледника.

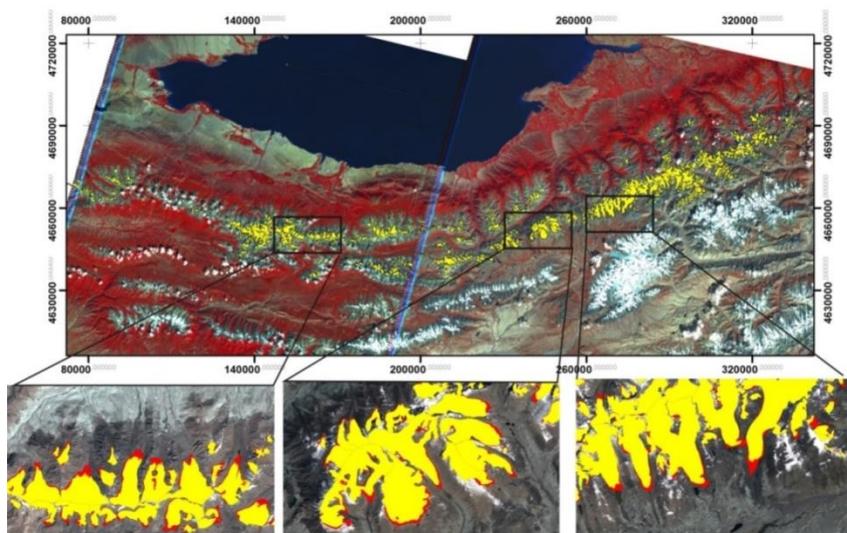


Рис. 2 – Изменение размеров ледников: красный цвет на увеличенных снимках - положение (границы) на период 1999 г.; желтый - в 2019 г.

Отступление ледников определено и установлено с использованием имеющейся информации о ледниках, а также топоосновы прошлых лет и космоснимков. Наибольший объем информации по данному вопросу был собран по репрезентативным ледникам Кара-Баткак и Адыгене, где ежегодное его отступление по северному склону составляет 8 м/год [10], а по ледника Адыгене - 11 м/год [11].

Линейное отступление языка ледника Кара-Баткак в период с 1967 по 2018 год составило 438 метров, в период с 1967 по 1977 год ледник отступил на 60 метров, что соответствует скорости отступления 6 метров в год. В период с 1977 по 1990 год ледник отступил на 73 метров, скорость отступления - 5,6 метров в год. В период с 1990 по 1996 год ледник отступил на 46 метров, скорость отступления - 7,3 метров в год. В период с

1996 по 2006 год ледник отступил на 75 метров, скорость отступления - 7,5 метров в год. В период с 2006 по 2017 гг. ледник отступил на 88 метров, скорость отступления - 8,0 метров в год (рис. 1). Таким образом, по результатам дистанционного зондирования ледника, ежегодное его отступление увеличилось с 5,6 м до 8 метров, особенно это активизировалось в последние 20 лет, а площадь ледника Кара-Баткак в период наблюдений 1977-2018 гг. сократилась на 0,8 км<sup>2</sup> или на 22 % от общей первоначальной его площади (рис. 3).

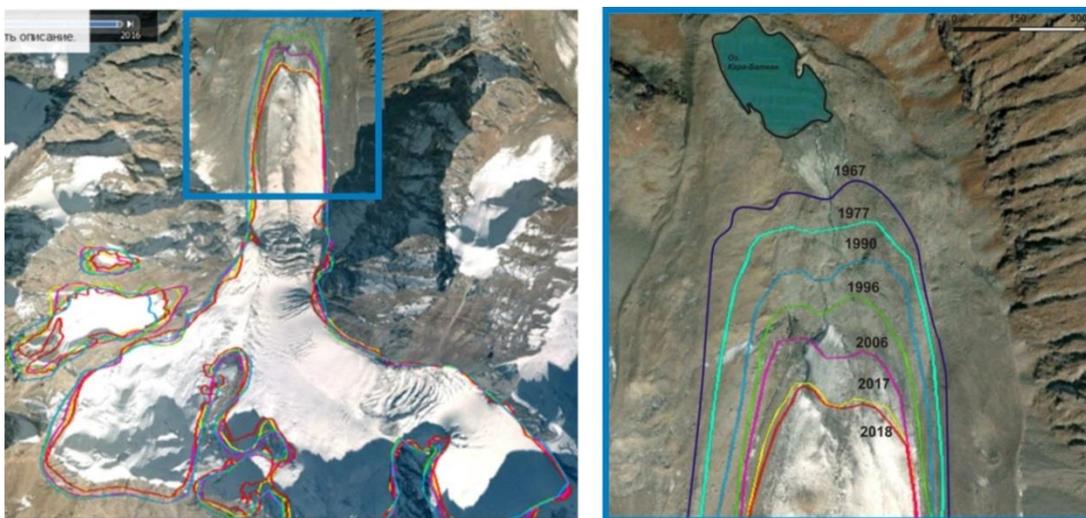


Рис. 3 – Линейное отступление языка ледника Кара-Баткак в разные годы (1967-2018 г)

Ледник Адыгене отступает почти 2 раза быстрее чем ледник Кара-Баткак (рис. 4). В период 1960-2017 гг. ледник Адыгене отступил на 900 метров, что составляет 15.8 метров в год [11]. По нашим данным дешифрирование 1977 по 2022 гг. ледник Адыгене в среднем отступил 218 м., что составило 11 метров в год. Площадь ледника Адыгене период 1977-2022 гг. сократилось 20%.

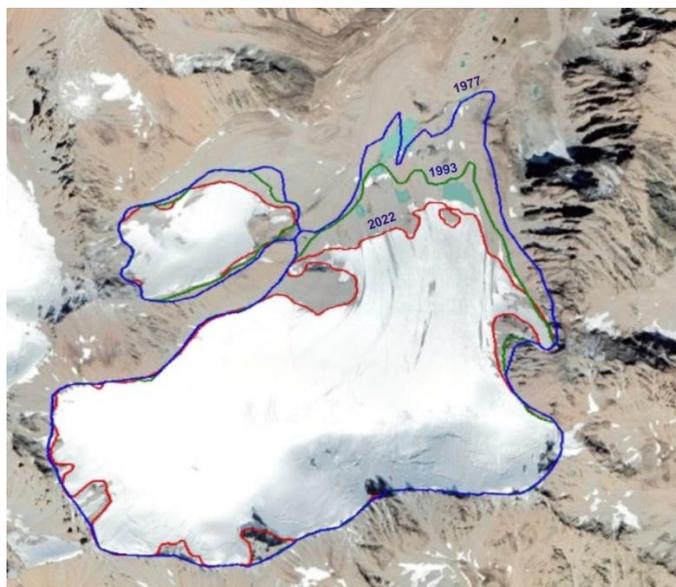


Рис. 4 – Линейное отступление ледника Адыгене в период 1977-2022 гг.

Полученные данные динамики сокращения оледенения согласуются с прогнозами многих видных гляциологов [4] о том, что при сохраняющейся тенденции (темпах) роста температуры воздуха, к 2050 г. оледенение на Тянь-Шане значительно сократится, особенно в его западной части (Ферганский, Кыргызский, Таласский, хребты), а к 2100 г. оледенение сократится полностью.

Однако вышеизложенный сценарий деградации современного оледенения не единственный. Регрессия оледенения может смениться трансгрессией, если рассматривать современный период не как окончание малой ледниковой эпохи, а как период потепления между ледниковыми осцилляциями этой эпохи.

Как известно формирование современного оледенения началось середине 13-го века, после теплого периода Атлантического климатического оптимума в X-XII веках. После холодного этапа второй половины XIII век и до конца XV века, наступил второй этап – значительного потепления в XVI веке, который сменился новым похолоданием в XVII веке и первой половине XIX века. Со второй половины XIX века и до настоящего времени продолжается период потепления и деградации современного оледенения. Историко-археологические изыскания позволяют приблизительно определить, что во время первого этапа, похолодания 13-15 веков, произошло две ледниковые осцилляции; во время похолодания XVII- XIX веков, произошли еще три ледниковых осцилляции, за которыми с середины XIX-го века, последовал этап потепления и деградации ледников, который продолжается до настоящего времени.

По какому сценарию будет развиваться современное оледенение, покажет время и результаты мониторинга ледников Кыргызстана, проведение которого является очень важной и актуальной задачей, поскольку Кыргызстан является источником водоснабжения, своеобразной «водонапорной башней», для окружающих его государств: Узбекистана, Казахстана, Таджикистана и Китая в условиях дефицита водных ресурсов. Центральной Азии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Solomina O., Barry R., Bodnya M. The retreat of Tien Shan glaciers (Kyrgyzstan) since the Little Ice Age estimated from aerial photographs, lichen metric and historical data // *Geografiska Annaler Series A: Physical Geography*. 2004. № 86(2). P. 205-215.
2. Aizen V.B., Aizen E.M., Melack J.M. Precipitation, melt and runoff in the northern Tien Shan // *Journal of Hydrology*. 1996. №186. P. 229-251.
3. Больш Т., Марченко С.С. Значение ледников, каменных глетчеров и богатой льдом мерзлоты Северного Тянь-Шаня как водонапорной башни в условиях изменения климата // *Снежно-ледовые и водные ресурсы высоких гор Азии. Сборник трудов конференции. 28-30 ноября 2006, Алматы, 2007. С. 215-229.*
4. Bolch T. Climate change and glacier retreat in northern Tien Shan (Kazakhstan Kyrgyzstan) using remote sensing data // *Global and Planetary Change*. 2007. № 56. P. 1-12.
5. Ding Y., Liu S., Li J., Shangguan D. The retreat of glaciers in response to recent climate warming in western China // *Annals of Glaciology*. 2006. № 43. P. 97-105.
6. Эрменбаев Б.О., Ерохин С.А. Скорости линейного отступления и факторы регресса горно-долинных ледников Тянь-Шаня // *ASA Regional Workshop on Roles of Academies of sciences Water and energy problems 2011. P. 95-98.*
7. NASA Earth science data [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://earthdata.nasa.gov/> (дата обращения 13.09.2023).
8. U.S. Geological Survey Earth Explorer [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения 13.09.2023).
9. Диких А.Н., Усубалиев Р. Состояние оледенения Тянь-Шаня во второй половине XX и в начале XXI в.в.: эволюция, экология и направленность ледникового стока // *Вестник Бишкекского гуманитарного университета*. 2007. № 2. С. 13-16.
10. Эрменбаев Б.О. Линейное отступление и изменения площади ледника Кара-Баткак // *Известия вузов Кыргызстана*. 2018. № 11. С. 42-49.
11. Загинаев В.В., Ерохин С.А., Кубанычбек уулу Н., Чонтоев Д.Т. Мониторинг высокогорных озер Северного склона Киргизского хребта с целью определения прорывоопасного периода // *Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана*. 2019. № 4. С. 139-142.

**ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ И  
ГЕОХИМИЧЕСКИЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ  
В РОССИЙСКОЙ АРКТИКЕ:  
ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

---

## 20 ЛЕТ АРХАНГЕЛЬСКОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СЕТИ: РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Антоновская Г.Н.<sup>1</sup>, Конечная Я.В.<sup>1,2</sup>, Ваганова Н.В.<sup>1</sup>, Шахова Е.В.<sup>1</sup>, Михайлова Я.А.<sup>1</sup>, Морозов А.Н.<sup>1</sup>, Морозова Е.Р.<sup>1</sup>, Игнатчик Е.М.<sup>1</sup>, Данилов К.Б.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, [essm.ras@gmail.com](mailto:essm.ras@gmail.com)

<sup>2</sup> Единая геофизическая служба РАН, г. Обнинск

Создание сейсмической сети в Архангельской области было инициировано членом-корр. РАН Ф.Н. Юдахиным при активной поддержке академика РАН Н.П. Лавёрова в 2003 г. Сейсмическая сеть создавалась на базе лаборатории сейсмологии Института экологических проблем Севера Уральского отделения РАН, вошедшего, после реорганизации в 2016 г., в состав Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук (далее – ФИЦКИА УрО РАН, Центр).

По состоянию на 2023 г. Архангельская сейсмическая сеть (АСС) включает в себя 10 пунктов сейсмических наблюдений, оснащенных современным оборудованием зарубежного производства. Два сейсмических пункта находятся на совместном обслуживании с Единой геофизической службой РАН (рис. 1).

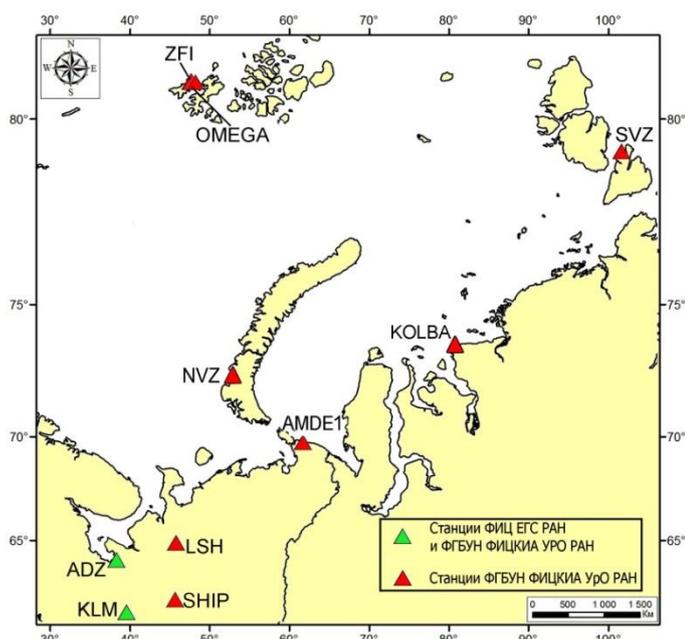


Рис. 1 – Конфигурация Архангельской сейсмической сети на 2023 г.

ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН имеет потенциал и ресурсы для обеспечения мониторинга важного для страны региона – Центр является оператором сейсмической сети в Архангельской области, которой присвоен международный код – АН (<http://www.fdsn.org/networks>). В 2013 г. АСС зарегистрирована в качестве уникальной научной установки на сайте Научно-технологической инфраструктуры Российской Федерации (<https://www.ckr-rf.ru/>). С 2014 г. ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН является полноправным партнером Международного сейсмологического центра ISC (Великобритания) и участником глобального сейсмологического мониторинга. Ниже на картах представлена роль станций Архангельской сети в сейсмическом мониторинге Арктики.

По результатам деятельности АСС создаются сейсмические каталоги, уточняется строение литосферы, строятся региональные и локальные годографы, что позволяет, например, повысить точность локации арктических землетрясений, а также выполнить уточнение эпицентров исторических землетрясений Арктики. Результаты важны для сейсмического районирования морских арктических акваторий РФ, освоение которых уже начато, а также материковых территорий, перспективных для промышленного освоения. ФИЦКИА УрО РАН занимается сейсмическим мониторингом всего Западного сектора Российской Арктики, регистрируя региональные и локальные землетрясения и события ледниковой и техногенной природы. Каталог ФИЦКИА УрО РАН содержит информацию о землетрясениях, произошедших в Арктике, в том числе, ниже магнитуды 3.5, что является отличием от каталога Единой геофизической службой РАН по аналогичному району.

На рис. 2 показан вклад АСС в мониторинг Арктики (выше 70° с.ш.). На карте отражены эпицентры землетрясений в соответствии с данными общего каталога ISC за период 2017–2021 гг., который включает переобработанные ISC параметры землетрясений в соответствии со сведениями, подаваемыми различными сейсмологическими службами мира, в том числе Архангельской сети ФИЦКИА УрО РАН.

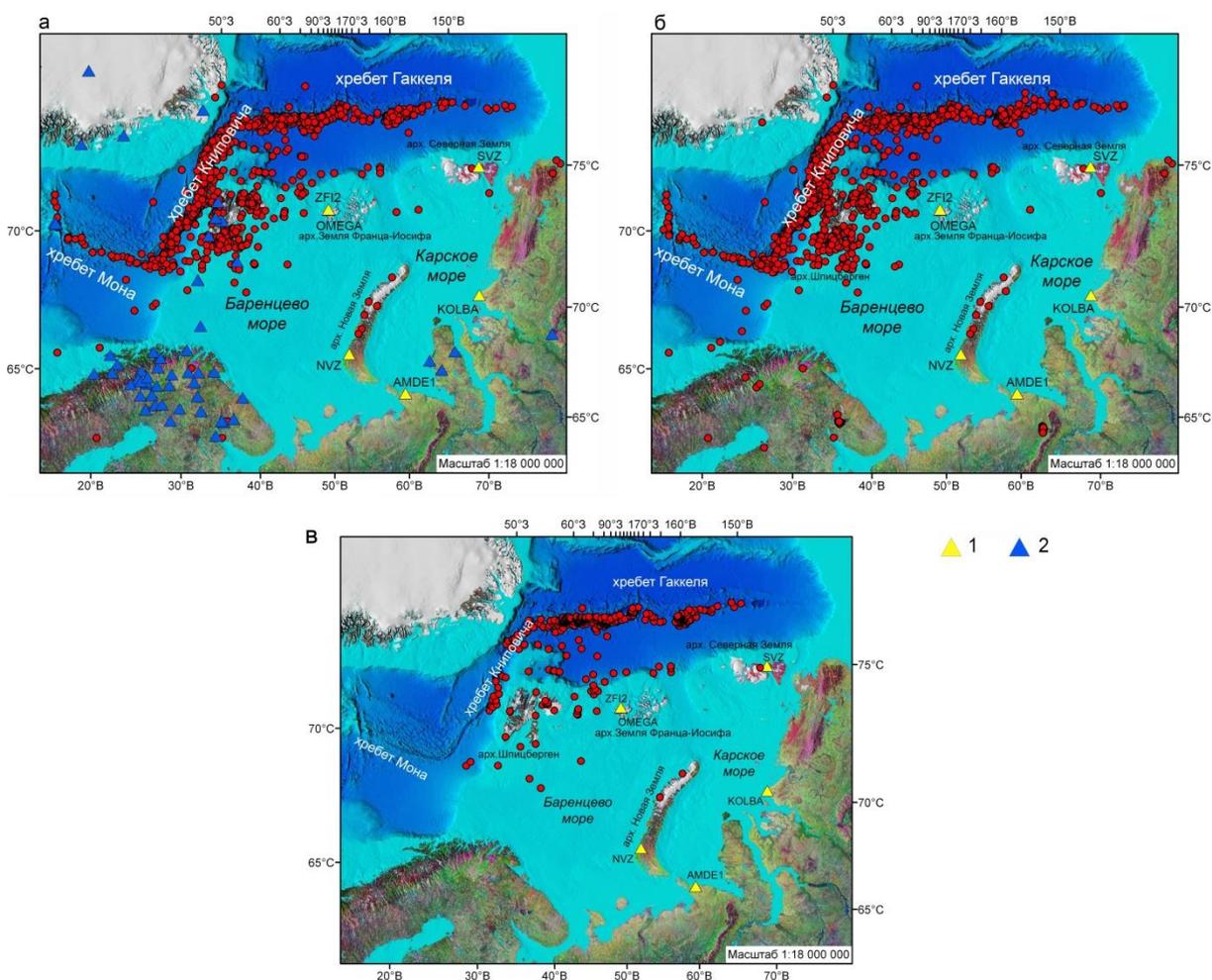


Рис. 2 – Эпицентры землетрясений в Арктическом регионе по данным Международного сейсмологического центра ISC [1] за 2017–2021 гг.: а – общий каталог ISC; б – данные Архангельской сети ФИЦКИА УрО РАН в составе каталога ISC, в – землетрясения зарегистрированные только АСС. 1 – станции Архангельской сейсмической сети ФИЦКИА УрО РАН, 2 – станции других сейсмологических служб

Сравнивая рисунки 2а и 2б видно, что преобладающая часть всех арктических землетрясений, включенных в каталог международного сейсмологического центра ISC, регистрируются АСС ФИЦКИА УрО РАН. Причем 25 % это землетрясения, которые регистрируются исключительно Архангельской сетью (рис. 2в) и никакими другими сейсмологическими сетями более, что подчеркивает вклад АСС в сейсмический мониторинг Арктики. Конфигурация АСС обеспечивает наблюдения от 10°з.д. до 100° в.д. Этот факт позволил снизить представительную магнитуду регистрации сейсмических событий для Западного сектора Российской Арктики до  $M_{пред} 3.5$ . Большинство таких событий приурочены к хребту Гаккеля, склону континентального шельфа в северной части Баренцева и Карского морей, арктическим желобам и относятся к проявлению слабой сейсмичности. Ежегодно УНУ «АСС» ФИЦКИА УрО РАН регистрируется 1000-1200 сейсмических событий.

Проблемы безопасности, с которыми арктические страны сталкиваются в условиях изменения климата и расширения экономической деятельности, предполагают обеспечение безопасности судоходства и нефтегазодобывающей индустрии. Источниками сейсмической опасности в арктической зоне могут быть не только природно-техногенные землетрясения, но и техногенные явления, а также грязевой вулканизм, дегазация дна или различные деструкционные процессы. Более того, в арктических акваториях затоплено большое количество твердых радиоактивных отходов, в местах расположения которых также наблюдаются сейсмические события. Таким образом, минимизация воздействия экстремальных геофизических процессов естественного и искусственного происхождения на инфраструктуру и важные инженерно-технические объекты, расположенные в Арктике, становится важнейшей задачей, решать которую необходимо до начала масштабных разработок шельфовых месторождений.

Благодаря открытию ФИЦКИА УрО РАН станций в Арктике были получены новые данные о тектонической активности, глубинном строении (до 300 км) Западного сектора Российской Арктики [2], установлены связи между геодинамикой срединно-океанических хребтов и проявлением платформенных землетрясений [3]. Сотрудниками лаборатории сейсмологии ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН был разработан алгоритм обработки данных, позволяющий получать более точные параметры эпицентров землетрясений по трем и более станциям. Проблема выбора алгоритма очень актуальна для мониторинга Арктики, поскольку конфигурация Архангельской сети такова, что большие расстояния между станциями и большие эпицентральные расстояния не позволяют использовать в обработке только станции Архангельской сети.

Проведенные исследования указали на необходимость анализа низкомагнитудных землетрясений ( $M_L < 3.5$ ), происходящих в Баренцево-Карском регионе. Удаленность арктических станций друг от друга (расстояния между станциями более 1000 км) создает сложности при локации низкомагнитудных землетрясений. Как правило, подобные землетрясения регистрируются максимум двумя станциями, что не позволяет включить их в сейсмологический каталог. В результате из информационного поля выпадает значительный массив землетрясений, происходящих в Арктике (рис. 3), показанных зелеными кружками, в том числе в районе трассы Северного морского пути.

Установка сейсмической станции сотрудниками ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН на архипелаге Новая Земля является стратегически важным моментом. Во-первых, подобная работа проведена впервые. Во-вторых, Новая Земля с точки зрения сейсмологических наблюдений находится посередине Баренцево-Карского региона, что в итоге позволяет улучшить локацию низкомагнитудных землетрясений, происходящих на арктическом шельфе, в том числе в районе трассы Северного морского пути.

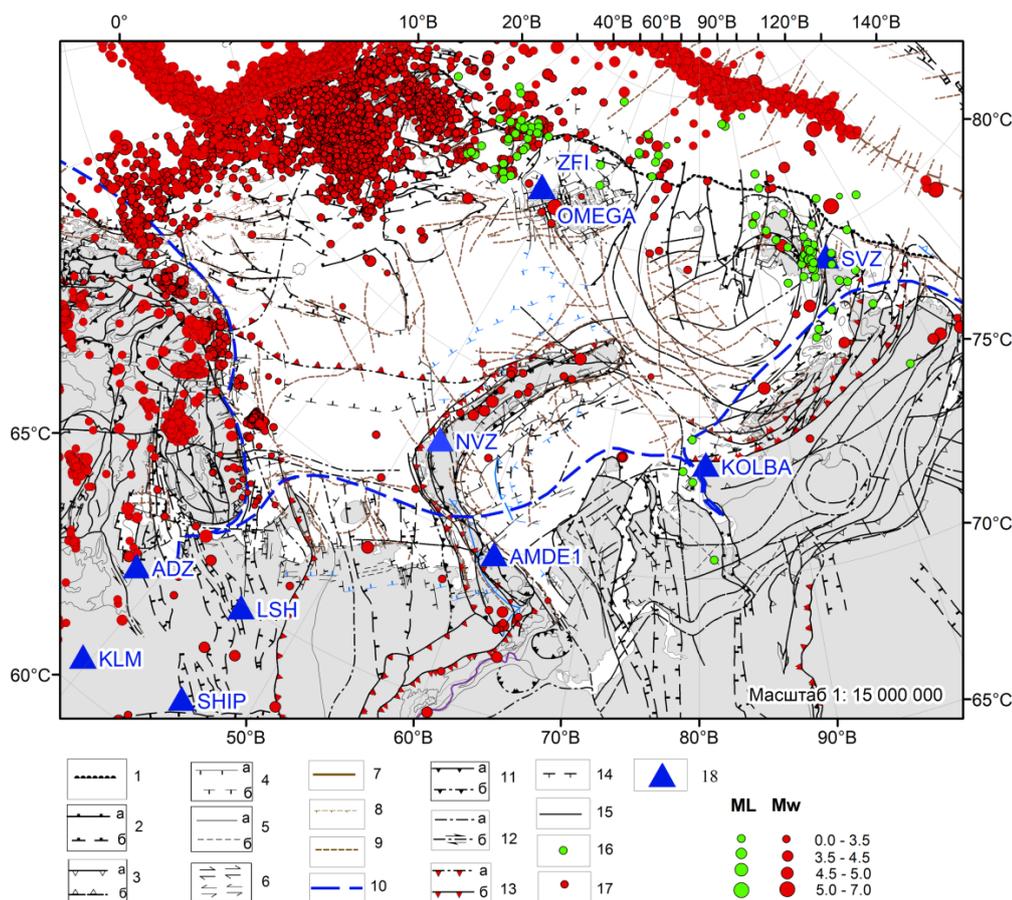


Рис. 3 – Сейсмичность шельфовых территорий за 1980 – 2021 гг.: 1 – кромка шельфа. Новейшие разломы (2-5) с [4]: черные – активные (поздний неоплейстоцен-голоцен); синие – (поздний плиоцен-средний неоплейстоцен): а – достоверные, б – предполагаемые; 2 – сбросы, штрихи на опущенном крыле; 3 – взбросы, треугольники на приподнятом крыле; 4 – разломы неустановленного типа, штрихи на опущенном крыле; 5 – разломы без установленного смещения; 6 – стрелками показано направление смещения при сдвигах. Разломы с [5] (7-9): 7 – активный спрединговый центр; 8 – нормальные разломы; 9 – неклассифицированные разломы; 10 – Северный морской путь. Разломы с [6] (11-15): 11 – надвиг и взброс; 12 – сдвиговый сброс (стрелка-направление сброса); 13 – фронт деформаций для орогенов; 14 – нормальные листрические разломы; 15 – неклассифицированные разломы; 16 – землетрясения, зарегистрированные одной станцией УНУ «АСС» и не вошедшие в каталог; 17 – землетрясения из сейсмического каталога АСС ФИЦКИА УрО РАН за 1980-2021; 18 – станции Архангельской сети

Следует отметить, что благодаря ведению ФИЦКИА УрО РАН сейсмического мониторинга обнаружена сейсмичность на Карском шельфе. В Карском море стали регистрироваться относительно слабые землетрясения магнитудами от 1.0 и выше. Наиболее сильное землетрясение, начиная с 2020 г., произошло 03.06.2022, магнитудой 2.4 у восточного берега архипелага Новая Земля (рис. 4). По данным ИБРАЭ РАН большая часть объектов с радиоактивными материалами находятся именно здесь в районе так называемой Новоземельской впадины.

Факт проявления сейсмичности в этом стратегически важном районе повышает риск разрушения внешних оболочек радиоактивных объектов, что грозит экологической катастрофой. Даже слабое землетрясение, но произошедшее вблизи затопленных контейнеров, может привести к их разгерметизации. Необходимо создание плотной сейсмологической сети в районе Карского моря, в том числе

установки дополнительных станций на архипелаге Новая Земля, для повышения локации таких землетрясений и мониторинга напряженно-деформированного состояния региона.

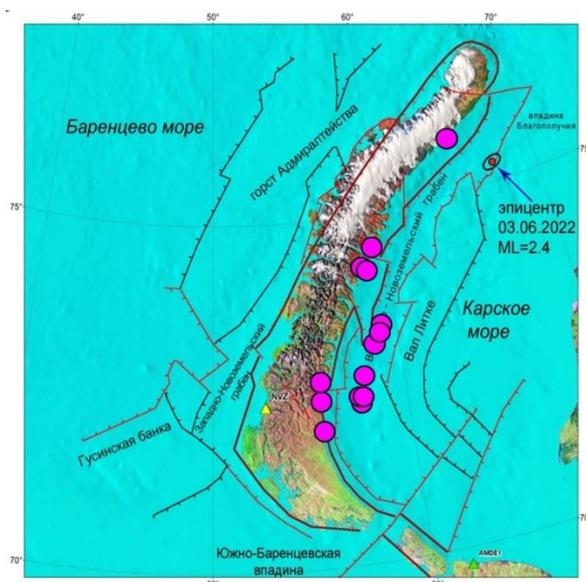


Рис. 4 – Землетрясение в Карском море 03.06.2022,  $t_0=22:47:36.2$ ,  $Lat=75.28$ ,  $Lon=67.38$ ,  $H=15$  км,  $ML=2.4$ . Эллипс ошибок:  $Az=70$ ,  $R_{minor}=9.37$  км,  $R_{major}=16.83$  км. Розовыми кружками показаны объекты с ОЯТ, затопленные в районе Новой Земли

Таким образом, вклад сейсмической сети ФИЦКИА УрО РАН в сейсмический мониторинг Российской Арктики является бесспорным, на сегодняшний день сеть является лидером в мониторинге сейсмической обстановки Арктики и Северного морского пути. Новая информация углубляет знания о проявлении современной сейсмичности на шельфовых и платформенных территориях, которую необходимо учитывать при проектировании ответственных объектов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ISC Bulletin: event catalogue search [Электронный ресурс]: International Seismological Center. Режим доступа: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/catalogue/> (дата обращения 22.08.2023).
2. Ваганова Н.В. Некоторые особенности глубинного строения арктических территорий по данным обменных волн // II Юдахинские чтения: Проблемы обеспечения экологической безопасности и устойчивое развитие арктических территорий: Материалы Всероссийской конференции с международным участием (24–28 июня 2019). Архангельск: «ОМ-медиа», 2019. С. 64–68.
3. Antonovskaya G.N., Basakina I.M., Vaganova N.V., Kapustian N.K., Konechnaya Y.V., Morozov A.N. Spatiotemporal Relationship between Arctic Mid-Ocean Ridge System and Intraplate Seismicity of the European Arctic // *Seismological Research Letters*. 2021. Vol. 92. № 5. P. 2876-2890. DOI: 10.1785/0220210024.
4. Атлас «Геология и полезные ископаемые шельфов России». Гл. ред. М. Н. Алексеев. Москва: Научный мир, 2004. 279 с.
5. Spencer A. M., Embry A. F., Gautier D. L., Stupakova A. V., Sørensen K. (eds). *Arctic Petroleum Geology*. Geological Society Memoir 35. London: Geological Society, 2011, 661 p. DOI: 10.1144/M35.21.
6. Pubellier M., Rossi P., Petrov O., Shokalsky S., St-Onge M., Khanchuk A., Pospelov I. *Tectonic map of the Arctic*. 1st ed., scale 1:10 000 000. VSEGEI Printing House. St. Petersburg, Russia, 2018. DOI:10.14683/2018TEMAR10M.

## ВЛИЯНИЕ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЙ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

*Антикаев Ф.Ф.*

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, felix@ifz.ru

Существенное влияние на сейсмическую опасность и сейсмический риск оказывают грунтовые условия. Приходилось видеть, как хорошо спроектированные здания, не получившие в результате землетрясения заметных повреждений, погружались в грунт со значительным наклоном. В тоже время, независимость амплитуд ускорений вблизи разлома от грунтовых условий отмечалось во многих более ранних публикациях [1–6].

Поскольку амплитуды в разломной и ближней зонах не зависят от грунтовых условий, приходится признать, что приращения сейсмической интенсивности связаны с влиянием других параметров сейсмических колебаний – спектром и продолжительностью колебаний, а также с уменьшением несущей способности грунтов. При землетрясениях в Ниигата, Япония 1964 г. и других странах, некоторые практически неповрежденные здания погружались в грунт и сильно наклонялись. Это объяснялось разжижением грунта. Однако, значительные просадки грунта могут происходить и без разжижения. Существует метод вибропогружения свай на значительные глубины (до 70 м) и без процесса разжижения. В работах [7–9] было показано, что при амплитудах ускорения на вертикальной компоненте  $PGA > 0.1 g$  прочность нескальных грунтов на срез в горизонтальной плоскости может снизиться в несколько раз. Это явление наблюдается и для скальных грунтов, но в более слабой степени. Поскольку в нормативных документах основной мерой сейсмических воздействий является ускорение, то приращение интенсивности связывают с изменением амплитуды и поэтому увеличивают прочность проектируемого сооружения, что, как правило, ведет к увеличению массы сооружения. А это только увеличивает погружение объекта в грунт даже при хорошей его сохранности. Обычно, особенно при латеральной неоднородности просадочных свойств грунта происходит сильный наклон сооружения. В ряде случаев наклоны сооружения ведут к дополнительным повреждениям.

Увеличение амплитуды вследствие грунтовых условий наблюдается только в дальней зоне. Причем, с этим увеличением связана только половина приращения сейсмической интенсивности. Другая часть приращения сейсмической интенсивности связана с изменением продолжительности колебаний. Вследствие уменьшения силы воздействия в дальней зоне несущая способность для любых категорий грунта становится вполне приемлемой.

Обращает на себя внимание, что степень затухания в дальней зоне резко увеличивается, поскольку декремент затухания определяется не свойствами среды, а уровнем колебаний [10–14]. Поэтому и затухание амплитуд одинаково для грунтов различных категорий.

Можно считать, что выделением энергии в дальней зоне можно пренебречь. Таким образом, оказалось, что граница очага землетрясения совпадает с границей ближней и дальней зон. Ранее точной оценки границы ближней зоны не было.

Очаговая область, как генератор сейсмических колебаний, колеблется как единое целое. Поэтому относительно малый слой четвертичных отложений мало сказывается на спектре колебаний, излучаемых очагом. Поэтому изучать резонансные свойства грунтов с помощью программ, использующих модель приходящих волн, нельзя.

В дальней зоне при отсутствии записей сильных движений в рассматриваемом районе приходится пользоваться мировой выборкой данных. Точность прогноза

амплитуды ускорений грунта в этом случае характеризуется среднеквадратичным отклонением около 0.4 единицы логарифма. При наличии записей сильных движений в регионе использование средних зависимостей для прогноза ускорений сопровождается среднеквадратичным отклонением около 0.3 единиц десятичного логарифма. Среднеквадратичное отклонение значений ускорений для отдельного землетрясения близко к 0.2 единиц десятичного логарифма. Эту оценку можно считать предельно возможной.

Обычно используется одно уравнение затухания, без выделения в волновом поле зон с различным затуханием амплитуд. Тенденция последних десятилетий – выделение в инженерном диапазоне трех зон с различными затуханиями амплитуд и различными зависимостями параметров колебаний от магнитуды, типа подвижки по разлому, расстояния и грунтовых условий. В результате среднеквадратичное отклонение оценок амплитуд ускорения становится близким к предельной величине даже при использовании средних зависимостей по мировой выборке данных.

За пределами инженерного диапазона законы затухания опять изменяются, поэтому экстраполяция данных по слабым колебаниям ( $I < 6$  баллов) в инженерный диапазон связана с большими погрешностями.

Непосредственно над разломом, вышедшим на дневную поверхность, сейсмическое воздействие определяется не столько уровнем вибраций, сколько остаточными деформациями.

Никаких региональных различий не отмечается, если учитывается тип подвижки в очагах, а оценки параметров сейсмического грунта производятся для каждой зоны отдельно. Так называемые региональные различия кривых затухания амплитуд объясняются предположением, что законы распространения сейсмических волн одинаковы для всех зон. Тогда результаты будут зависеть от соотношения количества записей в различных зонах.

**Выводы.** Роль грунтов отнюдь не сводится к изменению уровня колебаний, как это принято считать. В условиях Арктики, грунтовые условия усложняются наличием вечной мерзлоты. В условиях потепления климата роль этого фактора будет изменяться.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Trifunac M. D., Brady A.G. Correlations of peak acceleration, velocity and displacement with earthquake magnitude, distance and site conditions // *Earthq. Engin. Struct. Dyn.* 1976. V. 4, № 5. Pp. 455–471.
2. McGuire R.K., Barnhard T.P. The usefulness of ground motion duration in prediction of severity of seismic shaking // *Second U.S. National Conference on Earthquake Engineering. Proc. 2nd U.S. National Conference on Earthquake Engineering. August 22-24, 1979. Stanford, California, Stanford University, 1979. Pp 713–722.*
3. Bommer J.J., Martinez-Pereira A. Strong-motion parameters: definition, usefulness and predictability // *XII World Conference on Earthquake Engineering. Proc. XII World Conference on Earthquake Engineering. January 1 – February 4, 2000. Auckland, New Zealand, 2000. Paper No. 0206.*
4. Yamada M., Olsen A., Heaton T. Statistical features of short- and long-period near-source ground motion // *Bull. Seism. Soc. Am.* 2009. V. 99, № 6. Pp. 3264-3274. DOI: 10.1785/0120090067
5. Campbell K.W. Near-source attenuation of peak horizontal acceleration // *Bull. Seism. Soc. Am.* 1981. V. 71, № 6. Pp. 2039–2070.
6. Chiaruttini C., Siro L. The correlation of peak ground horizontal acceleration with magnitude, distance, and seismic intensity for Friuli and Ancona, Italy, and the Alpidic belt // *Bull. Seism. Soc. Am.* 1981. V. 71, № 6. Pp. 1993-2009.

7. Ross G.A., Seed H.B., Migliaccio R.R. Bridge foundation behavior in Alaska Earthquake //J. of the Soil Mech. and Found. Div. Proc ASCE (JSMF). 1975. 9B. № SM4, July.
8. Pyke R., Chan C.K., Seed H.B. Settlement and liquefaction of sands under multidirectional shaking. EERC-74-2. Berkeley, 1974.
9. Окамото Ш. Несущая способность песчаного грунта и горизонтальное давление земли во время землетрясения // Международная конференция по сейсмостойкому строительству в Сан-Франциско. 1956. Сборник статей. / Пер. с англ. В.А. Быховского. М.: Госстройиздат, 1961. 367 с.
10. Давиденков Н.И. О рассеянии энергии при вибрациях // Журнал технической физики. 1938. Т. 8, №6. С. 15-21.
11. Зайцев В.Ю., Матвеев Л.А. Амплитудно-зависимая диссипация в микронеоднородных средах с линейным поглощением и упругой нелинейностью // Геология и геофизика. 2006. Т. 47 (5). С. 695—710.
12. Филиппов А.П. Колебания упругих систем. Киев: Изд-во АН УССР. 1965.
13. Аптикаев Ф.Ф. Сейсмические колебания при землетрясениях и взрывах / АН СССР. Ин-т физики Земли им. О. Ю. Шмидта. М.: Наука, 1969. 113 с.
14. Аптикаев Ф.Ф. Инструментальная шкала сейсмической интенсивности / Ф. Ф. Аптикаев; Российская акад. наук, Ин-т физики Земли им. О.Ю. Шмидта. М.: Наука и образование, 2012. 175 с.

## **ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ СКЛОНОВЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В СЕВЕРНЫХ ОБЛАСТЯХ РОССИИ**

*Барыкина О.С.*

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва,  
ol.barykina2011@yandex.ru

В пределах Российской Федерации наиболее существенное влияние на особенности современного развития природных экзогенных геологических процессов, их интенсивность, на формирование сочетаний различных типов экзогенных геологических процессов (ЭГП), оказывают тип и режим современной увлажненности, а также теплообеспеченности территории, которые носят отчетливый зонально-секторный характер и рассматриваются в качестве быстро изменяющихся факторов инженерно-геодинамических условий. Зонально-секторный характер быстро изменяющихся факторов, влияя на состояние горных пород и гидрогеологические условия верхней части геологического разреза, обуславливает определенную зональность в распределении комплексов склоновых процессов на территории нашей страны [1].

На большей части Российской Федерации развитие современных природных экзогенных геологических процессов происходит в условиях избыточного увлажнения и лишь в южных регионах страны степень увлажнения становится недостаточной. В течение всего года над Российской Федерацией преобладает субширотный характер переноса влаги с запада на восток, что предопределяет условия увлажнения территории нашей страны.

По широтной зональности распределения солнечной радиации на территории Российской Федерации различают арктический, субарктический, умеренный и субтропический природно-климатические пояса.

Значительное влияние на распределение солнечной радиации и увлажнение территории оказывает современный рельеф и характер циркуляции атмосферы.

Наиболее ярко прослеживается роль зонально-секторного характера (в виде термогидрогенных быстро изменяющихся факторов развития современных геологических процессов на склонах) в распространении комплексов склоновых криогенных процессов, интенсивность которых сокращается с севера на юг [2]. В инженерной геологии, по особенностям характера тепло- и влагообеспеченности на территории России выделяются три инженерно-геологические зоны (климатогенные инженерно-геологические структуры II порядка) – зона практически сплошного распространения многолетнемерзлых пород, зона совместного распространения талых и многолетнемерзлых пород, зона распространения талых и немерзлых пород [3, 4]. Территория практически сплошного распространения многолетнемерзлых пород в значительной мере охватывает площади, для которых типичны арктические и субарктические природно-ландшафтные условия (арктические пустыни, полярные тундры и лесотундры). Существенную роль в характере южной границы инженерно-геологической зоны практически сплошного распространения многолетнемерзлых пород играют природно-климатическая секторность и высотная зональность. В пределах сектора с сибирским типом циркуляции атмосферы южная граница рассматриваемой инженерно-геологической зоны в горных областях находится южнее 52°-54°с.ш., в то время как в пределах сектора с атлантическим типом циркуляции атмосферы эта граница располагается существенно севернее – на широте порядка 65°-66°с.ш. В пределах Русского Севера протекают разнообразные современные склоновые геологические процессы. Наиболее важное значение имеют характер современной увлажненности и теплообеспеченности территории, состав и, главное, состояние горных пород. На большей части территории развитие геологических процессов происходит в условиях избыточного увлажнения, лишь на самом юге ее влажность становится недостаточной. Поэтому, комплекс склоновых процессов, свойственных выделенным В.Т. Трофимовым [3] зонам с неодинаковым состоянием пород, и интенсивность их проявления различны. В пределах первой, северной зоны развитие современных экзогенных геологических процессов происходит в условиях практически сплошного распространения многолетнемерзлых пород (талые породы встречаются лишь под руслами крупных рек и акваториями озер). В зависимости от литологического состава верхней части разреза глубина сезонного протаивания изменяется (с севера на юг) от 0,2 – 0,3 до 0,7 – 1,5 м. На многих участках со слоем сезонного протаивания связано образование оползней–оплывин и срывов грунта. Это явление развито в современных районах Ямала и Гыданского полуостровов, вплоть до широты пос. Мыс Каменный, и наиболее активно развивается на суглинистых грунтах. В пределах второй и третьей зоны формирование оползней, обширных по площади, протяженности и по глубине захвата приурочено к берегам рек. Необходимо отметить, что в районе развития многолетнемерзлых пород, в первую очередь на Ямале, Гыдане и Тазовском полуострове, на севере Пур-Тазовского междуречья, оползни-блоки и оползни-обвалы, по существу, не встречаются [5]. Тут развиты лишь солифлюкционное течение грунтов на склонах, оползни-оплывины и срывы.

Склоновые процессы в северных областях можно условно подразделить на «медленные» и «быстрые». К первым относятся солифлюкция, криогенная десерпция, делювиальный смыв. Ведущая роль в формировании облика склонов [6] принадлежит таким процессам в районах преобладающего развития с поверхности пылеватых и глинистых пород и повторно-жильных льдов (Восточная Сибирь и отчасти Чукотка). Ко вторым относятся криогенное оползание различных типов в районах широкого развития с поверхности песчаных и глинистых пород и пластовых льдов (Ямал, Гыдан, Таймыр и часть Чукотки) а также обвалы, оползни и сели.

Солифлюкционное течение сезоннопротаивающих пород развито в пределах Ямала и Тазовского полуострова достаточно широко, даже на участках со слабыми локальными уклонами (3-5°) нередко наблюдается протекание этого процесса.

Особенно активно он развивается в конце лета, когда мощность сезоннопротаивающего слоя увеличивается настолько, что прочность пород становится меньше компоненты силы тяжести, направленной вниз по склону, и оттаявшие сильноувлажненные породы «скользят» вниз. Интенсивность этого процесса возрастает с увеличением крутизны склонов. Развиваясь на склонах практически всех геоморфологических элементов, солифлюкционное течение формирует своеобразный микрорельеф. Так, например, склоны холмисто-увалистых участков салехардской морской равнины южного, северного и особенно центрального Ямала имеют «гофрированный» микрорельеф поверхности, образованный натечными складками грунта, расположенными параллельно подножию склона [5]. На территории северного Ямала и Гыдана в долинах небольших рек, склоны которых сложены преимущественно суглинистыми образованиями, развиты солифлюкционные террасы, которые образовались в результате солифлюкционной разработки склонов долины. Характерно, что склоны южной экспозиции имеют, как правило, гораздо большую по площади солифлюкционную террасу по сравнению со склонами северной экспозиции.

Склоны большей крутизны (более 10-12°) террасируются солифлюкционными потоками небольшой мощности, в результате чего поверхность склона приобретает мелкоступенчатый характер. Плечо таких ступенек обычно имеет ширину не более 0,4-0,5 м, высоту – до 0,3-0,5 м. На участках, где крутизна склонов превышает 20°, часто происходит гравитационный отрыв текущей массы и оползание ее к подножию склона по обводненной кровле многолетнемерзлых пород. Такие оползни-оплывины и небольшие по площади срывы происходят во всех районах Ямала и Гыдана на склонах практически всех элементов рельефа [5]. Наибольшая их активность наблюдается в августе – сентябре после длительных морозящих дождей, когда породы слоя сезонного оттаивания полностью насыщаются водой.

Характер, комплексность и интенсивность проявления современных антропогенно обусловленных геологических процессов на освоенных и осваиваемых территориях при различных типах инженерно-хозяйственной деятельности в значительной мере зависят от влияния, с одной стороны, особенностей природных условий, а, с другой стороны, - интенсивности и типа техногенного освоения территории. При оценке влияния естественных инженерно-геологических условий на интенсивность проявления инженерно-геологических процессов при рассмотрении формирующихся природно-технических систем следует учитывать наличие природных геологических особенностей территории, предопределяющих возможность развития тех или иных типов ЭГП [1]. В первую очередь, необходим анализ сочетания комплекса региональных и зонально-провинциальных природных факторов развития современных геологических процессов. Геоморфологические особенности территории, где широко развиты природные склоны различного генезиса, предопределяют возможность формирования техногенных гравитационных процессов. Распространение на освоенных и осваиваемых территориях многолетнемерзлых пород (ММП) обуславливает ее предрасположенность к развитию антропогенно обусловленных проявлений криогенных склоновых процессов, вызванных техногенным изменением термического режима грунтовых массивов. В приведенных примерах особенности строения геологической среды, геоморфологические условия выступают в качестве региональных природных факторов развития склоновых процессов, а наличие на осваиваемой территории ММП представляет собой естественный зонально-провинциальный природный фактор формирования склоновых процессов. Природные факторы формируют фоновые условия образования и последующего развития техногенно индуцированных склоновых процессов. Необходимо подчеркнуть, что непосредственно на активность и интенсивность проявления современных антропогенно обусловленных геологических процессов на освоенных и осваиваемых территориях оказывают влияние как природные быстро изменяющиеся и триггерные

факторы развития ЭГП, так и непосредственно инженерно-хозяйственная деятельность, во многих случаях также выступающая как триггерный фактор формирования или активизации проявлений инженерно-геологических процессов. Примерами антропогенного триггера являются техногенная подрезка склона, обуславливающая техногенные оползни, или нарушение растительного покрова, провоцирующее термокарстовые процессы.

Развитие масштабных антропогенно обусловленных гравитационных процессов на искусственных склонах регистрируются, в первую очередь, при разработке полезных ископаемых открытым способом. Формирование и активизация антропогенно индуцированных оползней в карьерах и отвалах в настоящее время отмечается при отработке открытым способом уральских медноколчеданных месторождений и апатитовых месторождений Кольского полуострова [1]. Техногенные оползни отмечаются на искусственных склонах, созданных на внешних отвалах карьеров Норильского и Михайловского (КМА) ГОКов [7].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Склоновые геологические процессы / О.В. Зеркаль, Э.В. Калинин, О.С. Барыкина и др. / М. Издательство Перо, 2022. 724 с.
2. Основы геокриологии. ч. 4. Динамическая геокриология / Под ред. Э.Д. Ершова / М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. 688 с.
3. Трофимов В.Т. Зональность инженерно-геологических условий континентов Земли. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2002. 348 с.
4. Трофимов В.Т., Аверкина Г.И. Теоретические основы региональной инженерной геологии / М.: Геос, 2007. 464 с.
5. Трофимов В.Т. Закономерности пространственной изменчивости инженерно-геологических условий Западно-Сибирской плиты. М. Изд-во Моск. ун-та, 1977. 276 с.
6. Лейбман М.О. Криогенные склоновые процессы и их геоэкологические последствия в условиях распространения ледовых покровов: автореф. дис. ...докт. геол.-минерал. н. Тюмень, 2005. 48 с.
7. Экзогенные геологические опасности / Под ред. В.М.Кутепова, А.И.Шеко. М. КРУК. 2002. 348 с.

#### **ОЦЕНКА ВКЛАДА СИБИРСКИХ РЕК (ОБЬ, ЕНИСЕЙ) В РАДИАЦИОННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ АРКТИКИ**

*Бондарева Л.Г.*

Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана Роспотребнадзора,  
г. Мытищи, lydiabondareva@gmail.com

Арктика занимает значительную территорию Северного полушария, обладающая рядом ярких и уникальных климатических, геологических и биофизических особенностей. Для региона характерна крайняя изменчивость климата и погоды, продолжительная темнота зимой и непрерывный световой день летом, преобладание обширных площади вечной мерзлоты и преобладание сезонного ледяного и снежного покрова. Арктика также отличается разнообразием ландшафтов, которые содержат значительное количество и разнообразие пресноводных экосистем. Арктика состоит из богатого и широкого спектра пресноводных экосистем, включая озера, пруды, реки и ручьи, а также включает сложный массив водно-болотных угодий и дельт [1,2]. Этот широкий спектр типов пресноводных экосистем содержит множество местообитаний различной экологической сложности и поддерживает

разнообразие постоянных и временных организмов, приспособленных к жизни в часто очень изменчивой и экстремальной среде. На Арктической территории протекают крупнейшие реки мира, и которые находятся в Сибирском Федеральном округе Российской Федерации – Обь, Енисей, Лена (рис. 1).

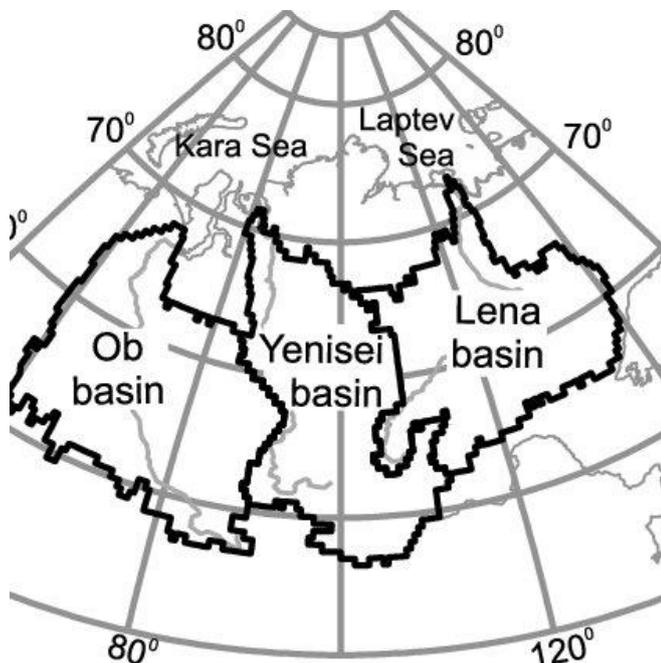


Рис. 1 – Карта расположения бассейнов трек крупнейших рек Сибирского региона: Обь, Енисей, Лена [3]

Более того, эти места обитания и виды живых систем оказывают важные экологические и экономические услуги северным народам, обеспечивая продовольствие (рыбу, водоплавающих птиц и млекопитающих), служат сезонно важными транспортными коридорами (например, ледяные дороги) и являются экологически и культурно важной средой обитания для оседлые и мигрирующие водные виды.

Особую озабоченность представляет поведения техногенных радионуклидов в Арктике как с точки зрения окружающей среды, так и пересмотра практики обращения с радиоактивными отходами. Среди важных вопросов, связанных с радиоактивностью в Арктике, — виды, количества и судьба техногенных радионуклидов, поступающих в Северный Ледовитый океан сибирскими реками. Ответы на эти вопросы противоречивы и остаются в значительной степени неизвестными.

Существует несколько версий действующих и потенциальных антропогенных источников радионуклидов, а также оценки радиологических эффектов, относящиеся к окружающей среде Арктики. Некоторые источники связаны с объективными запланированными радиоактивными выбросами. К ним относятся заводы по переработке ядерного топлива, атомные электростанции в окрестностях Арктики и выпадение радионуклидов в результате испытаний ядерного оружия в атмосфере. Другие являются потенциальными источниками — это замкнутые источники использования радионуклидов, обращение с которыми направлено на предотвращение значительных выбросов в окружающую среду. К ним относятся гражданские и военные ядерные реакторы, хранилища ядерных отходов и разрешенные хранилища радионуклидов в контролируемых зонах, таких как водохранилища «Маяк» или действующие до 2010 года атомные реакторы, в том числе и прямоточные, Горнохимического комбината (рис. 2).



Рис. 2 – Речные системы рек Обь и Енисей с указанием расположения ПО Маяк, Сибирского химического комбината и Горно-химического комбината

Защитная оболочка прудов отстойников может выйти из строя или целостность геологических слоев подземных хранилищ радиоактивных отходов может нарушиться, а это приведет к дополнительным выбросам радионуклидов в открытую окружающую среду (т. е. в районы, не находящиеся под обычным регулирующим контролем) и связанным с этим угрозам повышенного облучения людей и других организмов. В то же время часть глобальных радиоактивных осадков, выпавших на соответствующих водосборных площадях, 6,1 млн. км<sup>2</sup>, также вошла в миграционные процессы в виде твердого и жидкого стока.

Целью настоящего обзора явилось – провести оценку влияния стоков крупнейших рек Сибири (Обь, Енисей) на радиационную ситуацию в Арктике

С учетом того, что наличия источников радиоактивного загрязнения окружающей среды Арктического региона на реке Лена не выявлено, в настоящей работе рассмотрено только влияние рек Обь и Енисей.

#### *Вклад в радиационное загрязнение Арктики сносами реки Обь*

Обь впадает в Карское море со среднегодовым стоком около 390 км<sup>3</sup> (Воскресенский, 1963). Общий годовой сток наносов Оби ( $19,9 \cdot 10^6$  т) примерно на 1/3 меньше ( $30,2 \cdot 10^6$  т) стока растворенных химических компонентов (Нестерова, 1960). Устье реки Обь (она же Обская губа) представляет собой сложный район протяженностью 800 км и шириной от 35 до 82 км при средней глубине 10-12 метров. Тазовский лиман в устьях рек Таз и Пур образует восточное продолжение Обского лимана на полпути к Карскому морю. Важной характеристикой Обского лимана является то, что в течение всего года южная часть (южнее 69° с.ш., включая Тазовский лиман) содержит только пресную воду. Даже в межледный зимний период и приливно-отливные течения сохраняется чистый сток 1-3 см/сек в сторону Карского моря (Иванов, 1980).

В радиационное загрязнение реки Обь считается, что может влиять достаточно много источников радиоактивности. Крупнейшим источником искусственных радиоактивных элементов, рассеянных по всему миру в окружающей среде, являются радиоактивные осадки в результате испытаний ядерного оружия в атмосфере. Большая часть атмосферных испытаний проводилась в конце 50-х и начале 60-х годов, до подписания Договора об ограниченном запрещении ядерных испытаний 1963 года.

Таких полигонов два в непосредственной близости от водораздела Оби. Одним из них является ядерный объект на острове Новая Земля к северу от устья Оби (рис. 4), где Советский Союз провел 90 атмосферных испытаний, в том числе крупнейший атмосферный ядерный взрыв в истории, взрыв мощностью 50 мегатонн в 1961 году и 42 подземных взрыва.

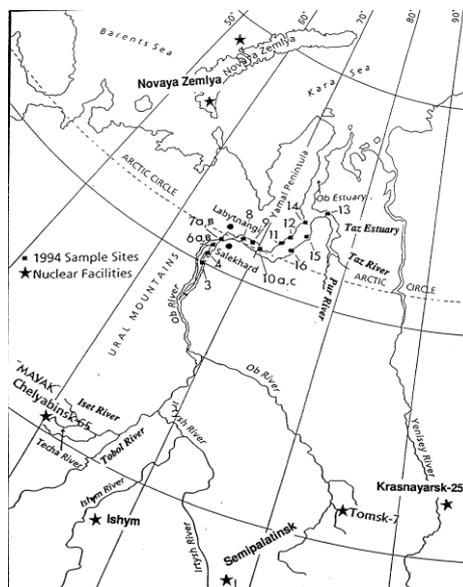


Рис. 3 – Карта реки Обь и точки отбора проб Российской-Американской экспедиции "Ob Estuary -1994" [4].

Второй – Семипалатинский испытательный полигон, расположенный в верховьях реки Иртыш, южного притока Оби, где было проведено несколько сотен ядерных испытаний (воздушных, наземных и подземных), как в военного, там и мирного предназначения. Эти два участка внесли существенный вклад в глобальное выпадение осадков и, возможно, в близкое выпадение осадков в бассейне реки Обь (рис. 4). Кроме того, в верховьях Оби расположены Челябинск-65 (ПО «Маяк»), предприятие по производству ядерного оружия, Сибирский радиохимический завод (Томск-7) и Ишимский урановый рудник.

Для оценки вклада радиоактивного загрязнения и выявления источника поступления радионуклидов в Арктику посредством выноса реки Обь, международными исследователями использовался значительный перечень методов. В это перечне были включены методы исследования, результаты которых могли бы доказать поступление радиоактивных загрязнений речной водой и, тем или иным образом установить, какой источник поступления радионуклидов доминирует в этом случае.

Одним из этих методов явился метод масс-спектрометрии, с помощью которого определелось происхождение загрязнения плутонием путем расчета отношения  $^{240}\text{Pu}:^{239}\text{Pu}$ . Скипперуд и др. [5, 6] обнаружили, что в отложениях Обского лимана основным источником плутония были глобальные выпадения в результате испытаний ядерного оружия в атмосфере, а не деятельность, проводимая на ПО «Маяк». Однако Линд и соавт. [7] обнаружили, что в пробах воды нижних участков Оби, эстуария и моря, то основным источником, вероятнее, является ПО «Маяк». Линд и его коллеги считают, что их открытие отражает тот факт, что плутоний, полученный из глобальных выпадений, и источники плутония с низким соотношением  $^{240}\text{Pu}:^{239}\text{Pu}$  проявляют различное поведение в окружающей среде, что указывает на то, что плутоний, полученный из источника глобальных выпадений, является реакционноспособным с частицами, тогда как негражданские, неглобальные источники выпадения плутония (например, с ПО «Маяк») были более мобильными.

### *Вклад в радиационное загрязнение Арктики сносами реки Енисей*

Южной границей Енисейского залива принято считать пересечение острова Диксона и северных мысов островов Сибирякова и Олений на  $73,5^\circ$  северной широты, а это более 200 притоков в водосборе. Расход воды, измеренный на гидрометрическом посту в Игарке, примерно в 700 км от устья реки, измеряется с 1936 г. Среднегодовой сток составляет около  $580 \text{ км}^3$ , причем наибольший расход (около 80%) приходится на период с мая по сентябрь [8]. Как настоящий арктический эстуарий, этот район скован льдом в течение нескольких месяцев в году. Выход эстуария соединяется с Карским морем, площадь которого составляет  $993\,000 \text{ км}^2$  [9, 10].

Исследование распределения техногенных радионуклидов между формами нахождения в пробах донных отложений и зависимости от расстояния от места сброса радионуклидов проводились в поверхностных слоях донных отложений (0–10 см), отобранных в ближней зоне влияния ГХК на расстоянии до 15 км от места сброса и проб донных отложений, отобранных на расстоянии 2668 км вниз по течению от г. Красноярск с различной глубины залегания.

Выявлено, что в ближней зоне влияния ГХК [11]:

1) легкомигрирующей форме (ассоциированные с обменной фракцией и карбонатами донных отложений):  $^{60}\text{Co}$  – от 0,7 до 5,7%,  $^{137}\text{Cs}$  – от 0,5 до 5%,  $^{152}\text{Eu}$  – от 1,8 до 8,4%,  $^{241}\text{Am}$  – от 1,9 до 14%;

2) потенциально мигрирующей форме (ассоциированной с оксидами-гидроксидами Fe–Mn и органическими веществами донных отложений) и способных оставаться в донных отложениях длительное время, но которые могут трансформироваться в легко мигрирующую форму в результате процессов разложения этих фракций:  $^{60}\text{Co}$  – от 8,8 до 35%,  $^{137}\text{Cs}$  – от 0,7 до 12%,  $^{152}\text{Eu}$  – от 27 до 74%,  $^{241}\text{Am}$  – от 28,2 до 75%;

3) немигрирующей форме, встроенной в первичные и вторичные минеральные структуры, которые состоят главным образом из грубообмоложенных минеральных фрагментов с включениями глинистых минералов, способных переноситься на некоторые расстояния только в результате адвекции:  $^{60}\text{Co}$  – от 62 до 85%,  $^{137}\text{Cs}$  – от 83 до 95%,  $^{152}\text{Eu}$  – от 20 до 65%,  $^{241}\text{Am}$  – от 16 до 70%. Полученные значения 65 и 70% для  $^{152}\text{Eu}$  и  $^{241}\text{Am}$  соответственно во фракции V + VI, на наш взгляд, связаны с наличием микрочастиц, содержащих значительные количества радионуклидов.

Анализ верхних слоев донных отложений (0–10 см, 10–15 см), отобранных в районе Диксона, показал наличие только естественных радионуклидов ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ ) и присутствие изотопа  $^{137}\text{Cs}$  в количестве  $\sim 45 \text{ Бк/кг}$  сырого веса, который полностью находился в неразложившемся остатке. Составлен ряд убыли миграционной способности техногенных радионуклидов в пробах донных отложений, отобранных на расстоянии 2584 км от сбросов ГХК (2668 км от г. Красноярск) [11]:

26–29 см:  $^{152}\text{Eu} > ^{60}\text{Co} > ^{137}\text{Cs}$ ;

29–31 см:  $^{152}\text{Eu} > ^{60}\text{Co} > ^{137}\text{Cs}$ ;

41–44 см:  $^{152}\text{Eu} > ^{137}\text{Cs}$ .

Установлено, что при удалении от места сброса распределение между мигрирующими формами отличается незначительно. Основной вклад вносят физико-химические свойства радионуклидов – период полураспада. Кроме того, существенную роль играет гидрологический режим, связанный с водностью и скоростью потока основного русла реки и, следовательно, высокой скоростью обмена водного потока и донных отложений. В связи с этим часть радионуклидов вымывается из донных отложений в виде растворимых соединений или легких минеральных частиц, составляющих толщу донных отложений, оставляя при этом наиболее тяжелую фракцию минеральных частиц.

Что касается содержания техногенных радионуклидов в донных отложениях эстуария реки Енисей. В устье Енисея в слое осадков 0–3 см было подсчитано

содержание:  $^{137}\text{Cs}$  - 580 Бк/м<sup>2</sup>, а в слое 0-17 см - 5200 Бк/м<sup>2</sup>. Количества  $^{239,240}\text{Pu}$  были очень низкими и колебались от 2,5 до 46 Бк/м<sup>2</sup>. Отношение активностей плутония  $^{238}\text{Pu}/^{239,240}\text{Pu}$  было рассчитано для проб отложений с измеримыми количествами  $^{238}\text{Pu}$ . Соотношение варьировалось от 0,23 до 0,083 [12, 13].

Таким образом, уровни содержания антропогенных радионуклидов в морях российской Арктики низки по сравнению с потенциальными источниками загрязнения и в основном могут быть образованы в результате глобальных выпадений, черномыльских выпадений и, возможно, выбросами заводов по переработке ядерного топлива в Западной Европе. Результаты многолетних исследований эстуариев реки Оби и реки Енисей не дали точного заключения относительно выноса радионуклидов этими реками радиоактивных веществ, образующихся в ходе деятельности предприятий ядерно-топливного цикла: ПО «Маяк», СХК, ГХК. Повышенные концентрации  $^{137}\text{Cs}$ , измеренные в эстуариях реки Енисей, обусловлены речным переносом с большой площади водосбора.

В целом исследования по стоку сибирских рек в Карское море, представляют собой всестороннее современное исследование морской среды Арктики, находящейся под влиянием значительных выносов речных наносов, в том числе и взвешенного вещества.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lewis, E.L.; Jones, E.P.; Lemke, P.; Prowse, T.D.; Wadhams P. *The Freshwater Budget of the Arctic Ocean*. Kluwer Academic, Dordrecht, 2000, 623 p.
2. Chernov, Y.I.; Matveyeva, N.V. Arctic ecosystems in Russia. In *Ecosystems of the World 3: Polar and Alpine Tundra*; Ed. Wielgolaski F.E.; Elsevier, Amsterdam, 1997, p. 361-507.
3. Proshutinsky, A.; Polyakov, I.; Johnson, M. Climate states and variability of Arctic ice and water dynamics during 1946 – 1997// *Polar Res.* 1999.18(2). 135 – 142.
4. Varotsos, C.A.; Krapivin, V.F.; Mkrtchyan, F.A.; Xue, Y. Optical Spectral Tools for Diagnosing Water Media Quality: A Case Study on the Angara/Yenisey River System in the Siberian Region// *Land*. 2021. 10. 342. <https://doi.org/10.3390/land10040342>
5. Skipperud, L.; Oughton, D.H.; Fifield, L.K.; Lind, O.C.; Tims, S.; Brown, J.; Sickel, M. Plutonium isotope ratios in the Yenisey and Ob estuaries// *Appl. Radiat. Isot.* 2004. 60. 589-593
6. Skipperud, L.; Brown, J.; Fifield, L.K.; Oughton, D.H.; Salbu, B. Association of plutonium with sediments from the Ob and Yenisey Rivers and Estuaries// *Journal of Environmental Radioactivity*. 2009. 100. 290-300.
7. Lind O. Ch.; Oughton, D. H., Salbu, B.; Skipperud, L.; Sickel, M. A.; Brown, J. E.; Fifield, L. K.; Tims, S. G. Transport of low 240Pu/239Pu atom ratio plutonium-species in the Ob and Yenisey Rivers to the Kara Sea// *Earth and Planetary Science Letters*. 2006. 251 (1-2). 33- 43.
8. Kulakov, M.; Stanovoy, V. Application of SCRUM for Modeling Fresh Water Spreading in the Kara Sea, in *Models for Prediction of Contaminant Transport in the Yenisei Estuary*; Ed. by M. Novitsky, I. Karms, and J. E. Brown, Deliverable No. 6 for Project Establishment. 27–44. 2003.
9. Pavlov, V.K.; Pfirman, S.L. Hydrographic structure and variability of the Kara Sea, Implications for pollutant distribution// *Deep-Sea Res.* 1995. 42. 1369-1390.
10. Stephantsev, L.; Shmelkov, B. Some peculiarities of the hydrological structure on a meridional section Kara Sea - Yenisei Estuary - Yenisei River, in Stein R. Stephanets O.V. (Eds.), *The German-Russian project on Siberian River Run-off, SIRRO., Scientific cruise report of the Kara Sea Expedition 'SIRRO 2000' of RV 'Akademik Boris Petrov' and first results*. Ber. Polarforschung 393. 2001. 6-14.

11. Bondareva L., Rakitskii V., Tananaev I. The behavior of natural and artificial radionuclides in a River System: The Yenisei River, Russia as a case study. In: Water quality; Ed. by Hlanganani Tutu. 2017, p. 361-375. ISBN: 978-953-2882-3.
12. Standring W.J.F.; Brown, J.E.; Dowdall, M.; Korobova, E.M.; Linnik, V.G.; Volosov, A.G. Vertical distribution of anthropogenic radionuclides in cores from contaminated floodplains of the Yenisey River// *J. of Envir Radioac.* 2009. 100(12), 1109-1120
13. Standring, W.J.F.; Stepanets, O.; Brown, J.E.; Dowdall, M.; Borisov, A.; Nikitin A. Radionuclide contamination of sediment deposits in the Ob and Yenisey estuaries and areas of the Kara Sea// *J. of Envir Radioac.* 2008. 99(4). 665-679

## **НОВЫЕ ПОДХОДЫ К РЕГИОНАЛЬНОМУ ПРОГНОЗИРОВАНИЮ КРУПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СТРАТЕГИЧЕСКИХ МЕТАЛЛОВ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИИ**

*Волков А.В., Лобанов К.В., Галямов А.Л.*

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии  
РАН, г. Москва, lobanov@igem.ru

Сегодня космонавтика – это, прежде всего, исследования в фундаментальной науке, которые, в свою очередь, создают прикладные технологии. В докладе рассмотрены новые подходы к региональному прогнозированию крупных месторождений стратегических металлов в арктической зоне России на основе космических технологий. Выделено несколько направлений: многозональная космическая съемка (ASTER, Landsat и др., (рис. 1)); применение глобальных моделей глубинного строения земной коры и верхней мантии (на основе гравитационных данных спутника GOCE) в металлогеническом анализе; визуализация металлогенических данных.

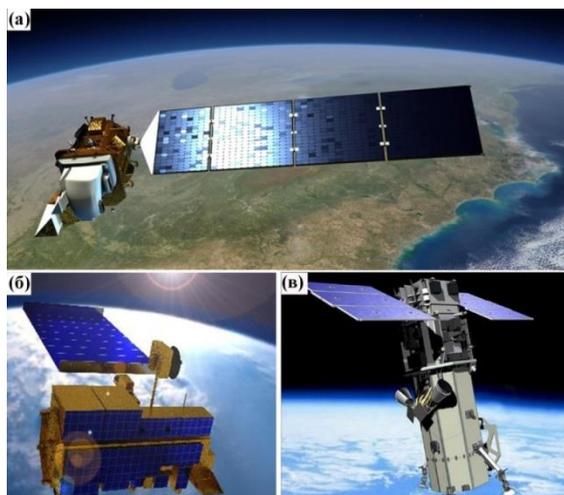


Рис. 1 - Космические аппараты для многозональной съемки: а – Landsat 9 (1 год на орбите), б – платформа ASTER (22 года на орбите), в – WorldView-3 (8 лет на орбите)

Современные прогнозно-металлогенические построения на основе космических технологий невозможны без подготовки ГИС-проекта, сочетающего материалы дистанционного зондирования Земли и базу данных месторождений полезных ископаемых. При ГИС-анализе применяются известные методические приемы, заложенные в аналитический аппарат ARCMAP, MAPINFO и других картографических

математико-аналитических систем, а также разработанные авторами новые методические подходы. Наиболее эффективными показали себя устоявшиеся методы выявления и оценки пространственных связей (растровой алгебры, нечеткой логики, вероятностного анализа и др.). В результате создаются прогнозно-металлогенические карты, задающие направление геологоразведочных работ, открываются новые месторождения.

**Многозональная космическая съемка.** Программа «Landsat» – продолжительный проект по дистанционному зондированию Земли из космоса (с 1972 г. по настоящее время). Последний из спутников программы Landsat 9 выведен на орбиту 27 сентября 2021 г. Landsat 9 (рис. 1а) — партнерство между НАСА и Геологической службой США – продолжает важнейшую роль программы Landsat в мониторинге, понимании и управлении земельными ресурсами, необходимыми для поддержания человеческой жизни. Спутники Landsat сделали огромное количество снимков поверхности Земли, которые лежат в основе многих научных исследований, в том числе и в области геологии и металлогении.

С 2001 г. для выбора перспективных площадей в труднодоступных, удаленных и пустынных районах успешно применяется космическая съемочная система TERRA (платформа ASTER) – результат сотрудничества между NASA и японской METI (рис. 1б). Одна из главных областей применения ASTER – поиск и обоснование перспективных площадей под геолого-разведочные работы на рудные и нерудные полезные ископаемые. Этот спутник повысил точность дистанционных прогнозных карт как за счет пространственного разрешения, так и с точки зрения разнообразия минералов, которые могут быть на них нанесены. Средний ИК диапазон оптимален для распознавания минералов, в особенности гидратированных минералов в глинистых почвах, а коротковолновые ИК диапазоны – для идентификации оксидов железа, глин, слюд, железомagneиновых силикатов. Создание трехмерных изображений реализовано посредством получения стереопар – снимков одних и тех же участков поверхности в видимом и инфракрасном диапазонах с небольшим сдвигом. Поскольку данные спутника охватывают 99% земной суши, он стал востребован для оценки геологии и металлогении отдаленных районов. Новая эра наступила в 2014 г. с вводом в эксплуатацию многоспектрального спутника высокого разрешения WorldView-3 (рис. 1в), который обеспечивает высокое спектральное разрешение в 16 диапазонах и позволяет точнее идентифицировать более широкий диапазон минералов (по сравнению с ASTER).



Рис. 2 - Вид с вертолета. Аргиллизитовые «шляпы» рудопроявления Комплексное, Кайэнмываамский рудный узел, Центральная Чукотка

В пределах вулканических поднятий (Кайэнмываамского, Пепенвеемского и др.) внутренней и восточной фланговых зон чукотской части позднемиоценового окраинно-континентального Охотско-Чукотского вулканического пояса (ОЧВП) на территории

Чукотского АО выявлены многочисленные изометричные (овальные) в плане аргиллизитовые «шляпы» диаметром от 200 до 900 м, сложенные красными и светло-серыми глинистыми образованиями (рис. 2). Аргиллизитовые «шляпы» – важный прогнозный критерий двух типов оруденения: на близповерхностном уровне – эпитермального Au-Ag, а на более глубинном – Cu-Mo-Au-порфирового [1, 2]. Многозональная космическая съемка, в частности ASTER, позволит не только выявить новые аргиллизитовые «шляпы» на площади ОЧВП, но и определить их состав и зональность. Следует отметить благоприятные условия для космической съемки – отсутствие густой древесной растительности (тайги).

**Глобальные модели глубинного строения земной коры и верхней мантии.** Полученные космическим аппаратом GOCE (*Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer*) гравиметрические данные стимулировали развитие глобальных моделей глубинного строения земной коры и верхней мантии, способствовавших пониманию металлогенической специализации крупных рудных районов и провинций. Космический аппарат GOCE (массой 1 т) был выведен с российского космодрома Плесецк ракетой-носителем «Рокот» на низкую солнечно-синхронную орбиту 17 марта 2009 г. GOCE — спутник Европейского космического агентства (ESA), сочетающий гравиразведку и GPS-трекинг для определения среднего гравитационного поля Земли с беспрецедентными точностью и пространственным разрешением [3].

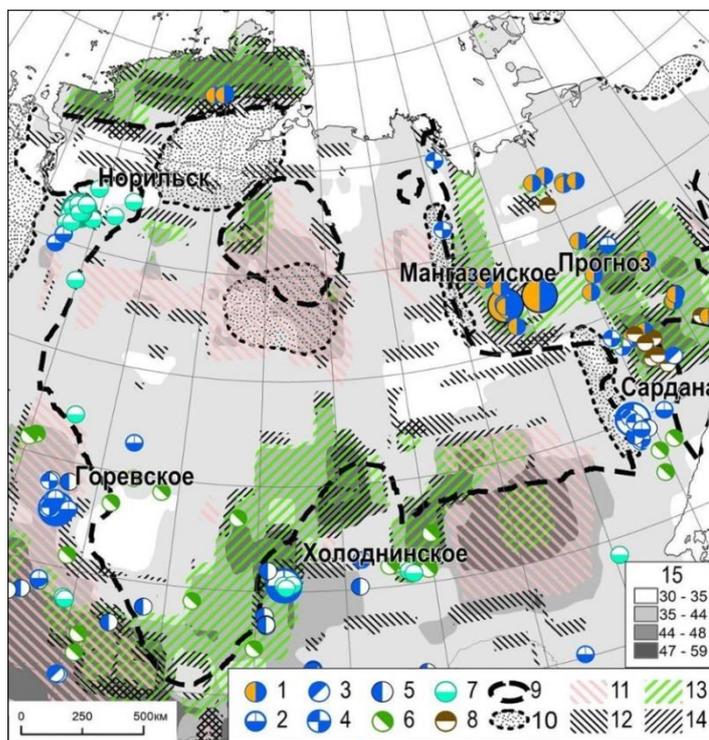


Рис. 3 - Размещение полиметаллических месторождений над областями утолщенных среднего «гранитового» и нижнего «базальтового» слоев земной коры в обрамлении Сибирской платформы (использованы данные из работы [4]): 1–7 – Типы месторождений: 1 – серебро-полиметаллический, 2 – колчеданно-полиметаллический в терригенных породах, 3 – свинцово-цинковый вулканогенно-карбонатный стратиформный, 4 – свинцово-цинковый стратиформный в карбонатных породах, 5 – свинцово-цинковый жильный, 6 – медно-колчеданный в вулканогенно-осадочных породах, 7 – медно-никелевый платиноносный, 8 – олово-серебро-полиметаллический. 9 – Сибирская платформа, 10 – прогибы осадочной коры; 11, 12 – утолщенная средняя кора и ареалы ее изменчивости, 13, 14 – утолщенная нижняя кора и ареалы ее изменчивости, 15 – общая мощность консолидированной коры (в км)

В результате миссии GOCE (2009–2013 гг.) составлена новая сверхточная гравитационная карта Земли. Кроме того, более точно определена форма планеты, измерены сила тяготения в различных регионах и плотность земной коры. Создаваемые модели земной коры на основе сейсмических данных и разрезов были согласованы с наблюдаемым GOCE гравитационным полем. Проект GEMMA, также финансируемый ESA, выполнил оценку границы между земной корой и мантией (Мохо) на основе полученных GOCE данных.

В 2022 г впервые результаты современных исследований литосферы на основе гравитационных данных спутника GOCE применены для сравнительного металлогенического анализа геодинамических обстановок формирования Pb-Zn месторождений в складчатом обрамлении Сибирской платформы (рис. 3). Выявлено сходство геодинамических обстановок формирования Pb-Zn месторождений центрального Таймыра и Западного Верхоянья. Показано, что рудные районы Таймыра и Западного Верхоянья приурочены к глубоким перикратонным рифтогенным прогибам на пассивной континентальной окраины и могут быть объединены в единый серебро-полиметаллический Таймыро-Западно-Верхоянский пояс [5]. Полученные результаты подтверждают потенциальную перспективность Pb-Zn месторождений Таймыра и необходимость их дальнейших исследований.

В 2022 г выполнено изучение закономерностей размещения полиметаллических месторождений в складчатом обрамлении Восточно-Европейской платформы [5]. Выявлено сходство геодинамических обстановок формирования Pb-Zn месторождений Новой-Земли, о. Вайгач, Пай-Хоя и северной части Полярного Урала. Показано, что перечисленные выше рудные районы приурочены к глубокому перикратонному рифтогенному прогибу. Полученные результаты подтверждают потенциальную перспективность Pb-Zn месторождений о. Вайгач, Пай-Хоя и северной части Полярного Урала и необходимость их дальнейших исследований.

**Визуализация металлогенических данных.** Космические технологии успешно применяются для визуализации металлогенических данных (ВМД), так как обеспечивают большую обзорность и объективность. ВМД — важная составная часть металлогенического анализа, ориентированного на обработку больших объемов разноплановой картографической информации и цифровых баз данных. Особенно важна визуализация конечных результатов металлогенического анализа — составление качественных прогнозных карт. В металлогеническом анализе наиболее часто используется гибридная презентационно-исследовательская форма визуализации данных, направленная на одновременное отображение большого числа разнотипных данных. Кроме того, она может быть связана с инфографикой, которая представляет собой комбинацию иллюстраций, рисунков, таблиц и текста.

Продемонстрируем возможности гибридной ВМД на примере Арктики. Представленная на рис. 4 карта, составленная на основе данных GOCE [6], показывает, что западная и восточная части российской Арктики, как и Циркумарктического пояса, в целом отчетливо различаются в термальных полях верхней мантии на глубине 60 км. Восточная (меньшая) часть находится в высокотемпературной области мантии, а западная – в низкотемпературной (рис. 4). Следует также отметить однородность термального поля в каждой из арктических частей.

Рассмотренная карта визуализирует глобальные особенности распространения месторождений стратегических металлов в Арктике. Карта наглядно демонстрирует, что месторождения стратегических металлов восточной части Арктики принадлежат к Тихоокеанскому рудному поясу. Концепция глобальной металлогенической однородности Тихоокеанского рудного пояса [8] предполагает широкое развитие аналогов североамериканских месторождений в его чукотском сегменте. Поэтому полоса золоторудных и медно-порфириновых месторождений, широко развитых на Аляске и в Британской Колумбии, практически без изменений продолжается и на

территории Чукотки (см. рис. 4). Границы Тихоокеанского рудного пояса в Арктике получили дополнительное обоснование в термальной модели верхней мантии. Необходимо отметить, что металлогения западной части Арктики по обе стороны Северного Ледовитого океана характеризуется большой однородностью, что обусловлено сходными геодинамическими обстановками формирования месторождений [9].

Таким образом, ВМД способна демонстрировать относительные размеры металлогенических таксонов (зон, поясов, районов), их схожесть и различия, а также обеспечивает спланированный подход к поиску нужной информации и позволяет идентифицировать закономерности размещения месторождений.

**Выводы.** Применение космических технологий имеет большое значение и для регионального прогноза новых месторождений стратегических металлов в отдаленных слабо изученных районах Арктической зоны России. Одна из главных областей применения многозональной космической съемки – поиск и обоснование перспективных площадей под геологоразведочные работы на рудные и нерудные полезные ископаемые.

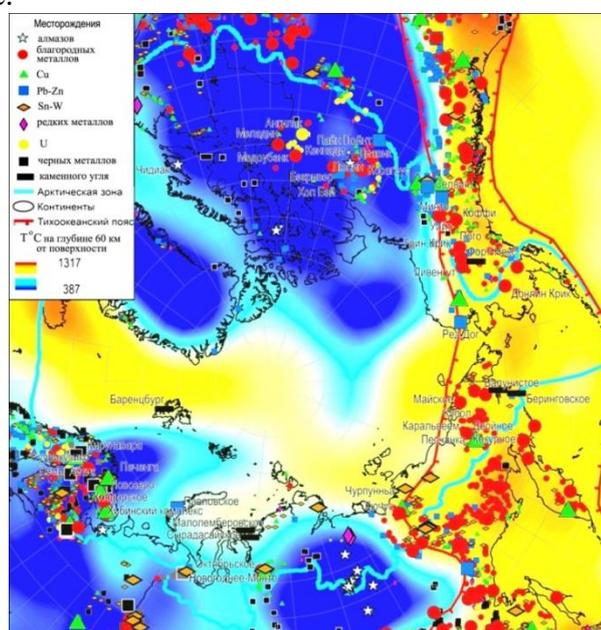


Рис. 4 - Карта температуры верхней мантии на глубине 60 км и распределение основных месторождений и перспективных рудопроявлений стратегических металлов в Арктике (составлена с использованием материалов [7])

Полученные космическим аппаратом GOCE гравиметрические данные стимулировали развитие глобальных моделей глубинного строения земной коры и верхней мантии, способствовавших пониманию металлогенической специализации рудных районов. На основе применения этих моделей выявлены новые закономерности размещения и особенности формирования месторождений различных формационных типов, что позволяет оконтурить перспективные площади для постановки геологоразведочных работ.

Визуализация металлогенических данных способна демонстрировать относительные размеры металлогенических таксонов (зон, поясов, районов), их схожесть и отличия, обеспечивает спланированный подход к поиску нужной информации, а также позволяет идентифицировать закономерности размещения месторождений.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (грант №13.1902.21.0018, соглашение №075-15-*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cook D.R., Hollings P., Walshe J.L. Giant Porphyry Deposits: Characteristics, Distribution, and Tectonic Controls // *Econ. Geol.* 2005. Vol. 100. P. 801–818.
2. Sillitoe R.H. Porphyry Copper Systems // *Econ. Geol.* 2010. Vol. 105. P. 3–41.
3. Ключиков А.А. Новая эра в изучении гравитационного поля Земли // *Науч. тр. Ин-та астрономии РАН.* 2018. Т. 2. С. 20–25.
4. Laske G., Masters G., Reif C. CRUST 2.0: A new global crustal model at 2×2 degrees. Available at: <http://igppweb.ucsd.edu/~gabi/rem.html>.
5. Галямов А.Л., Волков А.В., Лобанов К.В. Глубинное строение литосферы и размещение полиметаллических месторождений в складчатом обрамлении сибирской и восточно-европейской платформ в свете современной геофизической модели земной коры // *Исследование Земли из космоса.* 2023. № 1. С. 3–23.
6. Cammarano F., Guerri M. Global thermal models of the lithosphere. *Geophys. J. Intern.* 2017, vol. 210, pp. 56 Cammarano F., Guerri M. Global thermal models of the lithosphere // *Geophys. J. Intern.* 2017. Vol. 210. P. 56–72.
7. Pasyanos M.E., Masters T.G., Laske G. et al. LITHO1.0: an updated crust and lithospheric model of Earth // *J. Geophys. Res. Solid Earth.* 2014. Vol. 119. No. 3. P. 2153–2173.
8. Волков А.В., Галямов А.Л. Геофизическая модель земной коры, геодинамические обстановки и перспективы открытия месторождений золота карлинского типа в арктической зоне Республики Саха (Якутия) // *Арктика: экология и экономика.* 2020. № 1 (37). С. 82–94.
9. Волков А.В., Галямов А.Л., Лобанов К.В. Геодинамические обстановки формирования месторождений стратегических металлов в Арктической зоне России // *Арктика: экология и экономика.* 2019. № 2 (34). С. 109–119.

#### НОВЫЙ ТИП ПАЛЛАДИЕВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ НА ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТАХ СГ-3

Горностаева Т.А.<sup>1\*</sup>, Лобанов К.В.<sup>2</sup>, Мохов А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, г. Москва, tagorn8@mail.ru\*

<sup>2</sup>Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г. Москва

Кольская сверхглубокая скважина (СГ-3) – самая глубокая скважина в мире, пробурена в кристаллических породах целенаправленно с полным отбором керна в рамках советской программы «Изучение недр Земли и сверхглубокое бурение». При этом были предприняты специальные меры по его сохранности и предотвращению воздействия на него бурильного оборудования. В результате бурения, которое проводилось в период с 1970 по 1991 год, была достигнута глубина 12 262 метра. СГ-3 остаётся единственной в мире сверхглубокой скважиной пробуренной для изучения эндогенных процессов в недрах Земли. На основании учёта сочетаний рудных элементов, минеральных форм их совместного нахождения и парагенетического анализа было выделено шесть типов такой рудной минерализации [1, 2]: 1 – сульфидная медно-никелевая и платинометальная, 2 – сульфидная железная (колчеданная), 3 – оксидная железная, 4 – оксидная железо-титановая, 5 – сульфидная медно-цинковая (полиметаллическая) и 6 – самородная золотая.

Данные по формам выделения элементов платиновой группы (ЭПГ) на глубоких горизонтах скважины, сложенных породами архейского комплекса, практически отсутствовали. Лишь в некоторых образцах сульфидов были определены валовые содержания до 0.3 г/т Pd и до 0.03 г/т Ru. Тем не менее, собственные минеральные формы ЭПГ обнаружены не были. Было высказано предположение [3], что ЭПГ локализованы в форме твёрдых растворов в минералах ряда кобальтин-герсдорфит.

Целью настоящего исследования являлся поиск возможных субмикронных выделений собственных минералов ЭПГ.

Использование современной аналитической аппаратуры позволило на принципиально новом уровне локальности обнаруживать и диагностировать минералы ЭПГ на глубоких горизонтах СГ-3.

Для визуализации и ЭДС-анализа использовались сканирующие электронные микроскопы (СЭМ) JSM-5610+INCA-450, Tescan MIRA-3 с энергодисперсионным спектрометром (ЭДС) Oxford X-Max100 Aztec. Картины дифракции на отражение (EBSD - electron backscattering diffraction) были получены в микроскопе FIB-SEM TESCAN S9000G, оснащённым для этих задач системой AZtecCrystal. Для FIB-полировки были использованы ионы галлия.

Первая находка собственно минерала ЭПГ была сделана нами при изучении аншлифа амфиболита с глубины 9630 м [4]. Была выявлена богатая и разнообразная минерализация благородных и редких металлов. Для вмещающего амфиболита характерна разнообразная наложенная акцессорная самородная, теллуридная, сульфотеллуридная и сульфидная (Au, Ag, Pd, Bi, Cu, Pb, Zn, Sb, Fe) минерализация. В частности была обнаружена палладиевая фаза, образующая микронные выделения в ассоциации с висмутином и сульфотеллуридом висмута. Однако так как её размеры составляли менее 1 микрона и в зону анализа попадали фазы, находящиеся в тесном сростании с ней, то однозначно диагностировать её не удалось. Позднее был обнаружен пластинчатый палладий содержащий кристалл, слегка выступающий из окружающей породы. Для того чтобы диагностировать его, было проведено травление образца ионами галлия для вскрытия его в матрице амфиболита. На фото кристалла размером 5x1 мкм после травления (рис. 1) хорошо видно, что он врастает глубоко в матрицу амфиболита. Энергодисперсионный рентгеновский спектр помимо пиков Mg, Al, Si, Fe и O возбуждённых от силикатной матрицы, в качестве основных содержал пики Pd, Te и Bi (рис.2). Количественный анализ с усреднением по 4 точкам дал следующие содержания этих элементов – Pd 25.14±0.29; Te 25.14±0.55; Bi 38.59±0.85 мас.%.

Атомные соотношения Pd:Te:Bi в обнаруженном минерале были близки к 1:1:1, что одинаково подходило к двум минералам — майченериту PdBiTe и меренскииту Pd(Te,Bi)<sub>2</sub>.

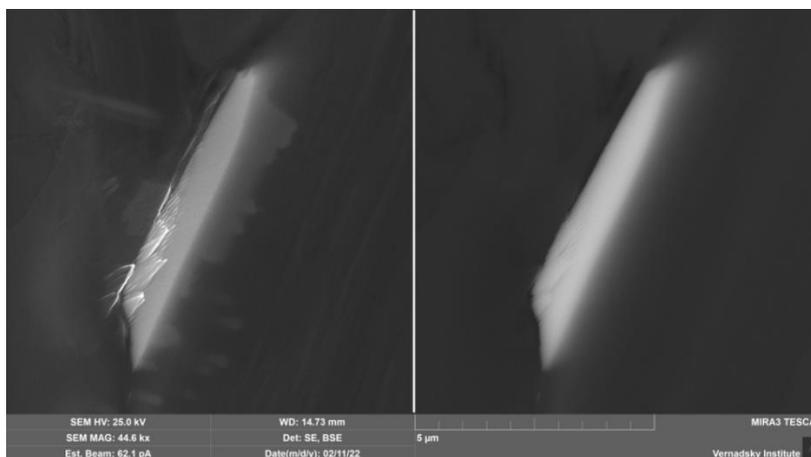


Рис. 1 – Изображение кристалла меренскиита с глубины 9630 м во вторичных электронах (SE, слева) и в отражённых электронах (BSE, справа)

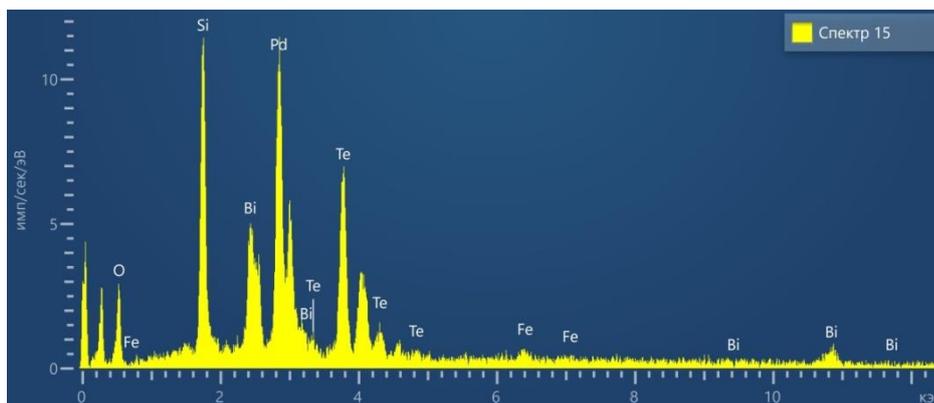


Рис. 2 – Энергодисперсионный рентгеновский спектр от кристалла меренскиита с глубины 9630 м (EDS)

Пересчёт этих составов на формульные коэффициенты приводил к одинаково удовлетворительным формулам для майченерита и меренскиита. Причём на этом этапе майченерит был предпочтительнее, поскольку для меренскиита характерны заметно меньшие содержания Вi. Для более точной диагностики обнаруженного кристалла был использован метод дифракции электронов на отражение (EBSD) (рис. 3). В результате были получены картины дифракции со средним угловым отклонением  $CUO = 0.26$  по 12 линиям, что позволило с высокой степенью достоверности диагностировать кристалл как меренскиит с округлённой формулой  $Pd_{1.00}(Te_{1.21}Bi_{0.79})_{2.00}$ . Причём во всех точках исследованной частицы было зафиксировано одно и то же сечение кристаллической решётки, что подтвердило монокристалльный характер фазы наблюдавшийся визуально.

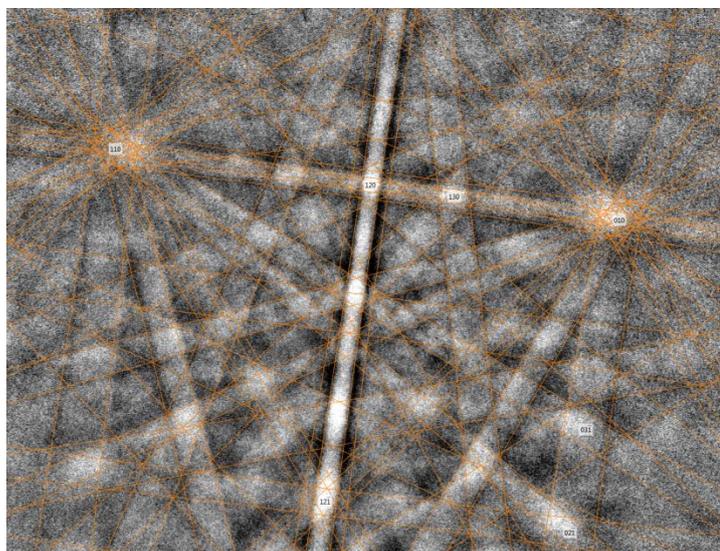


Рис. 3 – Картина дифракции на отражение от кристалла меренскиита с глубины 9630 м (EBSD)

Можно предположить, что anomalно висмутовый меренскиит СГ-3 образовывался при необычно пониженных температурах из флюидов резко обогащенных висмутом. Об этом говорит обилие висмутовой минерализации выявленной нами в изученных образцах. Наряду с самородным висмутом, висмутином, широким спектром теллуридов и сульфотеллуридов висмута (цумоит, теллуrowисмутит, пильзенит, жозеит, алексит), нами были встречены точно не установленные Au-Bi и Ag-Bi фазы в тесных сростаниях с, предположительно, котольскитом. Сопутствующая благороднометаллическая минерализация была

представлена самородными серебром и золотом, аргентитом и гесситом. Обычные сульфиды из этой ассоциации представлены пирротинном, халькопиритом, сфалеритом, галенитом и антимонитом.

Таким образом, данную тесную геохимическую ассоциацию благородных (Au, Ag, Pd) и редких (Bi, Te) элементов нельзя причислить ни к сульфидному медно-никелевому и платинометалльному, ни к самородно-золотому типам рудной минерализации, отмеченным ранее в породах СГ-3. Обращает на себя внимание полное отсутствие, в пределах чувствительности метода, в составе сопутствующих данной минерализации сульфидов железа и никеля. В отличие же от описанного ранее самородно-золотого типа рудной минерализации, самородное золото в изученных нами образцах тесно ассоциирует с самородным висмутом, теллуридами и сульфотеллуридами висмута и гесситом. Можно утверждать, что был обнаружен новый для пород СГ-3 тип рудной минерализации – благороднометалльно Au-Ag-Pd редкоэлементный Bi-Te.

Подтверждением наличия такой минерализации служит и находка ещё одного кристалла меренскиита в керне К-10097 в зерне железистого кварцита (рис. 4). В его составе содержалось гораздо меньше висмута, формула  $Pd_{1.00}(Te_{1.59}Bi_{0.42})_{2.00}$  (рис. 5).

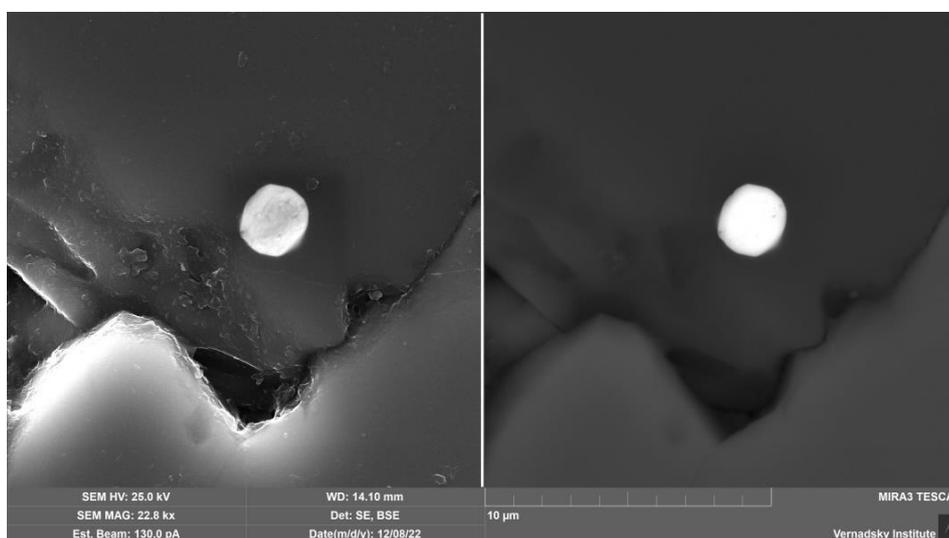


Рис. 4 – Изображение кристалла меренскиита с глубины 10097 м во вторичных электронах (SE, слева) и в отражённых электронах (BSE, справа)

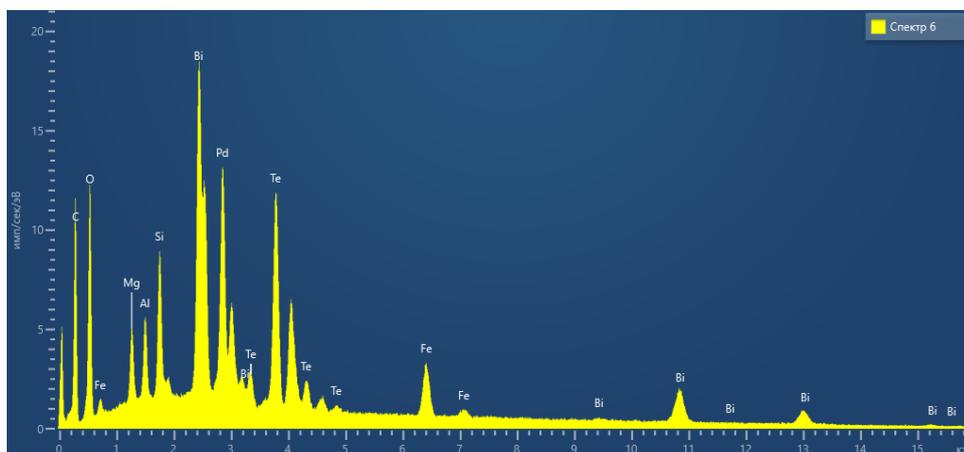


Рис. 5 – Энергодисперсионный рентгеновский спектр от кристалла меренскиита с глубины 10097 м (EDS)

*Работа выполнена за счёт бюджетных средств по госзаданию ГЕОХИ РАН в рамках темы «Новые комплексные подходы к фундаментальной проблеме изучения химического состава, трансформации и миграции наночастиц и легкоподвижных форм элементов в окружающей среде».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яковлев Ю.Н., Казанский В.И. Корреляция рудной минерализации в разрезе Кольской сверхглубокой скважины и на поверхности // Геология рудных месторождений. 1998. Т. 40. № 4. С. 379–392.
2. Лобанов К.В., Чичеров М.В., Горностаева Т.А., Прокофьев В.Ю., Шаров Н.В. Кольская сверхглубокая скважина космический полет в недра арктической зоны России // Деловой журнал Nefte-gaz.RU. 2022. № 1 (121). С. 78–93.
3. Дистлер В.В., Филимонова А.А., Гроховская Т.Л., Лапутина И.П. Платиновые металлы в медно-никелевых рудах Печенгского рудного поля // Геология рудных месторождений. 1989. № 6. С. 3–17.
4. Лобанов К.В., Горностаева Т.А., Карташов П.М., Мохов А.В., Чичеров М.В. Проявление палладиевой минерализации на глубинных горизонтах Кольской сверхглубокой скважины // Доклады Российской Академии Наук. Науки о Земле. 2021. Т. 499. № 2. С. 112–117.

#### ПРОБЛЕМЫ, МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗУЧЕНИЯ КРИОЛИТОЗОНЫ

*Грохотов Е.И., Баева Е.К., Довгань И.А.*

Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург,  
grokhotov\_ei@pers.spmi.ru

В связи с интенсивным освоением арктических регионов в настоящее время перед исследователями встает ряд нерешенных задач, связанных с особенностями физико-механических свойств мерзлых пород, их трудно предсказуемым характером изменения в условиях переменных температур, и, как следствие, влиянием мерзлых пород на процессы проектирования, строительства и эксплуатации инженерных сооружений. К примеру, в криолитозоне наблюдаются разрушения склонов, деформации строительных конструкций, оседания грунта, специфические осложнения при бурении скважин в интервале залегания мерзлых пород, и другие трудности [1,1]. Под криолитозонной понимается часть литосферы, находящаяся в условиях отрицательных температур. Породы в криолитозоне могут находиться в мерзлом, талом или морозном виде. Согласно ГОСТ 25100 [2] мерзлый грунт – это грунт, имеющий отрицательную или нулевую температуру, содержащий видимые ледяные включения и (или) лед-цемент, за счет которых образованы криогенные структурные связи.

Многолетнемерзлыми породами считаются породы, находящиеся в мерзлом состоянии постоянно в течении трех и более лет. Также выделяют сезонномерзлый грунт – находящийся в мерзлом состоянии периодически. По условиям распространения выделяются мерзлые породы сплошного, островного и прерывистого распространения. Площадь распространения криолитозоны на территории России составляет около 65% (более 10,7 млн. км<sup>3</sup>) (рис. 1), наиболее широко мерзлые породы распространены на севере Западной Сибири, в Восточной Сибири и Забайкалье.



Рис. 1 – Карта распространения криолитозоны РФ [5]

Геомеханическое моделирование является важной частью исследования мерзлых пород с целью предупреждения осложнений при строительстве и эксплуатации инженерных сооружений, бурении скважин, добыче и транспорте углеводородов. Мерзлые грунты являются сложной многофазной системой, в состав которой входят твердые минеральные частицы, лед, незамерзшая вода, газ или воздух (рис. 2). Одним из основных факторов, определяющих поведение мерзлых грунтов, является температура. При повышении отрицательной температуры прочность грунтов увеличивается, а сжимаемость уменьшается. Это обуславливается уменьшением содержания незамерзшей воды и изменением свойств льда от температуры.

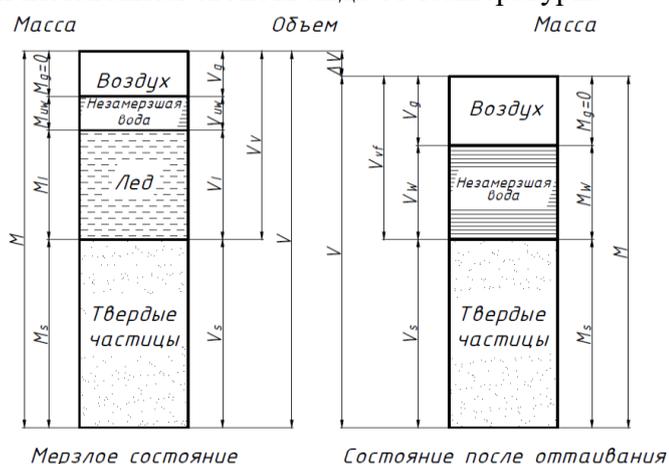


Рис. 2 – Зависимость массы и объема от состояния грунта [6]

Для изучения напряженно-деформированного состояния (НДС) массива мерзлых пород применяются геомеханические модели, основанные на теориях, отражающих различные аспекты поведения мерзлых пород. Отмечается [7], что влажность, температура, скорость деформации и давление оказывают наибольший вклад в изменение механического поведения мерзлых грунтов. Однако, учет всех возможных комбинаций влияния этих параметров вызывает определенные трудности. Кроме того, механические свойства мерзлых грунтов зависят от сезонных колебаний температуры, которые проявляются в виде циклов замораживания-оттаивания. Этот процесс связан с

непрерывным изменением количества содержания льда и незамерзшей воды, а значит напрямую влияет на изменение прочностных и деформационных свойств грунтов.

Параметры, полученные в условиях лабораторных и полевых испытаний, используются для создания геомеханических моделей мерзлых грунтов. Так, испытания в условиях трехосного сжатия используются для создания упруго-пластических и вязко-пластических моделей с оценкой НДС при сложном нагружении, а испытания на ползучесть лежат в основе реологических моделей мерзлых грунтов.

Таким образом, мерзлые породы обладают специфическими свойствами, которые необходимо учитывать при освоении криолитозоны, и существенно отличаются от пород того же минералогического состава, не подвергшихся замораживанию [1]. Следует отметить, что при проектировании инженерных сооружений для повышения достоверности геомеханической модели рекомендуется проведение комплекса геофизических исследований достаточного для определения границ раздела мерзлых и талых пород. Это позволит получить актуальные сведения о естественном залегании пород и техногенном влиянии на их фазовое состояние. Определение положения мерзлых пород в разрезе является важной задачей, например, при проектировании модульных свайных оснований интервал сцепления сваи с грунтом принимается от нижнего конца сваи до максимальной глубины сезонного протаивания [8].

В целях мониторинга состояния многолетнемерзлых пород широко используются аэро- и космические снимки и ландшафтно-индикационный метод [9]. В настоящее время основными геофизическими методами прогноза распространения мерзлых пород являются методы электроразведки, основанные на различии электрических свойств пород в мерзлом и талом состоянии, по результатам которых определяются мощность, глубина подошвы и кровли мерзлых пород и распространение в плане. Итогом электрического зондирования являются геоэлектрические разрезы (рис.3), для каждого района исследования определяются локальные типы мерзлотно-геофизических разрезов. Выбор разреза определяется геологическими условиями: сопротивление и электрохимическая активность горных пород изменяется в зависимости от литологии, пористости, обводнённости, льдистости, криогенного состояния пород, движения вод и других факторов [10].

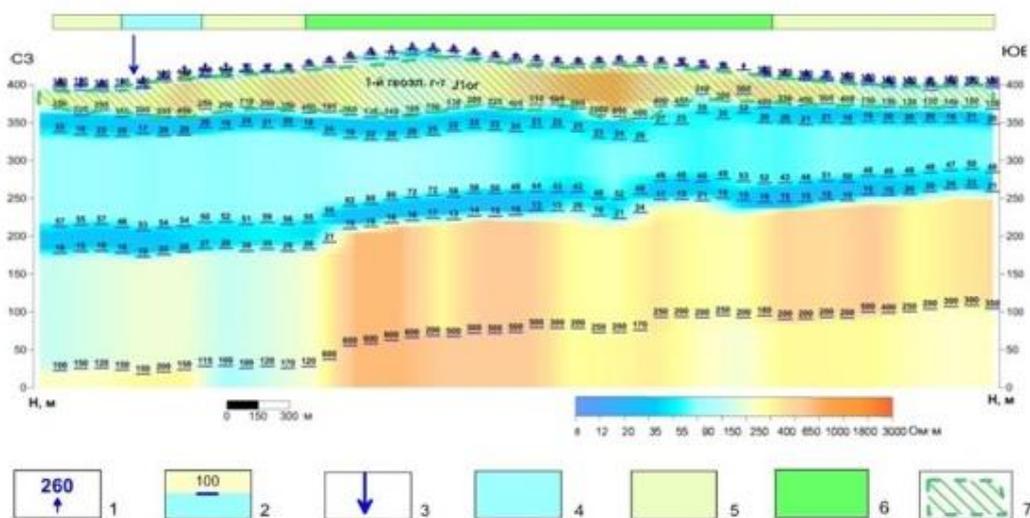


Рис. 3 – Геоэлектрический разрез: 1 – точки ЗСБ; 2 –горизонты и их сопротивления, Ом·м; 3 – реки; 4 – сплошное распространение многолетнемерзлых пород (ММП); 5 – прерывистое распространение (до 80% ММП); 6 – массивно-островное распространение (до 50% ММП); 7 – предполагаемое распространение ММП [9]

Рекомендации по проведению геокриологических исследований предписывают использование электроразведки на постоянном токе в качестве основного геофизического метода. Данный метод имеет ограничения при изучении разрезов мерзлых толщ, имеющих боковые контакты между мерзлыми и тальными породами и сочетающих крутопадающие и горизонтальные или слабонаклонные границы. При боковом контакте происходит искажение кривых вертикального электрического зондирования, приводящее к ошибкам при выделении границ пород в разрезе. Более информативным, быстрым и недорогим методом получения данных является геоэлектрическая томография (ЭТ), также распространенными методами исследования являются импульсная электроразведка и импульсная индуктивная электроразведка.

В целях локализации мерзлых пород в плане и разрезе также используются георадиолокационные исследования в комплексе с сейсморазведкой (рис.4) [11].

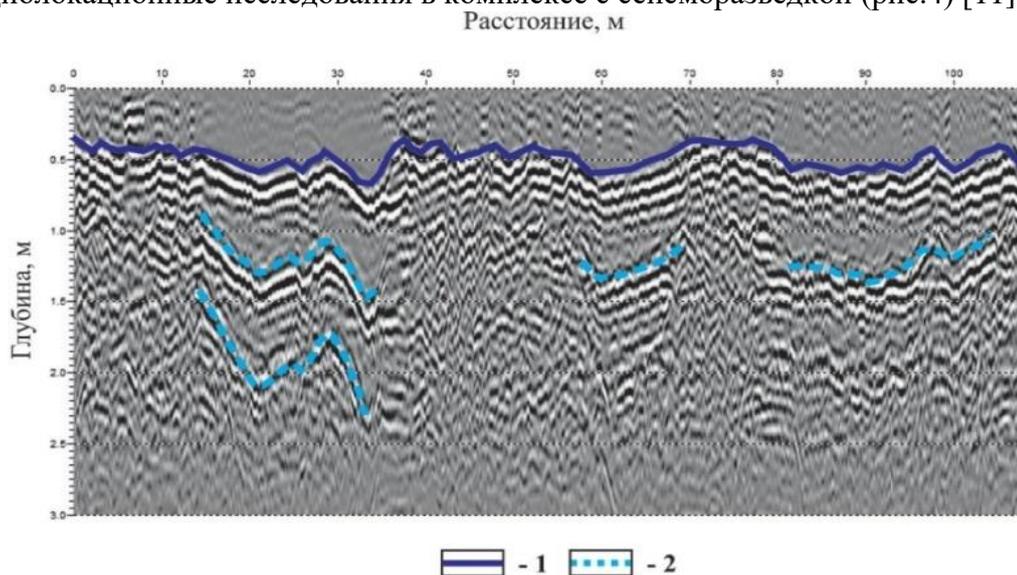


Рис.4—Георадиолокационный разрез: 1-крючка ММП, 2– кратные волны [11]

К недостаткам георадиолокационных и электрических методов можно отнести малую глубинность и высокую погрешность при расчленении разреза. Малая глубинность методов является существенной проблемой, так как зачастую глубина залегания мерзлых пород в северных регионах на порядок выше (до 1000 м).

Сейсмические свойства мерзлых и талых грунтов значительно различаются, что предопределяет высокую эффективность сейсморазведки: скорость продольных сейсмических волн для льда два раза превышает аналогичный показатель для жидкой воды, однако в применении сейсмических методов есть ограничения. При выделении границ залегания многолетнемерзлых пород стандартный подход к сейсморазведочным работам не является эффективным, выделение мерзлых пород по данным сейсморазведки возможно при использовании способа поверхностных волн MASW, сейсмической томографии, методик моделирования верхней части разреза SWAMI и FWI. Сейсмические методы применяются в целях определения границ многолетнемерзлых пород в ряде зарубежных стран, например, в Китае и Канаде.

Также в целях расчленения разреза мерзлых пород применяются геофизические исследования скважин, основным методом каротажа является термометрия. Способ определения нижней границы многолетнемерзлых пород [12] основан на измерении геотермического градиента по результатам проведенного каротажа. Температура является прямым индикатором состояния мерзлого слоя, а удельное сопротивление, время и скорость прохождения волн – прямыми индикаторами физических свойств мерзлоты. В сочетании с этими методами могут использоваться другие методы геофизических исследований скважин, однако изменение измеряемых параметров не

может однозначно интерпретироваться как индикатор границ мерзлых и немерзлых пород ввиду возможного влияния множества факторов.

Лабораторные исследования мерзлых пород позволяют получить сведения о физико-механических свойствах пород и могут быть использованы для калибровки геофизических методов исследования путем установления эмпирических зависимостей между физическими параметрами мерзлых пород и параметрами, измеряемыми косвенными методами. Знание закономерностей изменения параметров имеет важное значение для правильной интерпретации каротажа скважин в интервале мерзлых пород и корректном определении границ развития зон мерзлых пород.

В зарубежных странах основное внимание уделяется акустическим свойствам, так как именно сейсмические методы являются основными (рис.5). В России большинство исследований осуществляется методами электроразведки, использование сейсмических методов целесообразно, однако, требует предварительного изучения акустических свойств пород и больших вложений. В настоящее время вопрос лабораторных исследований мерзлых пород остается актуальным, создаются лабораторные установки, позволяющие моделировать образцы мерзлых пород и определять их акустические свойства [13], электрические и электрохимические параметры среды и позволяет выявлять их взаимосвязь с различными факторами.

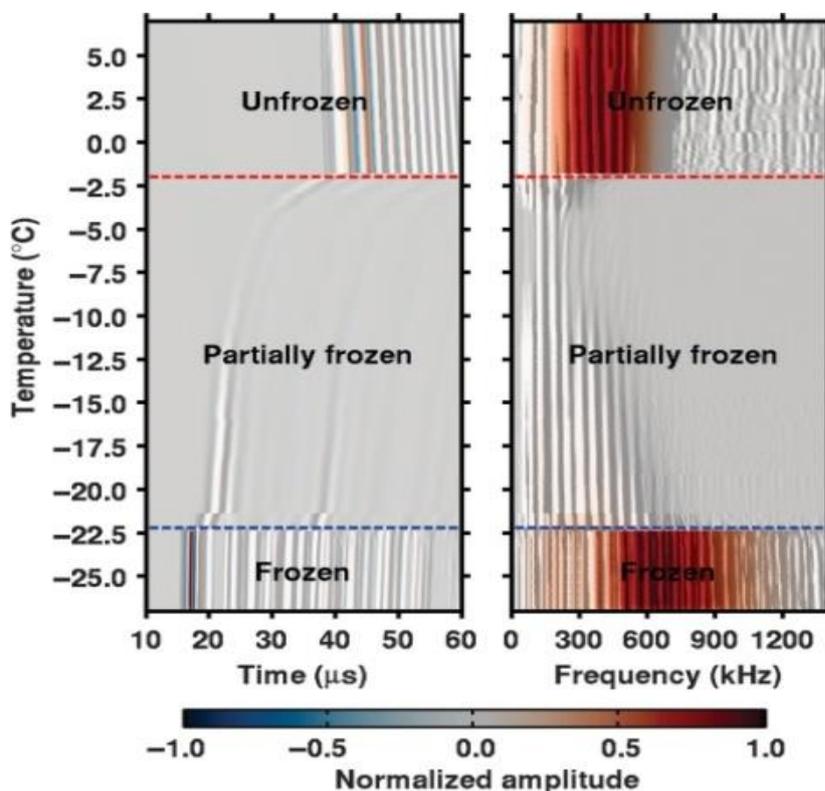


Рис. 5 – Анализ формы продольных волн и амплитудных спектров в процессе замораживания на одном из образцов засоленного крупнозернистого песка [14]

Таким образом, выявлены существующие проблемы освоения криолитозоны, связанные с комплексным и взаимным влиянием различных факторов на прочностные и деформационные свойства мерзлых грунтов; сложностью учета фазового состояния пород в условиях изменяющихся температур; трудностями локализации мерзлых и талых пород.

Для прогноза развития геомеханических процессов и достоверного определения НДС массива мерзлых пород, в том числе необходимо решить проблемы, возникающие при изучении криолитозоны геофизическими методами, которые связаны с ограничением глубинности и возможности прослеживания границ зон мерзлых и

талых пород в условиях их несплошного залегания. Неоднозначность интерпретации результатов геофизических исследований скважин связана с отсутствием экспериментальных зависимостей косвенных параметров от физических свойств среды, которые могут быть использованы при локализации криолитозоны.

Перспективы увеличения достоверности прогнозирования поведения мерзлых пород при техногенном влиянии связаны с определением методики их исследования и локализации в плане и разрезе, основанной на установлении экспериментальных зависимостей параметров, измеряемых косвенно (акустических, электрических и электрохимических свойств) от изменений параметров среды: минерального состава, granulometрии, температуры, минерализации и других.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Qin Z. et al. Stability behavior of a reservoir soil bank slope under freeze-thaw cycles in cold regions //Cold Regions Science and Technology. 2021. Vol. 181. P. 103181.
2. Атласов Р. А. и др. Пути совершенствования строительства скважин в многолетнемерзлых породах //Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2015. №.3 (79). С. 54-58.
3. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация. – М.: 2020.
4. Геворкян С.Г. Криолитозона как предмет и территория пограничных конфликтов //Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. 2013. Т. 3. №. 1. – С. 14.
5. Вечная мерзлота [Электронный ресурс]: карта вечной мерзлоты. Режим доступа: <https://www.nornickel.ru/sustainability/climate-change/permafrost/> (дата обращения 02.09.2023).
6. Andersland O.B., Ladanyi B. Frozen ground engineering. – John Wiley & Sons, 2003.
7. Kodama J. et al. The effects of water content, temperature and loading rate on strength and failure process of frozen rocks //International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2013. – Vol. 62. – P. 1-13.
8. Литвиненко В. С., Кудряшов Б. Б. Современные проблемы разрушения горных пород при бурении скважин //Journal of Mining Institute. 2001. Т. 148. №. 1. С. 14-14.
9. Полищук Ю.М., Токарева О. С. Вопросы мониторинга изменений состояния многолетнемерзлых пород в условиях глобального потепления с использованием космических снимков // Вестник Югорского государственного университета. 2006. №. 2 (3). С. 87-90.
10. Баранов М.А. и др. Возможности электромагнитных зондирований при картировании многолетнемерзлых пород //iPolytechJournal. 2014. №. 7 (90). С. 25-30.
11. Скворцов А.Г. и др. Изучение влияния техногенеза на верхнюю часть геокриологического разреза с помощью георадиолокации//Инженерная сейсморазведка и сейсмология-2020. Георадар-2020. Теперь вместе. 2020. С. 72-77.
12. Вяхирев Р.И. Патент № 2125149 С1 Российская Федерация, МПК E21B 36/00, E21B 47/06. Способ определения нижней границы залегания многолетнемерзлых пород: № 98111213/03: заявл. 11.06.1998:опубл. 20.01.1999 / Р. И. Вяхирев, В. В. Ремизов, О. М. Ермилов.
13. Дучков А.Д. и др. Лабораторная установка для изучения акустических свойств гидратосодержащих и мерзлых пород //Интерэкспо Гео-Сибирь. 2015. Т. 2. №. 2. С. 51-56.
14. Dou S. et al. A rock-physics investigation of unconsolidated saline permafrost: P-wave properties from laboratory ultrasonic measurements //Geophysics. – 2016. – Vol. 81. – №. 1. – P. WA233-WA245.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КРИОЛИТОЗОНЫ МЕТОДОМ ГЛУБИННОЙ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ

Гулевич О.А.<sup>1,2</sup>, Волкомирская Л.Б.<sup>1,2</sup>, Резников А.Е.<sup>1</sup>, Варенков В.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН), г. Москва, o.a.gulevich@gmail.com

<sup>2</sup>ООО «Таймер», г. Москва

Геофизические методы исследования Русской Арктики необходимы для построения информативной цифровой модели геологической среды, пока недостаточно изученной, мониторинга за ее изменениями, формирования гипотез об основных факторах влияния на криогенные процессы и перспективах их развития. Наблюдаемые в последние десятилетия процессы деградации мерзлоты, как наиболее привлекающее внимание направление научных исследований в криолитозоне, имеют комплексный характер и происходят не только в приповерхностных слоях над кровлей многолетнемерзлых грунтов, но и в массиве всей верхней части разреза (ВЧР). При этом могут происходить изменения мощности мерзлых пород, появление таликов, зон сквозного растепления, активизация мерзлотно-геологических процессов и криогенных деформаций.

Глубинная георадиолокация применяется как для исследований приповерхностных слоев, так и на глубинах в сотни метров. По своим электрофизическим характеристикам мерзлые, талые и охлажденные ниже нуля градусов, с содержанием соленых или рассольных вод, горные породы имеют существенные отличия электрических свойств, что обеспечивает эффективность георадиолокации для их изучения.

В настоящей работе представлены результаты обработки данных глубинной георадиолокации методом отраженных электромагнитных волн (МОЭМВ), полученные в ходе пилотного исследования ВЧР на нефтегазовом месторождении Западной Сибири на глубину свыше 500 метров. Целью обработки являлось отображение общего строения мерзлоты по данным электромагнитного волнового метода на всю глубину ее наблюдения.

**Методика и аппаратура.** При проведении экспериментального проекта по глубинному исследованию нефтегазового месторождения в Надымском районе Ямало-Ненецкого автономного округа в 2020 г. методом МОЭМВ были подготовлены: экспериментальный приемник производства ООО «Таймер» на основе прототипа ГРОТ 12 с увеличенной шкалой временных задержек до 40 мкс; экспериментальный передатчик ГРОТ с увеличенной мощностью (пиковая амплитуда напряжения до 48-64 кВ); экспериментальные антенны – резистивно-нагруженные диполи длиной 30 и 50 м на приемник и передатчик. Динамический диапазон аппаратуры МОЭМВ в экспериментальном проекте составил более 173 дБ.

**Результаты.** Основные результаты работ, в том числе сопоставление данных МОЭМВ с данными сейсморазведки МОВ и метода ЗСБ опубликованы в [1-4]. На рисунке 1 представлена радарограмма профиля №3 после обработки исходных данных наблюдений профилирования с постоянной базой разноса между приемником и передатчиком на расстояние 100 метров. На данных глубинной георадиолокации отчетливо проявляется переход от области высоких амплитуд отражённых сигналов, приуроченной к зоне мерзлых пород с низким коэффициентом затухания электромагнитного сигнала, к нижележащей зоне пород с высоким затуханием. При этом наблюдается неоднородный характер распределения электрофизических параметров не только по глубине, но и по латерали. На радарограмме видны восходящие каналы аномалий от подошвы высокоамплитудного слоя, которые имеют неправильную форму. Наиболее объемны изменения характера затухания с 400 по 1200

метр профиля, при этом в районе 1000 метра профиля в нижележащей области наблюдаются восходящие каналы в осях синфазности. Такие аномалии характерны для тектонических нарушений и сопутствующих им криогенных деформаций.

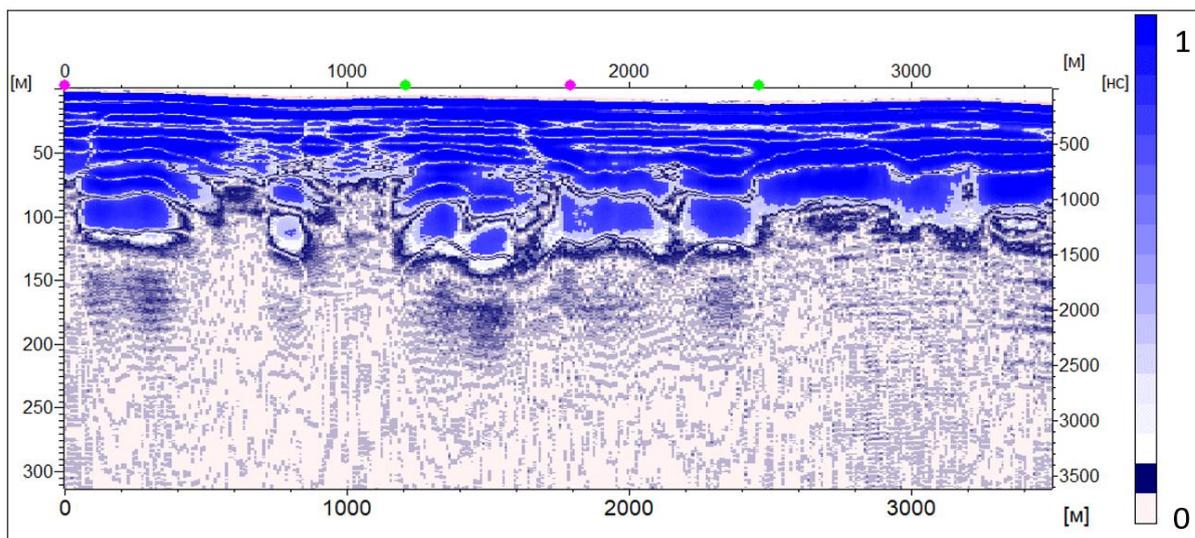


Рис. 1 – Радарограмма профиля №3 после обработки: НЧ фильтр, усиление, модуль амплитуд (слева); палитра амплитуд (справа)

Все видимые на радарограммах отражающие границы получены непосредственно в ходе полевых измерений и не являются результатом решения обратной задачи с применением априорно предполагаемых моделей среды, как это реализовано в методах электроразведки. За счет, в том числе, прямого определения положения границ по шкале временных задержек сигнала метод георадиолокации обладает высоким пространственным разрешением и по горизонтали, и по глубине.

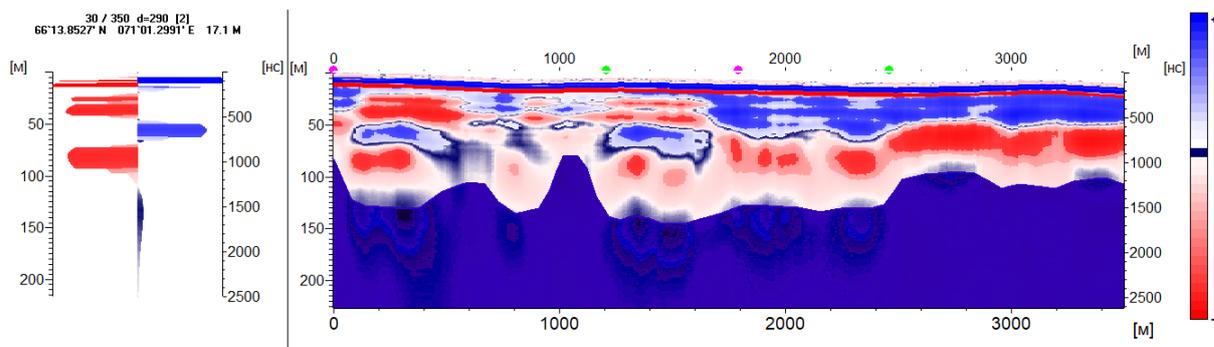


Рис. 2 – Волновая форма сигнала с 300 м профиля (слева); радарограмма профиля №3 после обработки: НЧ фильтр, усиление, заливка цветом и палитра амплитуд (справа)

При представлении данных с выделением фазы сигнала (рис. 2) в выделенной области повышенных амплитуд наблюдаются основные зоны, сгруппированные по схожим электрофизическим признакам. Можно отметить, что в наблюдаемом разрезе во всей области исследования выделяются два основных слоя мерзлоты, в том числе нижний «реликтовый» слой с повышенным удельным электрическим сопротивлением. На отдельных участках, как это видно в начале профиля №3 данное строение нарушается субвертикальной аномалией с повышенной электропроводностью.

Наблюдаемые изменения электрических характеристик могут иметь различную природу. На диэлектрическую проницаемость и проводимость оказывает влияние литологический состав, состояние горных пород (талый/мерзлый; зоны выветривания,

трещиноватости) их условиями залегания, наличие тектонических нарушений, а также гидрогеологические условия и водонасыщенность.

**Выводы.** Метод глубинной георадиолокации перспективен для исследований в Российской Арктике с целью изучения состояния криолитозоны, в том числе процесса деградации мерзлоты. Возможность регистрации отражений с глубоких горизонтов позволяет применять глубинную георадиолокацию для исследования тектонических нарушений в верхней части разреза, границ мерзлых пород, в том числе подошвы мерзлоты.

Глубинная георадиолокация применяется как самостоятельный метод оперативного геофизического исследования разреза и в комплексе с другими геофизическими методами. В целях повышения достоверности геологической модели криолитозоны рекомендуется дополнять данные глубинного георадара выборочными калибровочными измерениями температуры и исследованиями керна.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gulevich O.A., Kaigorodov E.P., Lyakhov G.A., Reznikov A.E., Varenkov V.V., Volkomirskaya L.B. Experimental Study of a Deep Oil and Gas Deposit by the Method of Reflected Electromagnetic Waves // *Physics of Wave Phenomena*. 2021. Vol. 29. № 4. P. 311–320.
2. Гулевич О.А., Волкомирская Л.Б., Варенков В.В., Резников А.Е., Тригубович Г.М., Чернышев А.В. Изучение распределения проводимости в криолитозоне на основе данных метода отраженных электромагнитных волн (МОЭМВ) // *Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]*. 2021. №9. Режим доступа: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.9.6>
3. Гулевич О.А., Волкомирская Л.Б., Долгих Ю.Н., Кайгородов Е.П., Санин С.С., Варенков В.В., Резников А.Е., Тригубович Г.М., Чернышев А.В. Опыт исследования криолитозоны методом отраженных электромагнитных волн (МОЭМВ) на глубину свыше 500 метров // *Сборник тезисов научно-практической конференции «Электроразведка 2021»*. М.: Изд. дом Академии Естествознания. 2021. С.82-88.
4. Dolgikh Yu.N., Volkomirskaya L.B., Kaygorodov E.P., Sanin S.S., Kuznetsov V.I., Gulevich O.A., Reznikov A.E., Varenkov V.V. The Reflected Electromagnetic Wave CDP Method (ECDP) Testing Results and Possibilities for The Future Oil and Gas Exploration. // *Proceedings of the conference «Tyumen 2021»*, March 2021. Vol.2021. P.1-6. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202150007>.

### СТРУКТУРНЫЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ВБЛИЗИ ТРУБОК АРХАНГЕЛЬСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

*Данилов К.Б.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, [danilov\\_kostea@mail.ru](mailto:danilov_kostea@mail.ru)

По величине разведанных запасов Архангельская алмазоносная провинция (ААП) является второй в России. Но на данный момент отмечается резкое снижение эффективности поисковых работ [1]. Данный факт указывает на необходимость внедрения новых подходов поиска и исследования трубок взрыва.

Характерными чертами трубок взрыва является их строение в форме конуса обращенного вершиной в низ [2] и их приуроченность к пересечению разломных нарушений [3]. Трубки имеют достаточно малые размеры по горизонтали (от 50 м до 1 км), перекрыты мощным слоем осадочных отложений (50 м -100 м) [3, 4] и

распределены на обширных территориях, что существенно затрудняет их поиск. Кроме того, трудоемкой задачей при поиске является выделение перспективных аномалий. Также следует учитывать и то, что часть территорий ААП располагаются в пределах заповедников, что затрудняет техногенную деятельность. Как следствие, для повышения эффективности поиска и разведки трубок взрыва целесообразно использовать дополнительные атрибуты. Горизонтальный размер трубок ААП зачастую сопоставим с мощностью перекрывающих отложений. В результате анализ потенциальных полей становится менее эффективным, а заверка бурением трудоемкой [3]. Одним из потенциально перспективных направлений повышения эффективности поисковых работ является выделение контролирующих разломных нарушений. Но данный подход осложняется отсутствием выраженных признаков подобных нарушений. В свою очередь исследований подобных объектов осложняется сложным строением месторождения. Так кимберлитовые тела, как правило, приурочены к пересечению трех и более разломов [3].

В частности в подобных условиях затруднительно производить анализ геофизических данных, что осложняет выбор метода исследования. По результатам серии полевых работ при изучении кимберлитовых тел было показано, что сложный сейсмический рисунок вмещающей среды уверенно проявляется по данным метод микросейсмического зондирования [5–7]. В дальнейшем будем анализировать результаты ММЗ полученные при исследовании трубок взрыва как основной источник информации.

**Метод микросейсмического зондирования.** Метод реализуется в предположении, что вклад в вертикальную компоненту микросейсмического поля в диапазоне от 0.03 Гц до 1.5 Гц обеспечивается преимущественно фундаментальными модами волны Рэлея и частично объемными волнами. В свою очередь при взаимодействии фундаментальной моды волны Рэлея с низкоскоростной неоднородностью на земной поверхности наблюдается увеличение интенсивности колебаний, при взаимодействии с высокоскоростной неоднородностью – уменьшение. С целью устранения влияния временного тренда интенсивность микросейсм рассчитывается относительно опорной станции по формуле:

$$I_{fi} = 20 \lg \frac{A_{fi}^p}{A_{fi}^o};$$

где  $I_{fi}$  – относительная интенсивность микросейсм;  $f$  – анализируемая частота;  $i$  – пункт замеров микросейсм;  $A_{fi}^p$  и  $A_{fi}^o$  – спектральные амплитуды записей передвижной и опорной станций соответственно. Для определения статистически устойчивого спектра в каждом пункте наблюдения производится накопление сигнала в течение 1.5 часов. По результатам математического моделирования было показано, что волны наиболее контрастно реагирует на неоднородности, залегающие на глубине примерно 0.4 от длины волны. Так зондируемая глубина рассчитывается по формуле

$$H(f) \approx 0.4 V_R(f) / f$$

где  $H(f)$  – зондируемая глубина;  $V_R(f)$  - скорость фундаментальной волны Рэлея для частота  $f$ .

Результатом обработки данных по методу микросейсмического зондирования является диаграмма распределения относительной интенсивности микросейсм ( $I_{hi}$ ) вдоль профиля и по глубине. Зоны пониженных значений  $I_{hi}$  отражают высокоскоростные зоны, зоны повышенных значений  $I_{hi}$  - низкоскоростные зоны [8].

**Теоретическая оценка.** Согласно результатам математического моделирования [8] ММЗ позволяет выделять объекты с размерами около 0.07 от глубины их залегания с разрешающей способностью по горизонтали примерно 0.6 от глубины залегания. С учетом того, что трубки взрыва ААП перекрыты слоем в 50-100 м, ММЗ позволяет выделять трубки с горизонтальным размером более 7 м и исследовать глубинное

строение тел с горизонтальными размерами более 30-60 м. Т.к. разведанные трубки имеют размеры более 50 м, а промышленно алмазонасные – 400-600 м [1, 3, 4], ММЗ применим для поиска и исследования глубинного строения трубок ААП. Важно отметить, что для раздробленных тел наблюдается эффект повышенного разрешения [9]. В результате справедливо ожидать прослеживание разломов шириной первые десятки метров до глубин 1 км и более.

Шаг между пунктами замеров может выбираться, исходя из того, что наибольшая достоверность исследований достигается при условии, что в зону разрешения попадает 3-5 пунктов замеров. Таким образом, для максимального качества данных шаг между пунктами замеров должен составлять 10-30 м. В случаях, когда заведомо известны размеры исследуемого объекта, шаг может быть увеличен.

**Объекты исследования.** В качестве объектов исследования использованы пять трубок взрыва и ложная аномалия: трубка им. М.В. Ломоносова и Пионерская (входят в состав месторождения им. М.В. Ломоносова), Чидвинская (Чидвинско-Ижмозерского поля), С10 (Ненокского поля) и Врехнетовская (Мегорского поля). При поиске трубок взрыва главными объектами-помехами являются приповерхностные неоднородности и ложные магнитные аномалии [3]. Чтобы проверить, как данные объекты влияют на результаты метода, были обследованы: ложная магнитная аномалия G23 и северный борт трубки Ломоносова, примыкающий к палеодолине.

**Результаты.** По данным метода микросейсмического зондирования (рис. 1) трубки взрыва проявляются как в виде высокоскоростных, так и в виде низкоскоростных неоднородностей. Также встречаются блоки трубок, близкие по своим свойствам ко вмещающей среде. Но во всех случаях трубки проявились в форме деформированного конуса на глубинах до 2 км [10].

Во вмещающей среде с запада от трубки Ломоносова (рис. 1а) уверенно проявились разломные нарушения. Данные разломы представляют из себя серию линейных вертикальных контрастных низкоскоростных аномалий, прослеживающиеся до глубин более 2 км. Отсутствие разломных нарушений на профиле, пересекающем трубку Пионерская (рис. 1б), объясняется тем, что профиль направлен меридионально - параллельно разломным нарушениям. Проведенные исследования вдоль субширотного профиля на удалении 1 км севернее трубки Ломоносова также подтвердили наличие данной разломной зоны. Проведенные исследования вдоль меридионального профиля, пересекающего трубку Ломоносова, показали с одной стороны сложное глубинное строение, с другой - на данных отсутствовали линейные вертикальные контрастные нарушения. Отмеченные особенности согласуются с результатами работы [1], где по результатам электроразведки выделена меридиональная разломная зона, проходящая по всему месторождению им. М.В. Ломоносова. При этом, по результатам электроразведки выделена только верхняя часть данных разломов.

Более детальные исследования самой трубки Ломоносова позволили показать, что трубка расположена непосредственно на вертикальном линейном разломе [6]. Данный разлом проявился контрастно с севера от трубки и существенно менее явно с юга. Близкие закономерности наблюдались также для трубки Врехнетовская [7].

Во вмещающей среде трубки Чидвинская (рис. 1д) также прослеживается ряд линейных разломных нарушений. При этом, их контраст существенно меньше, чем у разломов вблизи трубки Ломоносова. Но относительный контраст между трубочным телом и разломами близок – 5-7 дБ [12]. Вероятно, для более детального ответа необходимо произвести замеры на большей площади.

Во вмещающей среде трубки С10 проявляется контрастная наклонная раздробленная зона. Но линейных вертикальных нарушений не выявлено. Также стоит отметить выраженный контраст между трубкой С10 и вмещающей средой более чем в 20 дБ. При этом для более детального исследования данной разломной зоны необходимо проведение более масштабных исследований

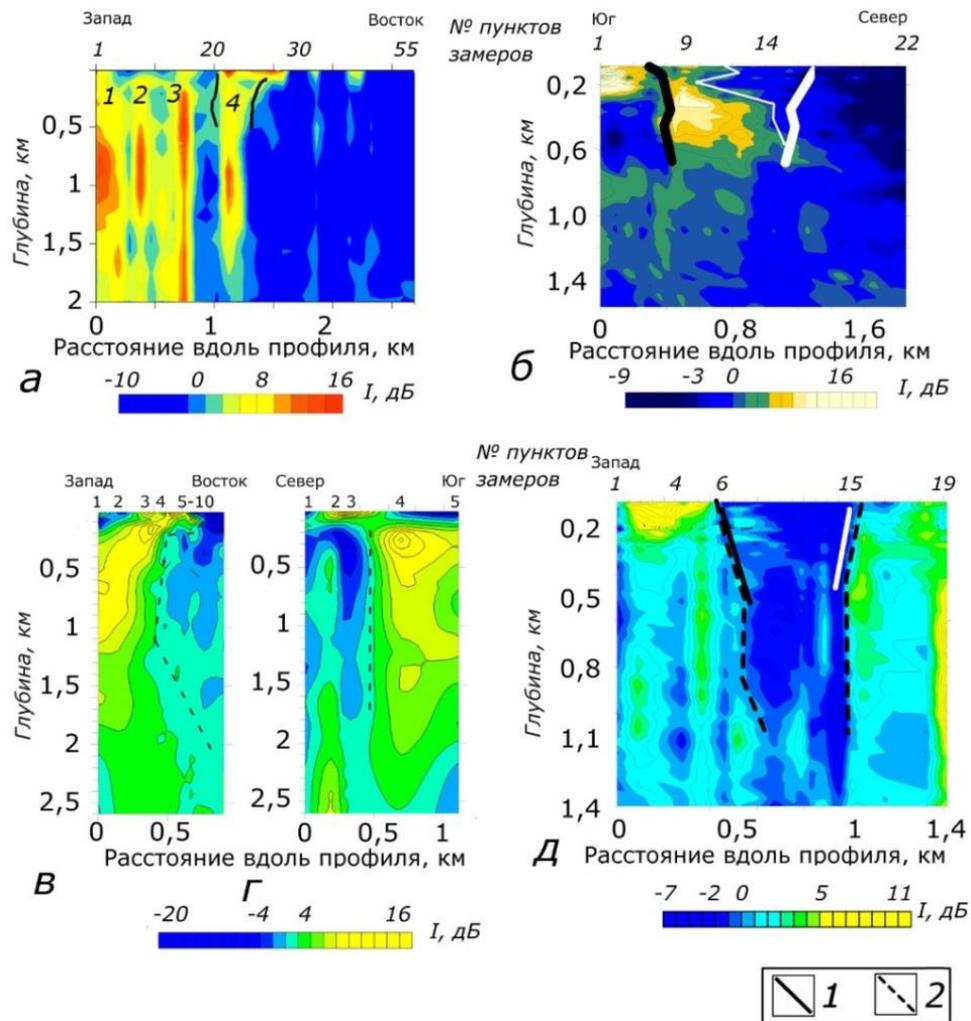


Рис. 1 – Результаты обработки данных вдоль профилей пересекающих трубки взрыва: а – Ломоносова; б – Пионерская; в, г – С10; д – Чидвинская; 1 – граница трубок и фаз внедрения по данным бурения [11]; 2 – выделяемые аномалии.

Ложные магнитные аномалии и примыкающие к трубкам взрыва приповерхностные неоднородности являются основными объектами помехами для большинства применяемых методов поиска трубок. В виду высокой разрешающей способности по горизонтали и способности локализовать различные неоднородности ММЗ менее зависим от подобных помех. Проведенные экспериментальные работы подтвердили данное предположение. Так под ложной аномалией было выделено низкоскоростное тело в приповерхностной части. Трубочного тела и линейных вертикальных неоднородностей не отобразилось. Северный борт трубки Ломоносова отобразился на данных ММЗ уверенно и хорошо согласовался с данными бурения.

Таким образом, проведенные работы показали, что трубки взрыва Архангельской алмазоносной провинции проявляются по данным метода микросейсмического зондирования в виде деформированного конусообразного тела перевернутого вершиной вниз. Вмещающая среда во всех случаях являлась сложной с большим количеством контрастных неоднородностей. При этом, в подавляющем случае трубки сопровождаются серией вертикальных линейных разломов. Контраст данных разломов относительно трубок составлял 5-10 дБ. Данные разломы прослеживаются на разных глубинах. Вблизи трубок это как правило от 50 м до 1,5 км и более. На удалении от трубки данные разломы выделены на глубинах более 500 м.

Контраст данных линейных разломов относительно трубок взрыва обычно составляет 5-10 дБ.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект № 23-27-10022 «Контролирующие структуры трубок взрыва по данным пассивных сейсмических и радиометрических методов (на примере Архангельской алмазоносной провинции)». Автор выражает благодарность за ценные советы к.ф.-м.н. А.В. Горбатикову и к.г.-м.н. В.В. Третьяченко.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поиск кимберлитовых тел методом переходных процессов / Стогний Вас. В., Коротков Ю.В. / Новосибирск: Издательство «Малотиражная типография 2D». 2010. 121 с.
2. Трубки взрыва / Милашев В.А./ Л.: Недра. 1984. 268 с.
3. Иерархический ряд проявлений щелочно-ультраосновного магматизма Архангельской алмазоносной провинции. Их отражение в геолого-физических материалах. / Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. Архангельск: ИЭПС УрО РАН, ОАО «ИПП Правда Севера». 2004. 268 с.
4. Губайдуллин М.Г. Региональные геолого-геофизические модели литосферы // Литосфера и гидросфера европейского Севера России. Геоэкологические проблемы. Отв. ред. Юдахин Ф.Н. Екатеринбург: УрО РАН. 2001. С. 48-56.
5. Горбатилов А.В., Ларин Н.В., Моисеев Е.И., Беляшов А.В. Применение метода микросейсмического зондирования для изучения строения погребенной трубки взрыва // ДАН. 2009. Т. 428. № 4. С. 526-530
6. Danilov K., Yakovlev E., Afonin N. Study of Deep Structure of the Kimberlite Pipe Named After M. Lomonosov of the Arkhangelsk Diamondiferous Province Obtained by Joint Using of Passive Seismic and Radiometric Methods // Pure and Applied Geophysics. 2021. Vol. 178. Is. 10, pp. 3933-3952 <https://doi.org/10.1007/s00024-021-02864-2>
7. Danilov K.B., Yakovlev E.Y., Afonin N.Y., Druzhinin S.V. Deep structure of the Verkhnetovskaya kimberlite pipe in the Arkhangelsk diamondiferous province according to passive seismic and radiological methods // Geophysical Prospecting. 2022. P. 1-13. DOI: 10.1111/1365-2478.13254.
8. Горбатилов А.В., Цуканов А.А. Моделирование волн Рэлея вблизи рассеивающих скоростных неоднородностей. Исследование возможностей метода микросейсмического зондирования. // Физика Земли. 2011. № 4. С. 96-112.
9. Gorbatiлов A.V., Montesinos F.G., Arnoso J., Stepanova M.Yu., Benavent M., Tsukanov A.A. New Features in the Subsurface Structure Model of El Hierro Island (Canaries) from Low-Frequency Microseismic Sounding: An Insight into the 2011 Seismo-Volcanic Crisis // Surveys in Geophysics. 2013. 34. Pp. 463–489. DOI 10.1007/s10712-013-9240-4.
10. Французова В.И., Данилов К.Б. Структура трубки взрыва им. М.В. Ломоносова Архангельской Алмазоносной Провинции // Вулканология и сейсмология. 2016. №5. С.71-78.
11. Вержак В.В., Медведев В.А., Веричев Е.М. и др. Отчет о результатах разведки кимберлитовых трубок месторождения им. М. В. Ломоносова в 1983-1987 гг. // Архангельск: ПГО «Архангельскгеология» Беломорская геологоразведочная экспедиция, 1987. 25-34 с.
12. Киселев Г.П. Данилов К.Б., Яковлев Е.Ю., Дружинин С.В. Радиометрические и сейсмометрические исследования кимберлитовой трубки Чидвинская (Архангельская алмазоносная провинция) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2016. Вып. 30. № 2. С. 43-53.

## ГЕОХИМИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕРА ПЕЮНГДА И ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ПРИАРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

Дарьин А.В.<sup>1</sup>, Новиков В.С.<sup>1</sup>, Rogozin Д.Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, novikovvs@igm.nsc.ru

<sup>2</sup>Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск

Реконструкции температур в Арктике за 2000 лет показывает, что среднегодовая температура на протяжении последних тысячи лет была сопоставимы или даже выше, чем в 19-м веке [8, 10, 6]. На сегодняшний день, Арктика является регионом с самым быстрым повышением среднегодовой температуры поверхности.

Сведения о изменении климата арктических и приарктических территорий Восточной Сибири в последние несколько столетий остаются слабоизученными. В настоящем исследовании представлена климатическая реконструкция с высоким временным разрешением для района, расположенного в арктической части Восточной Сибири. Донные озерные осадки представляют собой богатый архив палеоклиматической информации, накапливающейся непрерывно на протяжении длительного времени.

Объект исследования.

Реконструкция построена на основе литолого-геохимического исследования керна донных осадков о. Пеюнга. Озеро Пеюнга находится в пределах государственного природного заповедника "Тунгусский" в Эвенкийском автономном округе, на расстоянии 33 км от предполагаемого эпицентра взрыва Тунгусского космического тела (ТКТ). Пеюнга представляет собой пресноводное озеро округлой формы диаметром более 800 м и максимальной глубиной 30 м. Площадь составляет 0,5 км<sup>2</sup> (рис. 1).

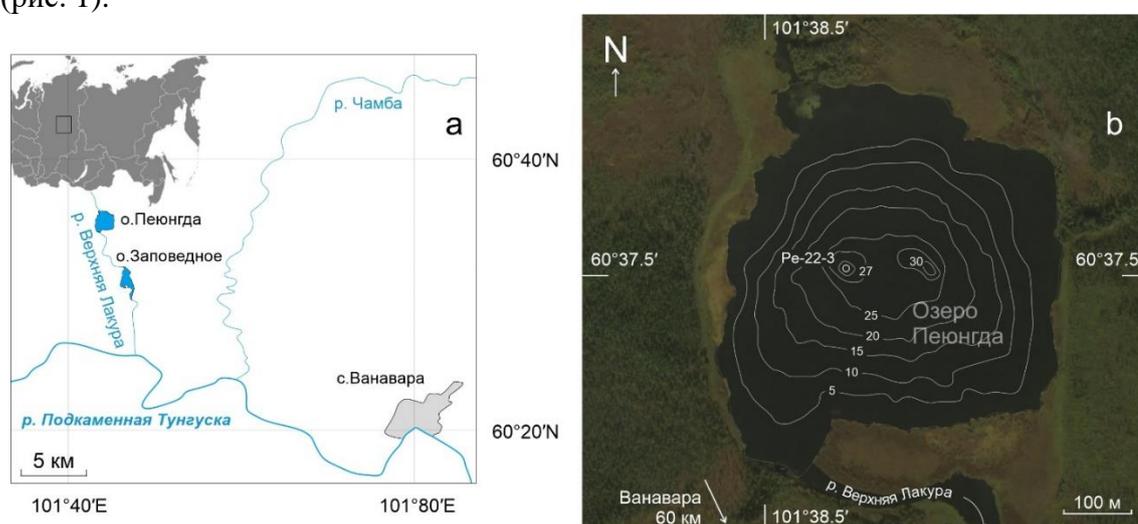


Рис. 1 – Географическое положение озера Пеюнга (а) и данные батиметрии и место отбора керна (б)

В сентябре 2022 г. из озера Пеюнга был отобран керн длиной 1187 мм. Отбор осуществлялся с помощью гравитационного пробоотборника UWITEC (Австрия) в центральной части озера. При отборе и последующей транспортировке особое внимание уделялось сохранности верхушки керна.

Пробоподготовка.

Вскрытие и разделка керна проводились в полевых условиях. Керн донных осадков разделялся вдоль оси отбора на две части. Первая половина керна была

разрезана на дискретные образцы с шагом 10 мм для последующих физико-химических исследований. Вторая половина использовалась при изготовлении твердых препаратов, пропитанных эпоксидной смолой. Твердые препараты донных осадков готовились по методике, предложенной в работе [7] и адаптированной для микро-РФА исследований [2].

Сканирующий микро-РФА на пучках синхротронного излучения проводился в ЦКП «Сибирский центр синхротронного и терагерцового излучения» по методике [3]. Использование синхротронного излучения для рентгенофлуоресцентного анализа (микро\_РФА-СИ) донных осадков позволяет значительно снизить предел обнаружения и определять одновременно до 30 породообразующих и следовых элементов (K, Ca, Ti, Mn, Fe, Ni, Cu и др.). Сканирование образцов проводилось последовательно (от верха керна вглубь разреза) в направлении отбора керна.

Варвохронология.

Фотографии оптических шлифов получены на сканере *Canon CanoScan 5600F*. Изображения с разрешением 2400 dpi, на которых видно чередование темных и светлых слоев, обрабатывались в графическом редакторе. Подсчет проводился по визуально выделяемым слой-парам. Перерывов в слоистости не наблюдалось, однако не во всех случаях слои выделяются однозначно. Подсчет проводился по максимальному и минимальному количеству визуально выделенных слоев.

Построение возрастной модели (глубина керна – возраст осадка).

На глубине 78 мм наблюдается наличие визуально выделяемого светлого слоя мощностью до нескольких мм, появление которого вероятно связано со взрывом ТКТ. По данным сканирующего микро-РФА-СИ для данного слоя отмечаются повышенные содержания элементов (Rb, K, Ti, Sr, Y, Zr).

Пересчет линейной шкалы в годовую проводился по усредненной возрастной модели глубина керна – возраст слоя осадка. Возрастная модель для верхнего интервала керна 0–100 мм (рис. 2) была построена по данным 3-кратного независимого подсчета визуально выделяемых годовых слоев. Построение возрастной модели исходило из предположения, что изменение скорости осадконакопления происходит равномерно. Правильность возрастной модели подтверждается хорошим совпадением с положением аномального слоя 1908-1911 гг.

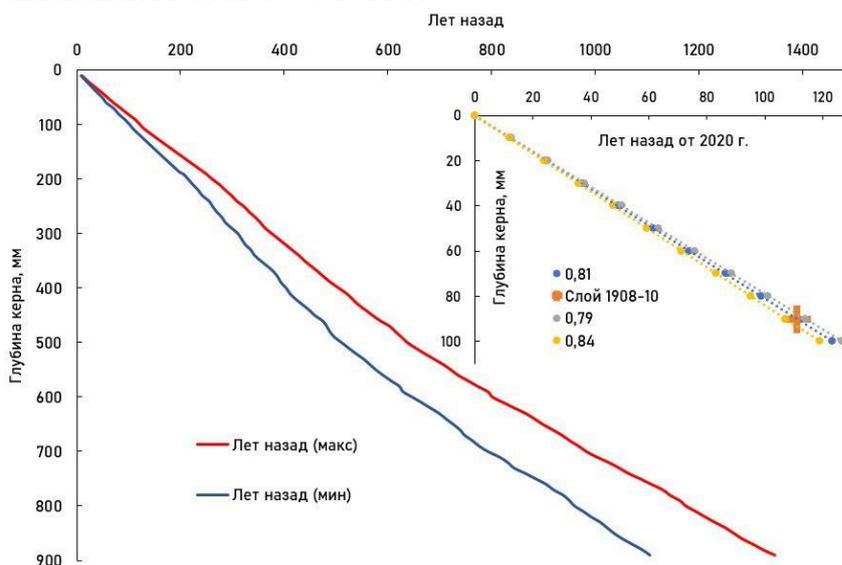


Рис. 2 – Возрастная модель: а – для верхнего интервала керна Реу-22-3 (0–100 мм) по данным варвохронологии и положения визуально выделяемого слоя 1908-1911 гг.; б – на полную глубину опробования. Макс – подсчет только надежно выделяемых слоев, мин – надежных и предполагаемых

По результатам подсчета визуально выделяемых слоев на всю глубину опробования керна, была построена возрастная модель на интервале 100 – 890 мм. После чего все полученные данные были усреднены и аппроксимированы экспоненциальной функцией.

Выделение климатических индикаторов. Построение трансферных функций.

При поиске взаимосвязи между геохимическими параметрами осадка и инструментально замеренными метеопараметрами, использовались данные ближайшей метеостанции в пос. Ванавара, расположенном в 30 км от озера Пеюнга.

С применением методических приемов, методом множественной регрессии, подробно описанным в работе [1], построены трансферные функции, связывающие климатические параметры (среднегодовую температуру) с литолого-геохимическими данными. Функция, отображающая зависимость среднегодовой температуры от геохимического состава осадка, выглядит следующим образом:  $T = 5,389 \cdot Co/Inc + 3,887 \cdot Br + 1,443 \cdot Rb - 5,657$ . Каждый символ элемента обозначает концентрацию этого элемента в г/т (ppm).  $Co/Inc$  – отношение упруго/неупруго рассеянного на образце возбуждающего излучения.

Для полученной функции коэффициент корреляции между исходными метеоданными, используемыми для обучения, и расчетными величинами составляет +0,58. Для 105 точек (1895-2000 гг.) эти коэффициенты являются значимыми ( $p=0.99$ ) и свидетельствуют о наличии устойчивой линейной связи между изменением среднегодовых температур и элементным составом осадка, накапливающимся под влиянием внешних климатических условий.

Применение полученной трансферной функции для верхних 100 мм осадка (временной интервал 1895-2000 гг.) для всего исследованного интервала (до глубины 900 мм), позволило получить температурную реконструкцию на всю глубину опробования керна (2003–967 гг.) (рис. 3).

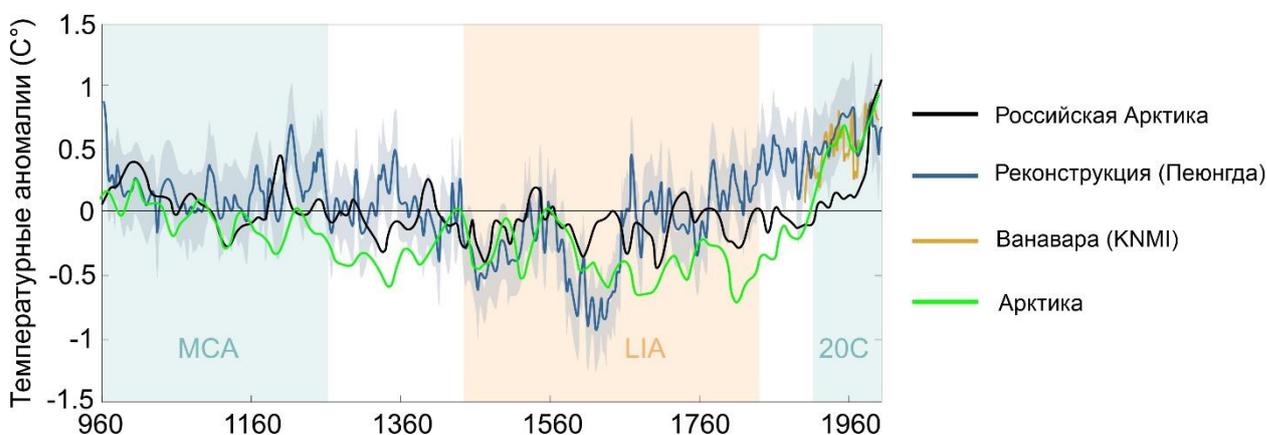


Рис. 3 – Региональные температурные реконструкции. а - сравнение инструментально замеренных метеоданных (п. Ванавара) и реконструированных изменений температуры в районе о. Пеюнга, серым показан интервал неопределенности; б – сравнение инструментально замеренных метеоданных и реконструированных изменений температуры Арктики [9] и Российской Арктики [5]

Заключение.

1. Донные отложения озера Пеюнга представляют собой отложения, содержащие переслаивающиеся годовые слои (варвы). Подсчет отдельных пар-слоев позволяет строить возрастную модель глубина керна–возраст слоя осадка с высокой точностью.

2. Корреляция элементного состава осадка с инструментально-замеренными метеоданными позволяет строить трансферные функции.
3. Полученная температурная реконструкция, в пределах оцененных погрешностей, совпадает с реконструированными изменениями среднегодовых температур Арктики [9].
4. Построенная реконструкция откалибрована по данным региональных метеонаблюдений, имеет количественную оценку погрешности и может использоваться при получении информации о природной периодичности климатических циклов.

*Работа выполнена в ходе выполнения государственного задания ИГМ СО РАН (№122041400214-9).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабич В.В., Рудая Н.А., Калугин И.А., Дарьин А.В. Опыт комплексного использования геохимических особенностей донных отложений и палинологических записей для палеоклиматических реконструкций (на примере оз. Телецкое, Российский Алтай) // Сибирский экологический журнал. 2015. № 22. № 4. С. 497–506.
2. Дарьин А.В., Калугин И.А., Ракшун Я.В. Сканирующий рентгеноспектральный микроанализ образцов донных осадков с использованием синхротронного излучения из накопителя ВЭПП-3 ИЯФ СО РАН // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2013. № 77. № 2. С. 204.
3. Дарьин А.В., Ракшун Я.В. Методика выполнения измерений при определении элементного состава образцов горных пород методом рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения из накопителя ВЭПП-3 // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. 2013. Т. 2 (51). С. 112–118.
4. Дарьин А.В., Рогозин Д.Ю., Мейдус А.В., Бабич В.В., Калугин И.А., Маркович Т.И., Ракшун Я.В., Дарьин Ф.А., Сороколетов Д.С., Гогин А.А., Сенин Р.А., Дегерменджи А.Г. Следы Тунгусского события 1908 г. в донных осадках озера Заповедное по данным сканирующего РФА-СИ // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2020. № 492. С. 61-65.
5. Клименко В.В., Мацковский В.В., Дальманн Д. Комплексная реконструкция температуры российской Арктики за последние два тысячелетия // Арктика: экология и экономика. 2013. № 4(12). С. 84-95.
6. Семенов В.А. Современные исследования климата Арктики: прогресс, смена концепций, актуальные задачи // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2021. № 57. С. 21-33.
7. Voës X., Fagel N. Relationships between southern Chilean varved lake sediments, precipitation and ENSO for the last 600 years // Journal of Paleolimnology. 2008. V. 39 (2). P. 237-252.
8. Hanhijärvi S., Tingley M. P., Korhola A. Pairwise comparisons to reconstruct mean temperature in the Arctic Atlantic Region over the last 2,000 years // Climate Dynamics. 2013. V. 41. P. 2039-2060.
9. IPCC. Climate Change 2013. The Physical Science Basis // Cambridge University Press, Cambridge and New York. 2013.
10. PAGES 2k Consortium. Continental-scale temperature variability during the last two millennia // Nature Geoscience. 2013. V. 6. P. 339–346.

## СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ И ЮЖНОЙ ЧАСТИ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ

*Дружинина А.С.<sup>1</sup>, Яковлев Е.Ю.<sup>1</sup>, Дружинин С.В.<sup>1</sup>, Иванченко Н.Л.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, [evgeny.yakovlev@fciarctic.ru](mailto:evgeny.yakovlev@fciarctic.ru)

<sup>2</sup>Центр коллективного пользования научным оборудованием «Арктика» Северного (Арктического) федерального университета имени М. В. Ломоносова, г. Архангельск

Использование подземных вод как приоритетного источника хозяйственно-питьевого водоснабжения является возможным решением проблемы обеспечения населения питьевой водой за счет естественной защищенности от поверхностного техногенного загрязнения [1]. Так в Ленинградской области и южной части Республики Карелия несколько водоносных горизонтов эксплуатируется как в питьевых, так и в технических целях.

Тяжелые металлы являются широко известными загрязнителями водной среды благодаря своей токсичности, долговечности и способности накапливаться в организме человека путем биоаккумуляции. Большинство тяжелых металлов встречаются в природе, но некоторые из них поступают в водную среду из антропогенных источников. Подземные воды также содержат в своем составе ряд тяжелых металлов, входящих в состав контактируемых горных пород, а также вносимых грунтовыми водами при выходе водоносного горизонта к поверхности. Повышенное содержание токсичных тяжелых металлов в подземных водах может негативно сказываться на качестве воды и невозможности дальнейшего ее использования для хозяйственно-питьевых целей. Таким образом, целью настоящего исследования является изучение физико-химических свойств подземных вод Ленинградской области и южной части Республики Карелия и оценка качества вод по отношению к содержанию в них тяжелых металлов.

**Методическая часть.** Схема расположения районов исследования в Ленинградской области и Южной Карелии представлена на рис. 1. Районы исследований и количество проб: 1 – Ломоносовский район (7 проб), 2 – г. Санкт-Петербург (8 проб), 3 – Выборгский район (4 пробы), 4 – Всеволожский район (15 проб), 5 – Приозерский район (2 пробы), 6 – Восточное Приладожье (7 проб), 7 – Западное Прионежье (4 пробы), 8 – Восточное Прионежье (1 проба), 9 – Поверхностные воды Ленинградской области и Южной Карелии (3 пробы). Отбор проб проводился в июне-июле 2022 г.

Измерения показателей pH и минерализации проводили непосредственно при отборе воды портативным pH-метром HI 9126 (США, Hanna Instruments) и кондуктометром МАРК-603/1 (Россия, ВЗОР) соответственно.

Для анализа металлов (Al, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, V, As, Sr, Mg, Fe, Ba) воду фильтровали через мембранный фильтр (размером пор 0,45 мкм) в пробирки из полимерного материала с последующей консервацией соляной кислотой до pH < 2. Определение концентраций металлов выполнялось с использованием атомно-абсорбционного спектрометра Shimadzu AA-7000 (Япония, Shimadzu) с пламенным и электротермическим атомизаторами.

Оценка качества подземных вод и возможных рисков для здоровья населения проводилась с помощью расчетов различных индексов, применяемых для характеристики качества питьевой воды по отношению к содержанию металлов.

Методики расчета индексов оценки качества воды (НМЕI, НМРI, НМТI) и индексов риска для здоровья населения (НI и CR) представлены в работе [2].

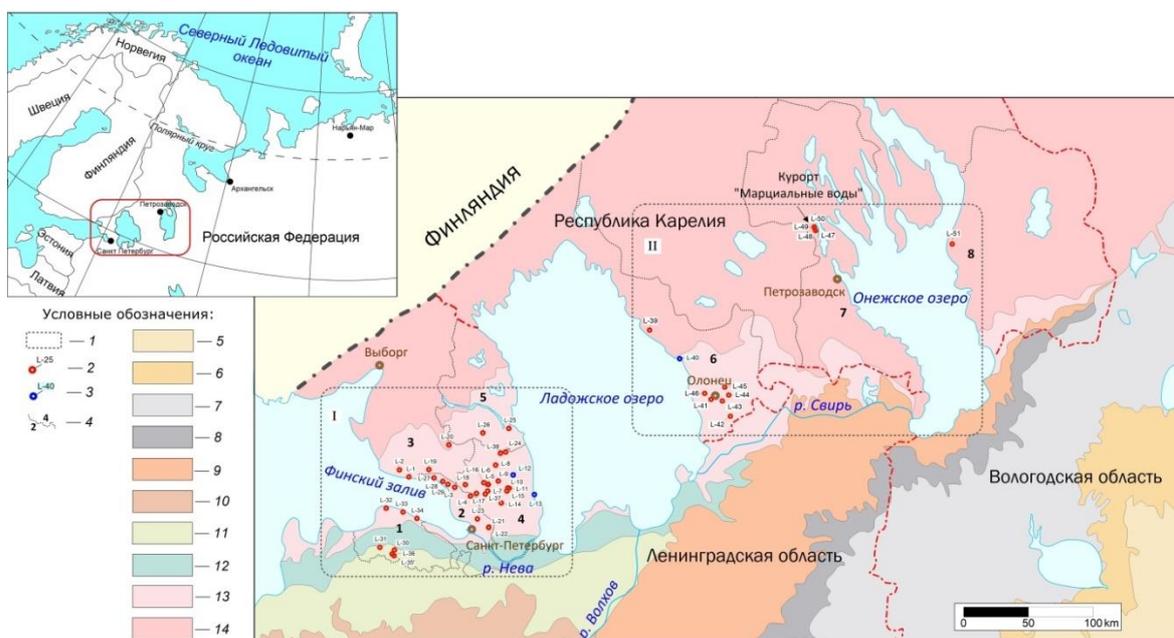


Рис. 1 – Геологическая схема территории исследований и расположение точек отprobования: 1 – основные районы исследований (I – Ленинградская область, II – Южная Карелия); 2 – точки отбора проб подземных вод; 3 – точки отбора проб поверхностных вод; 4 – границы между административными районами (районы указаны в методической части); 6 – границы между регионами; основные водоносные комплексы: 6 – верхнепермский; 7 – нижнепермский; 8 – верхне-среднекаменноугольный; 9 – нижнекаменноугольный; 10 – верхнедевонский; 11 – среднедевонский; 12 – кембро-ордовикский; 13 – нижнекембрийский; 14 – вендский; 15 – архейско-протерозойский кристаллический фундамент с водоносным горизонтом, приуроченным к зоне экзогенной трещиноватости и водоносными зонами глубоких региональных разломов

**Экспериментальная часть.** Значения pH подземных вод варьировались в пределах 5,43 – 8,20 ед. для Ленинградской области и 5,98 – 8,36 ед. для южной части Республики Карелия (табл. 1). Необходимо отметить, что в соответствии с требованием Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) для питьевой воды значения pH должны находиться в пределах 6,5-8,5 ед. [3].

Минерализация исследуемых подземных вод варьировалась в широких пределах от 25,8 мг/л до 4460 мг/л для вод Ленинградской области и от 155 мг/л до 7170 мг/л для вод Южной Карелии (табл. 1). В Ленинградской области подземные воды Выборгского и Приозерского районов относятся к ультрапресным, воды Ломоносовского района имеют ультрапресные и пресные источники, а воды Всеволожского района и г. Санкт-Петербурга имеют классификацию от ультрапресных до солоноватых и соленых соответственно. Наиболее высокоминерализованные воды выявлены в Полуостровском парке в скважине «Охотинская». Воды Западного Прионежья Республики Карелия имеют категории от ультрапресных до вод с относительно повышенной минерализацией, а воды Восточного Прионежья относятся к солоноватым. Подземные воды Восточного Приладожья классифицируются от ультрапресных до соленых, притом воды с наибольшей минерализацией были обнаружены в самоизливающихся деревенских скважинах. Отметим, что в соответствии с рекомендациями ВОЗ, минерализация питьевой воды не должна превышать 1000 мг/л [3].

Таблица 1 – Физико-химические свойства исследуемых подземных вод

Физико-химический параметр		Район исследований								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
рН, ед.	сред	<b>7,13</b>	<b>7,40</b>	<b>6,65</b>	<b>7,02</b>	<b>7,56</b>	<b>7,98</b>	<b>6,15</b>	<b>7,09</b>	<b>7,72</b>
	мин	6,46	6,70	5,85	5,43	7,39	7,48	5,98	7,09	7,36
	макс	7,58	8,20	7,73	8,11	7,72	8,36	6,51	7,09	8,38
Минерализация, мг/л	сред	<b>200</b>	<b>756</b>	<b>70,4</b>	<b>445</b>	<b>117</b>	<b>2790</b>	<b>346</b>	<b>1040</b>	<b>58,0</b>
	мин	25,8	56,9	63,6	60,9	116	155	173	1040	41,5
	макс	321	4460	79,9	1260	117	7170	533	1040	90,2

Среднее содержание тяжелых металлов в подземных водах Ленинградской области составляет Al 15,7 мкг/л, Cr 0,34 мкг/л, Mn 190,4 мкг/л, Co 0,24 мкг/л, Ni 1,96 мкг/л, Cu 1,31 мкг/л, Zn 14,3 мкг/л, Cd 0,36 мкг/л, Pb 0,64 мкг/л, As 0,76 мкг/л, Fe 1595 мкг/л, V 0,56 мкг/л, Sr 258 мкг/л и Ba 231 мкг/л. Для Приозерского района характерно относительно повышенные концентрации Ba (до 2330 мкг/л), Всеволожский район отличается относительно высокими концентрациями Co (до 1,4 мкг/л), Ni (до 17,3 мкг/л), Cu (до 6,2 мкг/л), Zn (до 322 мкг/л), Pb (до 3,2 мкг/л), в Выборгском районе выявлены повышенные концентрации Al (до 121 мкг/л), As (до 7,1 мкг/л), подземная вода в г. Санкт-Петербург отличается высоким содержанием Mn (до 2110 мкг/л), Cd (до 2,5 мкг/л), Fe (до 31400 мкг/л), V (до 2,0 мкг/л) и Sr (до 2770 мкг/л). Описанные в настоящем исследовании средние концентрации металлов ниже полученных ранее данных по водам из скважин г. Санкт-Петербурга, где среднее содержание металлов оставляет Fe 6400 мкг/л, Cr 9,0 мкг/л, Cu 13,5 мкг/л, Cd 0,1 мкг/л, Pb 5,2 мкг/л и Al 281 мкг/л [4].

Подземные воды южной части республики Карелия характеризуются более высокими средними значениями содержания большинства металлов: Al 19,5 мкг/л, Cr 0,39 мкг/л, Mn 440 мкг/л, Co 0,20 мкг/л, Ni 55,2 мкг/л, Cu 3,17 мкг/л, Zn 62,2 мкг/л, Cd 1,33 мкг/л, Pb 1,18 мкг/л, As 3,53 мкг/л, Fe 19450 мкг/л, V 1,43 мкг/л, Sr 1773 мкг/л и Ba 633 мкг/л. Наблюдаются повышенные концентрации Al (до 54,1 мкг/л), Mn (до 1180 мкг/л), Cu (до 6,9 мкг/л), Ba (до 2780 мкг/л), Sr (до 8570 мкг/л) в Восточном Приладожье и более высокие концентрации Ni (до 306 мкг/л), Zn (до 332 мкг/л), Cd (до 7,0 мкг/л), Pb (до 6,1 мкг/л), As (до 19,0 мкг/л), V (до 6,4 мкг/л), Fe (до 106000 мкг/л) в Западном Прионежье. По данным 1976–2012 гг. содержание Fe и Mn в “Марциальных водах” составляло 14000–106000 мкг/л и 300–800 мкг/л соответственно, что близко к представленным результатам в настоящей работе [5].

Для выявления степени загрязнения исследуемых вод был произведен расчет индексов качества воды и рисков для здоровья населения, результаты представлены на рисунке 2. Среди вод Ленинградской области (районы 1-5) необходимо отметить подземные воды г. Санкт-Петербурга, где некоторые пробы воды имеют критический серьезно загрязненный уровень (НМЕI до 110 и НМРI до 104), чрезвычайно высокую токсичность (НМТI до 1732) и высокий риск возникновения канцерогенных (CR до  $14,8 \cdot 10^{-4}$ ) и неканцерогенных (HI до 4,8) эффектов. К таким водам относится минеральная воды из скважины “Полостровская” в Полостровском парке. Однако, значения индексов для данного района, при исключении скважины «Полостровская», в среднем классифицируют воды как сильнозагрязненные (по индексу НМЕI) и слабозагрязненные (по индексу НМРI), умеренно токсичные, с низкой вероятностью возникновения неканцерогенных эффектов и риском канцерогенных эффектов немногим выше порогового уровня. Также выделяется Всевожский район, воды которого серьезно загрязнены металлами (НМЕI до 34,8 и НМРI до 37,7), имеют чрезвычайно высокую токсичность (НМТI до 1110) и высокий канцерогенный риск (CR до  $12,1 \cdot 10^{-4}$ ). Подземные воды Приозерского района обладают очень высокой и чрезмерно высокой токсичностью. Менее загрязненными тяжелыми металлами подземные воды определяются для Выборгского и Ломоносовского районов, которые в

основном классифицируются от чистых до умеренно загрязненных и имеют низкую и умеренную токсичность, но вода в некоторых скважинах в данных районах имеет значительные канцерогенные и неканцерогенные риски. Необходимо отметить, что основной причиной загрязнения воды тяжелыми металлами в г. Санкт-Петербург и Ленинградской области является высокая степень урбанизированности, промышленная и сельскохозяйственная деятельность, которые оказывают воздействие практически на все водоносные горизонты, включая подземные воды.

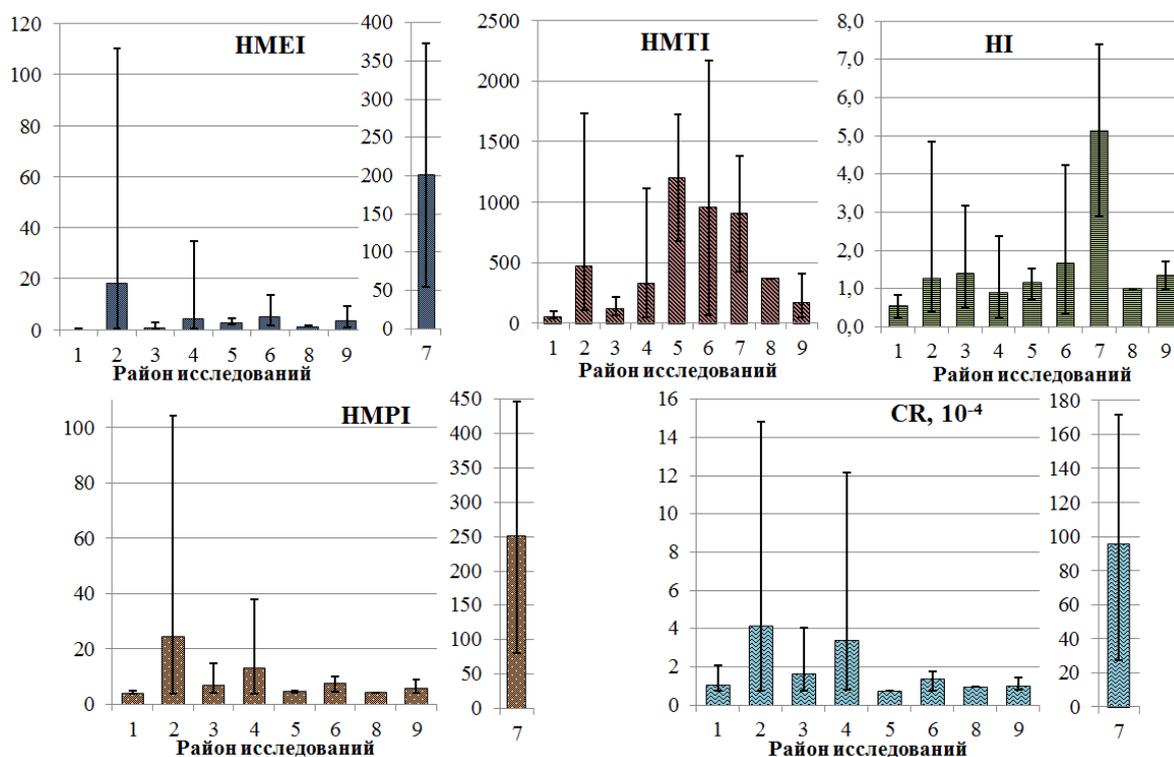


Рис. 2 – Индексы качества исследуемых вод и риски для здоровья населения (в виде планок погрешностей указаны минимальные и максимальные значения индексов)

Согласно полученным данным по южной части Республики Карелия наиболее серьезно загрязненными тяжелыми металлами подземными водами (HMEI до 374 и HMPI до 446) с очень высокой токсичностью (HMTI до 1380) являются район Западного Прионежья. При потреблении подземных вод данного района возможны проявления неканцерогенных рисков (HI до 7,4) и чрезвычайно высока вероятность возникновения канцерогенных эффектов (CR до  $172 \cdot 10^{-4}$ ). Однако, необходимо отметить, что данные пробы представляют собой воду из скважин санатория «Марциальные Воды», которые не используются в качестве постоянного источника питьевой воды. Воды Восточного Приладожья по некоторым индексам также относятся к сильно и серьезно загрязненным источникам (HMEI до 14,4), обладают очень высокой и чрезвычайно высокой токсичностью (HMTI до 2213) и вызывают не канцерогенные эффекты (HI до 4,2) при употреблении воды в качестве питьевой. Наиболее загрязненными являются скважины в деревнях Олонецкого района. Подземные воды Восточного Прионежья являются менее загрязненными и по индексам качества схожи с поверхностными водами изучаемых районов. Необходимо отметить, что подземные воды южной части Республики Карелия имеют природное высокое содержание тяжелых металлов, как, например, в санатории «Марциальные Воды».

В целом отмечается, что для исследуемых грунтовых водах на индексы загрязнения наибольшее влияние оказывает содержание таких металлов как Fe и Mn, а также Ba, Zn, Ni и Cd. Высокие содержания данных тяжелых металлов вызывают

многочисленные отрицательные эффекты для здоровья человека. Так избыток железа в питьевой воде увеличивает риск заболеваний печени (цирроз, рак), сердечной недостаточности, сахарного диабета, остеоартрита, остеопороза и других многочисленных симптомов [6]. Воздействие марганца в больших количествах может вызвать неврологические осложнения, такие как болезнь Альцгеймера и Паркинсона [7]. Поглощение большого количества никеля повышает вероятность развития рака (легких, носа, гортани), дыхательной недостаточности, эмболии легких, астмы и др. [6]. Чрезмерное употребление бария вызывает гастроэнтерит, гипокалиемию, острую гипертонию, сердечные аритмии и паралич скелетных мышц. Избыточное поступление кадмия вызывают повреждение легких, почек, желудочно-кишечного тракта и костей, а при большом количестве цинка поражается иммунная система и развиваются аутоиммунные заболевания (ревматоидный артрит, системная красная волчанка и т. д.).

Таким образом, в результате проведенных физико-химических исследований подземных вод для различных районов Ленинградской области и Южной Карелии выявлено несоответствие качества вод некоторых скважин по параметрам, установленным для питьевой воды. Расчет индексов качества подземных вод по отношению к содержанию тяжелых металлов показали, что большинство исследуемых вод классифицируются от «умеренно загрязненного» до «серьезно загрязненного» уровней. Установлена высокая и чрезвычайно высокая токсичность подземных вод некоторых районов. Показано, что при потреблении исследуемой воды высоки риски возникновения канцерогенных и неканцерогенных эффектов. Среди вод Ленинградской области наиболее загрязнены металлами подземные воды г. Санкт-Петербурга. В южной части Карелии наиболее высокие значения индексов выявлены для вод Западного Прионежья. На уровень качества вод наибольшее влияние оказывают содержания Fe, Mn, Ba, Zn, Ni и Cd.

*Исследования проведены при финансовой поддержке РНФ, проект № 20-77-10057 «Диагностика деградации мерзлоты на базе изотопных трассеров ( $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ,  $\delta^{18}\text{O}+\delta^{2}\text{H}$ ,  $\delta^{13}\text{C}+^{14}\text{C}$ )».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бородулина Г.С., Левичев М.А., Субетто Д.А. Оценка использования ресурсного потенциала подземных вод Республики Карелия // Общество. Среда. Развитие. 2017. №4. С. 152–156.
2. Яковлев Е.Ю., Дружинин С.В., Дружинина А.С. и др. Сезонная динамика содержания тяжелых металлов и оценка загрязнения воды в реке Северная Двина (Архангельск) // Арктика: экология и экономика. 2023. Т.13, №2. С. 223-233.
3. WHO. Guidelines for Drinking-water Quality, fourth ed. incorporating the first addendum. Geneva, Switzerland, 2017.
4. Румянцев И.А. Загрязнение подземных вод в прибрежной территории Санкт-Петербурга // Вестник СПбГУ. 2016. Сер. 7, Вып. 3. С. 177–185.
5. Токарев И.В., Бородулина Г.С., Блаженникова И. В. И др. Условия формирования железистых минеральных вод по изотопногеохимическим данным (курорт “Марциальные воды”, Карелия) // Геохимия. 2015. № 1. С. 88–91.
6. Jamshaid M., Khan A.A., Ahmed K., Saleem M. Heavy metal in drinking water its effect on human health and its treatment techniques - a review // International Journal of Biosciences. 2018. Vol. 12. No. 4. P. 223-240.
7. Mitra S., Chakraborty A.J., Tareq A.M. et al. Impact of heavy metals on the environment and human health: Novel therapeutic insights to counter the toxicity // Journal of King Saud University – Science. 2022. Vol. 34, No. 3. 101865.

## ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕЗОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРНЫХ РАЙОНОВ ЗАПАДНОЙ И СРЕДНЕЙ СИБИРИ: РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

*Злобина О.Н.*

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,  
г. Новосибирск, Zlobina@ngs.ru

Литологические исследования востребованы во многих отраслях народного хозяйства России, их наибольший вклад в экономику страны связан с поиском и разведкой месторождений полезных ископаемых, в том числе - открытием в осадочных толщах залежей нефти и газа. С этой целью в XXI веке геологоразведочные работы ведутся по нескольким направлениям: поиск пропущенных залежей углеводородов (УВ) на территории уже разрабатываемых месторождений, разведка удалённых от инфраструктуры участков из нераспределённого фонда недр и доразведка на площадях, где ранее при бурении скважин отмечались углеводородные скопления в количествах, варьирующих от слабых проявлений до полупромышленных притоков. В данной статье изложены основные результаты литологических исследований, полученные автором при изучении мезозойских разрезов севера Западной и Средней Сибири за последние 22 года. В Приуральской части Западной Сибири (ЗС) предметом послужил керновый материал новых скважин, заложенных в Северо-Сосьвинском районе на территории, удалённой от разрабатываемых месторождений Шаимского, Красноленинского и др. районов и слабо охваченной бурением вплоть до 2000 г. В пределах северо-восточной окраины ЗС и смежных со Средней Сибирью (СС) участков большой объём данных был получен при изучении керна скважин, пробуренных на площадях: Южно-Носковской, Нанадянской, Ушаковской, Пеляткинской, Северо-Соленинской, Южно-Соленинской, Туколандо-Вадинской, Западно-Мессояхской, Восточно-Мессояхской и др. В арктическом секторе СС – на площадях Озёрной, Хабейской, Волочанской, Новой, Западно-Кубалахской, Восточно-Кубалахской, Кубалахской, Логатской, Массоновской, Балахнинской, Хастахской, а также при исследовании разрезов, обнажающихся в береговых уступах бухты Нордвик (м. Лаптевых). Работа проводилась в лаборатории седиментологии ИНГГ СО РАН под руководством академика А.Э. Конторовича, д.г.-м.н. Ю.Н. Занина и В.И. Москвина, к.г.-м.н. М.А. Левчука, Е.М. Хабарова, С.В. Ершова, С.А. Моисеева и П.А. Яна, в сотрудничестве с коллегами Т.П. Батуриной, В.А. Мариновым, Г.М. Писаревой, А.Ю. Нехаевым, С.А. Кугаколовым, С.В. Родякиным и др. С 2012 года под руководством автора к изучению присоединились студенты НГУ в рамках подготовки курсовых, бакалаврских работ и магистерских диссертаций.

В Северо-Сосьвинском районе новыми скважинами на Южно-Сарманской, Нерохской и Мапасийской площадях был вскрыт наиболее полный разрез осадочных пород мезозоя Приуральской части ЗС. В соответствии с региональной стратиграфической схемой, в его строении были выделены: ятринская свита (триас), яны-маньинская (нижняя-средняя юра), тольинская (средняя юра) и даниловская свита (средняя-верхняя юра) [1]. Комплексный литологический анализ с привлечением геофизических, геохимических и палеонтологических данных позволил автору реконструировать разрез и установить строение, состав и обстановки седиментации отложений [2, 3]. В результате детального изучения последовательностей наложения разных типов пород яны-маньинская (толщиной 293-339 м) и тольинская (толщиной 120-153 м) свиты были впервые расчленены на подсвиты, что позволило провести более точную корреляцию с изохронными отложениями Красноленинского и Шаимского нефтегазоносных районов (НГР), располагающихся южнее. Возраст выделенных подразделений (свит и подсвит) был детально охарактеризован

палеофлористическими материалами, полученными А.Ф. Фрадкиной (ИНГГ СО РАН), Н.К. Могучевой (СНИИГГиМС), и комплексами фораминифер, изученными Л.К. Левчук (ИНГГ СО РАН) [4]. Установлена значительная латеральная изменчивость нижнеюрских осадков. В нижней подсвите (толщиной 91-95 м) яны-маньинской свиты выделяются два различных типа разреза: в первом преобладают песчаники и алевролиты, слагающие толщу до 70 м, перекрывающуюся углисто-глинистой пачкой (мощностью до 21 м, включая до 7 прослоев углей); во втором преобладают алевроглинистые породы (мощностью до 93 м) с пластом песчаников (толщиной до 2 м) в подошве. В целом, нижняя подсвита преимущественно сероцветного облика, для отложений характерны включения углефицированного растительного детрита (УРД), интракластического материала и стяжений сидерита, в разрезе второго типа присутствуют тонко рассеянные включения пирита. Средняя подсвита (толщиной 123-134 м) сложена в нижней части разнопорядковым переслаиванием аргиллитов, алевролитов, углей и песчаников, с преобладанием первых двух типов. Углистые слои более частые и мощные, чем в подстилающих породах. Отмечаются линзовидные прослои интенсивно сидеритизированных пород, многочисленные включения УРД. В верхней части средней подсвиты наблюдается переслаивание пестроцветных осадков - зеленовато-серых песчаников и алевролитов, красно-коричневых и зеленовато-серых аргиллитов с флористическими остатками, зёрнами глауконита, примесью гальки и гравия. Залегающая выше верхняя подсвита (толщиной 75-114 м) яны-маньинской свиты в нижней части представлена зеленовато-серой толщей чередующихся пластов аргиллитов, алевролитов и песчаников с прослоями мелкогалечных конгломератов. Характерны включения УРД, стяжений сидерита, зёрен глауконита. В верхней части выделяется пестроцветная пачка, в основании которой залегают глины, выше пески, алевролиты, осадочные брекчии, в кровле угли. В глинах присутствует примесь магнетита и гематита, в песках - зёрна глауконита и глауконитизированные обломки базальтов. По комплексу признаков автором установлено, что седиментация нижней подсвиты происходила преимущественно в пресноводных озёрных условиях, средняя подсвита формировалась в дельтовом комплексе с широким развитием внутри дельтовых обстановок, а верхняя - в прибрежно-морских условиях при значительном влиянии пролювиальных процессов. Эти выводы следует учесть при внесении изменений в схему структурно-фациального районирования отложений нижней и средней юры, на которой Северо-Сосьвинский район располагается в области континентального седиментогенеза [1].

Выделенная выше тольинская свита была расчленена автором на две подсвиты [3]. В основании нижней подсвиты (общей мощностью 36-52 м, в основном сероцветной) залегают пласт песчаников гравелитовых (толщиной 3-4 м) с маломощными прослоями алевролитов, далее вверх по разрезу отмечается глинисто-алевролитовая пачка (толщиной 1-6 м), сложенная преимущественно алевролитами (на некоторых участках глинистыми) с многочисленными включениями УРД. В перекрывающих отложениях (толщиной 31-43 м) наблюдается латеральная изменчивость и выделяются 2 типа разреза: в первом - в подошве залегают пласт песчаников (толщиной до 4 м) алевролитистых, в кровле алевролитовых, выше отмечается пачка (толщиной до 27 м) часто переслаивающихся углистых аргиллитов, алевролитистых аргиллитов, глинистых алевролитов с линзовидными стяжениями сидерита и прослоями угля. Разрез второго типа имеет хорошо выраженное ритмичное строение. В основании каждого из трёх ритмов (толщиной по 13-16 м) залегают пласт песчаников (толщиной 2-4 м) с редкими включениями УРД, перекрывающийся аргиллитами с варьирующей примесью алевролитового, реже песчаного материала, прослоями углистыми. Для глинистых пород нижнетольинской подсвиты характерны включения углефицированных остатков корневой системы растений и отпечатки листьев хорошей сохранности. Верхняя подсвита тольинской свиты (мощностью 85-101

м) имеет также ритмичное, но более сложное строение со значительными вариациями толщин песчаников (от 1 до 24 м) и перекрывающих их глинистых пачек (от 3 до 33 м). В некоторых ритмах среди сероцветных пород выделяются пласты/пачки зеленовато-серого, серо-коричневого и коричневого цвета. В верхней части подсвита наблюдаются карбонатизированные и углистые прослои, включения галек, зёрен глауконита и пиритизированных остатков растений, в кровле обнаружен моновидовой комплекс фораминифер [4]. Проведённый седиментационный анализ позволил установить, что преимущественно сероцветная нижняя подсвита тольинской свиты накапливалась в существенно континентальных условиях, а верхняя представляет собой фации переходные от континентальных к морским. Согласно петрофизическим данным в выделенном здесь дельтовом комплексе наилучшими коллекторскими свойствами обладают мелкозернистые песчаники фронта дельты (пористость до 33%, проницаемость до 1137 мД). Необходимо отметить высокую научно-практическую значимость детальных схем корреляции литостратиграфических подразделений, выделенных в Северо-Сосьвинском районе, с изохронными отложениями в Шаимском и Краснотенинском НГР [3]. Автором на схемах приведены не только толщины пластов и пачек, но также гранулометрический и минеральный состав гравелитов, песчаников и алевролитов, типы цемента, минеральный состав глинистого вещества и содержание органического углерода. Эти обобщенные и структурированные данные могут представлять полезный инструмент для выявления новых перспективных участков между Северо-Сосьвинским и более южными Шаимским, Краснотенинским районами.

В Арктическом секторе России северо-восток ЗС и Енисей-Хатангский бассейн (ЕХБ) рассматриваются среди приоритетных объектов для открытия крупных залежей УВ в относительно неглубоко залегающих меловых отложениях. К настоящему времени месторождения открыты на ряде площадей – Пайяхской, Сузунской, Ванкорской, Байкаловской, Северо-Соленинской, Южно-Соленинской, Западно-Мессояхской, Восточно-Мессояхской и др. Однако, до сих пор многие вопросы геологического строения территории, осваиваемой с 1940 г., остаются дискуссионными. Геолого-геофизические и промысловые данные свидетельствуют о крайне неравномерном размещении и сложном строении ловушек нефти и газа, особенно на многозалежных месторождениях. В связи с этим в ИНГГ СО РАН с 2006 г. было реализовано несколько проектов по дополнению и детализации модели осадочного разреза указанного сектора Арктики с целью выявления в нём закономерностей размещения ловушек УВ. В рамках этих проектов автором вместе с коллегами и студентами НГУ выполнены комплексные литолого-геохимические и структурно-литостратиграфические исследования, результаты которых изложены в отчётах, магистерских диссертациях, осящены в публикациях [5-9]. Получены новые данные о клиноформном строении осадков верхней юры (яновстанская, гольчихинская свиты) и нижнего мела (нижнехетская, суходудинская свиты). Установлено, что клиноформный комплекс представлен нижнехетской (в полном объёме) и перекрывающей суходудинской (нижняя часть) свитами, а также подстилающими отложениями – верхней частью гольчихинской свиты и изохронным разрезом яновстанской. Накопление комплекса началось в позднем титоне и продолжалось до второй половины валанжинского века, осадки формировались на северном и южном склонах Мессояхской наклонной гряды и в Большехетской мегасинеклизе, где перекрыли залегающие субпараллельно, ранее накопившиеся отложения верхней юры. Комплекс характеризуется достаточно однообразным литологическим составом - чередованием пачек (толщиной до 80 м) тонкопереслаивающихся пород (алевролитов песчаных, песчанистых, глинистых, известковистых; аргиллитов; реже песчаников) и более однородных линзовидных прослоев (алевролитов, аргиллитов и песчаников, толщиной до 12 м) с деформативной, массивной, участками градиционнослоистой текстурой, со следами частых размывов, оползания и взмучивания. В результате

анализа латеральной изменчивости толщин литостратиграфических подразделений, выделенных при расчленении и корреляции разрезов, вскрытых скважинами на разных площадях, было сделано заключение о широком развитии инверсионных процессов. Так, наиболее мощные отложения зафиксированы в нижней части склонов воздымающихся тектонических блоков Мессояхской наклонной гряды. Седиментация тонкопереслаивающихся пород, вероятно, связана с подводными оползнями и турбидитными потоками, которые перемещали с этих возвышенностей ранее накопившиеся осадки [9]. Их значительные объемы свидетельствуют о предварительном масштабном процессе аккумуляции, поэтому предполагается, что поднятию блоков предшествовало их интенсивное погружение с компенсированным характером седиментации в течении поздней юры. В конце титона, начале берриаса движение блоков изменило направление на противоположное, темпы воздымания способствовали перемещению и неоднократному переотложению осадков у подножия.

Проявление активных геодинамических процессов в верхней юре зафиксировано также в восточной части Енисей-Хатангского прогиба и Анабаро-Хатангской седловине, где на протяжении почти всего юрского периода в морских условиях накапливалась толща (мощностью до 2600 м), сложенная частым однообразным переслаиванием песчано-алевритовых и глинистых пород с конкреционными карбонатными прослоями (толщиной до 6 м) и редкими пластами песчаников (толщиной до 10 м) – фациями кос, пересыпей и баров затопляемого побережья с изрезанной береговой линией [10]. На палеогеографической схеме, построенной для верхней юры и берриаса, в осевой части морского пролива выделяется цепочка островной суши, в разрезах которой фиксируются размывы, сокращение толщин осадков и значительные перерывы в осадконакоплении. На этих палеоостровах, расположенных вдали от источников сноса, накапливался более крупнообломочный материал по сравнению с окружающими существенно глинистыми, участками углеродистыми отложениями. Предполагается, что он мог поступать в область седиментации в результате размыва пластов песчаников средней юры (например, вымской свиты), слагающих валы (Балахнинский и др.) и выведенных тектоническими движениями на поверхность. По комплексу признаков установлено, что разрез юры формировался в обстановках континентального шельфа, северо-восточная часть которого в настоящее время располагается под водами моря Лаптевых и, вероятно, имеет подобное строение и аналогичный состав осадочной толщи.

В тоже время были получены результаты детального литологического изучения отложений нижнего мела, вскрытых в береговых обрывах полуострова Юрюнг-Тумус в бухте Нордвик (м. Лаптевых). Установлены особенности строения разреза, гранулометрический и минеральный состав осадков. На основании палеонтологических и литологических данных выполнены расчленение и корреляция нижнемеловых отложений, вскрывающихся в разных блоках обнажений, составлен сводный разрез, в котором выделены: паксинская (валанжин), балагачанская (валанжин-нижний готерив) и тигянская (готерив) свиты. Сделано заключение о палеогеографических условиях седиментации выделенных свит [11]. Изложенные результаты дополнили и отчасти изменили существующие представления о строении, составе и обстановках формирования мезозойских отложений некоторых районов севера Сибири. Дальнейшие исследования на смежных территориях, обобщение и структурирование материалов расширят возможности для перспективного развития нефтегазовой отрасли.

*Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания по теме «Цифровая модель Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, седиментогенез и литостратиграфия, закономерности размещения нефтяных и газовых месторождений, детализированная количественная оценка ресурсов углеводородов в традиционных и нетрадиционных скоплениях, как основа прогноза развития нефтегазового комплекса» № гос. регистрации FWZZ-2022-0007 и по теме «Цифровые*

*геолого-геофизические модели и оценка перспектив нефтегазоносности осадочных бассейнов Арктической зоны Сибири и республики Саха (Якутия); усовершенствование геолого-геофизических методов исследований» № гос. регистрации FWZZ-2022-0009.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Решение 6-го Межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири, Новосибирск, 2003 г. / Новосибирск: СНИИГГиМС, 2004. 114 с.
2. Батурина Т.П., Злобина О.Н. Литолого-геохимическая характеристика пород триасового возраста Северо-Сосьвинского района // Проблемы геологии и географии Сибири. Сборник трудов конференции. 2-4 апреля 2003, Томск: в 3 частях. Томск: Вестник ТГУ, 2003. Вып. 3 (II). С. 227-229.
3. Злобина О.Н. Строение, состав и обстановки формирования юрских отложений Приуральской части Западной Сибири в связи с нефтегазоносностью региона: дис. ... кандидата геолого-минералогических наук: 25.00.06 – Новосибирск, 2009. – 300 с.
4. Злобина О.Н., Левчук Л.К. Даниловская свита Северо-Сосьвинского района Западной Сибири (литология, микрофауна) // Научная сессия, посвященная 100-летию со дня рождения чл.-кор. АН СССР В.Н. Сакса, Палеонтология, стратиграфия и палеогеография мезозоя и кайнозоя бореальных районов. Сборник трудов конференции. 18-22 апреля 2011, Новосибирск: в 2-х томах. Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2011. Т.1. С. 102-106.
5. Злобина О.Н. Отложения верхней юры Енисей-Хатангского прогиба // Второе всероссийское совещание Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии. Сборник трудов конференции. 26-30 сентября 2007, Ярославль: ЯГПУ, 2007. С. 81-82.
6. Злобина О.Н. Литология и палеогеография нижнего мела Енисей-Хатангского бассейна и прилегающих районов Западной Сибири // Международная научно-практическая конференция Литологические и геохимические основы прогноза нефтегазоносности. Сборник трудов конференции. 30 июня - 3 июля 2008, Санкт-Петербург: ВНИГРИ, 2008. С. 620-630.
7. Злобина О.Н. Литология и палеогеография нижней юры Енисей-Хатангского бассейна // VI Международный научный конгресс ГЕО-Сибирь-2010. Сборник трудов конференции. 19-29 апреля 2010, Новосибирск: в 6-ти томах. Новосибирск: СГГА, 2010, Т.2. С. 81-85.
8. Маринов В.А., Злобина О.Н., Игольников А.Е. и др. Биостратиграфия и условия формирования нижнего мела малохетского структурно-фациального района (Западная Сибирь) // Геология и геофизика. 2015. Т.56. №10. С. 1842-1853.
9. Злобина О.Н., Карамышева Т.Ю. О роли тектонического фактора в формировании берриас-валанжинских клиноформ западной части Енисей-Хатангского регионального прогиба и прилегающих территорий Западно-Сибирской геосинеклизы // XVI Международная научная конференция Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2020. Сборник трудов конференции. 20-24 апреля 2020, Новосибирск: в 8 томах. Новосибирск: ИНГГ, 2020. Т.2. С. 101-112.
10. Арефьев А.В. Строение, состав и нефтегазоносность верхнеюрских отложений Анабаро-Хатангской седловины и восточной части Енисей-Хатангского регионального прогиба (север Средней Сибири) // Международная научная студенческая конференция МНСК-2016. Сборник трудов конференции. 16-20 апреля 2016, Новосибирск: в 34 частях. Новосибирск: НГУ, 2016. Вып. 18 (Геология). С. 93.
11. Злобина О.Н., Маринов В.А., Кугаколов С.А., Перепёлкин А.С. Литология и палеогеография нижнего мела Анабаро-Хатангской седловины (север Средней Сибири) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2014. №2с. С. 88-98.

## РЕГИСТРАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ КАРЕЛЬСКОЙ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ

Зуева И.А.<sup>1</sup>, Бурмин В.Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии КарНЦ РАН, г. Петрозаводск, ek92wa@mail.ru.

<sup>2</sup>Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва.

Осуществление сейсмического мониторинга на территории Карелии началось в 2000 г. с установки станции «Петрозаводск» в Ботаническом саду г. Петрозаводск [1]. С 2015 г. и по настоящее время сейсмическая сеть Карелии включает в себя четыре пункта наблюдений, которые располагаются в Лоухском, Питкярантском, Прионежском районах и в районе г. Костомукша (рис. 1). С 2017 г. результаты сейсмологических наблюдений передаются ФИЦ Единой Геофизической службе РАН в г. Обнинск.

Сейсмические станции PAAN, PITK, KOS6 оснащены цифровыми широкополосными трехкомпонентными велосиметрами CMG-6TD со встроенным регистратором 24 бита, а станция PTRZ комплектом цифровой широкополосной аппаратуры фирмы «GeoSIG LTD». Цифровая сейсмическая станция PTRZ состоит из регистратора GSR-24 и широкополосного CMG-3ESP велосиметра. Принцип действия велосиметра основан на преобразовании внешних низкочастотных колебаний, возникающих в месте установки прибора, в электрический сигнал, амплитуда и частота которого пропорциональны внешнему воздействию. Обработка сейсмических данных осуществляется при помощи программ ELRESS, WSG, HYPO\_BUR [2,3,4]. Полученные результаты заносятся в сейсмический каталог Карелии.

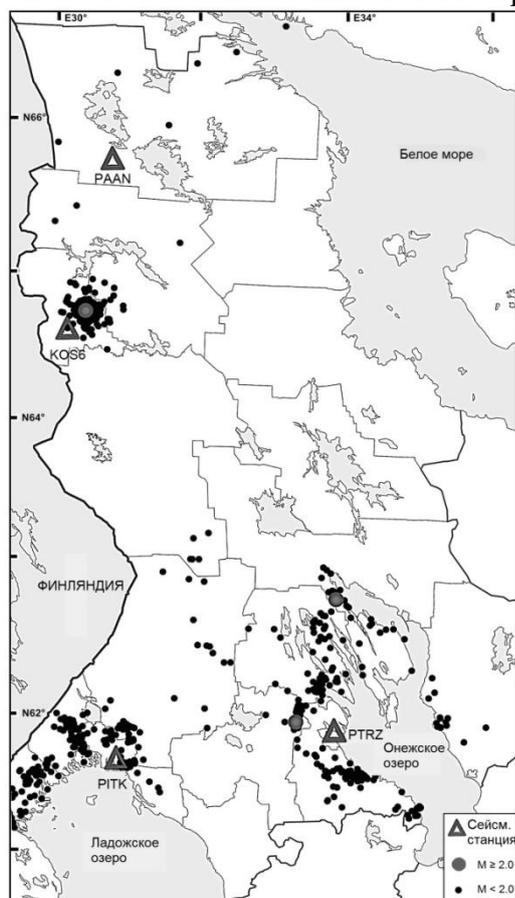


Рис. 1 – Схема расположения Карельской сейсмической сети, эпицентров сейсмических событий на территории Карелии (с 2015 г).

Наличие сейсмической сети в регионе позволяет проводить контроль за естественной и техногенной сейсмичностью, регистрировать региональные, телесеизмические, а также слабые местные сейсмические события (рис.1) В сейсмический каталог Карелии заносятся только местные сейсмические события с указанием природы события.

Для оценки качества полученных результатов важной является оценка эффективности сейсмической сети, развернутой в Карелии. Под эффективностью сейсмологической сети понимаются минимальные магнитуды или энергетические классы землетрясений, которые регистрируются сейсмическими станциями сети, а также точность определения координат гипоцентров землетрясений [4]. В работе [5] проведена оценка эффективности Карельской сейсмологической сети. Показано, что значения максимальных ошибок в определении координат эпицентров землетрясений в центре сети (в местах сгущения сейсмических станций) 1,5 км по широте и 2 км по долготе, а на периферии сети — 6, 11 км соответственно. Значения максимальных ошибок в определении глубин очагов землетрясения не превышают 5 км в окрестностях станций и 20 км на всей территории Карелии. Сейсмическая сеть Карелии регистрирует землетрясения с минимальной магнитудой 1,8 в тех областях, где плотность сейсмических станций повышается. На периферии сети и в областях, где плотность станций невелика, сеть регистрирует события магнитудой 3,4.

Эффективность сети наблюдений зависит и от числа станций, а также взаимного расположения станций между собой. Как показано на (рис.1) станции Карельской сейсмической сети распределены неравномерно, их количество невелико, поэтому сеть недостаточно эффективна. В разных точках на территории региона регистрируются сейсмические события (землетрясения и карьерные взрывы) разной минимальной магнитудой и с разной точностью. Для того, чтобы события, происходящие в разных точках Карелии, регистрировались с одинаковой точностью и одной минимальной магнитудой, необходимо расположить сейсмические станции системы более равномерно по всей территории, т.е. система наблюдений должна иметь оптимальную конфигурацию [6].

Таким образом, как показывают полученные сейсмические данные, функциональные возможности существующей Карельской сейсмической сети позволяют получать обширную информацию о проявлении сейсмичности в регионе, а для эффективной работы уже существующую сейсмическую сеть нужно оптимально дополнить сейсмическими станциями.

*Работа выполнена по государственному заданию Института геологии КарНЦ РАН в рамках темы НИР 218 № 1022040500826-4, по проекту FMWU-2022-0010 государственного задания Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы / Под ред. Н.В. Шарова, А.А. Маловичко, Ю.К. Шукина / Кн.1: Землетрясения. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 381 с.
2. Асминг В.Э. Программный комплекс для автоматизированной обработки сейсмических записей «EL» // Приборы и методика геофизического эксперимента. Мурманск: изд. ОСЮ "МИП-999", 1997. С. 125-132.
3. Красилов С.А., Коломиец М.В., Акимов А.П. Организация процесса обработки цифровых сейсмических данных с использованием программного комплекса WSG // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы международной сейсмологической школы, посвященной 100-летию

открытия сейсмических станций Пулково и Екатеринбург. 2-6 октября 2006. Обнинск: ГС РАН, 2006 С. 77-83.

4. Некоторые обратные кинематические задачи сейсмологии: Теория, эксперименты, результаты / Бурмин В.Ю. М.: Наука, 2019. 276 с.

5. Бурмин В.Ю., Зуева И.А. Эффективность сейсмологической сети Республики Карелия // Сейсмические приборы. 2022. Т. 58. № 4. С. 81-96.

6. Бурмин В.Ю. Оптимальная конфигурация сейсмологической сети Карелии // Вопросы инженерной сейсмологии. 2022. Т. 49. С. 117-129.

## СЕЙСМИЧНОСТЬ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ПОЛУОСТРОВА ТАЙМЫР

Конечная Я.В.<sup>1,2</sup>, Антоновская Г.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, yanakon@mail.ru

<sup>2</sup> Единая геофизическая служба РАН, г. Обнинск

Северный морской путь (СМП) является важнейшей частью инфраструктуры экономического комплекса Крайнего Севера и связующим звеном между российским Дальним Востоком и западными районами страны. Трасса СМП проходит через моря: Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское. Расширение Архангельской сейсмической сети (АСС) Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН (далее – ФИЦКИА) на восток позволяет охватить сейсмическим мониторингом Карское море и прибрежные территории. В частности, открытие сейсмической станции «Колба» (с/с «Колба») в октябре 2020 г. в районе пгт. Диксон Таймырского Долгано-Ненецкого района Красноярского края на территории геофизической станции «Колба» им. В.В. Ходова Северного УГМС позволила выявить сейсмичность в Карском море и в районе арх. Новая Земля, а также регистрировать отдельные землетрясения на побережье п-ва Таймыр (рис. 1).

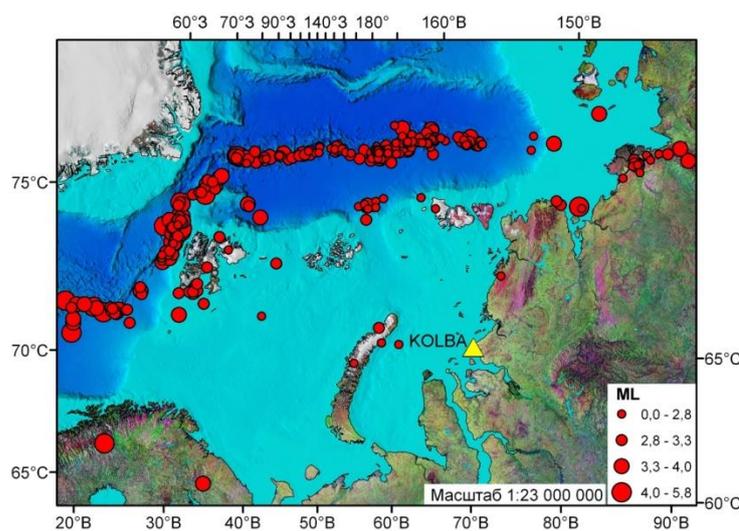
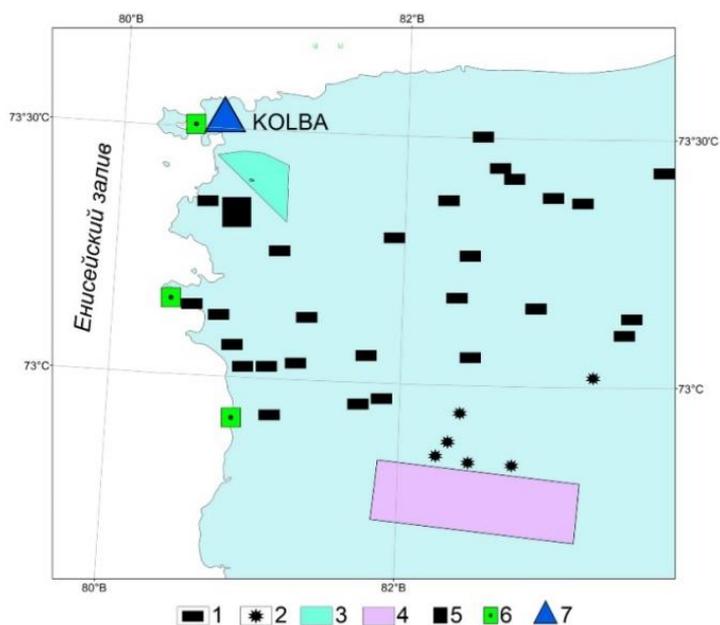


Рис. 1 – Карта эпицентров событий, зарегистрированных с/с KOLBA

Известно, что при возведении ответственных объектов необходима более тщательная оценка сейсмической опасности района их размещения. По данным открытых источников СМИ [1–4] в западной части Таймырского полуострова в последние 3–5 лет отмечаются активные работы по освоению угольных месторождений

и возведению сопутствующей инфраструктуры такой как: строительство морских портов, терминалов, железных и автомобильных дорог (рис. 2).



Некоторые полезные ископаемые: 1 – каменный уголь, 2 – драгоценные и поделочные камни. Угольные месторождения: 3 – Малолемберовское, 4 – Сыродасайское, 5 – Нижнелемберовское. 6 – порты, сверху вниз: «Диксон», «Бухта Север», «Енисей». 7 – сейсмическая станция «KOLBA»

Рис. 2 – Действующие промышленные объекты в западной части полуострова Таймыр с указанием ряда полезных ископаемых

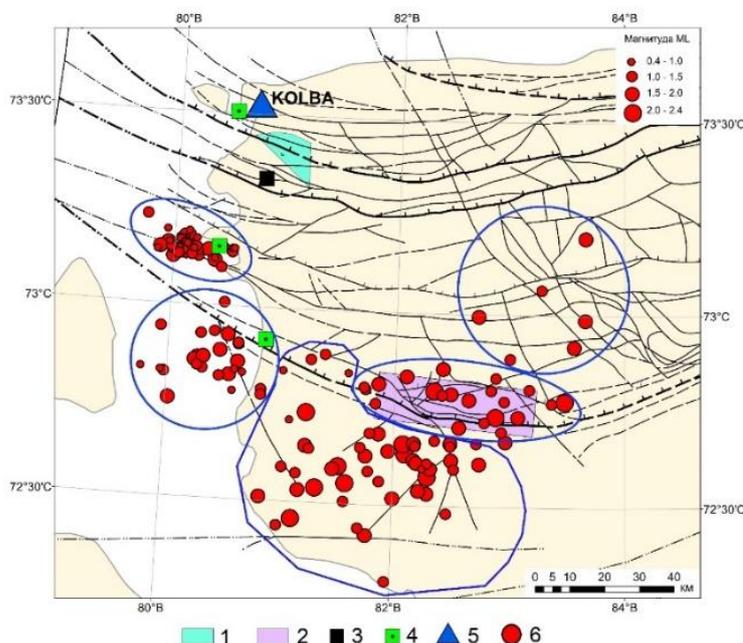
По данным с/с «Колба» выявлено порядка 150 локальных событий, происходящих в западной части Таймырского п-ва (рис. 3). Эпицентральные расстояния зарегистрированных событий составляют от 42 до 165 км. Ошибка в локации событий, связанная с неточностью определения обратного азимута ( $\pm 10^\circ$ ), оценивается в 7–8.5 км для порта «Бухта Север» и 12–29 км для всех остальных событий. Следует заметить, что эта погрешность варьируется вдоль направления долготы. Значения локальных магнитуд  $M_L$  находятся в диапазоне от 0.4 до 2.4.

В связи с этим, актуальной является задача определения природы регистрируемых локальных событий. Отметим, что очистка сейсмических каталогов от техногенных событий является востребованной задачей, особенно после установки новой станции в малоизученном районе.

На первом этапе локальные события, зарегистрированные с/с «Колба», были разделены на группы (рис. 3), связанные с локацией вблизи действующих промышленных объектов. Очевидно, что локация событий, как критерий распознавания техногенных событий, в данном случае оправдывает себя лишь частично. Трудность заключается в отсутствии регионального годографа и других сейсмических станций, регистрирующих события, что позволило бы существенно увеличить точность локации событий. Более приемлемая локация, с учетом оценки погрешности, получена лишь для порта «Бухта Север», это связано с определением параметров эпицентров по данным одной с/с «Колба».

Далее был выполнен анализ времени происходящих событий. Полученные диаграммы суточного распределения сейсмических событий показывают, что практически все события зарегистрированы в дневное время с пиковыми значениями в 13–14 ч. и в 19–20 ч по местному времени. Причем, время происхождения многих

событий укладывается в интервал несколько минут, например, с 18:47 до 18:57 зафиксировано 11 событий. Подобное распределение указывает на проведение работ в районе промышленных объектов, а, следовательно, и на техногенную природу анализируемых событий.



Угольные месторождения: 1 – Малолемберовское, 2 – Сыродасайское, 3 – Нижнелемберовское. 4 – порты, сверху вниз: «Диксон», «Бухта Север», «Енисей». 5 – сейсмическая станция «Колба». 6 – локальные события. Синими линиями выделены группы событий. Черными линиями показаны разрывные нарушения различного типа

Рис. 3 – Карта распределения эпицентров локальных сейсмических событий по данным с/с «Колба» за период с октября 2020 г. по февраль 2023 г.

На третьем этапе для всех событий было определено соотношение S/P, которое является одним из критериев распознавания техногенных событий. Количество событий и среднее S/P в зависимости от района приведено в таблице 1. Очевидно, что события вне зависимости от района имеют низкие значения S/P (меньше 3.0). Отсутствие в выборке событий с высокими значениями S/P, вероятнее всего, свидетельствует об отсутствии в ней землетрясений [5].

Таблица 1 – Количество и средние значения S/P для разных районов

Район	N, шт.	Среднее S/P	Среднеквадратичное отклонение S/P
порт Бухта Север	46	1.39	0.61
порт Енисей	24	2.36	0.41
южнее Сыродасайского месторождения	53	1.96	0.48
севернее Сыродасайского месторождения	6	1.90	0.41
Сарыдагайское месторождение	20	2.09	0.62

На четвертом этапе был выполнен анализ СВАН-диаграмм (или сонограмм) для всех групп событий по выделенным группам: порт «Бухта Север», порт «Енисей», южнее и севернее Сыродасайского месторождения и район самого месторождения (рис. 4).

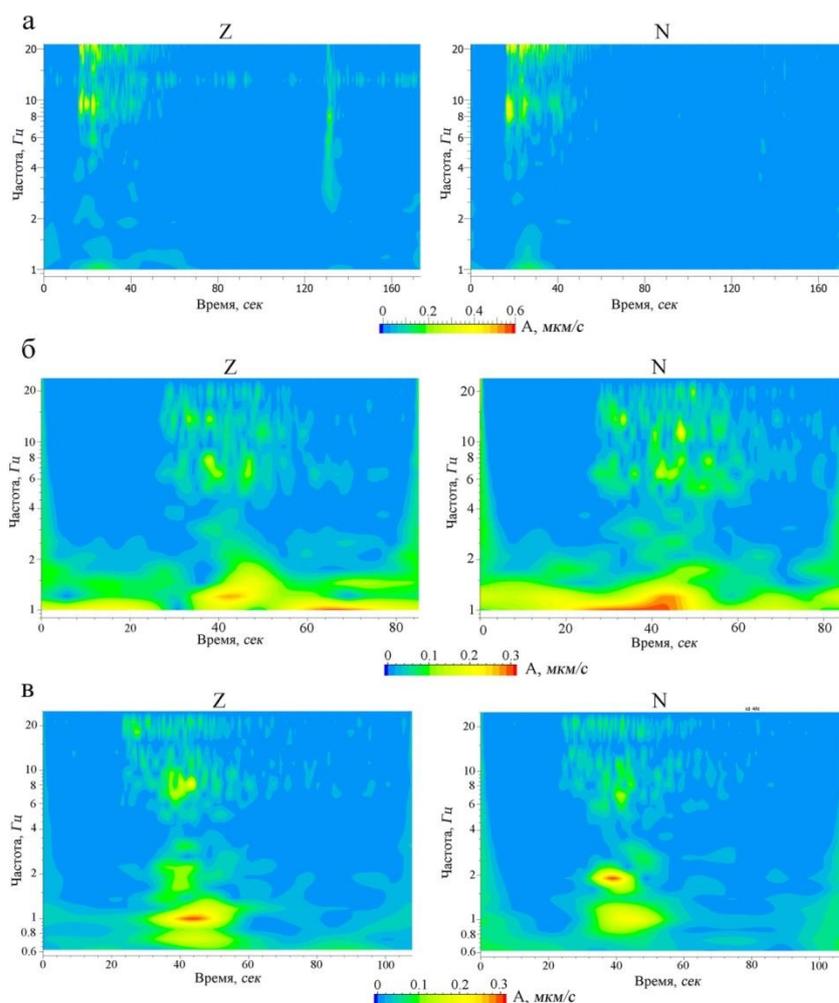


Рис. 4 – СВАН-диаграммы локальных сейсмических событий, зарегистрированных с/с KOLBA для вертикального (Z) и горизонтального (N) каналов: а – порт «Бухта Север» 09.10.2022 г.; б – порт «Енисей» 15.10.2021 г.; в – южнее Сырадасайского месторождения 18.12.2022 г.

Очевидно, что все они содержат характерные «полосы» в области высоких частот [5]. Многие события, особенно лоцированные в Енисейском заливе, имеют 2–3 «полосы», что, скорее всего, свидетельствует о работах, связанных с подводными взрывами. Максимумы амплитуд в выделенных «полосах» составляют, как правило, 9.5 Гц, 11.5 Гц, 13.5 Гц, 16.5 Гц и 19.5 Гц. На СВАН-диаграммах в районе порта «Бухта Север» выделяется акустический сигнал, но нет поверхностной волны. В других районах, напротив – на низких частотах выделяется поверхностная волна (до 2 Гц), а акустический сигнал отсутствует.

Подводя итоги полученных результатов, можно сделать вывод, что из 150 зарегистрированных локальных событий не выявлено ни одного землетрясения. Наиболее значимыми критериями для определения природы событий мы выделяем СВАН-диаграммы, соотношения S/P и суточное распределение событий. Для порта «Бухта Север» волновая форма также указывает на техногенную природу и может быть использована в качестве дальнейшего идентификатора природы событий. Локация и значения магнитуд всех событий являются косвенными признаками.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. На Сырадасайском месторождении на Таймыре отгрузили первую партию угля [Электронный ресурс]: Neftegaz.ru. Режим доступа: <https://neftegaz.ru/news/coal/753225->

- na-syradasayskom-mestorozhdenii-na-taymyre-otgruzili-pervuyu-partiyu-uglya/ (дата обращения 20.08.2023).
2. В строящийся порт «Енисей» смогут заходить крупные суда [Электронный ресурс]: Korabel.ru Режим доступа: [https://www.korabel.ru/news/comments/v\\_stroyaschiysya\\_port\\_enisey\\_smogut\\_zahodit\\_krupnye\\_suda.html](https://www.korabel.ru/news/comments/v_stroyaschiysya_port_enisey_smogut_zahodit_krupnye_suda.html) (дата обращения 20.08.2023).
  3. Пресс-релизы 25 мая 2021 [Электронный ресурс]: Роснефть. Режим доступа: <https://www.rosneft.ru/press/releases/item/206295/> (дата обращения 20.08.2023).
  4. Пресс-релизы 20 марта 2023 [Электронный ресурс]: Роснефть. Режим доступа: <https://www.rosneft.ru/press/releases/item/214041/> (дата обращения 20.08.2023).
  5. Асминг В.Э., Кременецкая О.Е., Виноградов Ю.А., Евтюгина З.А. Использование критериев идентификации взрывов и землетрясений для уточнения оценки сейсмической опасности региона // Вестник МГТУ. 2010. Т.3. №4/2. С. 998-1007.

## **НАБОРТНЫЕ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ НА АРКТИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ**

*Кочетов М.В.*

АО «МАГЭ», г. Москва, [kochetov.mv@mage.ru](mailto:kochetov.mv@mage.ru)

Главная задача инженерно-геологических исследований на шельфе заключается в комплексном изучении особенностей строения верхней преимущественно горизонтально-слоистой части разреза до глубины одного километра, определении инженерно-геологических и инженерно-геокриологических условий района работ, а также поиске потенциально опасных объектов и неблагоприятных явлений для строительства морской нефтегазовой инфраструктуры. Конечной целью исследований является определение возможности размещения полупогружных и плавучих буровых установок в проектной точке.

В июле 2022 года специалисты АО «МАГЭ» на НИС «Геолог Дмитрий Наливкин» выполнили опытные набортные гравиметрические наблюдения в стандартном комплексе геофизических методов инженерных изысканий. Съёмочные работы проведены в южной части шельфа Карского моря на участке площадью 25 км<sup>2</sup> на 51 меридиональном и 26 широтных профилях. Расстояние между меридиональными профилями – 100 м, широтными – 200 м. Длина каждого профиля 5 км. Всего на объекте выполнено 385 пог. км комплексных наблюдений.

Гравиметрические исследования не входят в стандартный комплекс геофизических методов при инженерных изысканиях на шельфе, однако, возможности современных технологий позволяют пересмотреть её роль при комплексировании геофизических данных. Перспективы гравиразведки связаны с совершенствованием гравиметрической аппаратуры, повышением её точности и надёжности, а также с развитием математического аппарата интерпретации данных [1].

**Методика съёмки и обработки данных.** Наблюдения ускорения силы тяжести проводились морским набортным гравиметром «Чекан-АМ» [2]. Гравиметр был включен при отходе судна из порта г. Мурманск и находился в рабочем режиме всё время рейса. Пространственная привязка съёмочных галсов обеспечивалась спутниковым приёмником С-Nav 3050 с точностью  $\pm 0.5$  м. Регистрация данных осуществлялась с частотой дискретизации 1 с.

Обработка данных гравиметра проводилась по стандартной методике программой Chekan\_PP, которая включает в себя расчет поправки за совместное действие горизонтальных ускорений и остаточных наклонов гиролатформы

гравиметра, поправки Этвеша, поправки за смещение нуля-пункта гравиметра, вычисление приращений и аномалий поля силы тяжести. Полученные значения были загружены в базу данных Geosoft Oasis Montaj. Чтобы не потерять возможные низкоамплитудные аномалии поля силы тяжести, применялся низкочастотный фильтр Баттеруорта (Butterworth Filter) шириной 150 метров. По вычисленным значениям аномалий поля силы тяжести в свободном воздухе в точках пересечения рядовых и секущих профилей по формуле (1) рассчитывалась средняя квадратичная погрешность (СКП)  $\sigma$  съёмки:

$$\sigma = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n \delta_i^2 / 2n}, \quad (1)$$

где  $n$  – количество повторных измерений,  $\delta_i$  – разность значений поля в точках пересечения профилей.

После вычисления невязок в точках пересечения профилей выполнялось уравнивание измерений итеративным способом [3]. При количестве точек пересечений профилей  $n=1326$ , СКП гравиметрических наблюдений до уравнивания составила  $\pm 0.2$  мГал, после уравнивания по постоянной составляющей  $\pm 0.1$  мГал, после уравнивания полиномами  $\pm 0.1$  мГал. По уравненным значениям поля рассчитывалась цифровая модель аномалий поля силы тяжести в редукции свободный воздух в условном уровне (рис. 1, а). Ячейка интерполяции цифровой модели 25 метров.

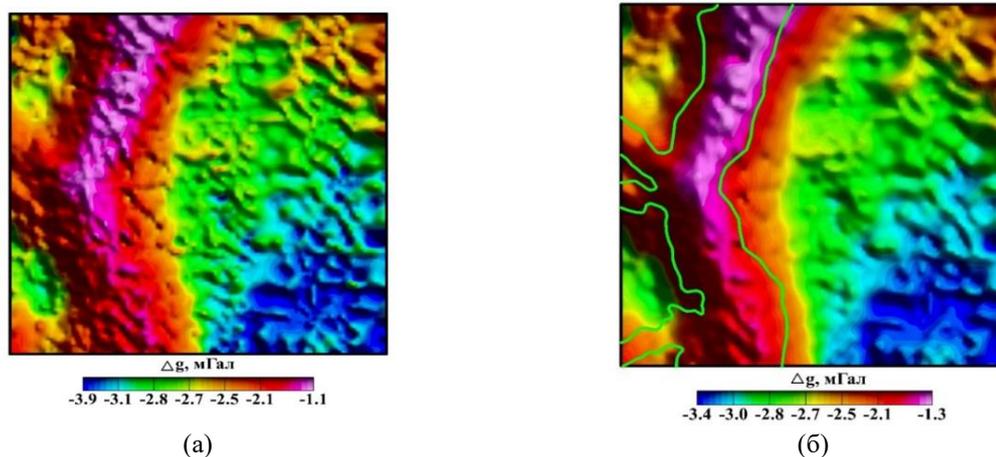


Рис. 1 – Цифровая модель аномалий поля силы тяжести в редукции свободный воздух (в условном уровне) до фильтрации (а) и после (б). Зеленым контуром обозначена граница площадной аномалии, вызванной палеоврезом

На арктическом шельфе к наиболее распространённым опасным геологическим объектам можно отнести: области развития предположительно мерзлых грунтов, палеоврезы и палеодепрессии, а также интервалы разреза с повышенной газонасыщенностью. Потенциальные неоднородности верхней части геологической среды проявляются в высокочастотной компоненте поля. Для удаления из расчётной цифровой модели поля силы тяжести высокочастотного шума не геологической природы выполнялась дополнительная фильтрация данных. Цифровая модель аномалий поля силы тяжести в редукции свободный воздух пересчитывалась в верхнее полупространство на высоту 50 м (Рис. 1, б). Представленная на (Рис. 2, а) цифровая модель разности между аномалиями поля силы тяжести в редукции свободный воздух и полем, пересчитанным вверх, отображает помехи, связанные с погрешностью съёмки. Гистограмма распределения на (Рис. 2, б) это подтверждает. Выделенные шумы лежат в диапазоне значений  $\pm 0,2$  мГал.

Поверхность морского дна района работ представляет собой аккумулятивную равнину с относительными высотами 1-3 м. Абсолютный перепад значений глубины составляет 15 м, максимальная глубина -86 м, минимальная -71 м.

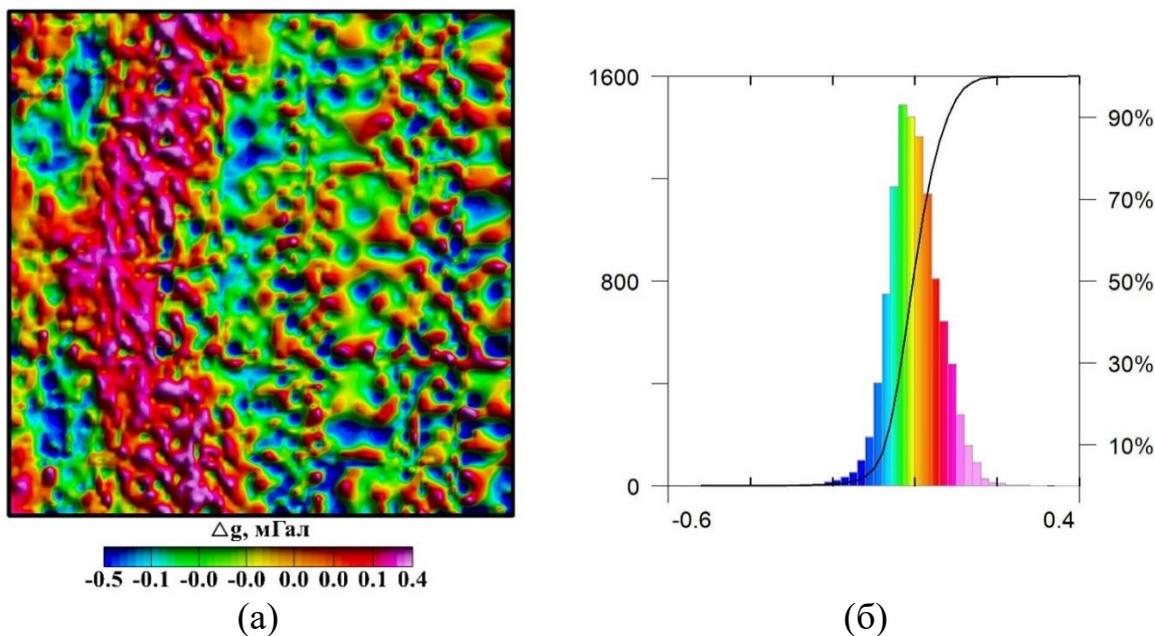


Рис. 2 – Цифровая модель значений разности аномалий поля силы тяжести в редукции свободный воздух и пересчитанных в верхнее полупространство на высоту 50 м (а) и гистограмма распределения погрешности съёмки (б)

**Результаты интерпретации и их обсуждение.** На цифровой модели аномалий поля силы тяжести отчётливо выделяется изогнутая линейная зона положительных амплитуд, пересекающая площадь работ с юга на север (**Ошибка! Источник ссылки не найден.** 1, б). Аномалия имеет интенсивность 1-1,5 мГал, что на порядок превышает погрешность съёмки. По сейсмоакустическим данным выяснено, что аномалия имеет геологическую природу и приурочена к палеоврезам, обозначенным как *Vrez-1* и *Vrez-2* на (рис. 3).

В юго-восточной части исследуемой площади наблюдается изометричная кольцевая зона отрицательных аномалий поля силы тяжести интенсивностью до -0.6 мГал (**Ошибка! Источник ссылки не найден.** 1, б). Область отрицательных аномалий может быть связана с разуплотнением осадочных слоёв, вызванных газонасыщенностью. Выделенные неоднородности отражают геологические особенности и процессы в осадочном чехле.

В результате анализа сейсмоакустических данных до глубины 500 метров, было выделено 3 сейсмокомплекса (СК), границами которых являются 4 опорных отражающих горизонта: Н0 (морское дно), Н1, Н2, Н3 (рис. 3). По результатам сопоставления отражающий горизонт Н2 приурочен к границе верхнего мела – нижнего палеогена, отражающий горизонт Н3 к кровле кампана. Границы Н3.1 и Н3.2 были выделены внутри сейсмического комплекса Н3 по априорным скважинным данным.

По значениям гравитационного поля в редукции свободный воздух и сейсмоакустическим горизонтам через всю площадь в широтном направлении был построен геоплотностной разрез до глубины 500 м. Моделирование проводилось до получения сходимости графиков измеренного и расчётного поля с точностью не хуже погрешности съёмки:  $\pm 0.1$  мГал.

По результатам моделирования относительно равнинный рельеф морского дна на участке инженерных изысканий не создаёт корреляционной связи с данными аномалий поля силы тяжести. Для пород на отражающей границе вода/дно выявлено оптимальное значение плотности не выше  $1.9 \text{ г/см}^3$ . Данная плотность не создаёт ложных аномалий, но в то же время и не компенсирует известную часть аномалий

наблюденного поля силы тяжести. Подбор значений плотности для нижележащих слоёв осуществлялся исходя из соображений о градиентно-слоистой модели среды.

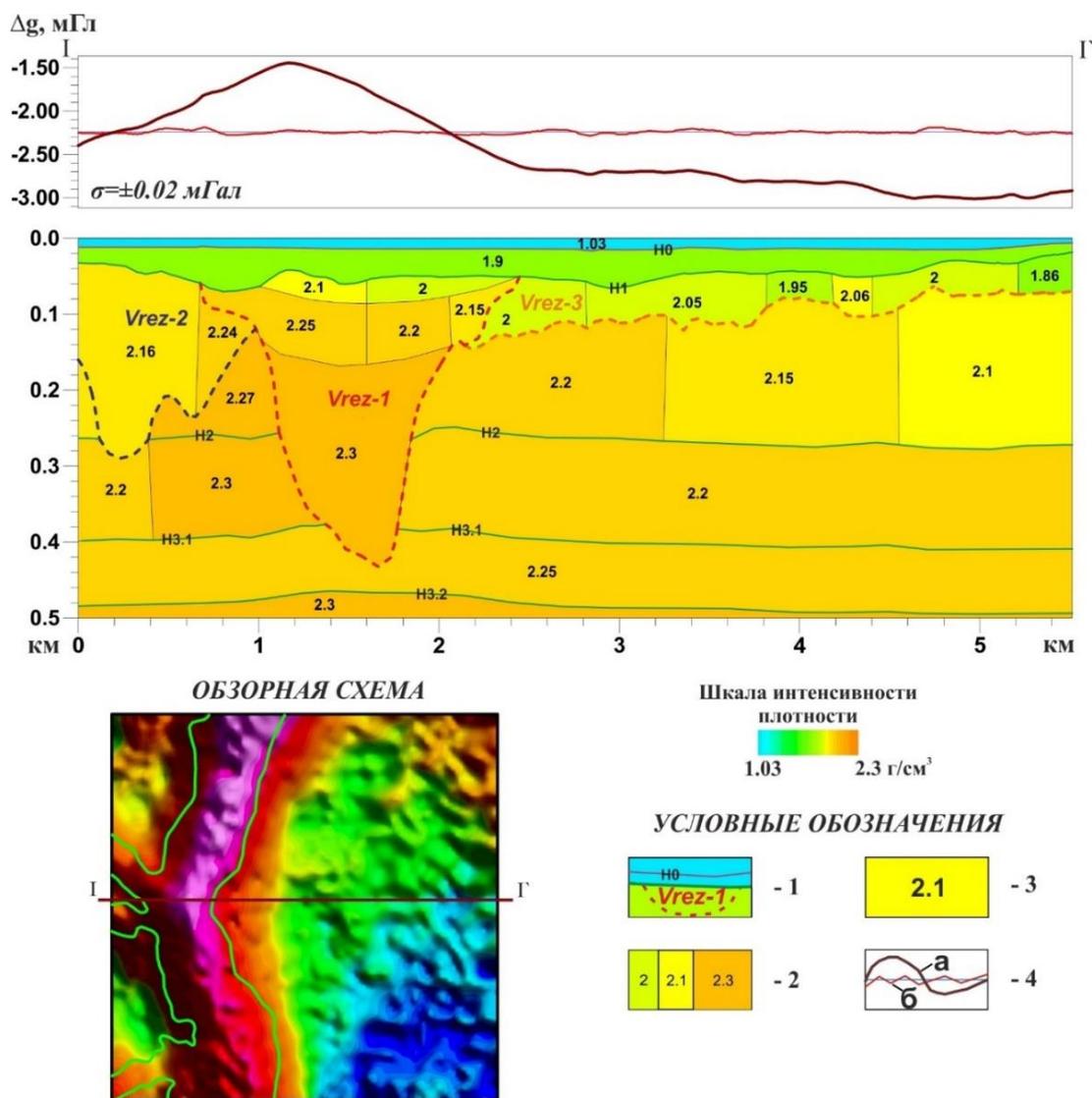


Рис. 3 – Сейсмоплотностной разрез по результатам 2D моделирования. 1 – ОГ по данным сейсморазведки, 2 – модельные границы блоков, 3 – модельные значения плотности, 4 – (а) –  $\Delta g$ , мГал: наблюдаемый и вычисленный графики аномалий поля силы тяжести в свободном воздухе; (б) –  $\sigma$ , мГал: график разности наблюдаемых и вычисленных значений  $\Delta g$

В результате 2D геоплотностного моделирования для подсечённого палеовреза в западной части профиля было установлено уплотнение разреза на глубине 150-450 м до  $2,3 \text{ г/см}^3$ , что соответствует аномалии в 1 мГал. На отметках 4.5 и 5.5 км от начала профиля обнаружены разуплотнения разреза в палеогеновых отложениях в интервале глубин 50-100 метров величиной от 1,86 до  $2 \text{ г/см}^3$ , с отрицательными значениями аномалий до -0.4 мГал. Обнаруженный «артефакт» может быть вызван газонасыщенностью осадочной толщи и требует учёта при постановке плавучей буровой платформы.

Палеоврезы и палеодолины - геологические опасности, представляющие большую угрозу для строительства нефтегазовой инфраструктуры. Природа палеодепрессий в изучаемом районе может быть различной – они могут представлять собой эрозионные врезы, выработанные палеореками во время наиболее крупных

регрессий (в позднем миоцене, в среднем плиоцене, в среднем и позднем неоплейстоцене), структуры проседания, образовавшиеся при развитии подрусловых таликов, крупные посткриогенные деформации и др. По сейсмическим данным не всегда возможно достоверно идентифицировать эти образования и определить их генезис [4, 5]. Результаты геоплотностного моделирования дополняют сейсмоакустические данные и дают количественное представление о распределении плотности пород разреза. Не маловажную роль при инженерных изысканиях играют и гидромагнитные измерения, результаты эффективного применения которых представлены в работе [6]. Таким образом, при инженерных исследованиях комплекс геофизических методов позволяет надёжно идентифицировать геологические опасности.

**Выводы.** Комплексный подход к интерпретации материалов сейсморазведки и потенциальных методов геофизики позволяет достоверно решать геолого-геофизические задачи инженерно-геологических изысканий на арктическом шельфе. Приведенные результаты комплексной интерпретации гравиметрических исследований с данными сейсморазведки показали высокую эффективность методов при локализации палеоврезов и трассировании их границ, а также выделении неоднородностей в разрезе, возможно, связанных с газонасыщенностью. Результаты методов хорошо подтверждают и дополняют друг друга.

Опыт проведённых работ показывает, что даже при попутных набортных гравиметрических исследованиях возможно достоверно выделять гравитационные аномалии интенсивностью до 0.5 мГал. Результаты интерпретации и моделирования гравиметрических данных подтверждают высокую чувствительность метода и его эффективность при морских инженерных изысканиях. Высокоточная аппаратура позволяет изучать тонкую структуру геофизических полей, повышает требовательность к обработке и интерпретации наблюдений, тем самым ставит новые задачи перед геофизиками.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пешехонов В.Г., Степанов О.А., Августов Л.И. и др. Современные методы и средства измерения параметров гравитационного поля Земли / Под общей ред. В.Г. Пешехонова; науч. редактор О.А. Степанов. СПб.: ГНЦ РФ. АО "Концерн "ЦНИИ "Электроприбор". – 2017. – 390 с.
2. Журавлёв В.А., Челышев С.В., Кочетов М.В. Опыт использования гравиметра Чекан и перспективы развития морской гравиметрии в ОАО МАГЭ. В сборнике: Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей. Материалы 47-й сессии Международного научного семинара Д. Г. Успенского - В. Н. Страхова. Воронеж, 2020. – С. 124-127.
3. Кочетов М.В., Журавлев В.А. Оптимизация методики дифференциальной гидромагнитной съемки // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2018. – № 2. – С. 127-131.
4. Колубакин А.А., Миронюк С.Г., Росляков А.Г. и др. Применение комплекса геофизических методов для выявления опасных геологических процессов и явлений на шельфе моря Лаптевых // Инженерные изыскания. 2016. № 10-11. С. 38–51.
5. Кочетов М.В., Шепелев А.А., Челышев С.В. Возможности набортных гравиметрических и гидромагнитных исследований при решении инженерно-геологических задач на шельфе // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. – 2023. – № 3. – С. 88-97.
6. Кочетов М.В. Гидромагнитные исследования при решении инженерно-геологических задач на арктическом шельфе // Двадцать четвёртая уральская молодёжная научная школа по геофизике: Сборник науч. Материалов. – Пермь: ГИ УРО РАН, 2023. – С. 99-103.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА НЕФТЕОТГРУЗОЧНОМ ТЕРМИНАЛЕ В НЕНЕЦКОМ АВТОНОМНОМ ОКРУГЕ

*Крайнева О.В.<sup>1</sup>, Бурков Д.В.<sup>1,3</sup>, Губайдуллин М.Г.<sup>1,4</sup>, Крайнев В.Г.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова,  
г. Архангельск, ov-oil@yandex.ru

<sup>2</sup>ООО «Газпромнефть Ямал», п. Мыс Каменный, ЯНАО

<sup>3</sup>ООО «Варандейский терминал», п. Варандей, НАО

<sup>4</sup>Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени  
академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск

Сооружение крупных промышленных объектов в зонах распространения многолетней мерзлоты требует применения эффективных технологий, позволяющих обеспечить устойчивость, целостность и безопасность сооружений, а также организации комплексной системы геокриологического мониторинга в соответствии с обновлениями ФЗ «Об охране окружающей среды» от 10.07.2023, позволяющей отслеживать динамику состояния мерзлой толщи на территории эксплуатируемых объектов, а также прогнозировать ее возможные изменения для своевременного принятия мер по поддержанию несущей способности мерзлого грунта. В статье приведены результаты геокриологического мониторинга под резервуарным парком вместимостью 200 000 м<sup>3</sup>, расположенном в прибрежной зоне юго-восточной части Баренцева моря в Ненецком автономном округе. Рассмотрена динамика изменения состояния мерзлой толщи под нефтяным резервуаром с глубиной и по поперечнику, что позволяет оценить неравномерность воздействия тепловых полей на различных участках основания.

Объектом исследований является Варандейский нефтяной отгрузочный терминал с широким спектром возведенных промышленных объектов (резервуарные парки, технологические блоки, электростанция, котельная, очистные сооружения, морской трубопровод, морской ледостойкий отгрузочный причал и пр.). Первый этап работы терминала был начат в 1999 году предприятием «Нарьянмарнефтегаз» с отгрузкой нефти по временной схеме, а в 2008 г. нефтяная компания «ЛУКОЙЛ» осуществила первую отгрузку на крупнотоннажный танкер, значительно расширив инфраструктуру объекта. Для этого вдоль береговой линии в условиях многолетней мерзлоты был сооружен береговой резервуарный парк Варандейского нефтяного терминала (рис. 1) суммарной вместимостью 325 тыс. тонн.

Максимальная единичная вместимость резервуара составляла 50 000 м<sup>3</sup>, что требовало тщательного подхода к выбору способа обустройства их основания. Строительным недостатком многолетнемерзлых пород явилась изменчивость несущей способности грунта под влиянием температурного режима. Среди вариантов обустройства фундамента под резервуарами рассматривался свайный, состоящий из 540 свай, и поверхностного типа с применением термостабилизации.

С целью минимизации воздействия на многолетнемерзлые грунты и для обеспечения безопасности и устойчивости особо ответственных сооружений в резервуарном парке Варандейского терминала был реализован проект поверхностного фундамента. В качестве основания по I принципу (в мерзлом состоянии) строительства компанией «Фундаментпроект» был реализован проект этого фундамента с системой замораживания грунтов под новым резервуарным парком. Это был один из первых объектов, на котором прошла апробацию данная система. На каждом резервуаре были предусмотрены индивидуальные термостабилизаторы с подключением холодильной машины в летнее время (рис. 2), что обусловлено большой тепловой нагрузкой на ММП от резервуаров 50000 м<sup>3</sup>, где нефть хранится при температуре +45 °С. Поэтому, в

рассматриваемых инженерно-геокриологических условиях более предпочтительным явилось применение именно этого типа фундамента.



Рис. 1 – Береговой резервуарный парк Варандейского терминала



Рис. 2 – Термостабилизаторы на РВС-50000

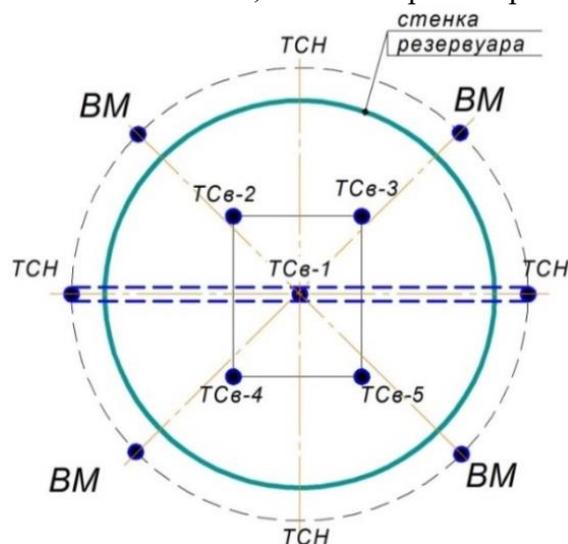
Конструкция фундамента РВС 50000 м<sup>3</sup> включает в себя:

- теплоизолирующий экран из пенополистирола;
- песчаную насыпь толщиной 300 мм;
- сборное железобетонное кольцо из дорожных плит;
- гидрофобный слой «Resitrics Classic».

В основании фундамента каждого резервуара смонтирована система термостабилизации грунтов, состоящая из 132 стабилизаторов пластично-мерзлых грунтов (СПМГ).

Для контроля формирования мерзлого основания и наблюдения за его состоянием на Варандейском терминале была реализована система геокриологического мониторинга [1,2]. Мониторинг проводится ежегодно с марта по ноябрь. В ходе мониторинга контролируются: температура 10-ти метровой толщи под резервуаром, глубина сезонного протаивания, выполняется нивелировка положения резервуара по реперным точкам. Контроль работы термостабилизаторов осуществляется через специальные обустроенные наблюдательные скважины.

Сеть мониторинга основания каждого резервуара включает (рис. 3): наружные и внутренние термометрические скважины, а также термометрический поперечник.



ТСн – термометрическая скважина наружная; ТСв – термометрическая скважина внутренняя; ТМП – термометрический поперечник; ВМ – внутренние марки для контроля деформации

Рис. 3 – Схема расположения точек геокриологического мониторинга под резервуаром [2]

Термометрические скважины наружные (ТСн1...ТСн16) устанавливаются в основании резервуара по контуру. Верх термометрических труб выводится на 500 мм выше планировочной отметки откоса песчаной подушки. Для измерения температуры грунтов в ТСн используются ртутные термометры.

Термометрические скважины (рис. 4) внутренние (ТСв1...ТСв20) устанавливаются под днищем резервуара. Верх металлических термометрических труб устраивается на уровне подушек оснований резервуаров, и оборудуются угольником для защиты термокос от механических повреждений. Концы термокос выводятся на поверхность к шкафам управления.

Термометрический поперечник представляет собой горизонтально уложенную металлическую трубу диаметром 65 мм, уложенную вдоль центральной оси резервуара перпендикулярно СПМГ. Внутри трубы размещены термокосы.

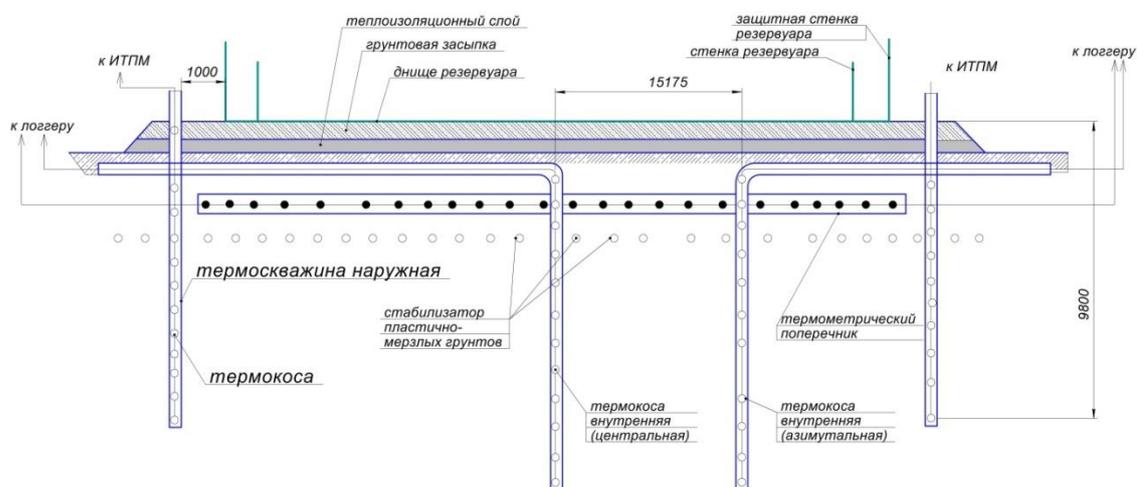


Рис. 4 – Схема расположения скважин и термокос под резервуаром

Размещение температурных датчиков по глубине и площади грунтовых оснований, позволяет судить о температурном режиме грунтового основания под резервуарами, отслеживать распределения температур в массиве грунта.

На основании 14-летних наблюдений за работой системы термостабилизации на примере одного объекта была построена модель изменения температурного поля по всей наблюдаемой глубине (до 11,2 м) на примере двух азимутальных внутренних термометрических скважин в период с 2007 по 2021 год [2].

Система температурной стабилизации грунтов должна обеспечивать температурный режим в диапазоне минус (3...12) °С и успешно с этой задачей справляется (рис. 5, 6). Средняя температура 3-х метровой толщи на примере одного из резервуаров составила в 2007 году -2,85 °С, уже через год за аналогичных наблюдаемый период составила -3,79 °С. На 14-й год наблюдений средняя температура за аналогичный период составила -7,23 °С. При анализе 5-ти метровой толщи разница среднегодовой температуры за наблюдаемый период не превысила десятых долей градуса. Выстроенная сеть геокриологического (термометрического) мониторинга позволила сделать вывод, что основная 5,5-метровая ледяная толща сформировалась уже на 3-й год эксплуатации. Однако графики наблюдений демонстрируют дальнейшее снижение температуры мерзлой толщи и увеличение глубины промерзания. По построенному на фактических температурах профилю можно судить о скорости формирования мерзлой толщи, о монотонном изменении температуры толщи при переходе с режима естественной термостабилизации в мае-июне к использованию системы СПМГ и обратно.

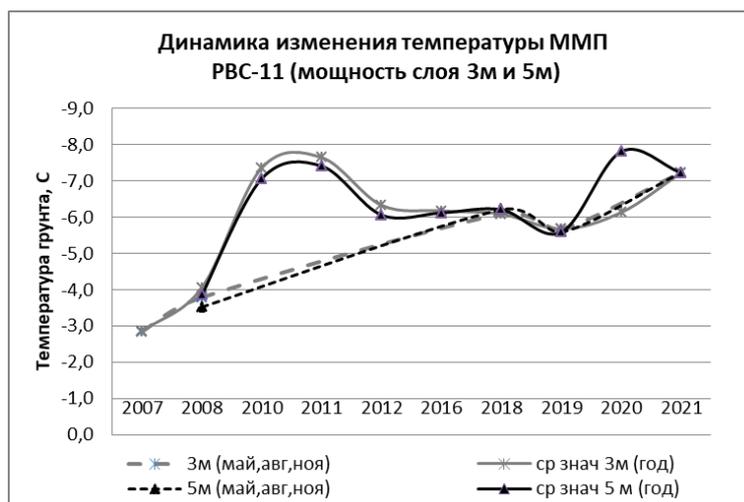


Рис. 5 – Температурный режим грунтов в основании резервуара

Ключевым механизмом эффективного планирования проектных и строительных работ, а также обеспечения устойчивости сооружений и минимизации воздействия на природные компоненты является организация и проведение предприятием комплексного экологического мониторинга, а в его составе – геокриологического мониторинга. Являясь частью геологической среды, мерзлые толщи неизбежно реагируют на изменения климата, на изменения состава почвенно-растительного покрова, на изменения водного и минерального баланса экосистемы провоцируя активизацию опасных криогенных процессов. Продолжение проведения мониторинговых работ, а также накопления и анализа этих данных позволит уточнить и углубить знания об особенностях протекания геозкологических процессов на Крайнем Севере, что особенно актуально для безопасного освоения запасов Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции и комплексной оценки состояния многолетней мерзлоты районах активной нефтедобычи и нефтетранспорта.

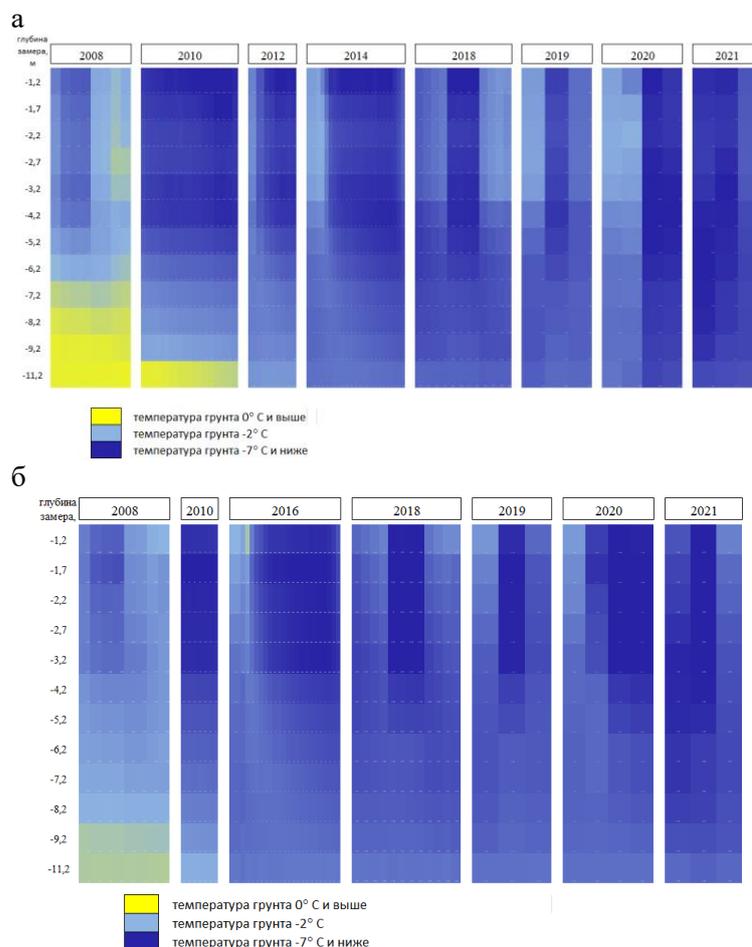


Рис. 6 – Изменение температуры под резервуаром в период работы термостабилизаторов: а – скв. ТСВ-1, б – скв.ТСВ-2

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бурков Д.В., Губайдуллин М.Г. Геокриологический мониторинг Варандейского прибрежно-морского нефтеотгрузочного комплекса в Ненецком автономном округе // Нефтегазовое дело. 2010. Т. 1. С. 36-39.
- 2 Калашников А.В., Крайнев В.Г., Лукин Д.А. Эффективность мероприятий по защите многолетней мерзлоты на нефтетранспортном терминале в прибрежной зоне Баренцева моря // Сборник докладов Шестой конференции геокриологов России «Мониторинг в криолитозоне» с участием российских и зарубежных ученых, инженеров и специалистов. МГУ им. М.В. Ломоносова, 14 - 17 июня 2022 г. М.: «КДУ», «Добросвет», 2022. С.795-800.

#### ПРИМЕНЕНИЕ SF МОДЕЛИ ДЛЯ $^{210}\text{Pb}$ -ДАТИРОВАНИЯ ТОРФЯНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЕВРОПЕЙСКОЙ СУБАРКТИКИ РОССИИ

Кудрявцева А.А., Яковлев Е.Ю., Орлов А.С.

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, evgeny.yakovlev@fciactic.ru

В торфяных залежах  $^{210}\text{Pb}$  мигрирует, что затрудняет датирование торфа, т.к. стандартные модели  $^{210}\text{Pb}$  датирования требуют экспоненциального снижения активности  $^{210}\text{Pb}$ . В связи с этим для точного датирования требуется подбор

подходящей модели для устранения эффекта миграции и проверка модели с использованием радионуклида  $^{137}\text{Cs}$ .

Торфяной керн ИСНО ( $64^{\circ}18'55.3''\text{N}40^{\circ}41'15.6''\text{E}$ ) отобран в верховом болотном массиве Иласский, который расположен в  $\sim 20$  км южнее города Архангельска. Керн с ненарушенной слоистостью до глубины 49 см был извлечен с помощью ПВХ трубы, далее в лаборатории он был разрезан на слои по 2 см (исключая слой 0-3 см), затем высушен и измельчен для дальнейших анализов.

Определение  $^{137}\text{Cs}$  проводили с применением низкофонового гамма-спектрометра производства CANBERRA Packard (США) с коаксиальным полупроводниковым детектором GX2018 на основе кристалла Ge(Li) и программным обеспечением Genie-2000. Разрешение гамма-спектрометра по линии 1,33 МэВ ( $^{60}\text{Co}$ ) составляет 1,75 кэВ, и относительная эффективность измерения составила 22,4% [1].

Определение  $^{210}\text{Pb}$  проводили в ходе радиохимической подготовки проб торфа согласно методике [2] с выполнением химического осаждения изотопов  $^{210}\text{Po}$  и  $^{210}\text{Bi}$  на стальной диск с последующим измерением на альфа-бета радиометре «Абелия». Диапазон измеряемой активности согласно методике составляет от 10 до  $2 \cdot 10^3$  Бк/кг. Неопределённость измерений ( $P=0,95$ ) оценивается при каждом конкретном измерении и не превышает 30% [2]. Отметим, что в нашем случае среднее значение для изученного образца составило 10%.

Для  $^{210}\text{Pb}$  датирования использовали модель CF (CRS) с применением метода моделирования Монте-Карло. Согласно гипотезе модели поток  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  на поверхность осадков постоянен и не зависит от скорости накопления сухой массы торфа. Мы выполнили этапы расчётов, рекомендованные [3], также использовали метод расчёта [4]. Так как распределение  $^{210}\text{Pb}$  не укладывалось в экспоненту, мы дополнительно применили метод аппроксимации данных [5].

Активность  $^{137}\text{Cs}$  в торфяном керне ИСНО варьирует от 3,2 до 45,6 Бк/кг (рис. 1). Мы отмечаем выраженные пики активности  $^{137}\text{Cs}$ : пик с активностью 45,5 Бк/кг, который находится на глубине 19-21 см и пик с активностью 45,6 Бк/кг – на глубине 3-5 см. Такое распределение  $^{137}\text{Cs}$  типично для верховых болот, где его максимум приходится на верхнюю часть торфяного керна. Это связано с тем, что Cs и K совместно транспортируются корнями растений вверх по керну, где также отсутствуют минеральные частицы для адсорбции  $^{137}\text{Cs}$  [6, 7].

Мы наблюдаем сопоставимую активность  $^{137}\text{Cs}$  на глубине на 19-21 см (45,6 Бк/кг в верхней части профиля и 45,5 Бк/кг на глубине 19-21 см, соответственно) (рис. 1), что вероятно, связано с механизмами его поступления с атмосферными выпадениями. Однако для слоев до 14 см наблюдаются различные тенденции изменения  $^{137}\text{Cs}$ , что обусловлено его биологической миграцией в кислой среде. Максимальная глубина усваивания  $^{137}\text{Cs}$  растительностью составляет 14 см (рис. 1), ниже на глубине 20 см мы наблюдаем пик активности, превышающий максимальные верхние значения, который обусловлен глобальными выпадениями. Вероятно, для участков с другим промывным режимом и типом растительности, например, с более развитой корневой системой, мы будем наблюдать иное распределение  $^{137}\text{Cs}$ .

Активность  $^{210}\text{Pb}$  в торфяном керне ИСНО варьирует от 26,2 до 310,8 Бк/кг. Максимум активности  $^{210}\text{Pb}$  (310,8 Бк/кг) приходится на 0-3 см, т.к. единственным источником  $^{210}\text{Pb}$  для торфяного керна являются атмосферные выпадения.

Ниже горизонта 35-37 см активность  $^{210}\text{Pb}$  составляет  $\sim 26$  Бк/кг. В этих горизонтах активность  $^{210}\text{Pb}$  поддерживается за счёт распада  $^{226}\text{Ra}$ . Однако близкое к экспоненциальному снижению  $^{210}\text{Pb}$  в верхней части торфяного профиля, прерывается наблюдаемым пиком с активностью 243,9 Бк/кг – на глубине 19-21 см.

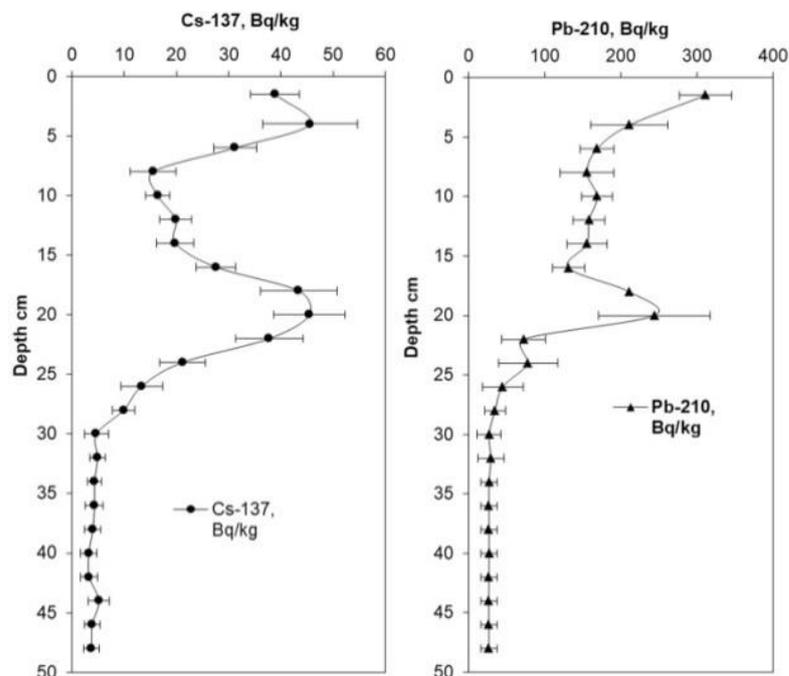


Рис. 1 – Изменение вертикального распределения  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{210}\text{Pb}$  в изученном торфяном профиле по глубине

Учитывая среднюю скорость образования торфа для Европейской субарктики России и поток свинца-210 из атмосферы, на глубине 19-21 см активность  $^{210}\text{Pb}$  должна быть в 2-2,5 раза меньше чем на поверхности торфяного керна. Наличие здесь горизонта (19-21 см) с пиком активности  $^{210}\text{Pb}$  свидетельствует о нисходящей миграции этого радионуклида вниз по торфяному керну в ходе атмосферных осадков. Данный пик совпадает с пиком активности  $^{137}\text{Cs}$ , что возможно связано с глобальными атмосферными выпадениями 1963 года.

В связи с тем, что распределение  $^{210}\text{Pb}$  по керну ИСНО имеет не экспоненциальный характер, нами была применена тройная аппроксимация методом линейной регрессии для всего набора данных  $\ln(^{210}\text{Pb}_{\text{uns}})$  в зависимости от массы каждого слоя [5]. Расчет погрешностей датирования был выполнен методом моделирования Монте-Карло. Горизонт 19-21 см, выделяемый по пику активности  $^{137}\text{Cs}$ , соответствует возрасту 1963 года (рис. 2), что подтверждает правильность и адекватность выбранной нами модели датирования торфяного керна.

Как правило, пики антропогенных радионуклидов в торфяных отложениях коррелируют с конкретными событиями в истории радиоактивных выпадений, таких как подписание Договора о частичном запрещении ядерных испытаний 1963 года и аварии на Чернобыльской АЭС 1986 года, которые обеспечивают геохронологические маркеры. Однако  $^{137}\text{Cs}$  не всегда маркирует в разрезе радиационные события. Удержанию  $^{137}\text{Cs}$  на глубине 14 см способствует растительность на участке отбора изучаемого керна.

Значения линейной скорости накопления  $s$  варьировались от  $0,09 \pm 0,02$  до  $1,3 \pm 0,05$  см/год и составляли в среднем  $0,48 \pm 0,08$  см/год. Скорость накопления массы торфа  $r$ , находилась в диапазоне от  $0,43 \pm 0,01$  до  $7,2 \pm 0,02$  г/см<sup>2</sup>·год. Среднее значение  $r$  составило  $3,615 \pm 0,005$  г/см<sup>2</sup>·год (рис. 3). Данные по линейной скорости накопления соответствуют полученным ранее данным для Европейской субарктики России [8] и согласуются с данными [5]. В вертикальном распределении  $s$  отмечается уменьшение с глубиной, а в распределении  $r$  увеличение, что закономерно, т.к. с глубиной происходит уплотнение торфа.

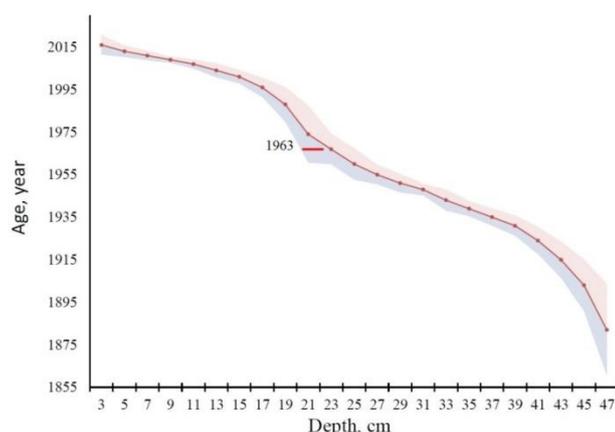


Рис. 2 – Результаты датирования  $^{210}\text{Pb}$  для изученного торфяного профиля по модели CF с применением метода моделирования Монте-Карло

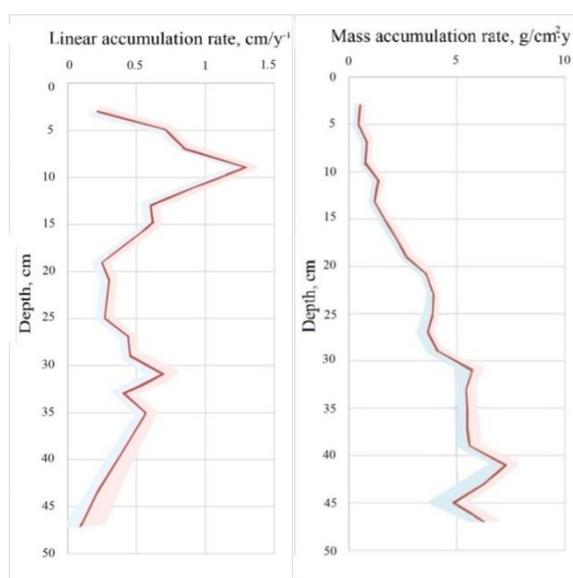


Рис. 3 – Результаты линейной скорости накопления  $s$  и массовой скорости накопления  $r$  по глубине изученного торфяного профиля

Основываясь на датировании  $^{210}\text{Pb}$  нами был дополнительно оценен атмосферный поток  $^{210}\text{Pb}$   $69,13 \pm 10 \text{ Бк/м}^2 \cdot \text{год}$ , который хорошо согласуется с данными по торфяникам Северной Европы [9] и полученным ранее данными по Европейской субарктике России [8].

Проведённое исследование позволяет сделать следующие выводы.

Торфяной профиль представлен типичным ботаническим составом, характерным для болот Европейской субарктики России. Данный торф не подвергался мелиоративным работам. Распределение  $^{137}\text{Cs}$  по глубине обнаруживает два максимума активности – на глубине 0-3 см и 20 см, которые обусловлены особенностями вертикальной миграции и динамикой поступления цезия-137 с атмосферными выпадениями.

Активность  $^{210}\text{Pb}$  не экспоненциально снижается с глубиной керна. Отмечается пик  $^{210}\text{Pb}$  на глубине 20 см, в котором активность радиоизотопа близка к значениям на поверхности керна и совпадает с максимумом активности  $^{137}\text{Cs}$ .

Результаты датирования изученного торфяного керна моделью CF показали, что горизонт 19-21 см, выделяемый по пику активности  $^{137}\text{Cs}$ , соответствует возрасту 1965 г., и при дополнительном применении метода моделирования Монте-Карло возраст составил 1962 г., что подтверждает правильность выбранной нами модели датирования

для данного керна и обеспечивает лучшее согласование с горизонтом-маркером по  $^{137}\text{Cs}$ .

Атмосферный поток  $^{210}\text{Pb}$  на поверхность составил  $69,13 \pm 10$  Бк/м<sup>2</sup>·год при использовании расчётной модели, указанной выше. Эти данные хорошо согласуются с данными по торфяникам Северной Европы и данными по Европейской субарктики России [8].

Полученные результаты позволяют расширить представления о миграционных процессах радионуклидов атмосферных выпадений в торфяниках Европейской субарктики России.

*Исследование  $^{210}\text{Pb}$  выполнено при финансовой поддержке Гранта Президента Российской Федерации для молодых ученых МК-4298.2022.1.5 и научного проекта молодых ученых ФИЦ КИА УрО РАН, посвященного Десятилетию науки и техники в Российской Федерации №123050500019-0.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рекомендация МИ 2453-2000. Методики радиационного контроля. Общие требования. ВНИИФТИ, Москва. 2000.
2. Бахур А.Е., Мануилова Л.И., Зуев Д.М., Овсянникова Т.М., Трухина Т.П. Методика измерений удельной активности полония-210 ( $^{210}\text{Po}$ ) и свинца-210 ( $^{210}\text{Pb}$ ) в пробах почв, грунтов, донных отложений, горных пород и строительных материалов на их основе альфа-бета-радиометрическим методом с радиохимической подготовкой. ВИМС, Москва. 2013. С. 17.
3. Sanchez-Cabeza J.A., Ruiz-Fernandez A.C.  $^{210}\text{Pb}$  sediment radiochronology: An integrated formulation and classification of dating models // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 2012. № 82. P. 183–200.
4. Sanchez-Cabeza J.A., Ruiz-Fernandez A.C., Ontiveros-Cuadras J.F., Peres Bernal L.H., Olid C. Monte Carlo uncertainty calculation of  $^{210}\text{Pb}$  chronologies and accumulation rates of sediments and peat bogs // *Quaternary Geochronology*. 2014. № 23. P. 80–93.
5. Swanek A., Łokas E., Mitchell E.A.D., Mazei Y., Paweł G., Milton J.A. Temporal variability of Pu signatures in a  $^{210}\text{Pb}$ -dated Sphagnum peat profile from the Northern Ural. Russian Federation // *Chemosphere*. 2021. № 28. P. 130962.
6. Li H.-C., Wang J., Sun J.-J., Chou C.-Y., Li H.-K., Xia Y.-Y., Zhao H.-Y., Yang Q.-N., Kashyap S. Study of Jinchuan Mire in NE China I: AMS  $^{14}\text{C}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{137}\text{Cs}$  dating on peat cores // *Quaternary International*. 2019. № 528. P. 9–17.
7. Fialkiewicz-Koziel B., Kolaczek P., Piotrowska N., Michczynski A., Łokas E., Wachniew P., Woszczyk M., Sensula B. High-Resolution Age-Depth Model of a Peat Bog in Poland as an Important Basis for Paleoenvironmental Studies // *Radiocarbon*. 2014. №. 56(1). P. 109–125.
8. Yakovlev E., Spirov R., Druzhinin S., Ocheretenko A., Druzhinina A., Mishchenko E., Zhukovskaya E. Atmospheric fallout of radionuclides in peat bogs in the Western segment of the Russian arctic // *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. without a number. P. 1–11.
9. Paatero J., Jaakkola T., Kulmala S. Lichen (sp. *Cladonia*) as a deposition indicator for transuranium elements investigated with the Chernobyl fallout // *Journal of Environmental Radioactivity*. 1998. №38. P. 223–247.

## ВЫВОД ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕАБИЛИТАЦИЯ РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ТЕРРИТОРИИ АО «ДВЗ «ЗВЕЗДА»

Куликов К.Н., Лодочников С.В., Данилин А.А., Фофанов Г.В., Кузнецова В.Г.  
АО «НИПТБ «Онега», г. Северодвинск, niptb@onegastar.ru

С 2018 года на площадке АО «ДВЗ «Звезда» выполняется строительство объектов 2-й очереди новой верфи – ССК «Звезда». В зоне строительства объектов верфи оказался ряд радиационно опасных объектов: участок временного хранения твердых радиоактивных отходов (далее – хозяйственный пирс), участки радиационно опасных объектов (РОО) 37, А-114, 103 и 103А, что потребовало их вывода из эксплуатации и реабилитации территорий. Еще одним из РОО, находившимся в критическом состоянии, являлось временное хранилище твердых радиоактивных отходов (далее – объект 130).

В 2008–2020 годах АО «НИПТБ «Онега» разработаны проекты вывода из эксплуатации РОО АО «ДВЗ «Звезда» по варианту «Немедленная ликвидация» с последующей реабилитацией территории (далее – проект).

### Вывод из эксплуатации объекта 130

Здание объекта 130 было построено в 1964 году и представляло собой наземное железобетонное сооружение для временного хранения высоко-, средне- и низкоактивных твердых радиоактивных отходов (далее – ТРО).

Проект вывода из эксплуатации объекта 130 предусматривал:

- комплексное инженерное и радиационное обследование (далее – КИРО);
- работы по подготовке хранилища ТРО к выводу из эксплуатации, включая выгрузку и переработку жидких радиоактивных отходов (далее – ЖРО);
- разделение территории на режимные зоны радиационной безопасности;
- выгрузка ТРО с использованием установок ВРОКК-50 и НІАВ;
- сортировка ТРО по категориям;
- передача ТРО на объект 131 АО «ДВЗ «Звезда»;
- дезактивация отсеков хранилища и территории объекта 130;
- демонтаж и удаление конструкций объекта 130, благоустройство территории, приведение объекта в конечное состояние;
- проведение заключительного радиационного обследования.

ТРО были загружены в отсеки без сортировки по категориям.

В результате разрушения перекрытий здания в одном из отсеков скопилась вода, а в соседнем отсеке, загруженном ТРО, накопились низкоактивные ЖРО, которые частично проникли в грунт, что обусловило необходимость его извлечения и дезактивации.

Для обеспечения радиационной безопасности были применены модули шлюзования, разработанные АО «НИПТБ «Онега». Для обеспечения санитарно-пропускного режима персонала использовался мобильный санпропускник СМ-10М, разработанный в рамках ОКР «Технология ЯРБ» (рис. 1).

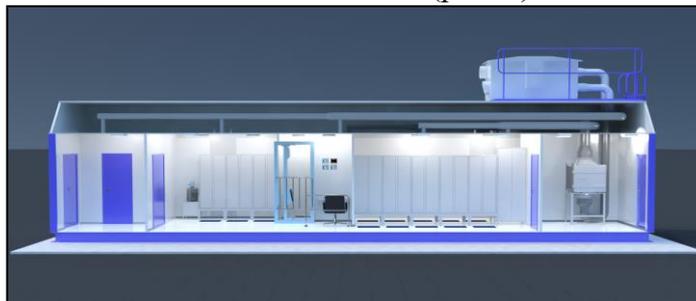


Рис.1 – Модульный санпропускник СМ-10М

Для предотвращения распространения РВ предусматривалось нанесение на поверхности оборудования и помещений полимерного покрытия для дезактивации, локализации, аккумулярования и пылеподавления. Загрузка среднеактивных и высокоактивных ТРО производилась в контейнер К-150 с последующей герметизацией контейнера. Для транспортирования контейнер К-150 со среднеактивными и высокоактивными ТРО устанавливался в транспортный контейнер УКТ1А-6К9.

В ходе реализации проекта были произведены работы по выгрузке из отсеков, фрагментации и загрузке средне- и высокоактивных ТРО в контейнеры при помощи дистанционно управляемой техники ВРОКК-50 и крана-манипулятора НІАВ (рис.2).

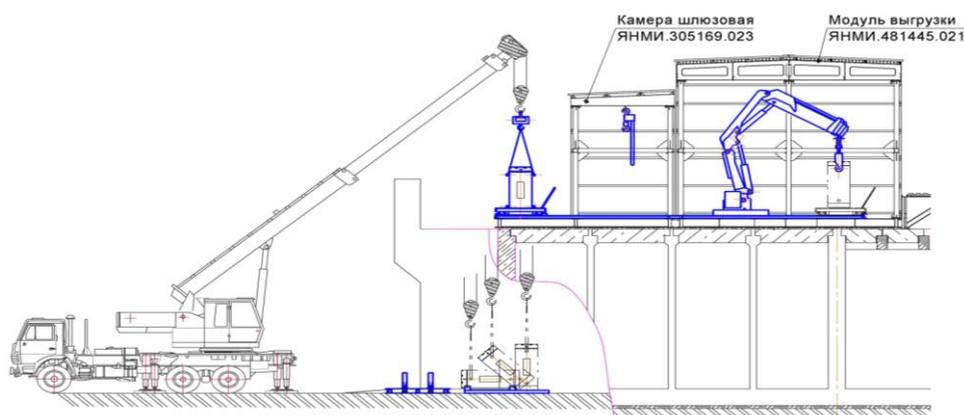


Рис.2 – Выгрузка контейнера К-150 с передаточной тележки

Во избежание попадания атмосферных осадков над отсеками устанавливалось укрытие, над отсеком № 3 – модуль выгрузки с камерой шлюзовой.

Наибольшую сложность составило обращение с радиоактивными отходами (РАО) в отсеке. Выгрузка ТРО из отсека производилась через выполненный в перекрытии проем. Фрагментация ТРО производилась непосредственно в отсеке. После выгрузки низкоактивных ЖРО и первичной сортировки ТРО в некоторых участках отсека радиационный фон резко вырос, что свидетельствовало о наличии среднеактивных ТРО, сведения о которых отсутствовали, но технология работы с которыми уже была отработана в других отсеках. В результате выполнения работ из отсека были выгружены два контейнера К-150 с высокоактивными ТРО, два контейнера типа НЗК-Радон со среднеактивными ТРО и пять бочек с низкоактивными ЖРО, которые были переданы на объект 131 АО «ДВЗ «Звезда».

В результате проведенных работ здание было демонтировано. Территория объекта 130 выведена из категории «радиационно опасный объект».

#### **Вывод из эксплуатации объектов хозяйственного пирса**

Хозяйственный пирс – радиационный объект IV категории, используемый для временного хранения РАО. Проведение КИРО выявило на его территории ТРО суммарной активностью в  $2,96 \cdot 10^{11}$  Бк.

Радиационная обстановка на территории хозяйственного пирса характеризовалась следующими величинами радиационных факторов:

- мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения превышала контрольные уровни, установленные в АО «ДВЗ «Звезда»;
- на отдельных участках хозяйственного пирса поверхностные загрязнения РВ превышали допустимые уровни, установленные нормами радиационной безопасности.

Анализ радиационной обстановки показал вероятность внешнего и внутреннего облучения персонала в ходе работ, а также распространения РВ в окружающую среду.

Конечное состояние хозяйственного пирса – вывод из категории «радиационный объект». Проектом были установлены критерии конечного состояния, а именно:

– мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения от грунта не должна превышать 0,6 мкЗв/ч в соответствии с требованиями методических указаний [6];

– удельная активность техногенных радионуклидов в грунте не должна превышать значений минимально значимой удельной активности радионуклидов, установленной нормами радиационной безопасности [2];

– ТРО и производственные отходы вывезены;

– асфальтобетонное покрытие и грунт, загрязненные РВ, удалены;

– строительные конструкции демонтированы.

В соответствии с проектом принята следующая последовательность работ:

– подготовительные работы:

1) перенос ограждения (на период работ);

2) установка временного технологического укрытия для обращения с ТРО (далее – укрытие);

3) установка и подключение двух модулей вентиляции;

4) организация площадки дезактивации транспортных средств;

– обеспечение РБ:

1) устройство укрытия, оборудованное системой специальной вентиляции, местной вытяжной вентиляции и пылегазоулавливающими установками – электростатическим фильтром и циклоном;

2) устройство двух модулей вентиляции (динамический барьер), оборудованных системой очистки воздуха от аэрозолей;

3) выгрузка накопленных ТРО в контейнеры НЗК-Радон;

4) дезактивация загрязненного РВ оборудования, систем, зданий и сооружений;

5) демонтаж строительных конструкций и оборудования;

6) удаление ТРО, образовавшихся при выполнении работ;

7) удаление загрязненного РВ грунта и асфальтобетонного покрытия при превышении мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения 0,6 мкЗв/ч, с последующим размещением в бочках в контейнерах НЗК-Радон;

8) благоустройство территории, укладка незагрязненного грунта, приведение объекта в конечное состояние, определенное проектом;

9) проведение заключительного радиационного обследования.

Предотвращение выбросов РВ в атмосферу, в соответствии с проектом, обеспечивается использованием статических и динамических барьеров, а именно:

– устройств укрытия (статический барьер), оборудованных воздуховодами системы специальной вентиляции, местной вытяжной вентиляции и пылегазоулавливающими установками – электростатическим фильтром и циклоном;

– устройства двух модулей вентиляции (динамический барьер), оборудованных системой очистки воздуха от аэрозолей, включающей два последовательно включенных фильтра с фильтрующими высокоэффективными элементами ФВЭА 3500.

Проектом предусмотрено также создание локальной автоматизированной системы контроля радиационной обстановки в укрытии и модулях вентиляции.

При обращении с ТРО было принято решение использовать существующие объекты инфраструктуры АО «ДВЗ «Звезда». ТРО размещены в 170 контейнерах, которые были переданы во временное хранилище РАО и на площадку по замоналичиванию контейнеров с ТРО АО «ДВЗ «Звезда». На участках удаления асфальтобетонного покрытия, загрязненного РВ, уложен грунт. Обращение с ЖРО, которые образуются в результате работ по выводу из эксплуатации хозяйственного пирса, осуществляется в соответствии с порядком, установленным документами АО «ДВЗ «Звезда». Критерии конечного состояния хозяйственного пирса, установленные

проектом, достигнуты. Это позволило исключить пирс из перечня радиационно опасных объектов.

#### **Вывод из эксплуатации объекта 37**

Объект 37 расположен на территории АО «ДВЗ «Звезда» в районе промышленной застройки. В его состав входит лаборатория ремонта, наладки и калибровки аппаратуры радиационного контроля (РК).

Проект вывода из эксплуатации объекта 37 и реабилитация прилегающей территории предполагал следующие стадии:

- проведение КИРО;
- дезактивация оборудования;
- вывоз оборудования;
- демонтаж строительных конструкций;
- сбор образующихся отходов и дальнейшее обращение с ними;
- приведение объекта в конечное состояние, определенное проектом;
- проведение заключительного радиационного обследования.

В результате проведенных работ объект 37 был успешно выведен из категории РОО. РАО приведены в безопасное состояние и размещены на временное хранение на территории АО «ДВЗ «Звезда».

#### **Вывод из эксплуатации объектов 103, 103А и А-114**

Объекты 103, 103А представляют собой элинг, где размещены спецбаковое помещение для хранения ЖРО, радиохимическая лаборатория, участок ремонта газовой аппаратуры, такелажный участок, слесарная мастерская, вентцентры и канал спецканализации. Производственный пролет здания объекта А-114 используется как зарядно-аккумуляторный цех, административно-бытовой корпус – как центральная заводская лаборатория.

По результатам КИРО большая часть ТРО представляет собой фрагменты оборудования, железобетонных и металлических конструкций, свинцовой защиты, а также средств индивидуальной защиты (СИЗ) и может быть отнесена к очень низкоактивным и низкоактивным РАО. Жидкие отходы представляют собой сточные воды саншлюза.

Приведение объектов 103, 103А и А114 в конечное состояние, определенное проектом, подразумевает вывоз технологического инженерного оборудования, демонтаж строительных конструкций и инженерных систем, передачу специализированной организации отходов, содержащих техногенные радионуклиды, извлечение грунта, при превышении мощности дозы гамма-излучения 0,6 мкЗв/ч.

#### **Утилизация плавучих емкостей ПЕК-50 (зав. 170)**

ПЕК-50 – морская самоходная плавемкость специального назначения, предназначенная для приема, временного хранения и передачи на плавучий завод очистки ПЗО-500 «Ландыш» ЖРО от объектов их образования – атомных подводных лодок, надводных кораблей с ядерной энергетической установкой и судов атомного технологического обслуживания. В связи со строительством ССК «Звезда» и ликвидацией инфраструктуры утилизации плавемкости типа ПЕК-50 заводской № 170 утилизирована на хозяйственном пирсе АО «ДВЗ «Звезда».

Проектом утилизации плавемкости типа ПЕК-50 заводской № 170, разработанным АО «НИПТБ «Онега», предусматривается вывод судна из категории плавучих объектов, выгрузку РАО из хранилищ, обращение с РАО и утилизацию корпусных конструкций судна в условиях хозпирса АО «ДВЗ «Звезда».

#### **Организационно-технологическая схема утилизации ПЕК-50:**

- проведение КИРО плавемкости типа ПЕК-50 с составлением акта;
- выгрузка РАО на плав у спецнабережной и передача на временное хранение и последующую переработку;

- подготовка, подъем и постановка ПЕК-50 на твердое основание;
- утилизация ПЕК-50;
- сбор образующихся отходов, сортировка и обращение с ними;
- переработка продуктов утилизации.

### Итоги вывода из эксплуатации радиационно опасных объектов

Таблица 1 - Итоги вывода из эксплуатации радиационно опасных объектов представлены

Объект	Активность, Бк	Класс и количество РАО	Реабилитированная территория, м <sup>2</sup>
Объект 130	$7,46 \cdot 10^{14}$	Высокоактивные ТРО – 0,02 м <sup>3</sup> Среднеактивные ТРО – 34,20 м <sup>3</sup> Низкоактивные ТРО – 67,73 м <sup>3</sup> Низкоактивные ЖРО – 74,00 м <sup>3</sup>	490
Хозяйственный пирс	$2,96 \cdot 10^{11}$	ТРО – 243 м <sup>3</sup>	3480
Объект 37	$4,68 \cdot 10^{11}$ $4,40 \cdot 10^{11}$	Очень низкоактивные ТРО – 1,6 м <sup>3</sup> ЖРО – 1,0 м <sup>3</sup>	154
Объекты 103, 103А	$3,07 \cdot 10^{11}$	Очень низкоактивные и низкоактивные ТРО – 961,260 т Среднеактивные ТРО – 2,227 т Низкоактивные ЖРО – 7,8 м <sup>3</sup>	21982
Объект А-114	$1,38 \cdot 10^5$	Очень низкоактивные ТРО – 0,9 т ЖРО – 1 м <sup>3</sup>	451

### Заключение

В соответствии с проектами вывода из эксплуатации, разработанными АО «НИПТБ «Онега», выведены из категории РОО объекты инфраструктуры обращения с РАО (объекты 130, 37, хозяйственный пирс) АО «ДВЗ «Звезда».

Разработанные АО «НИПТБ «Онега» организационные и технологические решения обеспечили выполнение работ в кратчайшие сроки. Это позволило использовать территорию в рамках строительства зданий и сооружений ССК «Звезда».

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 2.6.1.2612-10 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010).
2. СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009. Санитарные правила и нормативы.
3. ЯНМИ.0422.00.041 Вывод из эксплуатации радиационно-опасного объекта 37. Обращение с радиоактивными отходами. Реабилитация территории объекта. Принципиальная технология.
4. ЯНМИ.0422.00.042 Вывод из эксплуатации радиационно-опасного объекта А-114. Обращение с радиоактивными отходами. Реабилитация территории объекта. Принципиальная технология.
5. ЯНМИ.0422.00.044 Вывод из эксплуатации радиационно-опасных объектов 103, 103А. Обращение с радиоактивными отходами. Реабилитация территории объектов. Принципиальная технология.
6. МУ 2.6.1.2398 Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка земельных участков под строительство жилых домов, зданий и сооружений общественного и производственного назначения в части обеспечения радиационной безопасности. Методические указания.

## ТЕКТОНИЧЕСКИЕ УЗЛЫ – ЛОКАЛЬНЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ МЕЖГЕОСФЕРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

*Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Минеев А.Л., Полякова Е.В., Неверов Н.А., Старицын В.В.*  
Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, kutinov@fciarctic.ru

В научной литературе и многочисленных энциклопедических изданиях существует большое количество определений понятия «геосистема», содержание которых зависит от научной дисциплины, к которой относится научное сообщение. Общим являются следующие черты: единая совокупность компонентов; их пространственная упорядоченность; наличие основных свойств систем; устойчивость отличительных свойств и их специфичность; упорядоченность свойств в пространстве и во времени; наличие непрерывного обмена и преобразования вещества и энергии (диссипативные структуры). В целом, геологические, геоморфологические и геофизические особенности тектонических узлов, в первую очередь их связи с полезными ископаемыми и землетрясениями, достаточно многочисленны. Существуют многочисленные данные о влиянии тектонических структур на состояние природной среды. Тем не менее, исследования межгеосферных процессов, происходящих в области развития узлов тектонических пересечений, на настоящий момент развиты слабо. Большинство сообщений посвящено проявлению этих процессов в геодинамически активных областях и в значительно меньшей степени для территории древних платформ. Основное внимание уделяется процессам, происходящим в земной коре, в меньшей мере в атмосфере, и практически не исследуются взаимодействия геосфер на границе литосфера-биосфера.

Обычно тектонически узлы не рассматриваются как геосистемы. Их свойства определяются как сумма свойства слагающих их разломов. Однако по данным наших исследований они имеют все признаки геосистем, во всяком случае на региональном уровне. Исследование тектонических узлов, как геосистем, позволяет посмотреть на их строение и функционирование в другом аспекте, чем при классическом подходе. Достаточно большое значение имеет такое свойство геосистем как эмерджентность, т.е. при суперпозиции отдельных подсистем и формирующих их факторов и процессов возникают свойства и процессы, которые в исходных подсистемах не содержались. По способам соединения составных частей геосистем обычно различают две системы внутренних связей: вертикальную (межкомпонентную) и горизонтальную (межсистемную). В узлах тектонических нарушений доминируют вертикальные связи, а в тектонических разломах их слагающих – горизонтальные.

Для выделения тектонических узлов региона нами использовались все имеющиеся на настоящий момент геолого-геофизические материалы м-ба 1:1000000 – 1:200000, которые дополнялись геоморфометрическим анализом цифровой модели рельефа ЦМР и анализом космоматериалов. Методика выделения узлов подробно рассмотрена в работах авторов [1, 2], поэтому в данном сообщении приводится лишь упрощенный алгоритм их выделения (рис. 1). Применение этой методики позволило выделить разломы и, как следствие, тектонические узлы как геологические тела, и учесть зону их динамического влияния. В результате было выделено 18 тектонических узлов 1-го порядка, на части которых проводились регулярные мониторинговые исследования. Состав мониторинговых исследований и методика их проведения подробно рассмотрены в работе [1]. Выбор узлов для проведения исследований был обусловлен в первую очередь их транспортной доступностью и, как следствие, возможностью проведения постоянных наземных мониторинговых наблюдений, а не только проведения разовых замеров. Полученные результаты были корреспондированы на другие узлы с учетом их ранга и морфометрических [3] и энергетических

характеристик [4] с широким использованием современных космоматериалов, цифрового моделирования рельефа и ГИС-технологий.

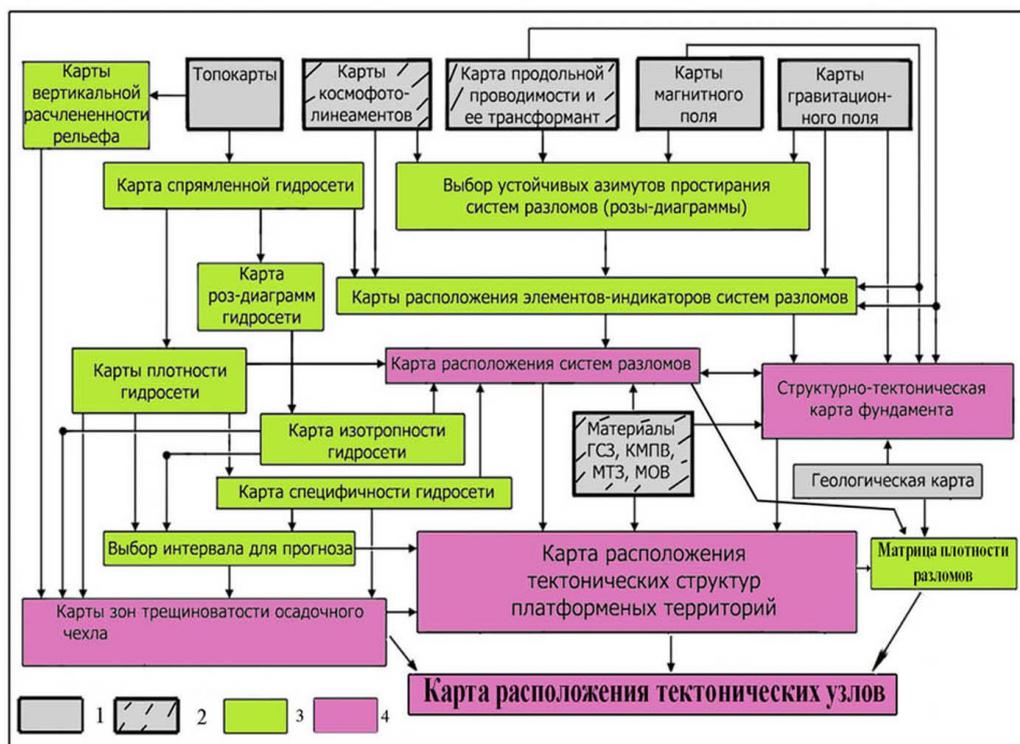


Рис. 1 – Алгоритм выделения систем разломов и тектонических узлов: 1–2 – архивные материалы [3]: 1 – имеющиеся для всех территорий древних платформ, 2 – не всегда имеющиеся; 3–4 – карты и материалы, получаемые в процессе исследований: 3 – промежуточные, 4 – окончательные

В состав исследований были включены наземные мониторинговые исследования [2] и комплекс расчетных методов [4, 3, 5 и др.], частично приведенный на рис. 2. Ограниченный объем публикации не позволяет подробно рассмотреть применяемые авторами методы и подходы. Поэтому в приведенном алгоритме не показаны наземные мониторинговые исследования биосферы и атмосферы, рассмотренные в более ранних работах авторов [1, 5, 6 и др.]. Из расчетных методов дополнительно проводились анализ отражения структур фундамента в современном рельефе и разделения узлов по высотным оценкам [2, 3 и др.] по авторским программам.

Рассмотрим полученные результаты исследования вертикальных (межкомпонентных) связей в тектонических узлах. Ранее проведенный анализ полученных результатов позволяет утверждать, что глубинность тектонических узлов имеет 400 и более километров [4]. Они отражаются в пониженных значениях температуры в литосфере и астеносфере, с глубины, как минимум, 200 км и практически до дневной поверхности; в значениях теплового потока; в структуре потенциальных полей; в строении поверхности Мохо и кристаллического фундамента; в мощности слоев земной коры; в современном геодинамическом режиме, в макросейсмическом поле. Причем тектонические узлы характеризуются повышенными значениями: коэффициента дискретности земной коры; плотности разломов; функции дробления (блочности); энергоемкости; индекса расчлененности рельефа [7] и потенциальной энергии рельефа [8]. Таким образом, тектонические узлы отличаются повышенной проницаемостью земной коры, и находятся в колебательном режиме с гармонически меняющимся напряженно-деформированным состоянием земной коры, как по латерали, так и по вертикали. Характер разностных моделей рельефа говорит о

наличии подвижек земной коры на современном тектоническом этапе, в том числе и на территориях древних платформ, причём тектонические узлы пространственно совпадают с максимальными значениями разностных поверхностей (рис. 3, Б) [4]. Отражение тектонических узлов в геоморфометрических параметрах рельефа рассмотрено в работе [2].



Рис. 2 – Алгоритм изучения межгеосферных процессов [4]

На уровне гидросферы тектоническим узлам соответствуют зоны свободного водообмена мощностью до 500 м и, как следствие изменением химического состава подземных вод.

Анализ состояния почв показал, что в тектонических узлах наблюдаются иные чем на окружающих территориях состав и содержание макро- и микроэлементов, в первую очередь, повышенное содержание подвижных форм калия и фосфора. Статистически значимые изменения состава, структуры древостоев и качества древесины отмечались авторами в многочисленных более ранних публикациях.

В атмосфере зафиксированы [1, 2, 4]: 1) постоянный «дефицит» атмосферного давления над периферией тектонических узлов; 2) повышенная плотность облачного покрова на периферии тектонических узлов и почти их полное отсутствие в центре (рис. 3, А); 3) частота выпадения жидких и твердых осадков выше на периферии, а количество на 26% больше; 4) изменение электрической проводимости воздуха, выражающееся в ослаблении сигналов сотовой связи, изменении характера короткопериодных магнитных вариаций, искажении («отскок») сигналов GPS; 5) кратное увеличение количество гроз.

Иными словами, над тектоническими узлами существуют вертикальные каналы межгеосферного взаимодействия, охватывающие всю атмосферу от тропосферы до

ионосферы (слой  $F_2$ ) и выше, формируя аномальные погодные условия, влияющие на окружающую среду (рис. 4).

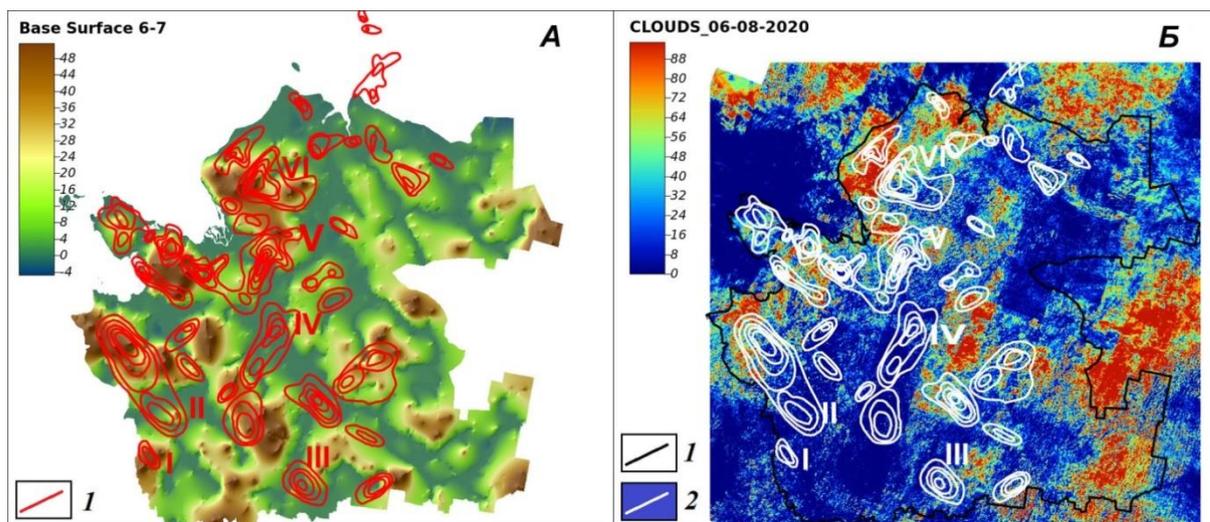


Рис. 3 – Примеры расчета разностных поверхностей и облачности [4]: А – карта разности базисных поверхностей 6-7: 1 – тектонические узлы; Б – медианная вероятность облачности над территорией Архангельской области за период с июня по август 2020 г.: 1 – граница Архангельской области; 2 – тектонические узлы

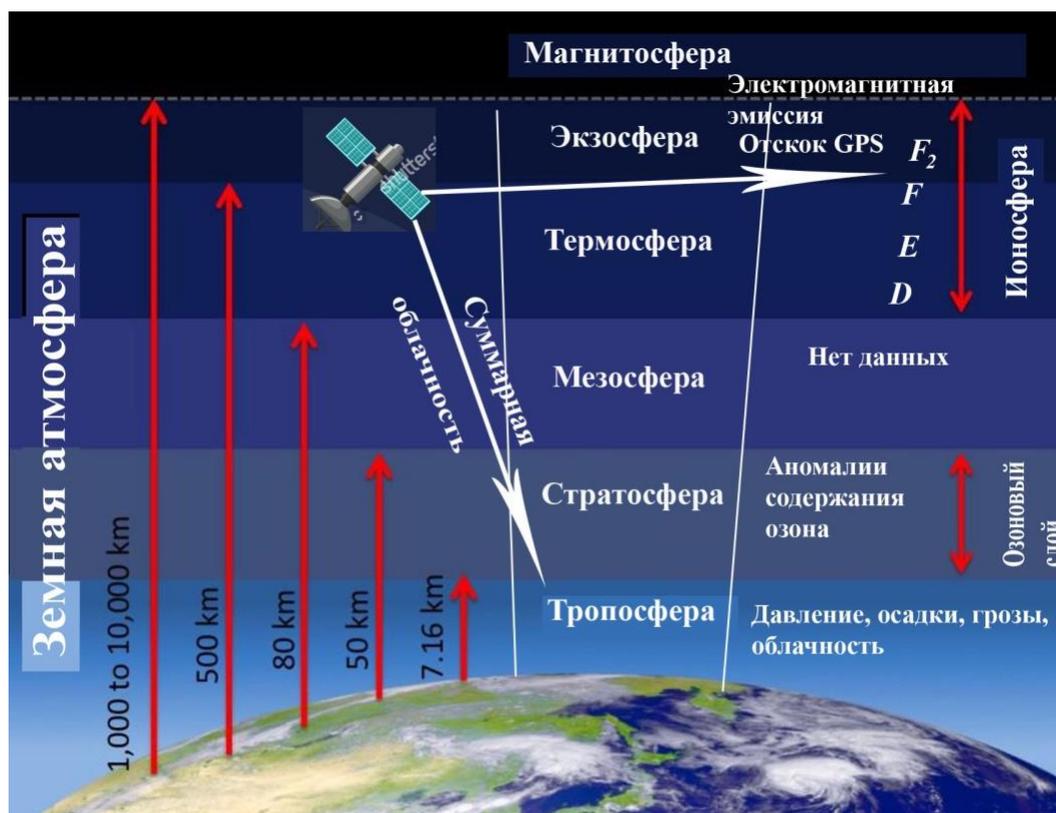


Рис. 4 – Взаимодействие тектонических узлов и атмосферы

К сожалению, чем выше уровень атмосферы, тем меньше данных о процессах взаимодействия, что вполне естественно, т.к. детальность исследований резко падает. Так на уровне стратосферы – это аномалии общего содержания озона (ОСО) над тектоническими структурами [9]. Но эти данные имеют достаточно глобальный характер и уверенно «привязать» можно только к наиболее крупным тектоническим узлам. К сожалению, данные о взаимодействии на уровне мезосферы у авторов

отсутствуют. На уровне ионосферы (слой  $F_2$ ) – это искажение сигнала GPS. Но при этом можно сделать вывод, что если такое взаимодействие отмечено для нижних (тропосфера) и более высоких слоев (ионосфера) атмосферы, то логично предположить, что и на всех уровнях атмосферы такое взаимодействие существует.

Суммируя вышеизложенное, можно сделать вывод, что тектонические узлы являются геосистемами с преобладанием вертикальной (межкомпонентной) системы внутренних связей в отличие от слагающих их разломов и характеризуются широким спектром межгеосферного взаимодействия на уровнях литосфера-гидросфера-атмосфера.

*Исследования проведены в рамках государственного задания № 122011300380-5 Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Неверов Н.А. Новые данные о влиянии тектонических узлов на состояние окружающей среды на севере Русской плиты // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2020. № 5. С. 12-24. (а).
2. Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Полякова Е.В., Минеев А.Л. Применение цифровых моделей рельефа (ЦМР) для выделения тектонических структур древних платформ (на примере северо-запада Русской плиты). Пенза: «Социосфера». 2020. 378 с.
3. Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Полякова Е.В., Минеев А.Л. Цифровое моделирование рельефа для прогноза площадей перспективных на нефть и алмазы // Актуальные проблемы нефти и газа. 2019. Вып. 1(24). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2019-24.art8>
4. Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Минеев А.Л., Полякова Е.В., Неверов Н.А. Результаты мониторинговых исследований процессов межгеосферного взаимодействия в тектонических узлах севера Русской плиты //Динамические процессы в геосферах. – 2022. Т. 14. № 2. С. 10-24. DOI: 10.26006/29490995\_2022\_14\_2\_10.
5. Старицын, В.В., Полякова Е.В. Содержание аскорбиновой кислоты в плодах черники (*Vaccinium myrtillus*) в пределах Холмогорского тектонического узла Архангельской области // Успехи современного естествознания. 2022. № 6. С. 77-82.
6. Nikolay Neverov, Zinaida Chistova, Alexandr Mineev Effect of meteorological factors on the radial growth of pine latewood in northern taiga //Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry, 2022. Vol. 64 (1), P. 7–14. DOI: 10.2478/ffp-2022-0002.
7. Кутинов Ю.Г., Беленович Т.Я., Чистова З.Б. Дискретность земной коры, энергоемкость блоков и сейсмичность Европейского Севера России // Вестник геонаук. 2021. 11(323). С. 16-24. DOI: 10.19110/geov.2021.11.2.
8. Кутинов Ю.Г., Минеев А.Л., Чистова З.Б., Полякова Е.В., Беленович Т.Я. Потенциальная энергия рельефа. Методики расчета, проблемы, варианты //Уральский геологический журнал. 2022. № 6(150). С. 17-31.
9. Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. М.: ООО «Геоинформцентр», 2002. 250 с.

## ВОСТОЧНАЯ АРКТИКА. СТРУКТУРА И ЭВОЛЮЦИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СИСТЕМ ОКРАИННЫХ МОРЕЙ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

*Лавренова Е.А., Керимов В.Ю., Мустаев Р.Н., Мамедов Р.А*

Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, mustaevrn@mgi.ru

Арктические акватории являются важным объектом исследования, т.к. их недра могут содержать значительный углеводородный потенциал. По некоторым оценкам на шельфах окраинных морей приполярной Арктики с глубинами, не превышающими 500 м, может находиться мировых неразведанных запасов газа 30% и нефти 13% [1].

Основная проблема при проведении бассейнового анализа изучаемой акватории Восточной Арктики состоит в отсутствии скважин глубокого бурения. Эффективным решением проблемы является комплексный подход, предполагающий вовлечение в анализ всей доступной геолого-геофизической и геохимической информации.

Основными инструментами изучения геологической информации в настоящей работе, являлись комплексный бассейновый анализ, выполненный с позиций концепции углеводородных систем, а также численное моделирование эволюции осадочных бассейнов и входящих в их состав гипотетических углеводородных систем.

В качестве основы структурно-тектонического каркаса разработанной цифровой модели осадочных бассейнов Восточной Арктики использованы карты масштаба 1:5000000, подготовленные ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург, Россия) в 2014 г. [2].

Используемые в работе представления о строении региона интегрируют взгляды исследовательских групп, а также отдельных специалистов [3–8].

В отсутствии данных бурения в пределах изучаемых акваторий, учитывались результаты исследования геологического разреза на сопредельной суше [9, 10].

В качестве палеогеографической основы для бассейнового анализа использована модель, разработанная “Equinor ASA” (Stavanger, Norway), которая охватывает временной период с триаса по палеоген включительно и учитывает плитотектонические реконструкции, выполненные в 2015г. Dor'e, and et al. [11].

Плитный чехол в пределах моря Лаптевых, сложенный предположительно меловыми и кайнозойскими отложениями, включает два структурных этажа.

- Нижний структурный этаж, определяемый как синрифтовый и представленный меловыми, вероятно континентальными отложениями, развит не повсеместно [12-14].

- Верхний пострифтовый структурный этаж, сложен породами, прибрежно-морского и морского происхождения.

На основании сейсмических данных, материалов геологической съемки на прилегающей островной и континентальной суше, результатах бурения на шельфе Аляски в акваториях Восточно-Сибирского и Чукотского морей в составе осадочного чехла выделяют три структурных этажа:

- Бофортский (или рифтовый);
- Нижнебрукский;
- Верхнебрукский.

Основной задачей моделирования являлась оценка влияния установленных различий эволюции осадочных бассейнов (Лаптевоморского, Восточно-Сибирского и Северо-Чукотского) на развитие, входящих в их состав углеводородных систем, и, как следствие, – на формирования углеводородного потенциала изучаемых акваторий.

В рамках реконструкции геодинамического развития углеводородных систем рассчитаны 3D модели соответствующих оценочных параметров (рис. 1).

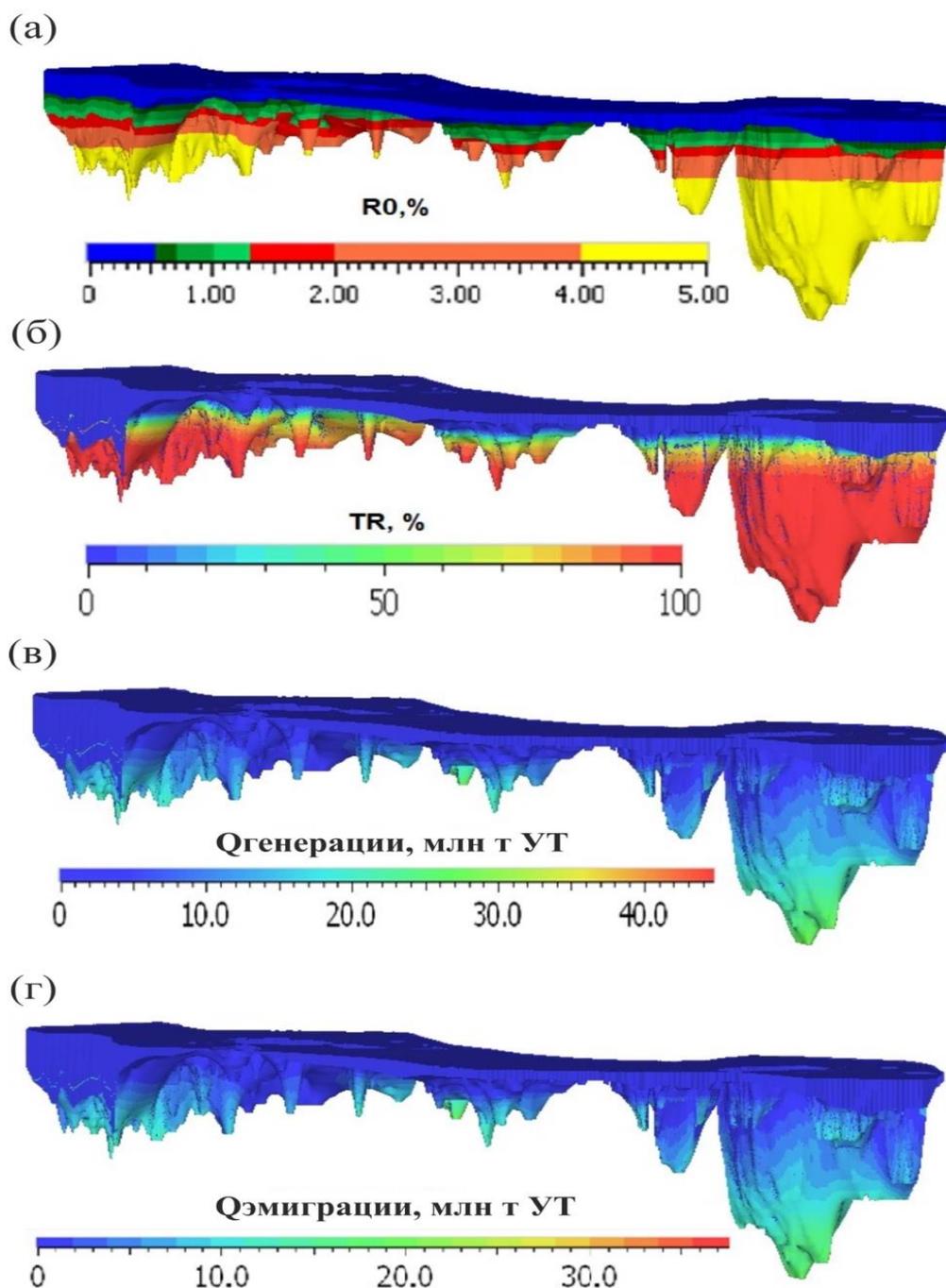


Рис. 1 – Моделирование оценочных параметров Восточной Арктики.  
 (а) – отражательная способность витринита; (б) – степень преобразованности органического вещества; (в) – удельные плотности генерации углеводородов; (г) – удельные плотности эмиграции углеводородов.

На современном этапе развития бассейнов самые зрелые отложения прогнозируются в море Лаптевых и Северо-Чукотском прогибе, где на большей части территории они перегреты. Палеогеновые (палеоцен–эоцен) породы всех изученных бассейнов в настоящее время способны генерировать как жидкие, так и газообразные углеводороды. Максимальная зрелость отложений этого возраста отмечается в Лаптевоморском бассейне. Зрелость органического вещества палеогена Северо-Чукотского и Восточно-Сибирского бассейнов соответствует главной зоне нефтеобразования. Органическое вещество нижней части олигоцен–нижнемиоценового комплекса прогрето до уровня «нефтяного окна» Лаптевоморском бассейне, где генерация углеводородов началась в конце неогена.

Индекс TR отражает степень реализации материнской толщей ее начального генерационного потенциала. Показано распределение этого показателя в пределах области моделирования отражает различия в тектонической эволюции изучаемых осадочных бассейнов и, в частности, скоростей их погружения (рис. 2).

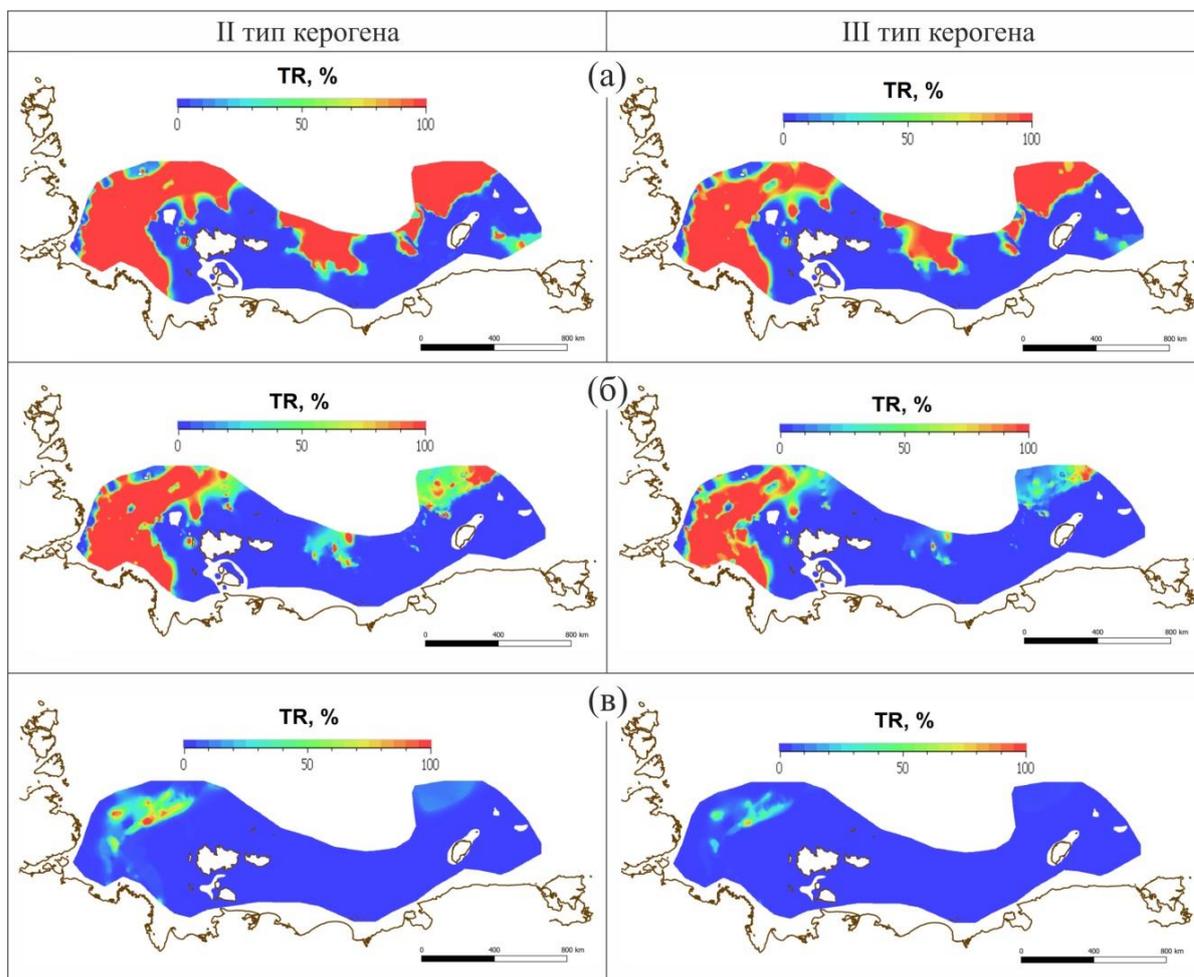
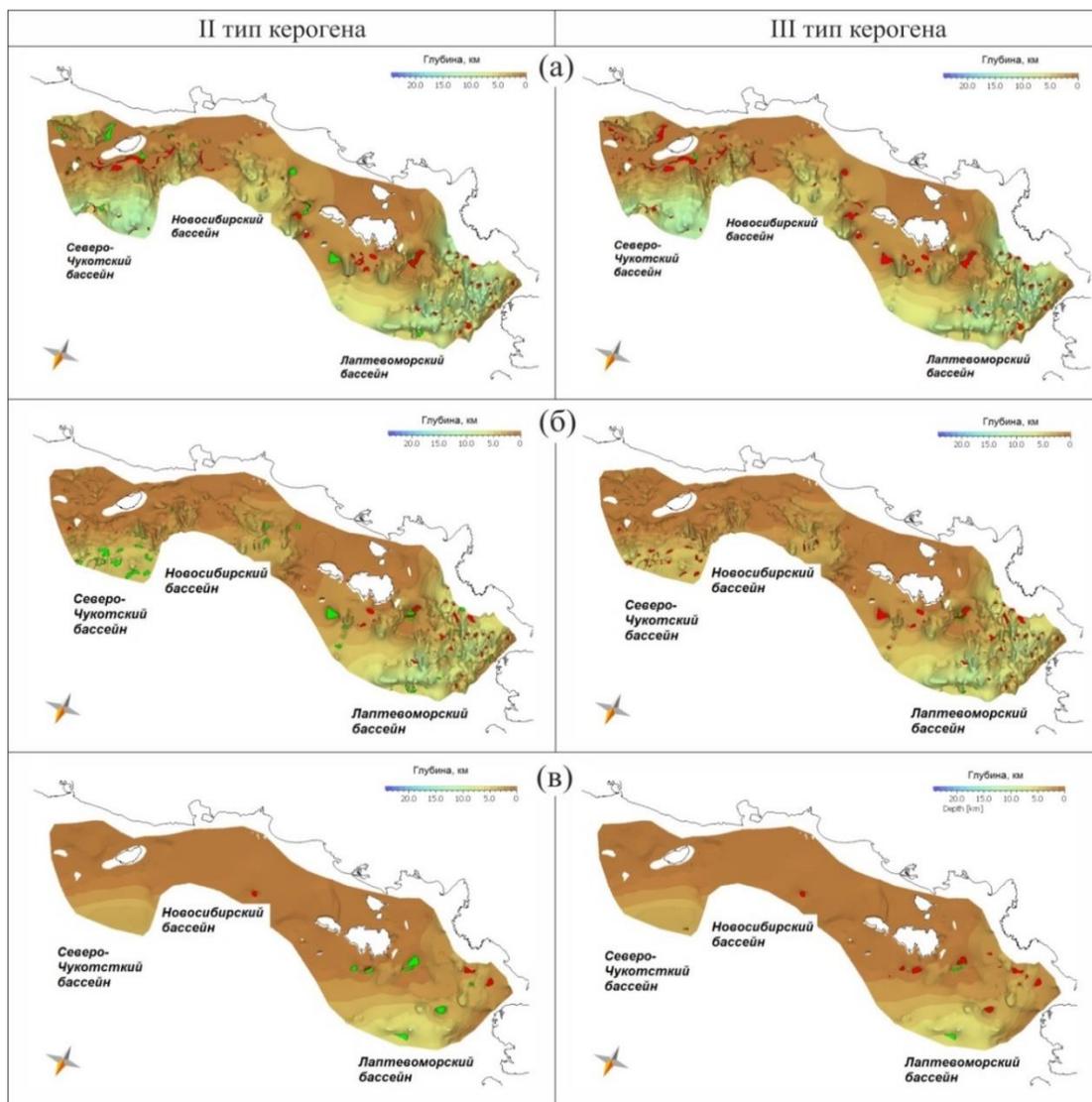


Рис. 2 – Распределение степени преобразованности ОБ (TR, %). Возраст нефтегазоматеринской толщи: (а) – мел; (б) – палеоген; (в) – неоген (современный этап развития углеводородной системы)

Уровень реализации генерационного потенциала определяет удельные плотности генерации и эмиграции углеводородов моделируемых нефтегазоматеринских толщ НГМТ.

Отображены прогнозируемые по результатам моделирования скопления углеводородов в резервуарах апт–верхнемелового, палеогенового (палеоцен–эоцен) и олигоцен–миоценового возрастов для II и III типов керогена (рис. 3). Показано, что области наиболее вероятной аккумуляции углеводородов сохраняются вне зависимости от типа органического вещества.

Использованный в ходе проведенных исследований подход, основанный на изучении углеводородных систем и учитывающий особенности развития каждого бассейна, является достаточно эффективным даже на текущем уровне изученности окраинных морей Восточной Арктики. Таким образом, анализ результатов моделирования УВ систем даже высокой степени неопределенности позволяет получить практические результаты.



 скопления жидких УВ    
  скопления газообразных УВ

Рис. 3 – Расположение прогнозируемых скоплений углеводородов (УВ) в резервуарах. Скопления УВ: а – апт–верхнемеловые; б – палеогеновые (палеоцен–эоцен); в – олигоцен–нижнемиоценовые

### Выводы

1. Результаты проведенных исследований показали, что ключевым фактором, контролирующим развитие углеводородных систем, является тектонический режим осадочных бассейнов, который определяет скорость их погружения и мощность формируемых комплексов перекрывающих пород.

2. Основными очагами генерации углеводородов в меловом комплексе является Северо-Чукотский бассейн, в палеогене и неогене – Лаптевоморский бассейн.

3. Наиболее вероятные области аккумуляции углеводородов в резервуарах апт–верхнемелового комплекса Северо-Чукотского и Восточно-Сибирского бассейнов располагаются преимущественно в их прибортовых частях на глубинах ~5 км. В Лаптевоморском бассейне, кроме прибортовых зон, выделяется крупная область в центральной части бассейна, где залежи углеводородов ожидаются на глубинах >5 км.

4. Анализ полученных результатов показывает, что наиболее перспективным для поисков углеводородов является Лаптевоморский бассейн. Значительный углеводородный потенциал ожидается в клиноформах палеогена Восточной Арктики.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киселев Е.А., Морозов А.Ф., Казьмин Ю.Б., Каминский В.Д., Федонкин М.А. Тектоностратиграфический атлас Восточной Арктики. - Под ред. О.В. Петрова, М. Смелрор. СПб.: ВСЕГЕИ. 2020. 152 с.
2. Иванов В.Л., Ким Б.И., Косько М.К., Иванова Н.М. Лаптевский седиментационный бассейн. В кн.: Геология и полезные ископаемые России. Т.5. Арктические и дальневосточные моря. Кн.1. Арктические моря. Под ред. И.С. Грамберг, В.Л. Иванов, Ю.Е. Погребницкий. СПб.: ВСЕГЕИ, 2004. С. 274–319.
3. Афанасенков А.П., Бордюг А.В. Никишин А.М., Танинская Н.В., Шиманский В.В., Бордунов С.И. Уточнение палеогеографии Севера Сибирской платформы с учётом новых данных // Геология нефти и газа. 2018. № 2. С. 5–23.
4. Драчев С.С. О тектонике фундамента шельфа моря Лаптевых // Геотектоника. 2002. № 6. С. 60–76.
5. Заварзина Г.А. Шкарубо С.И. Тектоника западной части шельфа моря Лаптевых // Нефтегазовая геология. Теория и практика, 2012. Т. 7. № 3. 11с.
6. Керимов В. Ю., Леонов М. Г., Осипов А. В., Мустаев Р.Н., Хай Ву Нам. Углеводороды в фундаменте шельфа Южно-Китайского моря (Вьетнам) и структурно-тектоническая модель их формирования // Геотектоника. 2019. № 1. С. 44–61.
7. Ким Б.И., Евдокимова Н.К. Геология и нефтегазоносность Лаптевоморского замыкания Евразийского бассейна // Геология нефти и газа. 2010. № 2. С. 3–10.
8. Осипов А.В., Керимов В.Ю., Мустаев Р.Н. Особенности генерации углеводородов на больших глубинах земной коры // ДАН. 2018. Т. 483. № 3. С. 296–300.
9. Рекант П.В., Петров О.В. Формирование складчато-надвиговой структуры южной части шельфа Восточно-Сибирского моря по результатам структурного анализа сейсмических материалов // Региональная геология. 2020. С. 35–59.
10. Сенин Б. В., Керимов В. Ю., Богоявленский В. И., Леончик М.И., Мустаев Р.Н. Нефтегазоносные провинции морей России и сопредельных акваторий. – В кн.: Нефтегазоносные провинции морей Восточной Арктики и Дальнего Востока. – М.: РГГИ, 2022. Кн.3. 359 с.
11. Сомме Т.О., Доре А.Г., Лундин Э.Р., Торудбаккен Б.О. Триасовая палеогеография Арктики: последствия для маршрутизации отложений и заполнения бассейнов // Бюллетень ААРГ. 2018. Т. 102. №12. С. 2481–2517.
12. Дараган-Суцова Л.А., Петров О.В., Дараган-Суцов Ю.И., Рукавишникова Д.Д. Новый взгляд на геологическое строение осадочного чехла моря Лаптевых // Региональная геология и металлогения. 2010. № 41. С. 5–16.
13. Кириллова-Покровская Т.А. Разработка актуализированной модели моря Лаптевых и сопредельных глубоководных зон для уточнённой оценки его углеводородного потенциала // Разведка и охрана недр. 2017. № 10. С. 30–38.
14. Сенин Б.В., Керимов В.Ю., Богоявленский В.И., Леончик М.И., Мустаев Р.Н. Нефтегазоносные провинции морей России и сопредельных акваторий // Кн. 3 Нефтегазоносные провинции морей Восточной Арктики и Дальнего Востока. М., 2022. 339 с.

## ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГИДРОЛОГИИ И ГИДРОГЕОХИМИИ ВЕРХОВЫХ БОЛОТ НА ПРИМЕРЕ ИЛАССКОГО БОЛОТНОГО МАССИВА

Лизунова М.А.<sup>1,2</sup>, Селянина С.Б.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, gumin@fciactic.ru

<sup>2</sup>ГБУК АО «Архангельский краеведческий музей»

Болотные экосистемы занимают значительную часть территории РФ, в особенности Арктической зоны. Они играют ключевую роль в сохранении биологического равновесия и важны для деятельности человека. Занимая обширные территории суши, болот, одновременно, имеют статус водных объектов, ввиду их высокой оводненности и существенного вклада в водный баланс. Изучение гидрологии болот как самостоятельного раздела было сформировано в 30-х годах прошлого века, что связано, во-первых, с потребностью в болотах как в источнике торфа, а, во-вторых, с необходимостью изучить их природно-технические свойства для понимания проходимости болот в случае начала военных действий. Тогда особое внимание было уделено болотам у западных границ России (Карелия, Ленинградская и Архангельская области). Однако после открытия месторождения углеводородов в Сибири в 1940-х гг. водно-балансовые исследования болот были свернуты и исследования приобрели региональный характер [1]. Из всех поверхностных водных объектов России болота в гидрологическом отношении наименее изучены, хотя составляют 21 % территории России и 34 % территории Архангельской области. 75-80 % общей площади болот Северо-Запада России – верховые. Поэтому они выбраны как и объект исследования в данной работе.

Гидрологические особенности и гидрогеохимия болот зависят от климатических факторов (осадки, испарение и др.) и физико-географических условий самого объекта и прилегающей к нему территории водосборного бассейна, претерпевают значительные трансформации в результате водохозяйственной деятельности человека (осушения, строительства, разработки месторождений торфа и пр.) [2].

В настоящее время реализуются различные подходы к исследованию болот, в числе которых преобладает геоботанический. Однако, изученность болотных экосистем, в том числе их гидрологии, недостаточна. В России принят бассейновый принцип управления водными ресурсами, но именно в Беломорско-Балтийском регионе преобладают практически не связанные между собой бассейны. Поэтому в некоторых районах инструментальных измерений недостаточно и приходится искать альтернативные методы оценки гидрологии водных объектов. В последнее время для изучения гидрологии болот широко применяется радио-изотопный метод, который достаточно точно позволяет определить гидрологические составляющие водного обмена болот (и других водоемов) [3]. В качестве стандарта в таком исследовании используется V-SMOW (Vienna Standart of Mean Ocean Water) – вода мирового океана (стандарт МАГАТЭ). Такие исследования подразумевают нанесение полученных данных о содержании изотопов дейтерия и кислорода 18 в воде на график, на который одновременно наносится глобальная линия метеорных вод (ГЛМВ). При этом отклонения эмпирических данных от ГЛМВ позволяют выявить альтернативные источники водного питания экосистемы. Для получения целостного представления о протекающих процессах этот подход следует реализовать вдоль гидрологического континуума в комплексе с оценкой абиотических и биотических процессов, контролирующих цикл углерода и сопряженных элементов во внутренних водах, включая обмен с атмосферой и экспорт наземного углерода в терминальную зону.

Выбранный в качестве объекта исследования Иласский болотный массив относится к широко распространенному на Северо-Западе России

южноприбалтийскому типу верховых болот. Им свойственна высокая однородность торфа по ботаническому составу и степени разложения на всю глубину залежи. Считается, что питание таких олиготрофных верховых болот происходит исключительно за счет атмосферных осадков. В пределах заболоченных ландшафтов четко дифференцируются такие участки, как: трансгрессионная окраина, краевой склон с системой гряд, мочажин и зарождающихся озерков, центральное плато с развитым грядово-мочажинным комплексом. Кроме того, часть массива трансформирована в результате деятельности человека – имеются автономные осушенные участки, а также такие, где протекает вторичное заболачивание. В части элементов гидрологического континуума присутствуют первичное озеро, мочажаны разной степени деградированности, вторичные озера и водотоки (река и ручьи), обеспечивающие разгрузку. Это обеспечивает возможность наблюдений за трансформацией стока с торфяных болот под действием различных природных факторов.

В докладе представлены данные полевых исследований гидрологии и гидрогеохимии указанных объектов, полученные в ходе экспедиций 2022 и 2023 гг.

*Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда, проект № 22-17-00253.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новиков С.М., Батуев В.И. Гидрометеорологический режим и водный баланс верховых болот Северо-Запада России (на примере болота Ламмин-Суо). СПб. 2019. 448 с.
2. Инишева, Л. И. Болотоведение: учебник для ВУЗов Томск. 2009. 210 с.
3. Строганова Т.А., Прасолов Э.М. Изотопный состав грунтовых и поверхностных вод болотного массива Ламмин-Суо (Ленинградская область) // Регион. геология и металлогения. 2019. № 77. С. 20-26.

#### **<sup>90</sup>Sr в торфяных отложениях европейской субарктики России**

*Лукошкова А.А., Яковлев Е.Ю., Орлов А.С.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, [evgeny.yakovlev@fciactic.ru](mailto:evgeny.yakovlev@fciactic.ru)

Болота занимают большую часть Арктических территорий России, которые подверглись радиоактивному загрязнению при ядерных испытаниях. Поэтому торфяные отложения являются ценным объектом для долговременной ретроспективной оценки радиационной обстановки. Маркерным радионуклидом данной оценки является <sup>90</sup>Sr, обладающий относительно длительным периодом полураспада.

Торфяные отложения отобраны в Ненецком автономном округе (географические координаты точки взятия колонки N67.67854°, E53.40831°; шифр торфяного отложения ТН 1-2) и Мурманской области (географические координаты точки взятия колонки N68.87057°, E33.19594°; шифр торфяного отложения ТМ 1). Торфяные колонки извлечены с помощью ПВХ трубы. В лабораторных условиях керны разрезаны на слои. Далее пробы торфа высушены и измельчены для химических и радиохимического анализов.

В пробах торфа определены основные физико-химические параметры торфяных отложений: массовая доля карбонатов (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>), зольность (Ash), массовая доля органического вещества (X), и удельная активность радионуклида <sup>90</sup>Sr.

Определение массовой доли карбонатов, зольности проводили гравиметрическим методом. Массовую долю органического вещества определяли расчетным методом, учитывая зольность [1, 2]. Удельную активность радионуклида  $^{90}\text{Sr}$  в пробах торфа определяли бета-радиометрическим методом с радиохимической подготовкой согласно аттестованной методике [3]. Методика основана на измерении бета-излучения счетного образца, содержащего селективно выделенный из пробы иттрий-90 ( $^{90}\text{Y}$ ), являющийся дочерним продуктом распада  $^{90}\text{Sr}$  и находящийся с ним в радиоактивном равновесии в пробе, и расчете удельной активности  $^{90}\text{Y}$  ( $^{90}\text{Sr}$ ) в пробе. Измерение счетных образцов выполняли с применением альфа-бета радиометра РСК-01А «Абелия» (Амплитуда, Россия) с программным обеспечением «Абелия 1.0.7.0».

Массовая доля карбонатов, обусловленная солями угольной кислоты, калием (мезоэлементом) и магнием (микроэлементом), в торфяных отложениях незначительная и находится в интервале 0,31-0,83 %. Содержание карбонатов в торфяных отложениях профиля ТН 1-2 составляет 0,31-0,54 % (рис. 1). Карбонатность торфяных отложений профиля ТМ 1 больше, содержание карбонатов составляет 0,42-0,83 % (рис. 2). Карбонаты преимущественно поступают в торфяные отложения из атмосферного воздуха в виде пыли и осадков. В связи с атмосферным поступлением в верхних слоях залежей (слой 0-3 см в профиле ТН 1-2, слой 10-12 в профиле ТМ 1) наблюдаются максимальные значения карбонатов. Из верхних слоев залежей карбонаты выщелачиваются в нижние слои и распределяются по профилю в порядке убывания.

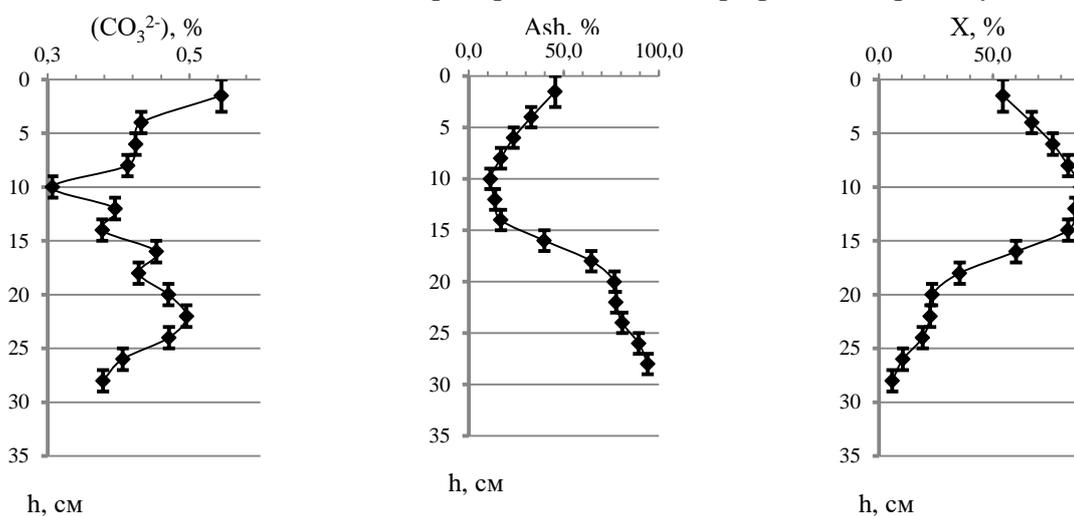


Рис. 1 – Зависимость физико-химических свойств от глубины в торфяном профиле ТН 1-2

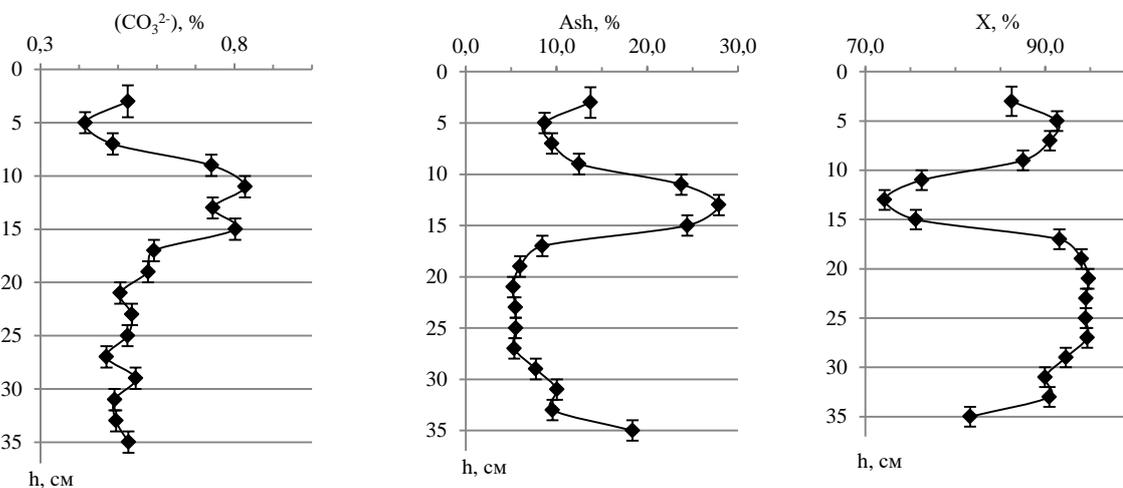


Рис. 2 – Зависимость физико-химических свойств от глубины в торфяном профиле ТМ 1

Общая зольность, несгорающая минеральная часть торфа, поступающая в торф из растений и извне в виде минеральных частиц, принесенных ветром, атмосферными осадками, грунтовыми и поверхностно-сточными водами, для торфяного профиля ТН 1-2 находится в интервале 11–94%. Согласно полученным данным минеральная часть профиля ТН 1-2 представлена двумя компонентами. Верхние слои исследуемого профиля (с 1 по 8 слой) состоят из высокозольного торфа ( $10\% < \text{Ash} < 50\%$ ). Нижние слои (с 9 по 14 слой) представлены заторфованным грунтом ( $\text{Ash} > 50\%$ ). При движении вниз по профилю ТН 1-2 отмечается тенденция повышения зольности.

Величина зольности для торфяного профиля ТМ 1 находится в интервале 5,2–28%. Повышенная зольность ( $\text{Ash} > 10\%$ ), обусловленная наличием песка, глины и минеральных веществ, характерна для верхнего, 4-7 слоев и нижнего слоя; средняя зольность ( $5,0\% < \text{Ash} < 10\%$ ) – для 2-3, 8-16 слоев.

Противоположный показатель зольности – массовая доля органического вещества, в торфяном профиле ТН 1-2 варьирует по горизонтам в пределах от 5,9% до 89%. Органическое вещество концентрируется в верхних слоях залежи. В слое 11-13 см наблюдается максимальное значение показателя. Доля органического вещества уменьшается с глубиной профиля.

Массовая доля органического вещества в торфяном профиле ТМ 1 находится в интервале от 72% до 95%. Максимальное значение показателя наблюдается в слое 20-22 см.

Удельная активность  $^{90}\text{Sr}$  в торфяном профиле ТН 1-2 составляет 0,25-2,6 Бк/кг (рис. 3). Среднее значение – составляет  $1,2 \pm 0,02$  Бк/кг. Активность  $^{90}\text{Sr}$  по профилю убывает с глубиной. Максимальная активность радионуклида отмечается в двух слоях: в слое 7-9 см (2,6 Бк/кг) и в слое 3-5 см (2,4 Бк/кг). Малая активность  $^{90}\text{Sr}$  в самом первом слое 0-3 см профиля, возможно, обусловлена повышенным переходом радионуклида в растения и отсутствием свежих радиологических выпадений на данной исследуемой территории. Вертикальный миграционный путь  $^{90}\text{Sr}$  в торфяном профиле ТН 1-2 обусловлен физико-химическими параметрами. Выявлена сильная положительная корреляция между долей органического вещества и удельной активностью  $^{90}\text{Sr}$  ( $r = 0,82 \pm 0,09$ ). Между удельной активностью  $^{90}\text{Sr}$  и зольностью соответственно наблюдается сильная отрицательная корреляция ( $r = -0,82 \pm 0,09$ ).

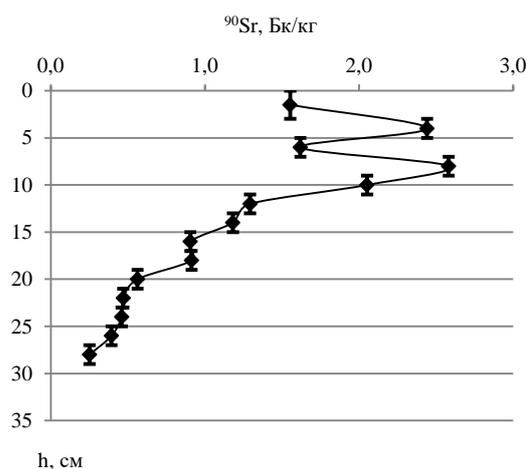


Рис. 3 – Зависимость удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  от глубины торфяного профиля ТН 1-2

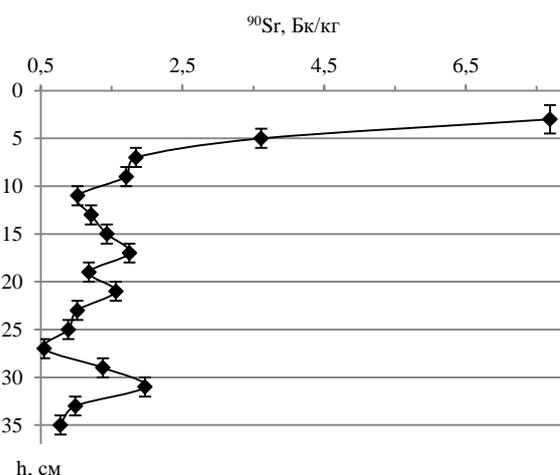


Рис. 4 – Зависимость удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  от глубины торфяного профиля ТМ 1

Техногенный радионуклид  $^{90}\text{Sr}$  имеет совершенно другой вертикальный миграционный путь по торфяному профилю ТМ 1 (рис. 4). Удельная активность  $^{90}\text{Sr}$  в

торфяном профиле ТМ 1 находится в интервале 0,55-7,7 Бк/кг. Среднее значение – составляет  $1,8 \pm 0,02$  Бк/кг. Наибольшая удельная активность  $^{90}\text{Sr}$  фиксируется в верхней части профиля до глубины 8-10 см, максимум активности (7,7 Бк/кг) отмечается в самом верхнем слое 0-3,5 см, что, возможно, обусловлено поступлением радионуклида при текущих локальных выпадениях от объектов ядерно-топливного комплекса и его биогенным накоплением. Согласно литературным источникам, удельная активность  $^{90}\text{Sr}$  в снеге, выпавшем в 2018-2019 годах в Мурманской области, составляет 0,30-0,40 Бк/л [4]. Радионуклид неравномерно распределяется по всему торфяному профилю ТМ 1. Ниже глубины 10 см наблюдается три пика активности радионуклида. Пик на глубине 16-18 см вероятно связан с аварией на Чернобыльской АЭС (1986 год), а более глубокие (20-22 см и 30-32 см) возможно свидетельствуют о прошлых глобальных выпадениях в результате ядерных испытаний до 1963 года. Корреляционные зависимости удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  от физико-химических параметров в торфяном профиле ТМ 1 не установлены.

На основании проведённого исследования сделаны следующие выводы.

В торфяных отложениях Европейской субарктики России зафиксирован  $^{90}\text{Sr}$ , что свидетельствует о существенном воздействии прошлой техногенной радиоактивности в результате глобальных и локальных ядерных испытаний.

Удельная активность  $^{90}\text{Sr}$  в торфяных отложениях Европейской субарктики России находится в рамках интервала, типичного для всех почв России. Средние значения удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  в торфяных отложениях ниже установленного минимально значимого норматива и среднего параметра для всех почв Росси.

Вертикальные миграционные пути  $^{90}\text{Sr}$  в торфяных отложениях Европейской субарктики России разные. Миграционный путь в торфяном профиле ТН 1-2 является информационным следом прошлых глобальных атмосферных выпадений и четко обусловлен физико-химическими параметрами. Миграционный путь в торфяном профиле ТМ 1 является информационным следом как прошлых глобальных атмосферных выпадений от ядерных испытаний, так и свежих локальных атмосферных выпадений от объектов ядерно-топливного комплекса.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Гранта Президента Российской Федерации для молодых ученых МК-4298.2022.1.5.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 27784-88. Почвы. Метод определения зольности торфяных и оторфованных горизонтов почв. М.: Издательство стандартов, 1988. 6 с.
2. ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Издательство стандартов, 1992. 6 с.
3. Методика измерений удельной активности стронция-90 ( $^{90}\text{Sr}$ ) в пробах почв, грунтов, донных отложений и горных пород бета-радиометрическим методом с радиохимической подготовкой. М.: ФГУП «ВИМС», 2013. 19 с.
4. Доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2020 году» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gov-murman.ru/region/environmentstate> (дата обращения: 04.03.2022)
5. «Об утверждении СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)» [Электронный ресурс]: постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 07 июля 2009 г. № 47. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/902170553> (дата обращения: 01.04.2022).

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ СТРОНЦИЯ В ПИТЬЕВЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ

*Малов А.И.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, malovai@yandex.ru

Стронций – природный элемент, повсеместно встречающийся в горных породах в основном в виде  $\text{SrSO}_4$  (целестин) и  $\text{SrCO}_3$  (стронцианит). Он классифицируется в России как токсичное неорганическое вещество с ПДК в питьевой воде 7,0 мг/л. Негативное воздействие стронция связано с тем, что из-за сходства с кальцием он накапливается в костях и может вызывать заболевания опорно-двигательного аппарата и зубов. Поскольку стронций может заменить кальций в растущей кости, ожидается, что младенцы, дети и подростки будут наиболее чувствительной группой населения, так как они активно растут. Поступление стронция в их организм, особенно при дефиците кальция, может привести к плохой кальцификации костной структуры с более тяжелым и/или долгосрочным воздействием, чем аналогичное воздействие на взрослых.

В то же время, результаты клинических исследований у людей, которым вводили ранелат стронция  $\text{C}_{12}\text{H}_6\text{N}_2\text{O}_8\text{SSr}_2$  для лечения остеопороза, свидетельствуют о том, что стронций влияет на состав костей и метаболические процессы способами, которые могут быть как полезными, так и неблагоприятными, меняющимися в зависимости от жизни, стадии и степени воздействия.

В осадочных бассейнах стронций в значительных количествах появляется, как правило, в результате испарительного концентрирования морской воды. Грандиозным галогенезом отличался пермский период. В это время отложения галогенов накапливались в очень крупных бассейнах, таких как Восточно-Европейский, Западно-Европейский и Северо-Американский. В периоды континентального режима ультрапресные атмосферные воды, растворяя галогенные породы, образовывали новые типы подземных вод - гидрокарбонатные, сульфатные, гидрокарбонатно-хлоридные, в том числе с повышенным содержанием стронция до 52 мг/л. Особенно высоки они в карбонатно-терригенных отложениях вблизи морского побережья [1, 2].

Исследуемый регион относится к Восточно-Европейскому бассейну и характеризуется широким развитием подземных вод с высоким содержанием стронция, приуроченных к водоносным горизонтам пермских отложений. В то же время площадное распределение стронция на удалении от моря изучено еще недостаточно полно, чтобы достоверно объяснить широкую изменчивость распределения его концентраций и разработать критерии локализации участков водоносных горизонтов с благоприятным качеством подземных вод, перспективных для использования. С этой целью была поставлена задача выяснить зависимость содержания стронция в воде от таких параметров, как время пребывания подземных вод в водоносном горизонте, химический состав и общее содержание растворенных веществ, степень насыщения подземных вод по отношению к карбонатным и сульфатным минералам, окислительно-восстановительные и кислотно-щелочные условия, высотные отметки и глубины скважин.

Для исследований были выбраны две площади, расположенные на расстоянии 250 км (Карпогорский полигон) и 500 км (Вельский полигон) от моря, чтобы можно было сопоставить особенности влияния указанных факторов в континентальных условиях с влиянием ранее изученных приморских условий. Учитывая опасность высоких концентраций Sr и положительные эффекты, связанные с воздействием низких концентраций [3], для исследований были выделены два соответствующих кластера подземных вод. Методика изотопно-химических определений изложена в [4].

**Высокие концентрации стронция (> 7 мг/л).** Из двадцати девяти проб подземных вод, отобранных в ходе исследования, только в двенадцати были обнаружены концентрации стронция ниже 7 мг/л, девять из которых были обнаружены на Карпогорском полигоне.

Установлено, что высокие концентрации Sr повышаются от 8,3 до 43,6 мг/л с повышением общей минерализации (TDS) подземных вод от 0,28 до 1,29 г/л и снижением pH с 7,83 до 7,35. Однако корреляция Sr и TDS ( $R^2 = 0,47$ ;  $r = 0,67$ ;  $p = 0,003$ ) выше, чем корреляция Sr и pH ( $R^2 = 0,22$ ;  $r = -0,45$ ;  $p = 0,08$ ). На этом основании вполне ожидаема несколько повышенная корреляция увеличения насыщенности подземных вод по отношению к стронцианиту и целестину в сторону увеличения TDS ( $R^2 = 0,55$  и  $0,36$ ;  $r = 0,74$  и  $0,6$ ;  $p = 0,001$  и  $0,01$ , соответственно) по сравнению с отсутствием корреляции в сторону уменьшения pH ( $R^2 = 0,00$  и  $0,08$ , соответственно). Индекс насыщенности (SI) воды по стронцианиту увеличивается с 1,26 до 2,05, а SI по целестину с  $-2,8$  до  $-1,42$ . Логична и повышенная корреляция между увеличением содержания Sr в воде и увеличением насыщенности подземных вод по отношению к стронцианиту и целестину ( $R^2 = 0,64$  и  $0,68$ , соответственно). Радиоуглеродное датирование также показывает снижение недонасыщенности воды целестином и увеличение насыщения стронцианитом с увеличением времени пребывания подземных вод в водоносном горизонте ( $R^2 = 0,34$  и  $0,40$ , соответственно). Кроме того, наблюдается тенденция к увеличению высоких концентраций Sr с увеличением времени пребывания подземных вод в водоносном горизонте ( $R^2 = 0,29$ ).

Связь между значениями Sr и SI для гипса не высока ( $R^2 = 0,30$ ), при этом недонасыщенность воды по отношению к гипсу снижается с  $-2,74$  до  $-1,72$ . Связь между TDS и показателями насыщения подземных вод по отношению к гипсу, кальциту и доломиту также выражена слабо ( $R^2 = 0,27$ ,  $0,27$  и  $0,42$ ;  $r = 0,52$ ,  $0,52$  и  $0,64$ ;  $p = 0,04$ ,  $0,04$  и  $0,007$ , соответственно).

Высокие концентрации Sr слабо коррелируют с  $Mg^{2+}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$  и  $Na^+$ , а корреляция с  $Ca^{2+}$  практически отсутствует. Однако имеет место высокая корреляция TDS с  $HCO_3^-$ ,  $Mg^{2+}$  и  $Na^+$  и практическое отсутствие корреляции с  $Ca^{2+}$ . Наряду с этим установлено резкое увеличение мольных соотношений Sr: $Ca^{2+}$  при повышении  $Mg^{2+}$ : $Ca^{2+}$  до 0,5–1,1 (рис. 1). Многие исследователи связывают этот процесс с дедоломитизацией карбонатных пород [2].

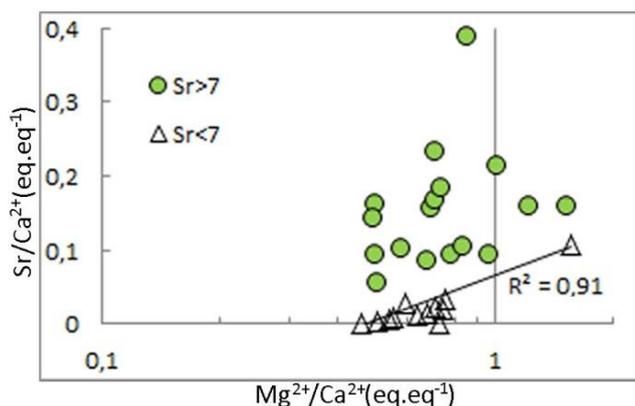


Рис. 1 – График зависимости Sr: $Ca^{2+}$  от  $Mg^{2+}$ : $Ca^{2+}$ , показывающий увеличение концентрации Sr одновременно с увеличением концентрации  $Mg^{2+}$  и уменьшением концентрации  $Ca^{2+}$  в подземных водах вследствие процесса дедоломитизации

Тенденция к корреляции роста концентраций Sr >7 мг/л с увеличением глубины водозаборных скважин и наличием восстановительных условий в водоносном горизонте связана по всей видимости с преобладанием здесь замедленного водообмена, в результате чего сохраняются не успевающие раствориться включения целестина.

Также имеется корреляция высоких концентраций стронция с альтитудой (абс. м) ( $R^2 = 0,37$ ). Это объясняется повышенной мощностью глинистых четвертичных отложений до 80-100 метров в пределах холмистых участков, распространенных на юге Архангельской области в Вельском районе и классифицируемых, как конечно-моренный рельеф, оставленный отступающими плейстоценовыми ледниками. Эти отложения экранируют водоносные горизонты, также затрудняя в них водообмен и способствуя сохранению Sr в подземных водах. В г. Вельске, расположенном в речной долине, альтитуды и мощность четвертичных отложений существенно меньше. Для Пинежского района (Карпогорский полигон) характерен карстовый рельеф с практическим отсутствием перекрывающих отложений, что способствует активному водообмену с растворением гипсовых включений в водоносном горизонте P<sub>2</sub>kz и выносом Sr.

**Низкие концентрации стронция (< 7 мг/л).** В этом кластере TDS подземных вод увеличивается с 0,15 до 0,60 г/л при снижении pH с 7,85 до 7,12, а концентрации Sr увеличиваются в тех же направлениях с 0,07 до 3,77 мг/л. Отличия этих вод от вод с высоким содержанием Sr заключаются в следующем.

Низкие концентрации Sr не коррелируют с минерализацией воды ( $R^2 = 0,00$ ), а слабая корреляция с pH ( $R^2 = 0,22$ ) наблюдается в направлении повышения щелочности воды. На этом основании ожидаемо отсутствие корреляции насыщенности подземных вод по отношению к стронцианиту и целестину в сторону увеличения TDS ( $R^2 = 0,00$  и 0,19 соответственно) так же, как и отсутствие корреляции в сторону уменьшения pH ( $R^2 = 0,30$  и 0,01, соответственно).

Для подземных вод с низким содержанием Sr характерны очень низкие значения индексов насыщения по отношению к стронцианиту и целестину. SI для стронцианита увеличивается с -0,92 до 1,08, а SI для целестина с -5,0 до -2,73. Однако хорошо выражена связь между TDS и индексами насыщения подземных вод по отношению к гипсу, кальциту и доломиту ( $R^2 = 0,77$ , 0,48 и 0,51, соответственно). Низкие концентрации Sr не коррелируют с компонентами ионного состава подземных вод. В то же время процессы дедоломитизации существенно влияют на увеличение содержания Sr ( $R^2 = 0,91$ ) (рис. 1).

Подземные воды с низким содержанием Sr преобладают в окислительных условиях водоносного горизонта. Это связано с активным водообменом, в результате чего здесь растворены значительные включения целестина. Соответственно, с увеличением глубины водозаборных скважин низкие концентрации Sr не возрастают.

Для наглядности в таблице 1 приведены основные данные о различиях подземных вод с высоким и низким содержанием стронция.

Таблица 1 – Сравнение характеристик подземных вод с высоким и низким содержанием стронция

Подземные воды с высоким содержанием Sr	Подземные воды с низким содержанием Sr
Корреляция концентраций Sr с радиоуглеродным возрастом и TDS	Отсутствует корреляция концентраций Sr с увеличением радиоуглеродного возраста и TDS.
Относительно слабая корреляция между TDS и SI для основных породообразующих минералов.	Высокая корреляция TDS с SI для основных породообразующих минералов.
Корреляция Sr с Mg и отсутствие корреляции с Ca. Отношения Mg/Ca и Sr/Ca увеличиваются с радиоуглеродным возрастом.	Sr не коррелирует с Mg и Ca. Отношения Mg/Ca и Sr/Ca не коррелируют с ростом радиоуглеродного возраста.
В восстановительных условиях преобладают высокие концентрации Sr.	Низкие концентрации Sr преобладают в окислительных условиях.
Более высокие значения SI для целестина и стронцианита	Более низкие значения SI для целестина и стронцианита

Можно предположить, что высокие концентрации стронция связаны с растворением значительных образований целестина и стронцианита, вплоть до их рудопроявлений. Такие проявления широко распространены в сульфатных, сульфатно-карбонатных и терригенных отложениях казанского яруса пермской системы на территории Восточно-Европейской платформы. Примером может служить Вихтовское рудопроявление целестина, расположенное в 50 км к северу от одного из исследованных участков. Это обуславливает корреляцию значений SI для целестина и стронцианита с TDS, с повышением значений SI до  $-1,42$  и  $2,05$  соответственно, а также относительно слабую корреляцию между TDS и SI для основных породообразующих минералов. Более низкие концентрации стронция связаны с растворением гипса, кальцита и доломита, содержащих стронций в качестве примеси. Это обуславливает высокую корреляцию SI для гипса, кальцита и доломита с TDS и снижает значения SI для целестина и стронцианита до  $-5,02$  и  $-0,92$  соответственно.

**Закключение.** В таблице 2 проведено сравнение некоторых физических характеристик, от которых зависит концентрация стронция в подземных водах, по нескольким районам исследований.

Таблица 2 – Некоторые физические характеристики районов исследований, от которых зависит концентрация стронция в подземных водах (min-max/среднее)

Параметр	Количество скважин	Альтитуда, м	Глубина скважин, м	TDS, г/л	Eh, мВ	<sup>14</sup> C возраст, тысяч лет	Sr, мг/л
Вельский район	12	58-167 (93)	60-98 (72)	0,44-1,39 (0,67)	-48,7	0-31,1 (10)	0,33-43,6 (20,9)
город Вельск	6	5-93 (68)	49-70 (58)	0,28-0,57 (0,39)	-86	0-5,47 (3,15)	2,9-15,9 (10,9)
Карпогорский полигон	11	5-71 (52)	45-84 (60)	0,15-0,48 (0,31)	68,2	0-2,51 (0,96)	0,07-10,5 (3,1)
город Мезень	17	6-28 (14)	40-60 (50)	0,41-0,98 (0,66)	-9,35	0-4,66 (2,06)	0,76-39 (13)

Как видно из таблицы, для трех районов, охарактеризованных в данной статье, время нахождения подземных вод в водоносном горизонте, или возраст подземных вод имеет существенное значение для повышения концентрации Sr и величины TDS. В среднем, за 1000 лет (по моделям Pearson и Mook) концентрация Sr увеличивается на  $2,1-3,5$  мг/л, а TDS на  $67-310$  мг/л (таблица 2, рис. 2).



Рис. 2 – Концептуальная модель формирования высоких и низких концентраций Sr в пресных подземных водах на Северо-Западе России

В Мезенском районе, располагающемся вблизи морского побережья в долине реки Мезень зона активного водообмена приурочена к относительно возвышенным отметкам рельефа – надпойменным террасам с минимальной мощностью песчаных отложений четвертичного возраста [5], перекрывающим водоносный горизонт  $P_2kz$ . Для пониженных частей речной долины, поймы и заболоченных надпойменных участков, характерна повышенная глинистость, способствующая снижению инфильтрации атмосферных осадков и активности водообмена. В среднем, за 1000 лет (по модели Ферронского) концентрация Sr увеличивается на 6,3 мг/л, а TDS на 320 мг/л.

**Рекомендации по рациональному размещению водозаборных скважин для получения питьевой воды нормативного качества.** Территории распространения карбонатных отложений на северо-западе России, являются наиболее благоприятными для населения в связи с отсутствием болот, большим количеством родников, наличием чистых рек с подземным питанием, широким распространением сосновых боров. Карбонатные водоносные горизонты могут наиболее экономично использоваться для водоснабжения за счет высоких фильтрационных свойств водоносных пород. Поэтому населенные пункты тяготеют к этим территориям. Исходя из этих предпосылок, проблему естественного загрязнения подземных вод стронцием в этих районах нельзя полностью исключить, но можно свести к минимуму.

Как показали наши исследования, наличие высоких концентраций стронция в подземных водах может быть связано с продолжительностью времени пребывания последних в водоносном горизонте. В то же время длительный процесс взаимодействия воды с породой обеспечивает рост общего содержания растворенных твердых веществ, в том числе стронция. Такие условия характерны для наиболее глубоко расположенных участков водоносного горизонта, перекрытых с поверхности глинистыми отложениями значительной мощности.

Таким образом, участки водоносного горизонта с маломощным покровом глинистых отложений до 10–20 м (что позволяет сооружать скважины глубиной до 50–60 м) будут благоприятны для получения питьевой воды стандартного качества Са-НСО<sub>3</sub> состава с повышенными значениями Eh и минимальными значениями солености и концентрации Sr.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-10004, <https://rscf.ru/project/23-27-10004/>.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малов А.И. Подземные воды Юго-Восточного Беломорья: формирование, роль в геологических процессах. Екатеринбург: Из-во УрО РАН, 2003. 234 с.
2. Musgrove M. The occurrence and distribution of strontium in U.S. groundwater // Applied Geochemistry. 2021. V. 126. № article 104867.
3. Höllriegl, V., München, H.Z. Strontium in the environment and possible human health effects. In: J. Nriagu (ed.) Encyclopedia Environmental Health. Neuherrberg: Germ. Res. Cent. Env. Health, 2011. P. 268–275.
4. Malov, A.I., Sidkina, E.S., Ershova, D.D., Cherkasova, E.V., Druzhinin, S.V., 2023. Time regularities of strontium concentration in drinking groundwater distant from the sea coast // Environmental Geochemistry and Health. <https://doi.org/10.1007/s10653-023-01710-9>
5. Malov, A.I., 2023. Features of the formation of high strontium concentrations in drinking groundwater near sea coast. Doklady Earth Sciences. <https://doi.org/10.1134/S1028334X23601098>

## ГЕОХИМИЯ РАННЕГО ДИАГЕНЕЗА ЛИМНОГЛЯЦИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ОЗЕР НОРИЛО-ПЯСИНСКОЙ ВОДНОЙ СИСТЕМЫ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

*Мальцев А.Е., Леонова Г.А., Кривоногов С.К., Мирошниченко Л.В., Шавекин А.С.*  
Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск,  
maltsev@igm.nsc.ru

Гляциальные отложения озер с однородным вещественным составом и низкими скоростями накопления идеально подходят для изучения процессов раннего диагенеза на континенте. Для ледниковых озер характерен почти неизменный химический состав поверхностных вод на всем протяжении голоцена. Это позволяет наиболее точно изучать метаморфизацию поровых вод в диагенезе и лучше диагностировать образование аутигенных минералов. Озера арктического и субарктического пояса России существенно отличаются от озер умеренного пояса. Последние характеризуются очень неоднородным вещественным составом донных отложений, большой их слоистостью и относительно малыми мощностями [5]. В осадках таких озер довольно сложно отделить дигенетические минералы от минералов, образованных в ходе осадконакопления при смене внутриводоемных условий на разных этапах голоцена, например, осаждение кальцита вследствие повышения солености озерных вод и т.д. Помимо этого, в континентальных водоемах Российской Арктики геохимия донных отложений исследована в недостаточной мере [2], а процессы раннего диагенеза практически не изучены [1].

Объектами исследования стали длинные керны бурения двух крупных озер Российской Арктики – Пясино (длина керна – 4 м) и Мелкое (3,2 м). Данные озера входят в Норило-Пясинскую водную систему (НПВС), которая является уникальным азональным водосбором арктической зоны России, и представляет собой цепь озер, соединенных водотоками. Эта озерно-речная система находится в зоне лесотундры и располагается на юго-западе Северо-Сибирской низменности на северо-западном краю плато Путорана. Оз. Пясино расположено в районе отрогов плато Путорана примерно в 20 км от Норильска. Оз. Мелкое расположено в широкой котловине между западными отрогами плато Путорана, приблизительно в 25 километрах восточнее Норильска.

Осадки оз. Пясино неоднородны по вещественному составу и представляют собой гляциальные отложения, верхние 288 см которых сложены серыми илами, ниже, с четко выраженной границей, залегают светло-коричневые илы, которые к нижним интервалам становятся более серыми (рис. 1а). Верхние 18 см осадка представлены сильно обводненными (до 90–95 %) серо-коричневыми илами. В интервале 232–248 см залегают визуально хорошо отличимые темно-серые глинистые отложения с черными вкраплениями, представляющие собой небольшие слои, обогащенные органическим веществом.

Гляциальные отложения оз. Мелкое визуально имеют однородный вещественный состав на всю мощность керна и сложены голубовато-серыми илами (Рис. 1б). Верхние 15 см осадка являются сильно обводненными. Ниже по разрезу обводненность донных отложений падает до 85–90 %, а в интервале 65–93 см, где залегают очень плотные илы, обводненность осадка падает до 75–80 %. В интервале 155–179 см обводненность озерных илов вновь возрастает до ~85 %. Здесь залегают рыхлые озерные отложения с ржавыми прослоями. Далее вниз по разрезу обводненность донных отложений падает, здесь залегают более плотные серые голубовато-серые илы.

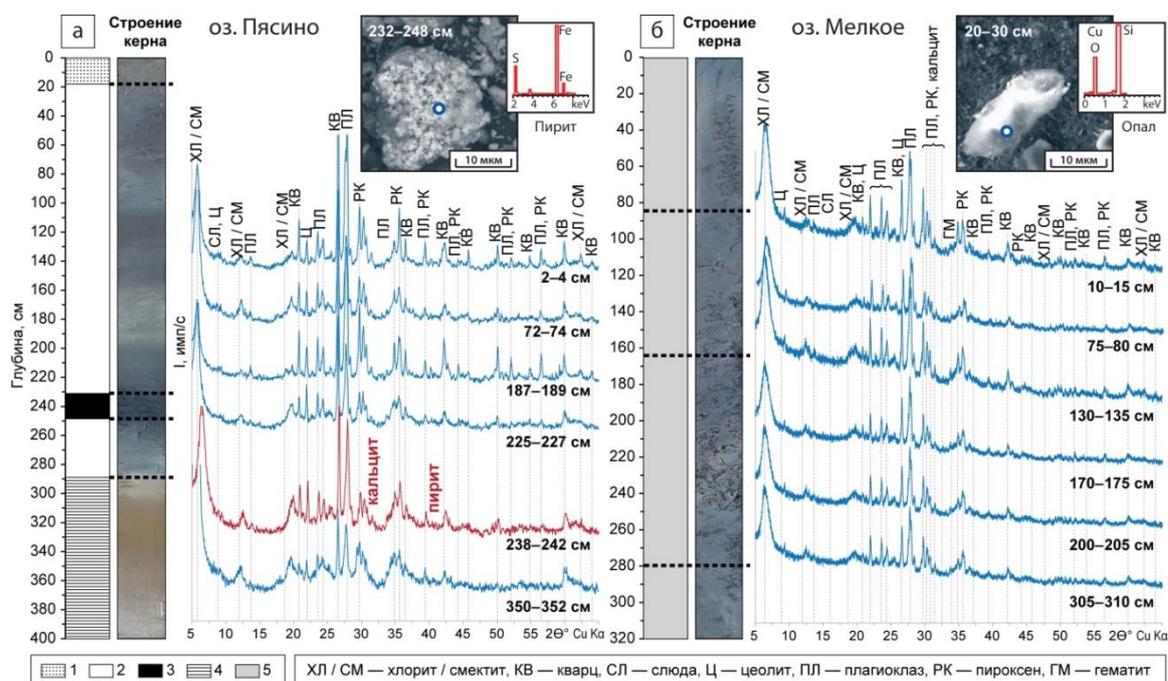


Рис. 1 – Строение разрезов, дифракционные спектры и аутигенные минералы из разных интервалов донных отложений озер Пясино (а) и Мелкое (б). Озерные илы: 1. серо-коричневые, 2. серые, 3. черные, 4. коричневые, 5. серо-голубые

Главные породообразующие минералы озерных отложений — это хлорит/смектит, пироксен и плагиоклаз. В донных отложениях оз. Пясино установлено очень много хлорит/смектита с малым количеством смектитовых слоев, в существенно меньших количествах — пироксена (авгит-диопсид), плагиоклаза, еще меньше кварца, слюды (очень неупорядоченной) и цеолита (рис. 1а). С глубиной в донных отложениях оз. Пясино количество кварца уменьшается до следовых значений. В интервале керна 232–248 см оз. Пясино, представленном темными отложениями, в следовых количествах присутствует кальцит и пирит. Донные отложения оз. Мелкое имеют однородный минеральный состав по всей глубине разреза. Установлено очень много хлорит/смектита с малым количеством смектитовых слоев, мало плагиоклаза, пироксена (авгит-диопсид), еще меньше кварца и цеолита (рис. 1б). В интервале 120–160 см донных отложений оз. Мелкое были обнаружены следы пирита и кальцита.

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) показала, что осадки исследованных озер содержат в своем составе в большом количестве различные алюмосиликаты: плагиоклаз, КПШ, амфибол, пироксены, хлорит, а также кварц. Аксессуарными минералами донных отложений являются монацит, рутил, ильменит, хлоритоид и турмалин. В донных отложениях исследованных озер были обнаружены фосфаты кальция, оксиды и гидроксиды железа, марганца. В интервале керна 232–248 см оз. Пясино обнаружены как отдельные кристаллы, так и фрамбоиды пирита (рис. 1а), каолинит, а также низко Mg-кальциты. На фильтрах поровых вод (на фильтрах 0,45 мкм) оз. Мелкое из интервала 20–140 см было установлено присутствие аутигенного, аморфного (опал-?) кремния (рис. 1б).

Распределение ОВ по разрезу донных отложений оз. Пясино довольно выдержано и составляет 7,5–11,6 % (рис. 2а). Исключением является интервал 232–248 см, для которого отмечается увеличение содержания ОВ до 14,7 %. Для интервала осадка 0–10 см характерны самые низкие содержания ОВ — 7,5%. Содержания ОВ в донных отложениях оз. Мелкое в целом чуть ниже чем в оз. Пясино. Значения ОВ в осадке выдержаны и составляют 7,1–8,4 %. В донных отложениях оз. Мелкое не установлены резкие изменения содержания ОВ.

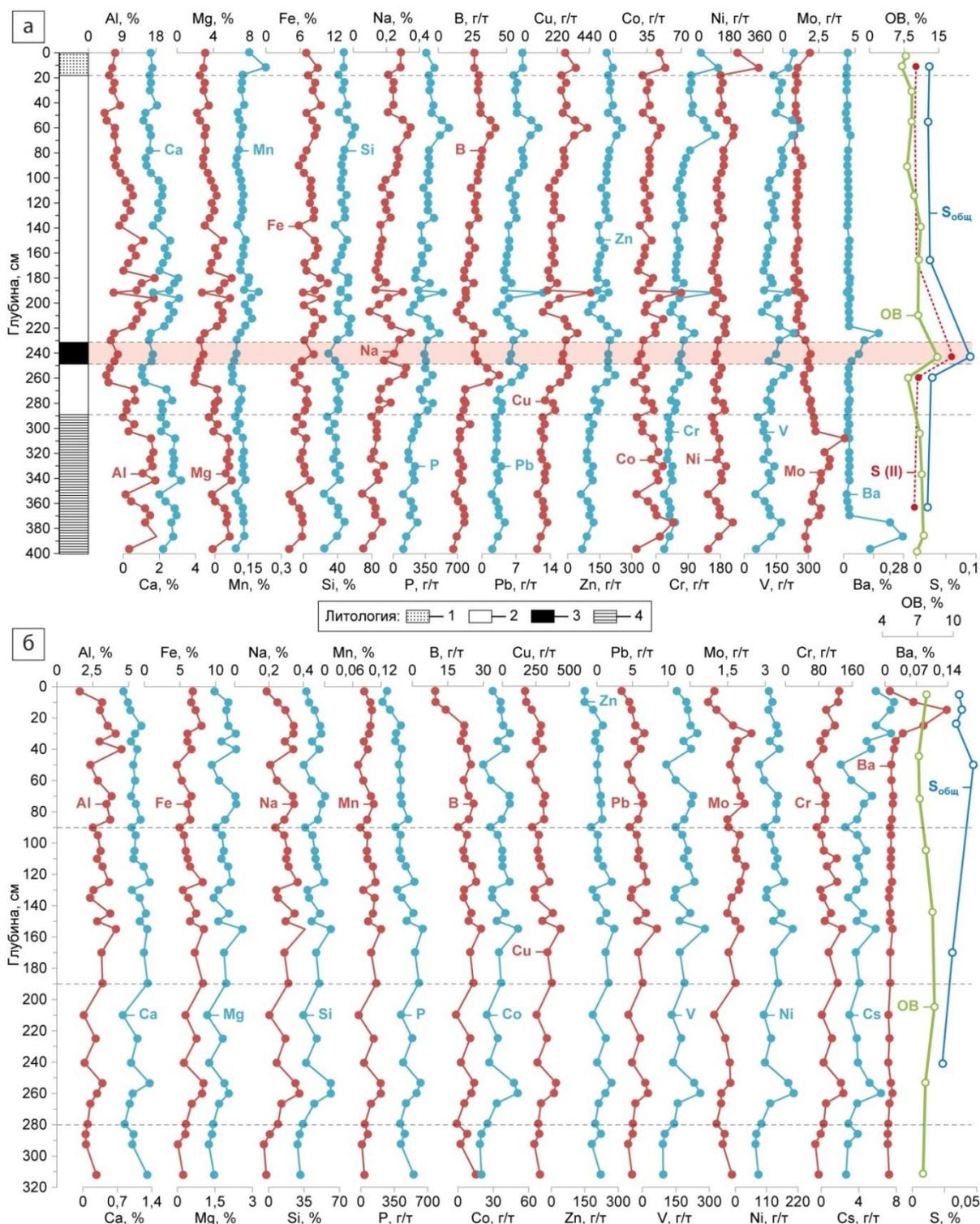


Рис. 2 – Распределение химических элементов, органического вещества (ОВ) и серы по разрезам донных отложений оз. Пясино (а) и оз. Мелкое (б). Легенду см. рис. 1

Распределение ряда химических элементов по разрезу донных отложений оз. Пясино хорошо маркирует смену вещественного состава осадка (Рис. 2а). Так, верхние 18 см осадка, представленные обводненными серо-коричневыми илами, характеризуются ростом содержаний Mn (0,23 %), Ni (336 мг/кг) и Mo (1,87 мг/кг). Довольно существенный рост содержаний Ni в верхних интервалах осадка отражает антропогенное загрязнение озерной экосистемы в XX и XXI веках. Темно-серые глинистые отложения в интервале 232–248 см, обогащенные ОВ, хорошо отбиваются от основной толщи донных отложений. Здесь отмечается уменьшение содержаний ряда литофильных элементов — Al (5,7 %), Si

(37,3 %), Ca (1,1%), Mg (2,2 %), Mn (0,08%) и увеличение ряда биофильных элементов — Cu (300 мг/кг), Zn (190 мг/кг), а также Ba (716 мг/кг) и Na (0,32 %). Светло-коричневые илы, залегающие в интервале 288–354 см, характеризуются увеличением средних содержаний Al (14,8 %), Ca (2,7 %), Mg (5,1 %), Mo (2,4 мг/кг) и уменьшением средних содержаний Na (0,1 %), P (188 мг/кг), Zn (97 мг/кг).

Донные отложения оз. Мелкое, имеющие однородный вещественный состав, характеризуются более выдержанными распределениями по разрезу химических элементов (Рис. 2б). В верхних обводненных интервалах осадка (0–15 см) отмечается уменьшение концентраций Al (1,6 %), Si (37,3 %), Ca (0,82 %), Mg (1,5 %), Na (1,6 %), Mn (0,2 %), Cu (169 мг/кг), Zn (150 мг/кг), Mo (0,97 мг/кг), Ba (107 мг/кг). В интервале 15–30 см отмечается аномальный рост содержаний Ba до 1375 мг/кг. Для минеральных ДО оз. Мелкое характерны довольно низкие содержания Al на уровне 1,6–4,1 % (среднее — 2,9 %). В нижних интервалах осадка (190–300 см) наблюдается незначительное снижение средних содержаний Ca (1 %) и Ni (123 мг/кг) в сравнении с остальной частью разреза.

Довольно высокие содержания Ni, Cu, Zn, Co по всем разрезам исследованных озер — это специфика данного региона. Норильский район представляет собой крупный рудный узел и включает в себя уникальные сульфидные Cu-Ni месторождения. Известные в Норильском районе рудоносные интрузии и связанные с ними Cu-Ni месторождения практически все имели выход на дневную поверхность и были обнаружены в обнажениях. Рост содержаний Ni, Cu, Zn, Co, Cr и Mo для верхних 20 см осадка оз. Пясино — это результат антропогенной нагрузки на экосистему озера. По-видимому, результат загрязнения, расположенного по близости Норильского комбината (г. Норильск).

Осадки исследованных озер характеризуются низким содержанием общей серы (рис. 2), которая представлена в основном окисленными формами: S (VI) т.е. сера в составе сульфатов. Только в донных отложениях оз. Пясино с глубиной появляется S (II), т.е. её восстановленные соединения (сера в составе сульфидов Fe, H<sub>2</sub>S и т.д.), а в интервале 233–244 см восстановленные формы серы начинают доминировать над окисленными формами. В ДО оз. Мелкое отсутствуют восстановленные формы S, что указывает на малую интенсивность процессов бактериальной сульфат-редукции, что характерно для большинства пресноводных озер [5].

Физико-химическое моделирование показало, что в интервале 232–248 см осадков оз. Пясино, содержащем больше всего органического вещества, создаются оптимальные условия для образования дигенетического кальцита и пирита (табл. 1). На это указывают, помимо равновесных минеральных фаз, рост HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> и Fe<sup>2+</sup> в поровых водах осадка. Результаты моделирования подкрепляются обнаруженными только в этом интервале восстановленными формами серы S (II) (рис. 2). Таким образом, более высокое содержание органического вещества в интервале 232–248 см приводит к образованию новых минеральных ассоциаций. Данные физико-химического моделирования и формы серы подтвердили, что сульфиды железа имеют аутигенную (диагенетическую) природу и сформировались в процессе жизнедеятельности сульфатредуцирующих бактерий.

В процессе диагенеза восстановленных гляциальных отложений возможно образование глинистых минералов, например, каолинита. Наиболее благоприятны для образования каолинита интервал 232–248 см осадка оз. Пясино (табл. 1). В процессе диагенеза глинистые минералы, преимущественно монтмориллонитового состава, переходят в смешаннослойные монтмориллонит-гидрослюдистые образования, хлорит, каолинит [3]. Методом СЭМ в интервале 232–248 см осадка оз. Пясино было установлено присутствие каолинита, который был представлен либо агрегатами хлопьевидных частиц, имеющих неплотную структуру, либо сгустками различной степени уплотнения.

Таким образом, можно заключить, что основным источником энергии для диагенетических процессов преобразования осадка пресных озер и образования аутигенных минералов служит органическое вещество – закономерность, выявленная для восстановленных донных отложений морей и океанов [4].

Таблица 1 – Долевое распределение (%) химических форм элементов в поровых водах и образующиеся равновесные минеральные фазы (г) в донных отложениях оз. Пясино по данным физико-химического моделирования

Форма элемента, минерал	Поровые воды	
	60–70 см	235–240 см
<b>C</b>		
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> <sup>0</sup>	49,41	11,81
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	34,63	84,22
CO <sub>2</sub> <sup>0</sup>	15,96	3,83
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0,01	0,15
<b>Fe</b>		
Fe <sup>2+</sup>	88,56	90,21
Fe(OH) <sub>2</sub> <sup>+</sup>	11,44	1,06
Fe(OH) <sub>3</sub> <sup>0</sup>	0	0,05
FeHCO <sub>3</sub> <sup>+</sup>	0	8,68
<b>Mn</b>		
Mn <sup>2+</sup>	96,90	99,25
MnSO <sub>4</sub> <sup>0</sup>	3,07	0,74
MnHCO <sub>3</sub> <sup>+</sup>	0,04	0,01
<b>Минеральные фазы</b>		
Каолинит	1,67×10 <sup>-4</sup>	20,46×10 <sup>-4</sup>
Вивианит	0,01×10 <sup>-4</sup>	0,88×10 <sup>-4</sup>
Кальцит	0	912,66×10 <sup>-4</sup>
Пирит	0	1,20×10 <sup>-4</sup>

*Научные исследования проведены в рамках «Большой норильской экспедиции». Экспедиционная часть работ реализована при поддержке АО «Норильско-Таймырская энергетическая компания». Аналитическая часть исследования выполнена в Центре коллективного пользования научным оборудованием для многоэлементных и изотопных исследований Института геологии и минералогии СО РАН по государственному заданию ИГМ СО РАН № 122041400193-7.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гурский Ю.Н. Анализ экологических проблем Российского Севера на примере комплексного геолого-геохимического изучения Норило-Пясинской водной системы // Развитие минерально-сырьевой базы Сибири: от Обручева В.А., Усова М.А., Урванцева Н.Н. до наших дней. Томск, 2013. С. 479–482.
2. Старичков Е.М. К геохимии донных отложений озера Пясино (Норильский район) // Записки горного института. 2002. № 150 (2). С. 19–22.
3. Keller W.D. Diagenesis in Clay Minerals—A Review // Clays and Clay Minerals. 1962. V. 11. P. 136–157.
4. Lein A.Yu., Rusanov I.I., Zakharova E.E., Flint M.V., Ivanov M.V. Biogeochemical processes of carbon and sulfur cycles in sediments of the outer shelf of the Black Sea (Russian Sector) // Doklady Earth Sciences. 2010. N 432. P. 687–689.
5. Leonova G.A., Maltsev A.E., Melenevsky V.N., Krivonogov S.K., Kondratyeva L.M., Bobrov V.A., Suslova M.Y. Diagenetic transformation of organic matter in sapropel sediments of small lakes (southern West Siberia and eastern Transbaikalia) // Quaternary International. 2019. V. 524. P. 40–47.

## ТРЕХМЕРНЫЕ СЕЙСМОПЛОТНОСТНЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ КОРЫ И СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИЕ КАРТЫ ПРИАРКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ УРАЛА И СОПРЕДЕЛЬНЫХ РЕГИОНОВ

*Мартышко П.С., Ладовский И.В., Бызов Д.Д., Цидаев А.А.*

Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, pmart3@mail.ru

В Институте геофизики УрО РАН разработана методика решения задачи сейсмогравитационного моделирования, основные этапы которой состоят в следующем:

1. Построение скоростных разрезов по интерпретации сейсмических данных.
2. Определение коэффициентов регрессионной зависимости скорость-плотность для данного региона по результатам 2D гравитационного моделирования.
3. Определение плотностей мантийных блоков из условия изостатической компенсации.
4. Построение 3D модели нулевого приближения интерполированных значений плотности.
5. Вычисление гравитационного поля для модели нулевого приближения. Расчет разности наблюдаемого и модельного полей.
6. Фильтрация разностного гравитационного поля и его разделение по горизонтальным слоям модельного куба.
7. Послойный подбор значений плотности методом локальных поправок с адаптивной регуляризацией.
8. Построение результирующей 3D модели подобранных значений плотности, составление структурных карт и карт-схем глубинных срезов.

В представленном исследовании для изучения строения земной коры приполярной части Урала и сопредельных регионов проинтерпретированы сейсмические материалы по региональным профилям глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) методом двумерной сейсмической томографии. Для построения сейсмоплотностной модели региона использованы результаты интерпретации данных по сейсмическим профилям ГСЗ и фрагментам протяженных геотраверсов (одиннадцать профилей, расположенных в пределах изучаемой трапеции с географическими координатами 60–68° с.ш., 48–72° в.д.): градиентные скоростные разрезы в формате сеточных функций, построенные по полям времен. Коэффициенты эмпирической зависимости «плотность-скорость» вычислялись с использованием алгоритма решения двумерной обратной задачи гравиметрии. Обосновано преимущество использования сеточных скоростных разрезов для решения обратных задач гравитационного моделирования. Формализация исходных данных ГСЗ и их преобразование в сеточный формат скоростных и плотностных разрезов способствует разработке высокоэффективных вычислительных алгоритмов «быстрого» решения прямых и обратных задач гравитационного моделирования на сетках большой размерности [1-4]. Выполнены все промежуточные вычисления, начиная от томографии ГСЗ (поля времен и сеточные модели скоростных разрезов) и заканчивая трехмерной моделью интерполированной плотности, которая выбирается за модель начального приближения.

Разработка универсальных схем количественной интерпретации, создание устойчивых, адаптивных алгоритмов и их программная реализация позволяют оперативно конструировать многовариантные модели послойного строения земной коры и сделать их прозрачными для всестороннего геолого-геофизического анализа. Это имеет принципиальное значение для понимания особенностей глубинного строения Уральской складчатой зоны и прилегающих к ней территорий. Сеточные решения обратной задачи гравиметрии, сконвертированные в формат цифрового параллелепипеда, дают наглядное представление о распределении плотности в

пространстве объемной модели. На рис. 1 (справа) показаны схемы изогипс рельефа внутренних границ земной коры, выделенных по постоянному значению плотности (сверху – вниз): верхняя кора ( $\sigma = 2,8 \text{ г/см}^3$ ,  $V_p > 6,0 \text{ км/с}$ ); средняя кора ( $\sigma = 2,88 \text{ г/см}^3$ ,  $V_p > 6,4 \text{ км/с}$ ); нижняя кора ( $\sigma = 2,95 \text{ г/см}^3$ ,  $V_p > 6,75 \text{ км/с}$ ).

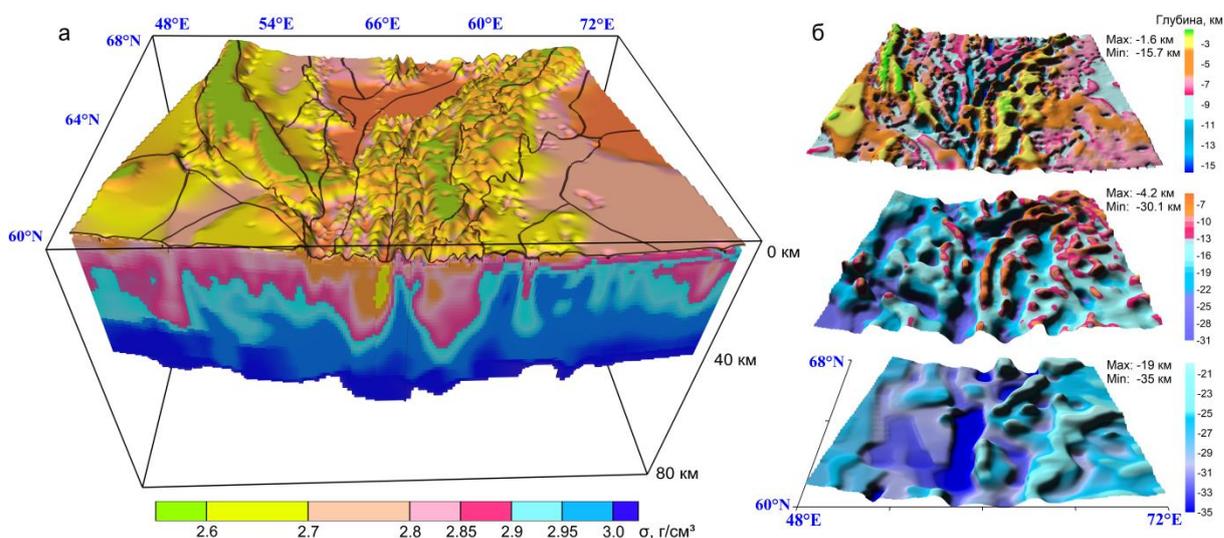


Рис. 1 - Трехмерная сейсмоплотностная модель земной коры с нанесенной картой тектонических структур, ограниченная кровлей фундамента и кровлей верхней мантии (а) и схемы рельефа изоплотностных поверхностей раздела верхней, средней и нижней земной коры (б)

На рис. 2 представлена подобранная плотностная модель, разделенная по кровле фундамента и верхней мантии на три неоднородных слоя с криволинейными границами. Здесь же приведены расчетные аномалии гравитационного поля от выделенных структурных комплексов.

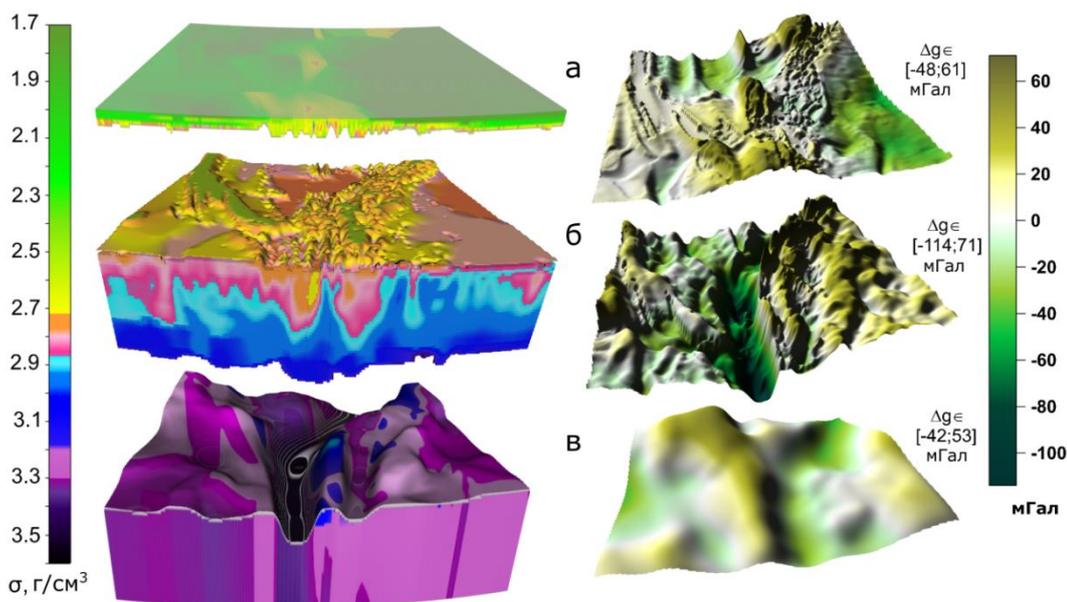


Рис. 2 - Трехмерная плотностная модель региона (слева), разделенная по поверхности кровли кристаллического фундамента и кровли верхней мантии: осадочный чехол (а); кристаллическая кора (б); верхняя мантия (в). Справа показаны разделенные аномалий полей, вычисленных по плотности, избыточной по отношению к одномерному распределению «гидростатической» плотности нормальной модели

Из общего трехмерного массива подобранных плотностей  $\sigma(x,y,z)$  возможно извлечение любых массивов меньшей размерности для трассировки вертикальных сечений, построения карт горизонтальных срезов или структурных карт сеймоплотностных границ (с привязкой к схемам тектонического районирования).

По результатам комплексной интерпретации сейсмических и гравитационных данных созданы трехмерные модели распределения плотности и намагниченности верхней части литосферы и построены карты блочного строения земной коры региона на разных глубинах.

На этой основе и с использованием гипотезы изостазии построены структурно-тектонические схемы приполярной части Урала и сопредельных регионов, плотностная модель литосферы среднеуральского сегмента [5]. Представленные выше результаты направлены на совершенствование технологии построения геолого-геофизических моделей земной коры и верхней мантии, что и подчеркивает их актуальность при постановке практически важных задачах изучения глубинного строения нефте- и газоперспективных регионов.

*Исследования проведены при финансовой поддержке РФФ, проект № 20-17-00058 «Методы построения трехмерных моделей земной коры на основе комплексной интерпретации геофизических полей с использованием параллельных алгоритмов (на примере Уральского региона)».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мартышко П.С., Ладовский И.В., Бызов Д.Д. О решении обратной задачи гравиметрии на сетках большой размерности // ДАН. 2013. Т. 450. № 6. С. 702–707.
2. Мартышко П.С., Ладовский И.В., Бызов Д.Д. Об устойчивых методах интерпретации данных гравиметрии // ДАН. 2016. Т. 471. № 6. С. 1–4.
3. Martyshko P.S., Ladovskii I.V., Byzov D.D., Tsidaev A.G. Gravity Data Inversion with Method of Local Corrections for Finite Elements Models // Geosciences. 2018. Vol: 8. Issue: 10.
4. Мартышко П.С., Ладовский И.В., Федорова Н.В., Бызов Д.Д., Цидаев А.Г. Теория и методы комплексной интерпретации геофизических данных. ИГФ УрО РАН, Екатеринбург, 2016. 94 с.
5. Ладовский И.В., Мартышко П.С., Цидаев А.Г., Колмогорова В.В., Бызов Д.Д. Плотностная модель литосферы среднеуральского сегмента // Физика Земли. 2023. № 2. С. 172–187.

## ОПЫТ ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫСОКОШИРОТНОЙ РАДИОТРАССЫ В ИНТЕРЕСАХ РЕШЕНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ

*Мёрзлый А.М.<sup>1,3</sup>, Куприянов А.О.<sup>4</sup>, Мингалев И.В.<sup>2</sup>, Моисеев И.А.<sup>3</sup>, Никифоров О.В.<sup>3</sup>, Петрукович А.А.<sup>3</sup>, Рожко О.И.<sup>5</sup>, Сахаров Я.А.<sup>2</sup>, Филатов Г.С.<sup>3</sup>, Шубин В.Н.<sup>6</sup>, Янаков А.Т.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>РАН, Совет РАН по космосу, г. Москва, pinega142@yandex.ru

<sup>2</sup>Полярный геофизический институт, г. Мурманск

<sup>3</sup>Институт космических исследований РАН, г. Москва

<sup>4</sup>Московский государственный университет геодезии и картографии, г. Москва

<sup>5</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, г. Москва

<sup>6</sup>Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн, г. Москва,

Оперативный мониторинг гелиогеофизической обстановки в арктической зоне и ее прогноз остаётся на данный момент актуальной проблемой для решения фундаментальных и прикладных задач. Это связано в первую очередь с влиянием полярной ионосферы на функционирование средств связи, навигации и радиолокации. Возникающие магнито-ионосферные возмущения в арктической зоне приводят к изменению гелиогеофизических условий распространения радиоволн различного диапазона. Ухудшение точностных характеристик радиотехнических средств различного назначения требует достоверного знания параметров среды распространения для разработки мер компенсации или уменьшения влияния возмущений полярной ионосферы.

Для отработки методик оперативного мониторинга и прогнозирования состояния ионосферы в арктической зоне, изучения особенностей изменения ионосферы в различных гелиогеофизических условиях был проведен многолетний цикл научно-исследовательских работ по обоснованию облика межведомственной высокоширотной радиотрассы, формированию перечня научных и прикладных задач, решаемых на основе гелиогеофизических данных, которые будут получены на радиотрассе. Разработаны предложения по составу и размещению приборного оборудования, определены перечень, объем, периодичность информации измеряемых параметров ионосферы, разработан проект программы проведения экспериментальных работ с участием организаций Минобрнауки России, РАН, Минобороны России, Росгидромета, предприятий промышленности. К настоящему времени сформированы три базовые точки радиотрассы (г. Москва (ИКИ РАН), обсерватория «Карпогоры» (ИЗМИРАН), обсерватория «Верхнетуломская» (ПГИ)). В течение 2021-2023 гг. проведен цикл расчетных и экспериментальных работ, в том числе в рамках совместной комплексной арктической экспедиции «Арктика-21» в марте 2021 г. на острове Земля Александры архипелага Земля Франца-Иосифа на станции «Омега» Национального парка «Русская Арктика».

Получены некоторые результаты расчетных и экспериментальных работ на созданной радиотрассе:

- получены результаты эксперимента и численного моделирования односкачковых лучевых траекторий коротковолновых радиоволн для различных геомагнитных условий;
- выполнена оценка характеристик высокоширотной радиотрассы (ослабление сигнала) с применением макета радиомаяка;
- выполнена экспериментальная оценка текущих характеристик высокоширотной ионосферы (границ овала) по данным ГНСС, спутниковых данных КА DMSP, по модели OVATION Prime;

– выполнена сравнительная оценка модели высокоширотной ионосферы с данными ионозондов вертикального зондирования.

Сформулированы основные направления дальнейшего развития радиотрассы в рамках концепции полярного гелиогеофизического полигона.

### АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ СЕТИ ДОЛИН СРЕДСТВАМИ ГИС И ЦМР (НА ПРИМЕРЕ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ)

*Минеев А.Л., Кутинов Ю.Г., Полякова Е.В., Чистова З.Б., Старицын В.В.*  
Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, kutinov@fciarctic.ru

Построение сети долин средствами ГИС начинается с расчета водосборных площадей. В цифровом моделировании площадь водосбора (Catchment Area) – это растр аккумуляции стока в каждой ячейке. Значение в ячейке характеризует ту площадь, с которой она получила воду из соседних вышележащих по склону ячеек. Фактически, это число показывает водосборную площадь для каждой ячейки растра. [1]

При моделировании водосборных площадей средствами ЦМР применяется метод последовательного рассмотрения каждой ячейки и ее окружения. При таком подходе из рассматриваемой ячейки существует восемь возможных направлений стока к одной из соседних ячеек (рис. 1).

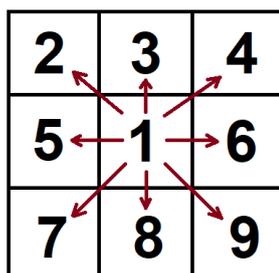


Рис. 1 - Восемь возможных направлений стока, по [1]

Расчет площади водосбора осуществляется на базе различных алгоритмов. Мы рассмотрим два алгоритма – D8 (Deterministic Eight Neighbor) и MFD (Multiple Flow Direction), чтобы разобраться в их принципиальном отличии (рис. 2).

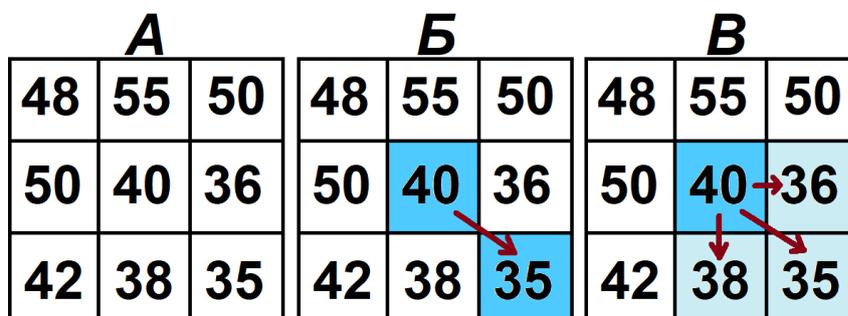


Рис. 2 - Распределение движения потока в алгоритме D8 и MFD (цифрами обозначены условные значения высот, м), по [1]

В алгоритме D8 [2] поток воды из рассматриваемой центральной ячейки целиком направляется в ту из восьми соседних, которая имеет меньшую высоту и наибольший уклон (рис. 2Б). Это простой метод однонаправленного и связанного движения потока,

его основной недостаток – построение нереалистичной сети долин, поскольку максимальный уклон может иметь более чем одна соседняя ячейка [3].

В алгоритме MFD [4, 5] учитывается эффект расхождения потоков, при котором считается, что сток воды из рассматриваемой ячейки происходит не только в самую низкую ячейку, но во все ячейки окружения, которые ниже рассматриваемой (рис. 2В). Чтобы рассчитать долю переносимой воды, вначале рассматривается разница высот между центральной ячейкой и ее окружением (рис. 3Б). Отрицательные значения разностей принимаются за ноль и в расчетах не участвуют. Положительные значения окружающих ячеек суммируются, значение суммы присваивается центральной ячейке, и пропорционально рассчитываются доли потока (рис. 3В).

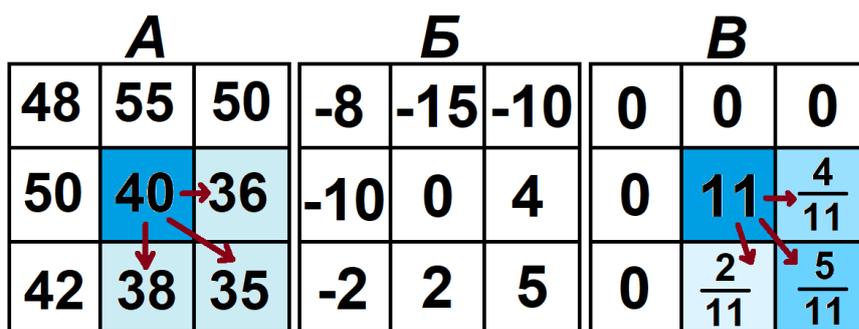


Рис. 3 - Расчет доли потока в алгоритме MFD (цифрами обозначены условные значения высот, м), по [1]

Такой алгоритм позволяет строить более реалистичную сеть долин, жертвуя при этом ее связанностью [3]. На рисунке 4 представлен расчет водосборной площади по этому алгоритму на примере территории Архангельской области.

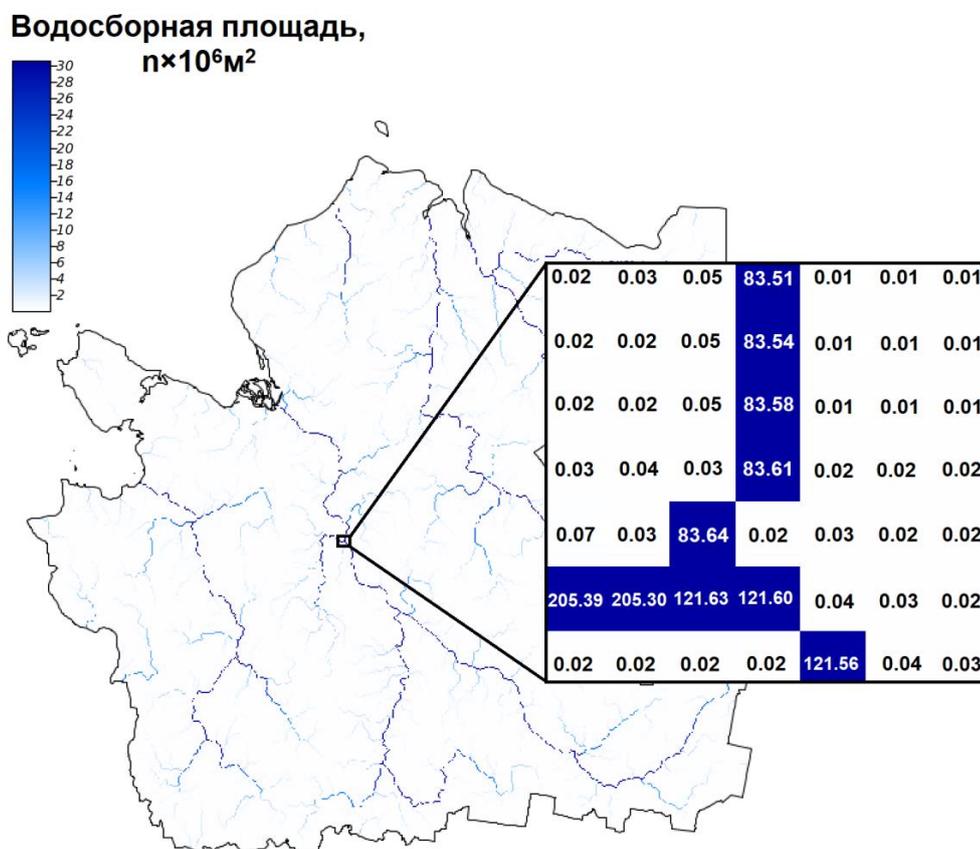


Рис. 4 - Водосборная площадь с увеличенным фрагментом, по [1]

Площадь водосбора необходима для автоматического построения гидросети (Channel Network). В цифровом моделировании сеть долин – это сеть потенциальных водотоков, отличающихся друг от друга на несколько порядков.

Моделирование гидросети средствами ЦМР – это процесс выделения из раstra информации о расположении потоков на исследуемой территории в виде векторных данных. Обычно в качестве иницирующего раstra выбирается грид водосборной площади (рис. 4), затем определяется пороговое значение, чтобы определить, принадлежит ли ячейка потоку, и происходит последовательный анализ ячеек. Каждое значение ячейки сравнивается с пороговым. Ячейки, значение водосборной площади в которых меньше порогового, откидываются, остальные – объединяются в линии гидросети.

Порядок водотока определялся по методу Стралера [6]. Суть заключается в том, что если поток не имеет притока, ему присваивается 1 порядок. При слиянии двух потоков 1 порядка получается поток 2 порядка, двух потоков 2 порядка – поток 3 порядка и т. д. Следует отметить, что порядок потока  $N$  изменится на  $N+1$ , согласно [6], только в том случае, если пересекутся два потока одного и того же порядка. Если сольются потоки 1 и 2 порядка, результирующим все равно останется поток 2 порядка.

В результате строится карта порядков водотоков от 1 до  $N$  (рис. 5), где  $N$  – это наивысший порядок водотока.

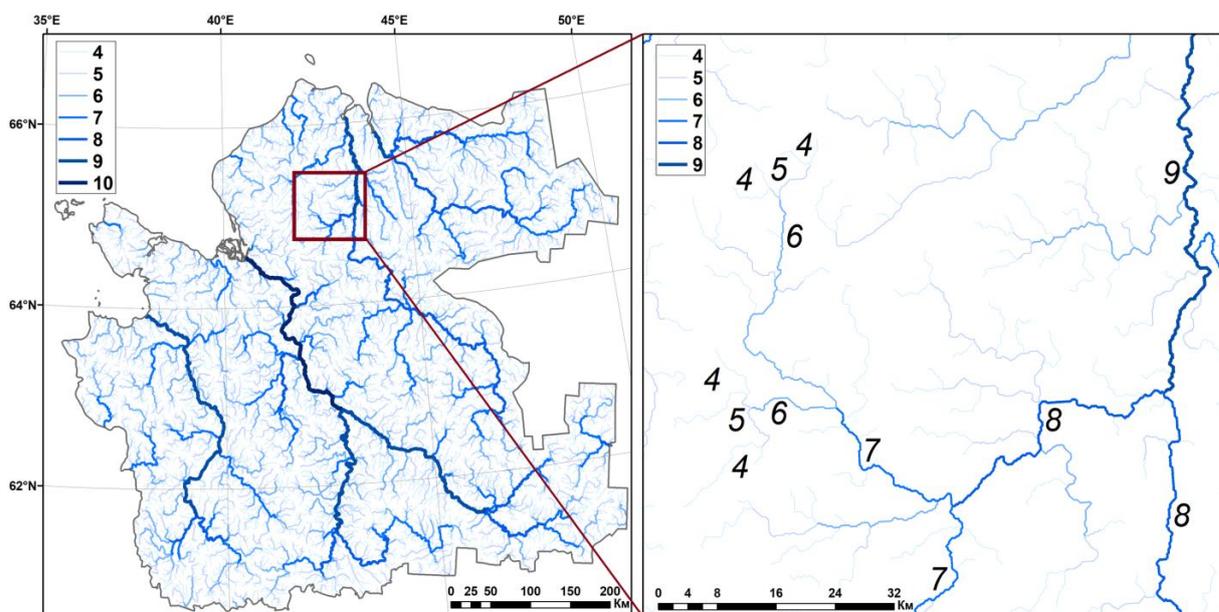


Рис.5 - Порядок водотоков для территории Архангельской области (слева) и увеличенный фрагмент (справа), по [1]

Водотоки могут быть постоянными и временными (пересыхающими). На равнинных территориях и в условиях умеренного климата постоянный водоток обычно имеют речные долины, начиная с 3 и 4 порядков. Долинам 1 и 2 порядков соответствуют овраги, промоины и временные (сезонные) ручьи. Максимальный порядок водотока равный 10 на территории Архангельской области имеет река Северная Двина.

*Исследования проведены в рамках государственного задания № 122011300380-5 Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полякова Е.В., Кутинов Ю.Г., Минеев А.Л., Чистова З.Б. Алгоритм расчёта базисных поверхностей на основе цифровой модели рельефа в программном обеспечении SAGA GIS (на примере Архангельской области) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 3. С. 104–115. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-3-104-115.
2. O'Callaghan J.F., Mark D.M. The extraction of drainage networks from digital elevation data // Computer vision, graphics, and image processing. 1984. Vol. 28(3). P. 323–344.
3. Кошель С.М., Энтин А.Л. Вычисление площади водосбора по цифровым моделям рельефа на основе построения линий тока // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2017. № 3. С. 42–50.
4. Freeman T. Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid // Computers and Geosciences. 1991. Vol. 17. P. 413–422.
5. Quinn P., Beven K., Chevallier P., Planchon O. The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling // Hydrological Processes. 1991. Vol. 5(5). P. 59–79.
6. Strahler A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology // Eos, Transactions American Geophysical Union. 1957. Vol. 38. No. 6. С. 913–920.

## **АНАЛИЗ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ПОБЕРЕЖЬЕ ТЕРИБЕРСКОГО ПОДРАЙОНА (МУРМАНСКИЙ МАССИВ) ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЕРЕГОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

*Миронюк С.Г.*

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва,  
mironyuksg@gmail.com

Побережья морей относится к числу наиболее динамически активных морфосистем и характеризуются, как правило, сложными инженерно-геологическими условиями (III-я категория сложности) [1]. Не является исключением в этом отношении побережье Териберского геоморфологического подрайона, который входит в пределы Мурманского массива (включает Западно-Мурманский и Восточно-Мурманский районы). Опасные природные процессы и явления на Кольском побережье Баренцева моря целенаправленно начали изучать в связи с планами строительства приливных электростанций в первой половине 60-х гг. прошлого века [2], а позже, в конце 80-х гг. в рамках проекта освоения углеводородов Штокмановского ГКМ (ШГКМ) и строительства его береговой инфраструктуры. Имеются планы строительства в Западно-Мурманском районе завода по сжижению природного газа.

Для осуществления проекта по добыче углеводородов на ШГКМ (в настоящее время его реализация отсрочена) были выполнены комплексные инженерно-геологические изыскания, включая геофизические исследования (ООО «Питер Газ»), сейсмическое микрорайонирование (ИФЗ им. О. Ю. Шмидта РАН), литодинамические исследования и др.

Изученный участок расположен в центральной части Мурманского массива (блока) [3], который занимает северо-восточную часть Кольского п-ова и протягивается на 600 км при ширине 60-70 км от Белого моря до п-ова Среднего [4]. С юга он отделен системой глубинных разломов, а с севера, в акватории Баренцева моря, ограничен разломом Карпинского. Вдоль разлома Карпинского и оперяющих его разрывных

нарушений картируется Мурманская зона ВОЗ (пассивная на данном отрезке времени) [5]. Длина зоны ВОЗ более 800 км, ширина - около 60 км.

В геологическом строении территории принимают участие архейские породы, представленные преимущественно позднелопийскими интрузиями мигматит-гранитов. В береговой зоне в грабенообразных долинах губ (фьордах) обнажаются скальные породы, распространены пески разной степени крупности и гравийно-галечниковые грунты.

Следующие основные эндогенные и экзогенные геологические, преимущественно малоопасные (создают чрезвычайные ситуации (ЧС) локального уровня) [6,7] процессы имеют место в рассматриваемом подрайоне, включая его береговую зону: гляциоизостатическое поднятие территории, землетрясения, оползни, обвалы, осыпи, дефляция, русловая эрозия, транспорт и аккумуляция наносов.

Установлено, что земная кора в пределах Балтийского щита испытывает вертикальные движения, средняя скорость которых составляет 4,1-5,0 мм/год [8]. Землетрясения в пределах Мурманской зоны ВОЗ относятся к категории «опасных». Она имеет достаточно высокий сейсмический потенциал ( $M_{max}=5,0\pm 0,2$ ). Глубина гипоцентров ожидаемых землетрясений 10 км, тип подвижки – взбросо-сдвиг. Согласно материалам карт ОСР-97В и ОСР 97С фоновая интенсивность ( $I_0$ ) на территории зоны составляет, соответственно, 6 и 7 баллов.

Участки развития склоновых процессов приурочены к клифу и прибрежным подводным уступам тектонической природы, окаймляющим Кольский полуостров. По данным ряда исследователей [9] на Мурманском побережье накопления крупно-глыбового материала (диаметр глыб может достигать 2-3 м) имеет сейсмогенную природу. Особенно мощные обвально-оползневые скопления прослеживаются в 5 км береговой зоне (рис. 1).



Рис. 1 – Скальный оползень на северном берегу губы Орловка (входит в состав большей по размеру Териберской губы)

Ширина зоны глыбового материала не превышает 15-20 м (в основном менее 10 м) [10]. Дефляция, речная эрозия, абразия (береговая и донная) в пределах изученной территории в силу специфических геолого-геоморфологических условий развиты слабо (малоопасные процессы). Так, установлено, что максимальные размывы дна в береговой зоне (губа Опасова) составляют 0, 4 м, что совпадает с мощностью

песчаного слоя. Абразия берегов, испытывающих поднятие и сложенных прочными кристаллическими породами практически отсутствует. Могут существовать осложнить условия строительства подводных объектов выходы коренных пород в губах (губа Корабельная и др.) и обширные зоны морского дна с чехлом обломочного материала (рис. 2).

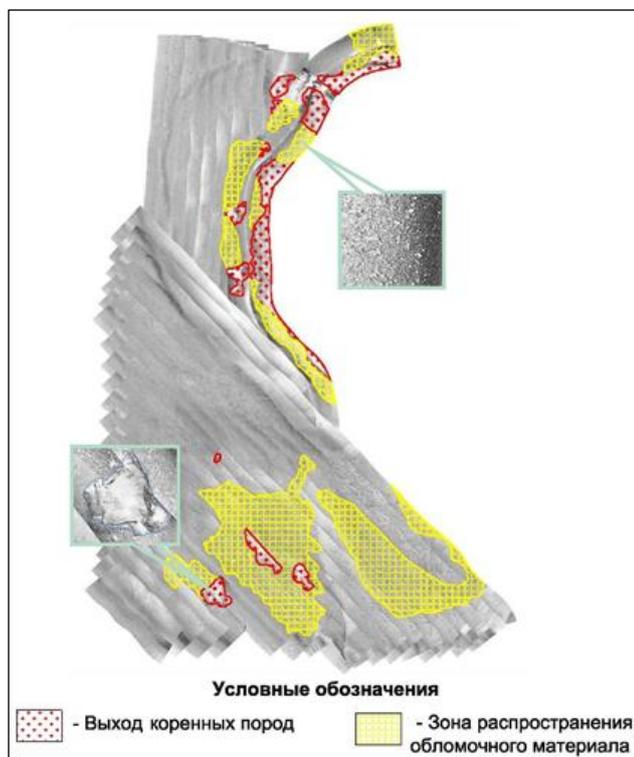


Рис. 2 – Особенности морского дна по данным гидролокации бокового обзора (губа Корабельная)

Заслуживает большего внимания и вопрос о влиянии на инженерно-геологическую обстановку флюидогенных форм рельефа (покмарков) и газонасыщенных грунтов, обнаруженных в прибрежной зоне [11].

К числу наиболее опасных геодинамических процессов на побережье относятся землетрясения [12] и возможные вторичные их эффекты (разжижение грунтов, оползни, обвалы, смещения вдоль активных разломов и др.). Не случайно в ряде разделов проектной документации по обеспечению промышленной и экологической безопасности при освоении ШГКМ рассматривался типовой сценарий «разрыв подводного трубопровода на полное сечение» [13]. Особенно опасной зоной, где возможны по мнению С. А. Козлова [14] разрывы стыков трубопроводов при интенсивности землетрясений 6-8 баллов, является участок акватории (губа Опасова) в районе с. Териберка (Мурманская зона ВОЗ). Здесь источником ЧС могут быть косейсмические сейсмогенные смещения в зоне разлома Карпинского и /или разжижение песчаных грунтов в основании линейного сооружения. В ряде нормативных документов в области промышленной безопасности предписано оценивать вероятность негативных техногенных происшествий (гипотетических сценариев аварий) и степень их опасности. Используя статистику аварий трубопроводов, результаты СМР и соотношения между параметрами разломов и сейсмическим потенциалом землетрясений установлено, что расчетное значение годовой вероятности импульсной подвижки с учетом срока эксплуатации стальных трубопроводов (40 лет) – составляет  $3,2 \cdot 10^{-4}$  (маловероятное событие), среднее максимальное расчетное смещение ( $D_{av \max}$ ) - 0,04 м, а максимально возможное ( $D_{\max}$ ) – 0,3 м. Исходя из мировой статистики аварий трубопроводов, вызванных исключительно

сильными землетрясениями ( $M > 6,5$ ), можно заключить, что гипотетический маловероятный процесс (сейсмогенная подвижка по сбросу Карпинского) не способен нарушить целостность трубопровода. Расчеты также показали, что несмотря на наличие песчаных грунтов в береговой зоне и повышенную сейсмичность (при максимальных сейсмических нагрузках характерных для Мурманской зоны ВОЗ  $I_{расч}$  может достигать здесь 7,7 баллов ( $a_{max} = 1,86 \text{ м/с}^2$ ) для периода повторяемости  $T=5000$  лет) разжижение песчаных грунтов не происходит (возможность разжижения грунтов оценивалась по результатам статического зондирования).

Тем не менее считаю, что исследования вторичных сейсмических опасностей в губе Опасова нельзя считать завершенными. Окончательный вывод относительно величины сейсмогенного смещения можно сделать только после уточнения максимальной интенсивности землетрясений в Мурманской зоне ВОЗ и их повторяемости (в т. ч. с привлечением палеосейсмологического метода), а заключение относительно возможности разжижения грунтов на основе данных полученных путем лабораторного определения их динамических свойств.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Миронюк С.Г. Береговые примыкания морских газопроводов: выбор технологии строительства с учетом оценки геологических опасностей // Газотранспортные системы: настоящее и будущее. М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2015. с. 31.
2. Потапов А.Д. и др. Кольское побережье. Особенности створов для Северной ПЭС // Вестник МГСУ. 2009. № 2. С. 100-104.
3. Лазаревич К.С. Морфоструктура и геоморфологическое районирование Мурманского массива // Геоморфология. 1989. № 4. С. 86-91.
4. Ранний докембрий Балтийского щита / Глебовицкий В.А., (отв. ред.). СПб.: Наука, 2005. 711 с.
5. Виноградов А.Н., Баранов С.В., Виноградов Ю.А., Асминг В.З. Сейсмогенные зоны северной части Балтийского щита // Активные геологические и геофизические процессы в литосфере. Методы, средства и результаты изучения. Материалы XII международной конференции. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2006. Т. 1. С.115-120.
6. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации / МЧС России; РАН; Редкол.: С.К. Шойгу (пред.) и др.; М.: ДИК, 2005. 1 атл. 269 с.
7. Природный риск морских побережий. Атлас «Геология и полезные ископаемые шельфов России» / Главный редактор М. Н. Алексеев (Геологич. ин-т РАН). Раздел 4. Геоэкология окраинных морей России. М.: Научный мир, 2004. 4 карты: 4.1-4.4, М 1: 7 500 000; 1: 5 000 000.
8. Баранская А.В. Роль новейших вертикальных тектонических движений в формировании рельефа побережий Российской Арктики: автореф. дис. канд. географ. наук. Санкт-Петербург, 2015. 26 с.
9. Николаева С.Б., Евзеров В.Я., Петров С.И. Сейсмические проявления в рельефе северо-запада Мурманской области // Север - 2007. Изд-во КНЦ РАН. 12 с.
10. Митяев М.В. Мурманское побережье (геолого-геоморфологические и климатические особенности, современные геологические процессы). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2014. 226 с.
11. Каевицер В.И. и др. Исследование морфологии рельефа Мурманского побережья в связи с процессами подводной разгрузки метана // Современные методы и средства океанологических исследований. 2017. С. 194-198.
12. Молчанов В.П., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Риски чрезвычайных ситуаций в Арктической зоне Российской Федерации. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2011. 299 с.

13. Склад М.И. Штокмановское газоконденсатное месторождение: проблемы и перспективы освоения //Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2007. № 12. С. 47-54.
14. Козлов С.А. Инженерная геология Западно-Арктического шельфа России // Тр. НИИГА-ВНИИОкеангеология. Т. 206 / Под ред. Я.В. Неизвестнова. СПб., 2004. 147 с.

## **ВЕРОЯТНОСТНАЯ ЛОКАЦИЯ РАННЕИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ОСНОВЕ МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИХ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ**

*Морозов А.Н.<sup>1,2</sup>, Асминг В.Э.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, morozovalexey@yandex.ru

<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск

<sup>3</sup>Кольский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН», г. Апатиты

С начала XX века в мире началось интенсивное развитие инструментальных сейсмических наблюдений. Стали появляться сейсмические станции при обсерваториях и университетах в Италии, Германии и Швеции; первые национальные сети в России и Японии; международные сети Дж. Милна (John Milne) «Milne Seismographic Network» и ордена иезуитов «Jesuit Network» [1, 2]. Впоследствии развитие инструментальных наблюдений в мире происходило преимущественно в сейсмоактивных регионах. Именно в таких районах происходило увеличение количества сейсмических станций. При этом оставались регионы, характеризующиеся проявлением умеренной сейсмичности, но в силу географических, исторических, а также экономических причин развитие инструментальных наблюдений там происходило очень медленно.

Одним из таких регионов был север Восточно-Европейской платформы (ВЕП). Сведения по историческим землетрясениям и современные инструментальные данные указывают на повышенную сейсмическую активность некоторых районов севера платформы, в частности, Беломорского региона. Однако из-за малонаселённости, труднодоступности и невысокого уровня экономического развития региона инструментальные наблюдения практически не развивались в первой половине XX века. В работе [3] отмечается, что только с 1962 г. можно выделить начало инструментального этапа в изучении сейсмичности региона. До этого времени землетрясения изучались преимущественно по макросейсмическим данным, которые, в силу малонаселённости региона, характеризуются небольшой выборкой по значениям интенсивности и географическим пунктам. При этом для части таких землетрясений имеются инструментальные данные одной-двух станций, порой с ненадёжными определениями времён вступлений сейсмических фаз. Поэтому использовать только инструментальные данные для локации таких землетрясений не представляется возможным.

Авторами в данной статье предложена методика вероятностной оценки локации таких землетрясений на основе совместного анализа их макросейсмических и инструментальных данных [4]. Методика реализована в программе ProLom (Probabilistic Locator by Macroseismics) [5]. В статье проведена проверка работоспособности метода на тестовом землетрясении 20 мая 1967 г.

Для решения задачи локации землетрясений совместно по макросейсмическим и инструментальным данным был использован подход, основанный на применении так

называемого наивного Байесовского классификатора. Напомним вкратце идею классификатора. Теорема Байеса выражается следующим соотношением:

$$P(C|F_1, \dots, F_n) = \frac{P(C)P(F_1, \dots, F_n|C)}{P(F_1, \dots, F_n)} \quad (1)$$

В нашем случае  $C$  – событие, заключающееся в том, что землетрясение произошло в некоторой области  $(F_1, \dots, F_n)$  проявления этого события, как макросейсмические (наблюдались сотрясения некоторой интенсивности в тех или иных пунктах), так и инструментальные (приходы сейсмических волн на станции). Предположение наивности – это предположения о том, что  $(F_1, \dots, F_n)$  – независимы. Априорные вероятности вариантов события  $C$  заранее неизвестны, положим их одинаковыми. С учетом этого (1) можно переписать в виде:

$$P(C|F_1, \dots, F_n) \sim \prod_i P(F_i|C) \quad (2)$$

Здесь  $P(F_i|C)$  имеет смысл вероятности проявления  $F_i$  при условии, что произошло событие  $C$ , т.е., что землетрясение произошло в тестируемой области. Далее мы предполагаем, что гипоцентр события магнитуды  $M$  (магнитуду и глубину фиксируем) с вероятностью 1 располагался в некоторой области на поверхности Земли. Разобьем эту область на маленькие элементы  $c_j$  и будем с помощью (2) оценивать вероятности  $P(c_j|F_1, \dots, F_n)$ , т.е. вероятности того, что событие произошло в данной ячейке при условии, что имели место его проявления  $F_i$ . Для нормировки воспользуемся тем, что вероятность того, что землетрясение произошло в большой области, равна 1, т.е.

$$\sum_j P(c_j|F_1, \dots, F_n) = 1 \quad (3)$$

Чтобы воспользоваться (2) нужно оценивать  $P(F_i|c_j)$ . Рассмотрим эти оценки для макросейсмических и инструментальных данных.

**Макросейсмические данные.** Проявление  $F_i$  – информация о том, что в некоторой точке с координатами  $(\varphi_i, \lambda_i)$  событие ощущалось в диапазоне интенсивностей (по шкале МСК-64) от  $I_{i0}$  до  $I_{i1}$ . Существуют известные формулы, связывающие магнитуду землетрясения и расстояние от эпицентра до точки наблюдения с интенсивностью, например, формула Блэйка – Шебалина (в программе ProLom может использоваться любая зависимость). В общем виде ее можно записать как:

$$I_{\text{истинная}} = I(M, R)$$

где  $R$  – расстояние до гипоцентра землетрясения в км, определяемое через расстояние до эпицентра  $r$  и глубину очага  $h$ , как  $\sqrt{r^2 + h^2}$ .

Назовем интенсивность, рассчитанную по этой формуле «истинной» (разумеется, она истинна только в том случае, если в данной точке действительно произошло событие данной магнитуды). Таким образом, оценка  $P(F_i|c_j)$  сводится к оценке вероятности  $P([I_{i0}, I_{i1}]|I_{\text{истинная},j})$ , т.е., оценке вероятности того, что свидетель, находившийся в точке  $i$ , зафиксировал интенсивности из диапазона  $[I_{i0}, I_{i1}]$  при условии, что в реальности имела место интенсивность  $I_{\text{истинная},j}$ .

Для этого введем эмпирическую функцию плотности вероятности того, что наблюдатель зафиксировал интенсивность  $I_{\text{набл}}$  при условии того, что на самом деле имела место интенсивность  $I_{\text{истинная}}$  –  $\rho(I_{\text{набл}}|I_{\text{истинная}})$ . Эта функция вводится интерпретатором из некоторых рациональных соображений и задается в табличном виде. Таким образом, с точностью до нормировки, мы имеем следующее выражение:

$$P(F_i|c_j) = P([I_{i0}, I_{i1}]|I_{\text{истинная},j}) \sim \max_{I_{\text{набл}} \in [I_{i0}, I_{i1}]} \rho(I_{\text{набл}}|I_{\text{истинная},j}) \quad (4)$$

**Инструментальные данные.** Инструментальные данные, которые предполагается использовать в данном подходе, это замеры времён приходов сейсмических волн на станции, сделанные по аналоговым сейсмограммам, полученным в конце XIX и в начале XX века. У таких сейсмограмм есть специфические особенности: а) неточная привязка ко времени; б) невозможность достоверно определить тип пришедшей волны. Это определило то, что в данном подходе совместно используются только времена приходов, взятые для одной и той же станции, и то, что вместо однозначного задания типа фазы используются вероятностные оценки, задаваемые пользователем.

Пусть для некоторой сеймостанции задано  $N$  фаз с временами  $t_i$  и вероятностями типов фаз  $P_{ik}$ , где  $i$  – индекс фазы, а  $k$  – индекс типа фазы от 1 до 4 ( $P$ -волна,  $S$ -волна,  $Lg$ -волна, ложное вступление). Назовем совместимой парой две фазы  $i_1$  и  $i_2$ , которым приписаны типы волны  $k_1$  и  $k_2$ , такую, что:

$$T_{0,k_2} - T_{1,k_1} < t_{i_1} - t_{i_2} < T_{1,k_2} - T_{0,k_1} \quad (5)$$

где  $T_{0,k}$  – минимальное, а  $T_{1,k}$  – максимальное время пробега волны типа  $k$  от источника до станции с учетом возможных ошибок взятия вступлений и скоростной модели. Также совместимыми будут считаться те пары, у которых одной из фаз приписан тип «ложное вступление». Окончательной оценкой реализации варианта с данными замерами для данной точки и для данной станции, которая и используется в качестве сомножителя в (2), будет:

$$\sum_{\text{по совместимым парам}} P_{i_1,k_1} \cdot P_{i_2,k_2} \quad (6)$$

Описанный метод был реализован в программе ProLom (Probabilistic Locator by Macroseismics) [5]. Программа позволяет пользователю задавать макросейсмическую информацию (ощущавшиеся интенсивности по шкале МСК-64 в определенных пунктах), добавлять к ней инструментальную информацию (замеры времен приходов сейсмических волн на станции) и получать вероятностную оценку локации сейсмических событий.

Для проверки работоспособности метода в качестве тестового события было взято землетрясение 20 мая 1967 г. Землетрясение произошло в Кандалакшском заливе Белого моря с  $mb(\text{ISC})=4.6$ . По этому землетрясению имеется большое количество инструментальных данных ( $N_{\text{станций}}=72$ ), представленных в бюллетене Международного сейсмологического Центра (International Seismological Centre, ISC) [6]. А также имеются макросейсмические сведения из 27 населённых пунктов, описанные в работах [7,8].

Был составлен модельный бюллетень из макросейсмических и инструментальных данных, наиболее характерный для землетрясений данного региона в первой половине XX века. В тот период в регионе функционировала одна сейсмическая станция PUL (Пулково) и количество макросейсмических сведений поступало значительно меньше, чем для землетрясения 20 мая 1967 г. Поэтому, модельный бюллетень включал в себя инструментальные данные только одной станции PUL и макросейсмические сведения по 10 пунктам.

Решение программы ProLom для данного бюллетеня представлено на рисунке 1. При локации использовалась региональная модель BARENTS [9], эффективность которой для данного региона была подтверждена многократно по записям химических

и ядерных взрывов [9,10]. В уравнении Блейка-Шебалина использовались вычисленные для данного района [11] следующие коэффициенты макросейсмического поля:  $a=1.5$ ,  $b=3.55$ ,  $c=3.05$ .

Вычисленные программой ProLom координаты эпицентра совпадают в пределах эллипса ошибок с координатами по ISC (рис. 1). При ограниченном количестве исходных данных мы получили большие значения полуосей эллипса ошибок. При этом полученное решение на основе только макросейсмических данных (рис. 1б) отличается от решения на основе макросейсмических и инструментальных данных (рис. 1а). Последнее решение ближе всего к решению по ISC. Значение магнитуды  $M_S$  получилось равным 4.7.

Таким образом, данный пример показывает работоспособность метода, реализованного в программе ProLom. В статье [4] приведены результаты применения метода на конкретных землетрясениях первой половины XX века, произошедшие на севере Восточно-Европейской платформы. Создан дополнительный инструмент вероятностной локации раннеинструментальных землетрясений, который позволяет использовать все доступные, и порой скудные для удалённых и малоразвитых территорий, данные по макросейсмическим проявлениям и временам вступления на сейсмических станциях. Данный инструмент в дальнейшем будет применяться при анализе землетрясений на севере Восточно-Европейской платформы и при необходимости совершенствоваться.

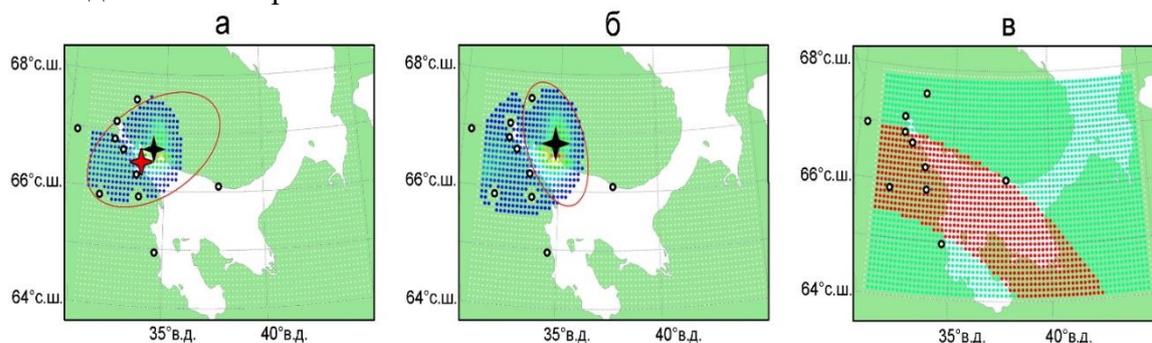


Рис. 1 – Результат расчета программы ProLom на основе модельного бюллетеня, составленного из макросейсмических и инструментальных данных землетрясения 20 мая 1967 г.: а – решение на основе макросейсмических и инструментальных данных; б – решение на основе макросейсмических данных; в – решение на основе инструментальных данных. Черной звездой указан вычисленный эпицентр. Красной линией – эллипс ошибок. Красной звездой указан эпицентр землетрясения согласно ISC [6]. Кружками указаны географические пункты со значениями интенсивности  $I$ . Разноцветными точками обозначают ячейки, в которых значение вероятности наличия в этой ячейке эпицентра отлично от нуля. Градация цвета зависит от значения вероятности: от меньшего (синего) до большего (красного)

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Schweitzer J. The birth of modern seismology in the nineteenth and twentieth centuries // Earth Sciences History. – 2007. – V. 26. – №. 2. – P. 263-280.
2. Storchak D. A. Di Giacomo D., Engdahl E. R., Harris J., Bondár I., Lee W. H., ... & Villaseñor A. The ISC-GEM global instrumental earthquake catalogue (1900–2009): Introduction // Physics of the Earth and Planetary Interiors. – 2015. – V. 239. – P. 48-63.
3. Панасенко Г.Д. Землетрясения Фенноскандии в 1951-1970. – М.: Изд-во МГК, 1977. – 111 с.
4. Морозов А.Н., Асминг В.Э. Вероятностная локация раннеинструментальных землетрясений на основе макросейсмических и инструментальных данных // Физика Земли – № 1 – 2024 – (в печати).

5. Асминг В.Э., Морозов А.Н. ProLom. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023617379 от 07 апреля 2023 г.
6. International Seismological Centre. [сайт]. – URL: <http://www.isc.ac.uk/> (дата обращения 06.05.2023 г.)
7. Панасенко Г.Д. Сейсмическое событие в Кандалашском заливе Белого моря 20 мая 1967 г. – В кн.: Новейшие и современные движения земной коры восточной части Балтийского щита. Петрозаводск, Изд-во Карельского ФАН СССР, 1974.
8. Nikonov A.A. Felt effects for earthquakes of the 20th century in the Eastern Baltic Shield. – University of Helsinki, 1991. – 34 p. – ISBN 951-45-5777-8
9. Kremenetskaya E., Asming V., Ringdal F. Seismic location calibration of the European Arctic // Pure Appl. Geophys. – 2001. – V. 158(1). – P. 117–128.
10. Морозов А.Н., Ваганова Н.В., Асминг В.Э., Михайлова Я.А. Сейсмичность севера Русской плиты: уточнение параметров гипоцентров современных землетрясений // Физика Земли. 2018. №. 2. С. 104-123.
11. Петрова Н.В., Дягилев Р.А., Габсатарова И.П. Особенности затухания сейсмического эффекта землетрясений Русской платформы и Урала // Вопросы инженерной сейсмологии. 2020. Т. 47. №. 4. С. 5-25.

## **АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ АРХИПЕЛАГА СЕВЕРНАЯ ЗЕМЛЯ**

*Морозова Е. Р.<sup>1</sup>, Конечная Я. В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, morozova\_er@fciaarctic.ru

<sup>2</sup>Единая геофизическая служба РАН, г. Обнинск, yanakon@mail.ru

Криосейсмология это новое направление в науках о Земле, объединяющее сейсмологию и гляциологию. Криосейсмология занимается исследованием сейсмических волн, генерируемых на границах двух сред лед-океан и/или лед-земная поверхность, связанных с движением, разрушением или ростом ледниковых покровов, и сейсмических волн, генерируемых при различных деструктивных процессах в криолитосфере.

Отметим, что на арктических островах Российской Федерации подобных исследований до настоящего времени не проводилось. Периодические, сезонные наблюдения за динамикой ледников выполняются сотрудниками Кольского филиала ФИЦ ЕГС РАН на архипелаге Шпицберген. В 2016 г. ФИЦКИА УрО РАН устанавливает стационарную сейсмическую станцию на архипелаге Северная Земля, о. Большевик, на территории научно-исследовательского стационара Арктического и Антарктического научно-исследовательского института «Ледовая база «Мыс Баранова». Подобный шаг позволил не только зафиксировать сейсмические события в Карском море, но и заложить основы непрерывного мониторинга динамики ледников и ледового покрова (рис. 1).

Обычно в сейсмологии принято проводить обработку минимум по трем сейсмическим станциям, нам же приходится анализировать события, зарегистрированные только одной станцией «Северная Земля» (код SVZ). Считается, что обработка по одной станции – это наименее достоверный способ локации, чем по нескольким, однако по его результатам можно определить основные зоны пространственного распределения эпицентров, что является достаточным условием с учетом имеющейся ситуации. Рассмотрим первые результаты анализа локальных сейсмических событий, зарегистрированных на архипелаге Северная Земля.

Архипелаг Северная Земля – это крупный островной архипелаг к северу от п-ва Таймыр на границе Карского моря и моря Лаптевых, от которого он отделен проливом Вилькицкого. Большая часть архипелага покрыто ледниками, места, где ледники выходят к морю, часто служат источником образования айсбергов [1]. Крупнейшим островом архипелага является остров Октябрьской Революции (рис. 1).

Выявление ледниковых событий из общей массы сейсмических событий, происходящих на архипелаге Северная Земля, и их типизация позволит в дальнейшем избежать попадания «ложных» событий в сейсмический каталог. Обработка данных проводилась в программах EL [2] и WSG [3] разработки ФИЦ ЕГС РАН. Всего за анализируемый период наблюдений станцией SVZ зафиксировано 41 локальное сейсмическое событие, имеющие вступления фаз объемных волн. Значения магнитуды находятся в широком диапазоне магнитуды от 0.2 до 4.9. Для полученных эпицентров событий была проведена оценка погрешности их определения. В данном случае это не классический метод построения эллипса ошибок, а лишь оценочное определение его полуосей. Погрешность одной полуоси связана с погрешностью по глубине (от 0 до 30 км), второй полуоси – с неточностью определения азимута ( $\pm 10^\circ$ ).

Поскольку на о. Большевик зарегистрировано достаточно малое количество событий, то статистически сложно вести подробный анализ этих событий. В этом отношении продолжается накопление материала. События о. Октябрьской Революции проанализированы с точки зрения спектрально-временного анализа, оценено движение по разлому и скорость миграции эпицентров.

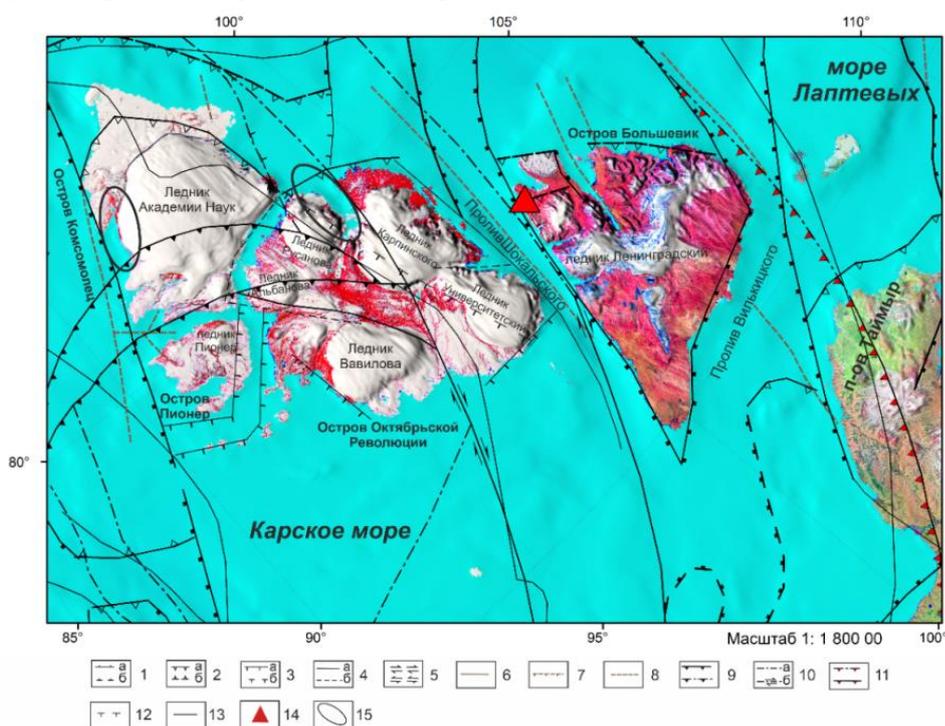


Рис. 1 – Физическая карта рельефа архипелага Северная Земля. Новейшие разломы (1–4) с [4]: а – достоверные, б – предполагаемые; 1 – сбросы, штрихи на опущенном крыле; 2 – взбросы, треугольники на приподнятом крыле; 3 – разломы неустановленного типа, штрихи на опущенном крыле; 4 - разломы без установленного смещения; 5 - стрелками показано направление смещения при сдвигах. Разломы с [5] (6–8): 6 – активный спрединговый центр; 7 – нормальные разломы; 8 – неклассифицированные разломы. Разломы с [6] (9–13): 9 – надвиг и взброс; 10 – сдвиговый сброс (стрелка-направление сброса); 11 – фронт деформаций для орогенов; 12 – нормальные листрические разломы; 13 – неклассифицированные разломы; 14 – сейсмическая станция «Северная Земля» (SVZ); 15 - зоны образования айсбергов и ледников [7]

Анализ волновых форм о. Октябрьской Революции и построение СВАН-диаграмм в программе Geopsy показали, что все события условно можно разделить на две группы А и В. Примеры волновых форм сейсмических событий и соответствующие им СВАН-диаграммы представлены на рисунке 2. Первая группа А (рис. 2а) имеет достаточно четкие вступления Р и S волн, причем S всегда интенсивнее Р. Также наблюдаются поверхностные волны. У группы событий В (рис. 2б) Р-волна выражена более слабо, отсутствуют поверхностные волны и наблюдается высокочастотный шум (~20 Hz) между вступлениями волн. Обратим внимание, что события, происходящие на о. Октябрьской Революции, приурочены к ледовым куполам.

Эпицентры «выстраиваются» в линейные структуры (рис. 3). В связи с вышесказанными особенностями волновых форм событий группы А, можно предположить, что они происходят глубже, чем события группы В. Перебор возможных глубин для группы А (для группы В  $h=0$  км) показал, что при  $h=25-30$  км эпицентры событий максимально совмещаются с событиями группы В. Таким образом, можно считать, что события группы А – более глубокие, чем группы В и расположены в консолидированной коре. Данный вывод подтверждает тот факт, что для событий группы А мы наблюдаем достаточно четкие вступления Р- и S- волн, т.е. очаг должен располагаться в более консолидированных породах по сравнению с событиями, происходящими в ледовых куполах или на границе поверхность земли-ледовый купол. Кроме того, при заглубленном очаге образуется поверхностная волна, а при наличии вышележащего слоя (в нашем случае это ледовый купол) и большом контрасте скоростей (лед-кристаллическая порода) образуются также волны Лява, что мы и наблюдаем для событий группы А. Все это подтверждает различие в природе событий двух групп: для А – это коровые землетрясения, для В – сброс напряжений в ледовых куполах.

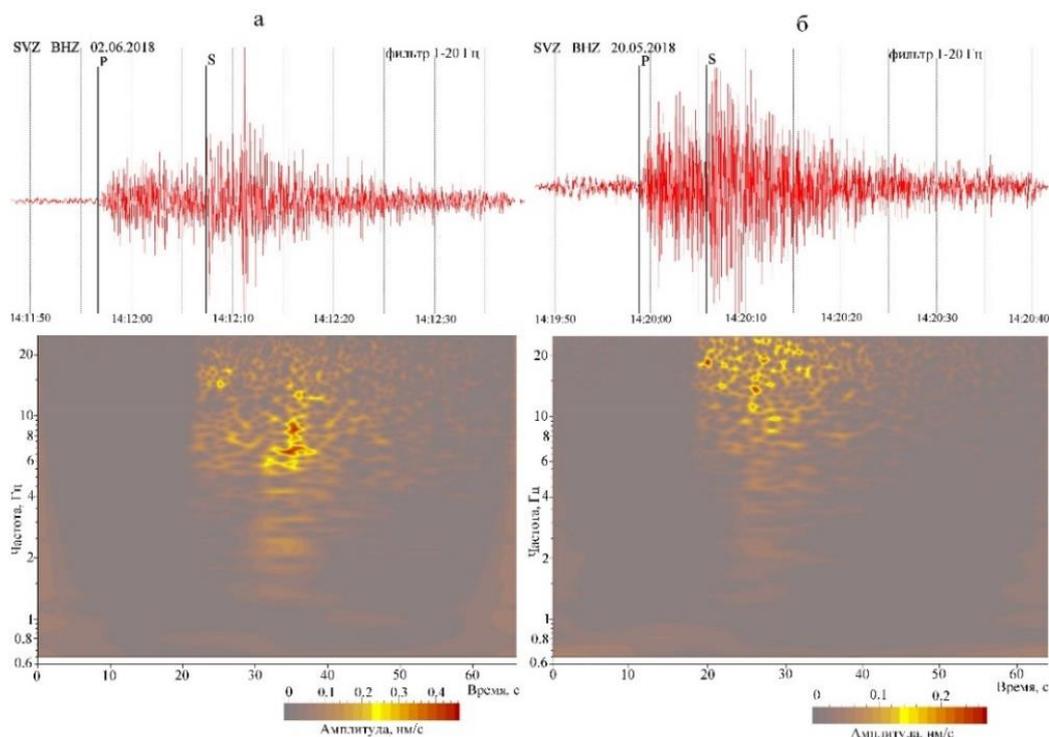


Рис. 2 – Волновые формы и СВАН-диаграммы локальных сейсмических событий, зарегистрированных SVZ: а – группа А, б – группа В

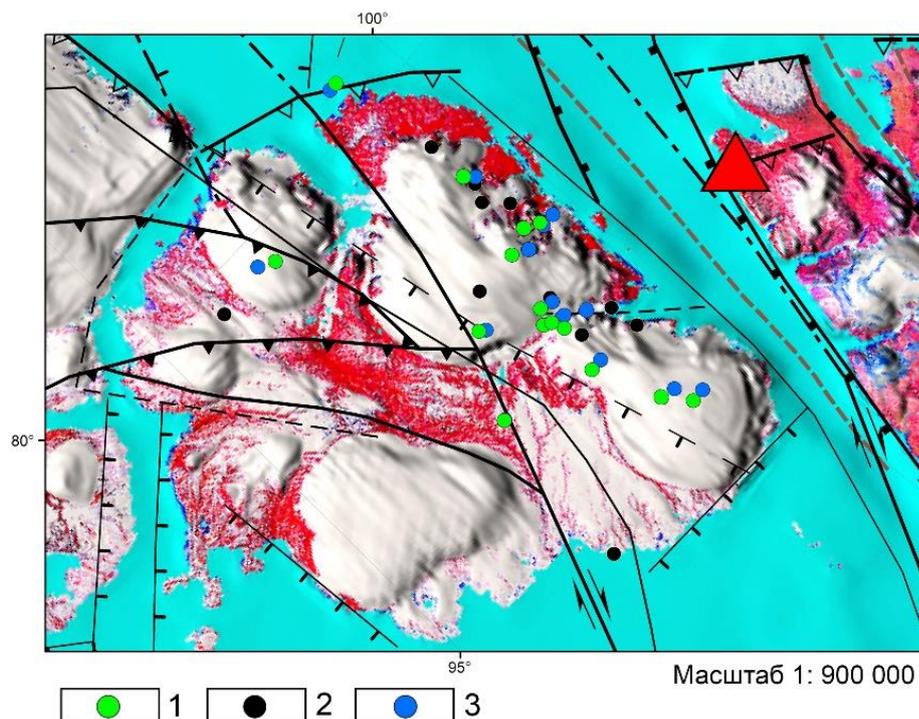


Рис. 3 – События на острове Октябрьской Революции на разных глубинах гипоцентра: 1 – группа А,  $h=0$  km; 2 – группа В,  $h=0$  km; 3 - группа А,  $h=25$  km; красный треугольник – сейсмическая станция SVZ (тектоническая легенда показана на рис. 1)

Также на записях станции SVZ отмечаются импульсные колебания, предположительно связанные с ледниковой активностью. Похожие импульсные колебания наблюдаются и на других станциях Архангельской сейсмической сети [8].

На рисунке 4 мы видим график зависимость импульсных колебаний от температуры воздуха на станции SVZ. На графике видно, что при понижении температуры увеличивается количество импульсных колебаний и бывает достигает около 900 импульсов в сутки. События приходят с расстояния не более 5 км. Скорее всего, это окраины береговой линии и озёра, находящиеся на о. Большевик (рис. 5).

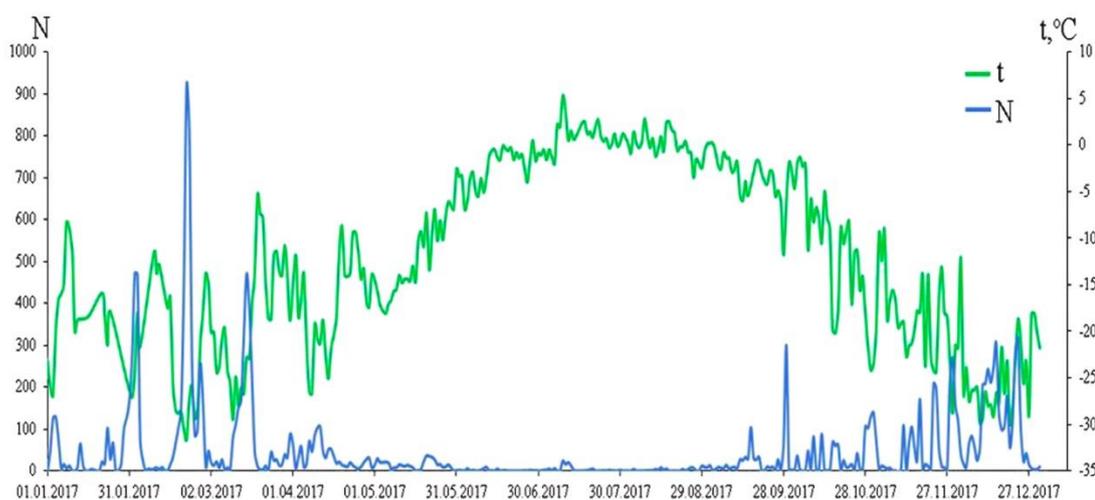


Рис. 4 – Временные вариации температуры воздуха и сейсмичности (количества событий)

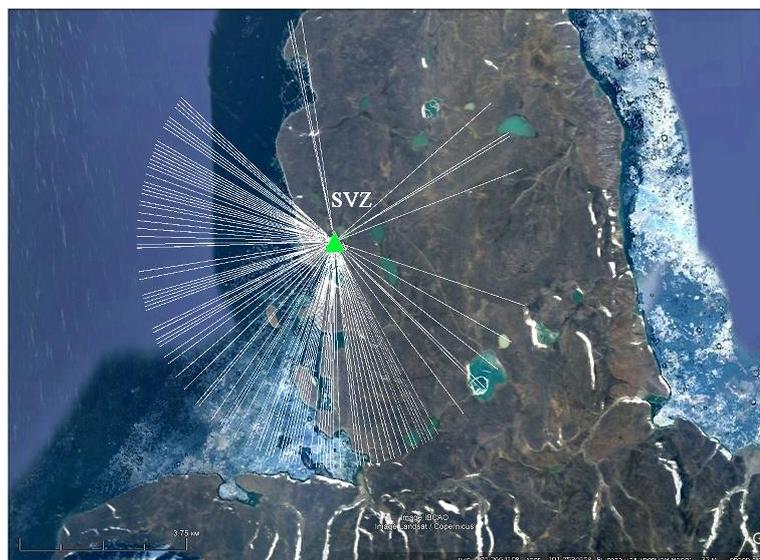


Рис. 5 – Азимутальное распределение импульсных колебаний на о. Большевик

Анализ волновых форм и их спектральный состав позволяет разделить события по их природе, т.е. отделить явления в ледовой толще от коровых землетрясений. Для анализа природы каждого типа событий и развития сейсмического мониторинга деструкционных ледниковых процессов необходимо дополнительно установить минимум две сейсмические станции.

*Работа выполнена с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Архангельская сейсмическая сеть» (<https://ckp-rf.ru/catalog/usu/310187/>).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас абразионной и ледово-экскавационной опасности прибрежно-шельфовой зоны Российской Арктики / Огородов С.А. [и др.] // Москва: МГУ им. М.В. Ломоносова 2020, 69 с.
2. Программный комплекс EL (ELRESS) [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.krsc.ru/?q=en/EL> (дата обращения 06.09.2023).
3. Акимов, А.П., Красилов С.А. Программный комплекс WSG «Система обработки сейсмических данных» // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020664678 от 16.11.2020 г.
4. Атлас «Геология и полезные ископаемые шельфов России» / Гл. ред. Алексеев М. Н. / Москва: Научный мир, 2004. 279 с.
5. Spencer A.M., Embry A.F., Gautier D.L. К Sorensen K., Stoupakova A. V. Arctic Petroleum Geology. Geological Society Memoir 35 // London: Geological Society. 2011. P. 661.
6. Pubellier M., Rossi P., Petrov O. [et al.]. Tectonic map of the Arctic // St. Petersburg: VSEGEI Printing House. 2018.
7. Шапошников В.М., Александров А.В., Матанцев Р.А. Ивановская О.Д. Анализ айсберговой опасности на северном морском пути на примере газоземов // Арктика: экология и экономика. 2017. № 2(26). С. 76-81.
8. Антоновская Г.Н., Ковалев С.М., Конечная Я.В. Смирнов В.Н., Данилов А.В. Новые сведения о сейсмичности Российской Арктики по данным пункта сейсмических наблюдений «Северная Земля» // Проблемы Арктики и Антарктики. 2018. Т. 64. № 2. С. 170-181.

## ПРОБЛЕМА ОПТИМИЗАЦИИ ДОБЫЧИ ГАЗОВОГО КОНДЕНСАТА В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ

Муравьев А.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Геологический институт РАН, г. Москва

<sup>2</sup> РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, г. Москва, amur1909@mail.ru

По современным оценкам, запасы углеводородов арктического шельфа приуроченные к газовым и газоконденсатным (ГК) месторождениям, достигают 80% [1]. Для того, чтобы разведать и обосновать запасы, обеспечить грамотную разработку месторождений необходимо провести гидродинамические испытания (ГДИС) разведочных скважин с отбором представительных пластовых проб. В условиях Арктики, где на все операции – бурения и испытание – природа отвела не более 2-3 месяцев, времени на полноценные ГДИС может попросту не хватить. Новый методологический подход к испытанию ГК скважин [2, 3] позволит повысить эффективность разработки за счет увеличения конденсатоотдачи пласта, обеспечить отбор представительных проб пластовых флюидов в околокритической области, снизить затраты времени и материальных ресурсов на проведение испытаний.

Разработка газоконденсатных месторождений (ГКМ) в России часто ведется без мониторинга величины конденсатогазового фактора (КГФ) – важнейшего параметра оптимизации добычи. Решение данной задачи видится в широком внедрении многофазных расходомеров проточного типа (т.е., бессепарационных) в практику разведки и разработки ГКМ.

В процессе работы ГК скважины, вследствие падения пластового давления ниже точки росы значительная доля жидкой (наиболее ценной) фракции выпадает в поровом пространстве пласта, ухудшая его коллекторские свойства и снижая КИК. Таким образом, помимо недополучения коммерческой прибыли из-за неполного извлечения конденсата, возникает сопутствующая проблема - формирование конденсатного барьера в пласте. Конденсатный барьер значительно ухудшает коллекторские свойства пласта, препятствуя фильтрации флюидов к скважине из отдаленных областей дренирования, что снижает продуктивность скважин. Преодоление конденсатного барьера – трудновыполнимая и дорогостоящая задача.

Отдельно следует выделить проблему отбора представительных проб пластового флюида. Существующие технологии пробоотбора на ГКМ несовершенны и приводят к погрешностям РVT-исследований. Это связано, прежде всего, с околокритической природой ГК флюидов и трудностями отбора как наземных, так и глубинных проб. Анализ непредставительных проб приводит и к недостоверности РVT-моделей, столь необходимых для грамотного освоения ГКМ.

И, наконец, при освоении арктического шельфа требуются эффективная логистика и технологии, позволяющих в сжатые сроки выполнить программу испытания скважин. Поэтому снижение веса и габаритов палубного оборудования также является актуальной задачей.

**Конденсатный барьер.** Накопление конденсата в поровом пространстве пласта-коллектора (*condensate banking*) снижает добычу газа и, кроме того, выпавшая в пласте жидкость становится неизвлекаемой. Это означает, что выпавший конденсат практически невозможно вернуть в газообразное состояние и добыть из скважины, даже если пластовое давление будет увеличено путем закачки газа до значения выше точки росы.

Технологии ГДИС позволяют оценить размеры конденсатного барьера и относительное снижение проницаемости. Вокруг скважины формируется три области (Рис. 1): (1) призабойная, где происходит приток газожидкостной смеси к скважине, (2) переходная – с накоплением конденсата, (3) удаленная, где пласт насыщен

углеводородами в исходной газовой фазе [4]. Перегибы производной давления указывают на то, что проницаемость в переходной зоне пласта снижается на порядок по сравнению с первоначальной, и снова несколько возрастает в призабойной зоне [5].

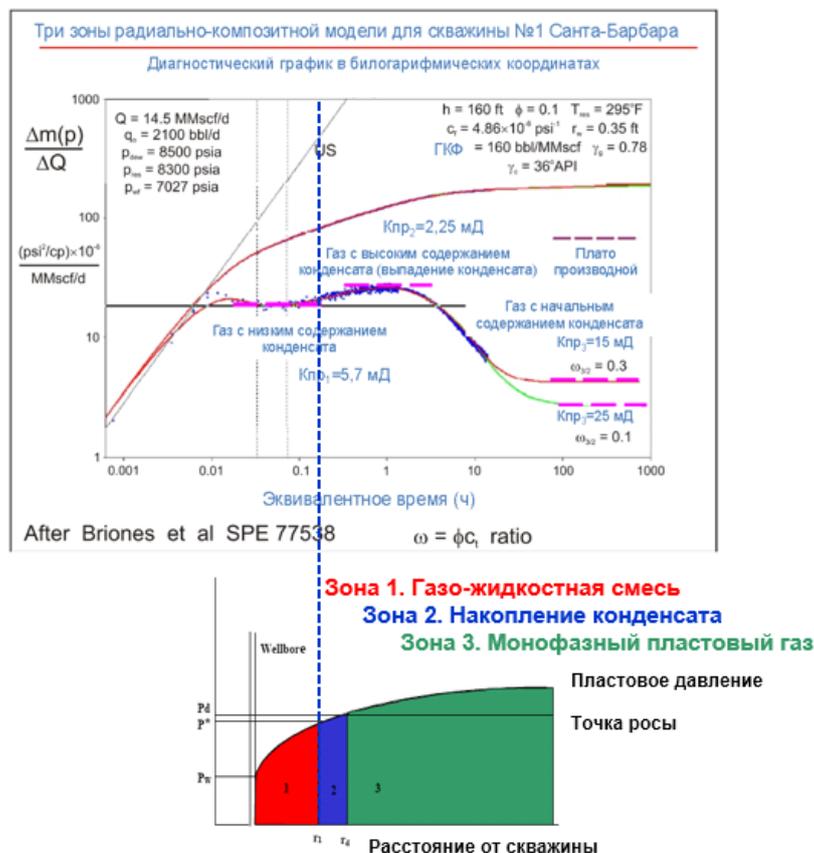


Рис. 1 – Накопление конденсата в пласте. Пример ГДИ газоконденсатной скважины

Способы преодоления конденсатного барьера в пласте вокруг скважины:

- (1) Добыча с максимальным КГФ. Это наиболее эффективный способ со всех точек зрения, так как на этом режиме из пласта отбираются наиболее тяжелые фракции УВ, которые к тому же являются и наиболее ценным сырьем.
- (2) Сайклинг-процесс (прокачка пласта осушенным газом) – достаточно распространенный способ. Однако для эффективного удаления жидкой фракции из порового пространства требуется не только высокое давление и длительное время продувки, но и равномерность охвата всего объема пород коллектора. Это трудно достижимо, так как фильтрация идет по ослабленным зонам и трещинам.
- (3) Закачка метанола – дорогостоящий процесс, который целесообразно реализовать при условии производства метанола в непосредственной близости от ГКМ [6].
- (4) Гидроразрыв пласта. Затратный способ, дающий кратковременный эффект.

**Вопросы оптимизации добычи.** Различные традиционные варианты технологического режима разработки (режим постоянного градиента давления, режим постоянной депрессии на пласт, режим постоянного забойного давления, режим постоянного дебита, режим постоянной скорости фильтрации, безгидратный режим, режим постоянного устьевого давления, режим постоянной скорости потока в стволе) нацелены на решение какой-то конкретной задачи, часто в ущерб главной цели – предотвращения подземных потерь газового конденсата. Режим эксплуатации скважин «на истощение», который моделируется в лабораториях экспериментом

дифференциальной конденсации, можно считать примером варварского подхода к природным ресурсам. Главным критерием при выборе технологического режима работы ГК скважин следует считать величину КГФ, а точнее - определение максимума КГФ экспериментальным путем, при выводе скважины на режим. Именно этот режим позволит извлечь максимальное количество тяжелых фракций (увеличить КИК) и обеспечить высокую продуктивность скважины в течение максимально длительного времени. Также важно с самого начала разработки ГКМ продумать систему ППД с закачкой осушенного газа (сайклинг-процесс) или метанола, являющегося хорошим растворителем тяжелых фракций. Метанол можно получить непосредственно на газовом месторождении - с помощью отечественных технологий, реализуя получение синтез-газа из метана в реакции Фишера-Тропша на модульных установках в малогабаритном исполнении [6]. Такое комплексное решение позволит снизить затраты на логистику и максимально увеличить КИК.

**Проблема отбора проб.** Представительные пробы пластового флюида нужны для PVT моделей – построения изотерм дифференциальной и контактной конденсации, определения P-T условий максимальной конденсатоотдачи, расчета фазовых переходов в пласте, скважине и наземной инфраструктуре, подсчета запасов, подбора оборудования, повышения эффективности разработки. Отбор проб из газоконденсатного пласта затруднен из-за самой природы флюидов, близких к критическим. В процессе эксплуатации скважины вокруг неё образуется «воронка депрессии». При снижении давления в пласте и на забое ниже точки росы (что происходит очень быстро, особенно в низкопроницаемых коллекторах) пластовый флюид находится в двухфазной области. Пробы, отобранные скважинными пробоотборниками или пластоиспытателем ниже точки росы, не могут считаться представительными. Отбор проб через тест-сепаратор на сегодняшний день – основной метод, так как позволяет осуществлять одновременный отбор проб газовой и жидкой фаз с последующей рекомбинацией для исследования в PVT-лаборатории. Главные недостатки сепарационного метода: загрязнение сепаратора жидкостями от предыдущих испытаний; плохая чувствительность; погрешность замера расходов; большая ёмкость и инерционность сепаратора; сезонные ограничения в холодном климате; погрешности при физической рекомбинации проб. Требуется инновационный подход.

**Морские испытания скважин.** Наземная (палубная) обвязка для испытания скважины включает помимо сепаратора, теплообменник, штуцерный манифольд, насосы, накопительные емкости и другое громоздкое оборудование. Оно занимает много палубного пространства, требует большой бригады обслуживания, поэтому является дорогостоящим сервисом. Схема испытания на шельфе аналогична наземной, но есть ряд особенностей. Обязательным условием является наличие двух горелок для утилизации отходов испытания – на противоположных бортах морской установки. Применяются более строгие правила по контролю скважины и требования к оборудованию, уровню эмиссии УВ газа, и т.п. Для газовых скважин важно иметь в виду ограничения по максимальной скорости потока в трубах высокого давления – не более 30 м/с (для сухого газа), и не более 20 м/с при наличии жидкости или твердых примесей.

**Комплекс для газоконденсатных исследований.** Технологическое решение для испытания скважин и оптимизации добычи газового конденсата для ГКМ на арктическом шельфе более подробно описано в работах [2, 3]. Предлагаемая технология «MIKS» (Multiphase IsoKinetic Sampling) является альтернативой скважинному и сепараторному отбору проб и позволяет отбирать представительные пробы непосредственно из замерной линии расходомера. Комплекс для ГКИ состоит из

трех основных узлов – штуцерного манифольда, гомогенизатора смеси, установленного на байпасной линии, и многофазного расходомера. Последовательность операций MKS следующая. Перед началом отбора проб производится вывод скважины на режим, соответствующий выносу пластового флюида с максимальным КГФ. Оптимальный режим подбирается с помощью штуцерного манифольда с возможностью плавной регулировки и МФР, на котором в интерактивном режиме производится контроль расхода фаз, величины КГФ, а также давления и температуры смеси. Затем поток смеси пропускается через байпас с гомогенизатором для достижения изокINETического течения. После этого пробы под давлением можно отбирать в сосуды высокого давления (типа CSB, SSB), термодинамические условия в которых подбираются в соответствии с условиями в линии отбора. Такая технология будет идеально работать с любыми многофазными расходомерами проточного типа, поскольку точность их замеров в однородной смеси только повышается. Фазовые соотношения в потоке смеси измеряются гамма-фракциометром на атомарном уровне. Для физической рекомбинации полученных проб достаточно обычного кондиционирования проб в лаборатории на автоматической качалке при давлении выше пластового ( $P_{пл.} + 15$  МПа) и температуре не ниже пластовой в течение нескольких суток, чтобы проба вернулась в монофазное газовое состояние и была пригодна для исследования в PVT-ячейке. Поскольку проба отобрана в режиме потока с максимальной величиной КГФ, молекулярный состав этой эмульсии будет близок к составу пластового флюида. Через замерную линию проходит тот же самый флюид, что поступает в скважину из пласта, только в гомогенизированном виде.

Компактность, информативность и производительность системы открывает новые возможности для морских испытаний скважин, в частности, на арктическом шельфе, где особенно важна экономия бурового времени, оперативность и качество получаемых данных. Оперативность получения пластовых проб и процесса их физической рекомбинации позволит проводить PVT исследования в полевой лаборатории непосредственно на буровой платформе - для получения экспресс-результатов. Это значительно снизит затраты на транспортировку и хранение проб.

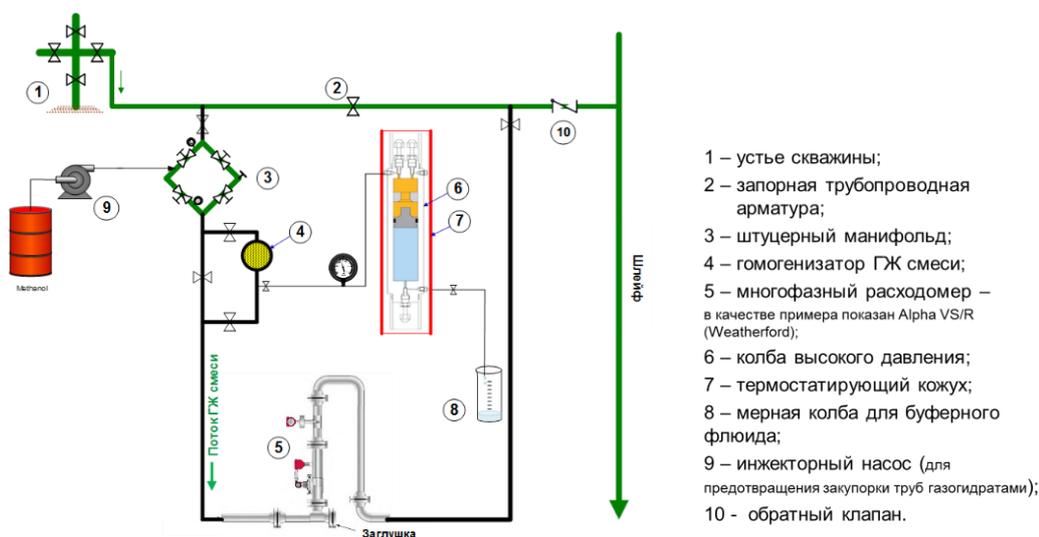


Рис. 2 – Схема комплекса ГКИ с многофазным расходомером для испытания скважин и изокINETического отбора проб

Таким образом, создание комплекса для газоконденсатных исследований позволит решить ряд важных проблем, связанных с разработкой ГКМ:

– Оптимизация добычи продукции путем подбора режима работы скважин с максимальным значением конденсатогазового фактора позволит повысить КИК

месторождений, снизить темпы накопления конденсатного барьера в пласте вокруг скважины.

– Отбор представительных проб пластового флюида в изокинетическом потоке многофазной смеси при максимальном значении КГФ обеспечит получение надежных данных PVT-исследований, необходимых для прогноза фазовых переходов в пласте, в скважине и в наземной инфраструктуре, для моделирования разработки ГКМ.

– Значительное снижение габаритов и веса наземной (палубной) обвязки для испытания скважин обеспечит экономию бурового времени, материальных и людских ресурсов.

*Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания по теме НИР ГИН РАН № гос.регистрации 122012700311-2 «Геотермические и гидрогеохимические аномалии в разнотипных тектонических обстановках».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лаверов Н.П., Дмитриевский А.Н., Богоявленский В.И. Фундаментальные аспекты освоения нефтегазовых ресурсов Арктического шельфа России // Арктика: экология и экономика. 2011. № 1. С. 26–37.
2. Муравьев А.В. Как повысить эффективность разведки и разработки месторождений углеводородов в Арктике? // Мониторинг. Наука и технологии, 2020. №1 (43). С.6–16. DOI: 10.25714/MNT. 2020.43.001.
3. Muravyev A.V. Gas condensate wells: challenges of sampling, testing and production optimization // Energies. 2022. v. 5 (15), p.5419. <https://doi.org/10.3390/en15155419>.
4. Bennion D.B., Thomas F.B., Schulmeister B. Retrograde condensate dropout phenomena in rich gas reservoirs – Impact on recoverable reserves, permeability, diagnosis, and stimulation techniques. // J. Can. Petr. Tech., 2001. V.40, No.12. P. 5-8. DOI: 10.2118/01-12-TN1.
5. Stewart G. Well Test Design and Analysis. // PennWell, Tulsa, 2011. 1544 p.
6. Никонов А., Пятов И., Крупцев А., Жуков С., Егорова Е., Ливойс Дж., Муравьев А. Освоение труднодоступных газоконденсатных месторождений: проблемы и решения // SPE-176660-RU, OnePetro, 2015.

#### **ЗАГРЯЗНЕНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГИПСА В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Наход В.А., Малов А.И., Зыкова Е.Н.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, Nakhod.Vitaliy@knauf.ru

Минеральное сырье (в том числе строительные материалы) является важнейшим компонентом ресурсного потенциала нашей страны. Ежегодная добыча многих видов строительных материалов сопоставима с годовой добычей угля и других полезных ископаемых. Месторождение гипса «Глубокое» в Архангельской области разрабатывается с 2008 г., и ежегодная добыча гипсового камня составляет 600 тысяч тонн. Вместе с тем, добыча гипсового камня – серьезное вмешательство в окружающую среду. Месторождение разрабатывается карьерным способом, а именно открытые горные разработки оказывают наиболее глубокое и зримое негативное воздействие на окружающую среду. При эксплуатации карьера происходит загрязнение атмосферы, поверхностных и подземных вод, растительности и почв выбросами газообразных и взвешенных веществ и сбросами сточных вод и отходов.

Естественно, на предприятии осуществляются необходимые мероприятия для снижения негативных воздействий. Для снижения пылеобразования при ведении горных работ в сухой теплый период года производится систематическое орошение взорванной горной массы, поверхности отвалов и автодорог, а также увлажнение перерабатываемого материала при подаче в приемный бункер дробильно-сортировочной установки и перед подачей готовой продукции на открытые складские площадки. Карьерные воды, сформированные за счет подземных вод и атмосферных осадков, собираются в специальный водосборник откуда откачиваются насосами за пределы карьера – в пруд-отстойник, где они осветляются. Для борьбы с ветровой эрозией на откосах и поверхностях отвалов вскрышных пород производится посев многолетних трав. Обязательным условием является и стандартный экологический мониторинг, выполняемый в соответствии со строительными нормами и правилами.

В данной работе была поставлена цель более глубокого научного исследования особенностей загрязнения окружающей среды при разработке месторождения гипсов с оценкой источников загрязнения, интенсивности переноса и видов переноса загрязнений в растворимой и нерастворимой формах. В качестве первого этапа было изучено распределение тяжелых металлов в снежном покрове, сформированном за зимний период вокруг действующего карьера. Актуальность данного исследования связана с тем, что в период снеготаяния все эти загрязнения будут разнесены тальми водами по окружающей территории и в конечном итоге попадут в поверхностные водоемы и водотоки, загрязняя воду и донные отложения и оказывая негативное воздействие на водных обитателей [1, 2].

#### **Материалы и методы исследования.**

Двенадцать проб снега были отобраны в марте 2023 года, то есть в конце зимнего периода и накопления снегового материала. Пробы были отобраны по четырем лучам, направленным от центра карьера на северо-восток, юго-восток, северо-запад и юго-запад, на расстояниях 250, 500 и 750 метров от границ карьера. Пробы отбирали непосредственно в лесу, не менее чем в 100 м от дорог, учитывая то, что поток транспорта в данном месте незначительный. Координаты точек отбора привязывались по JPS.

На каждой точке пробы снега отбирались методом «конверта» с площадки пять на пять метров в пластиковые ведра с помощью пропиленового совка. Глубина отбора проб определялась мощностью снегового покрова, которая составляла от 54 до 76 см. Нижние 5 см не опробовались, чтобы исключить попадание частиц растительности, дерна и почвы в пробу снега. Затем составлялась смешанная проба уплотненного снега объемом одиннадцать литров.

Затем пробы снега транспортировали в лабораторию и растапливали в емкостях, в которых он был отобран, при температуре 20 °С. Непосредственно в талой воде измерялись значения общей минерализации и водородного показателя с помощью кондуктометра «Mettler Toledo FiveGo F3» и рН-метра «Hanna Instruments 9124».

Для анализа растворимой формы тяжелых металлов пробы талой воды отфильтровывали через ацетатную целлюлозу с размером пор 0,45 мкм в полипропиленовые пробирки с крышечкой емкостью 50 мл, консервировали особо чистой азотной кислотой и передавали на анализ. Для того чтобы отфильтровать нерастворенные частицы, использовали предварительно взвешенный и высушенный в сушильном шкафу фильтр «синяя лента» диаметром 90 мм. Фильтрацию проводили при помощи вакуумного насоса на воронке Бюхнера. Затем фильтр высушивали в сушильном шкафу при 105 °С, помещали в эксикатор для стабилизации массы, взвешивали и вычисляли массу осадка. Затем фильтры, содержащие нерастворимые (твердые) фракции, обрабатывали кислотной экстракцией растворением в 2 мл азотной кислоты и 1 мл перекиси водорода в закрытых тefлоновых чашках при 95 °С. Концентрации металлов во фракции взвешенных (нерастворенных) частиц снега

относили к отфильтрованному объему водного эквивалента.

Определялись в обеих фракциях Ti, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Mo, Pb, V, As, Sb, Fe, U. Оба вида анализа проводились в ЦКП НО «Арктика» Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова методом ИСП - МС (прибор «Aurora Elite» фирмы Bruker Daltonics, Inc) с погрешностью  $\pm 0,005$  мкг/л.

#### Результаты исследования и их обсуждение.

Значения суммарной концентрации тяжелых металлов за исключением Ti, Fe в нерастворимой форме колеблются в интервале от 0,066 до 1,774 мкг/л. В сумме с содержаниями Ti и Fe эти показатели вырастают от 0,491 до 9,831 мкг/л.

Значения суммарной концентрации тяжелых металлов за исключением Ti, Fe в растворимой форме колеблются в интервале от 17,9 до 42,7 мкг/л. В сумме с содержаниями Ti и Fe эти показатели вырастают от 23,8 до 67,1 мкг/л.

Валовая концентрация варьирует в пределах от 25,06 до 67,71 мкг/л. Относительно высокие значения отмечаются в точках, находящихся ближе к карьере: 67,72 и 45,03 мкг/л. Наиболее низкие значения отмечены в удаленных точках 27,67 и 25,06 мкг/л (рисунок 1).

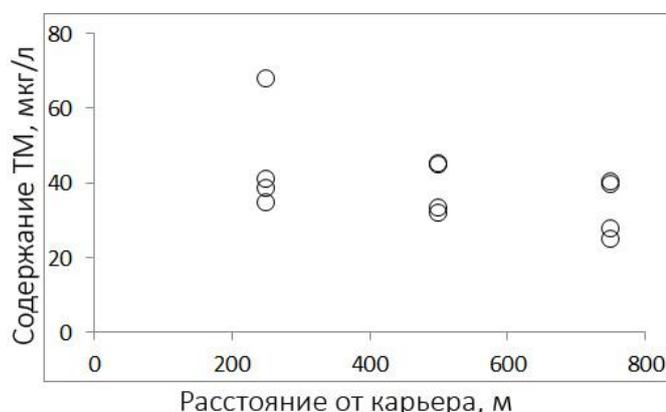


Рис. 1 - Распределение валовых концентраций тяжелых металлов (ТМ) в снеге в зависимости от расстояния до карьера

Полученные в данном исследовании результаты показали, что в снежном покрове ландшафтов в зоне влияния разработки месторождения гипса преобладают водорастворимые микроэлементы. Массовая доля элементов в составе нерастворимой фракции талой воды для данных элементов значимо меньше.

Если мы обратим внимание на процесс добычи гипсового камня, то здесь можно отметить, что на всем протяжении процесса горных работ образуется мелкодисперсная гипсовая пыль (буровые, взрывные работы, процессы дробления и классификации гипсового камня, а также погрузка в транспортные сосуды и транспортировка). Данная пыль абсорбирует на себе подвижные формы металлов, образующиеся при производственных процессах.

Содержания тяжелых металлов в снежном покрове сравнивались с ПДК для объектов рыбохозяйственного значения [3] и для поверхностных вод [4]. Основываясь на полученных данных превышение ПДК для объектов рыбохозяйственного значения было установлено по следующим металлам: Cu, Zn, Mo, Pb и V, также повышенное содержание в пределах от 0,5 до 1 ПДК зафиксировано по Mn для объектов рыбохозяйственного значения и Pb для поверхностных вод. На основе полученных удельных концентраций в моделирующей программе Surfer 8.0 построены пространственные распределения микроэлементов на исследуемой территории (рисунок 2).

Распределения демонстрируют неравномерность рассеяния микроэлементов: Mn, Zn, Cu, Mo, Pb, V - обусловленное влиянием техногенных источников металлов горнодобывающего предприятия.

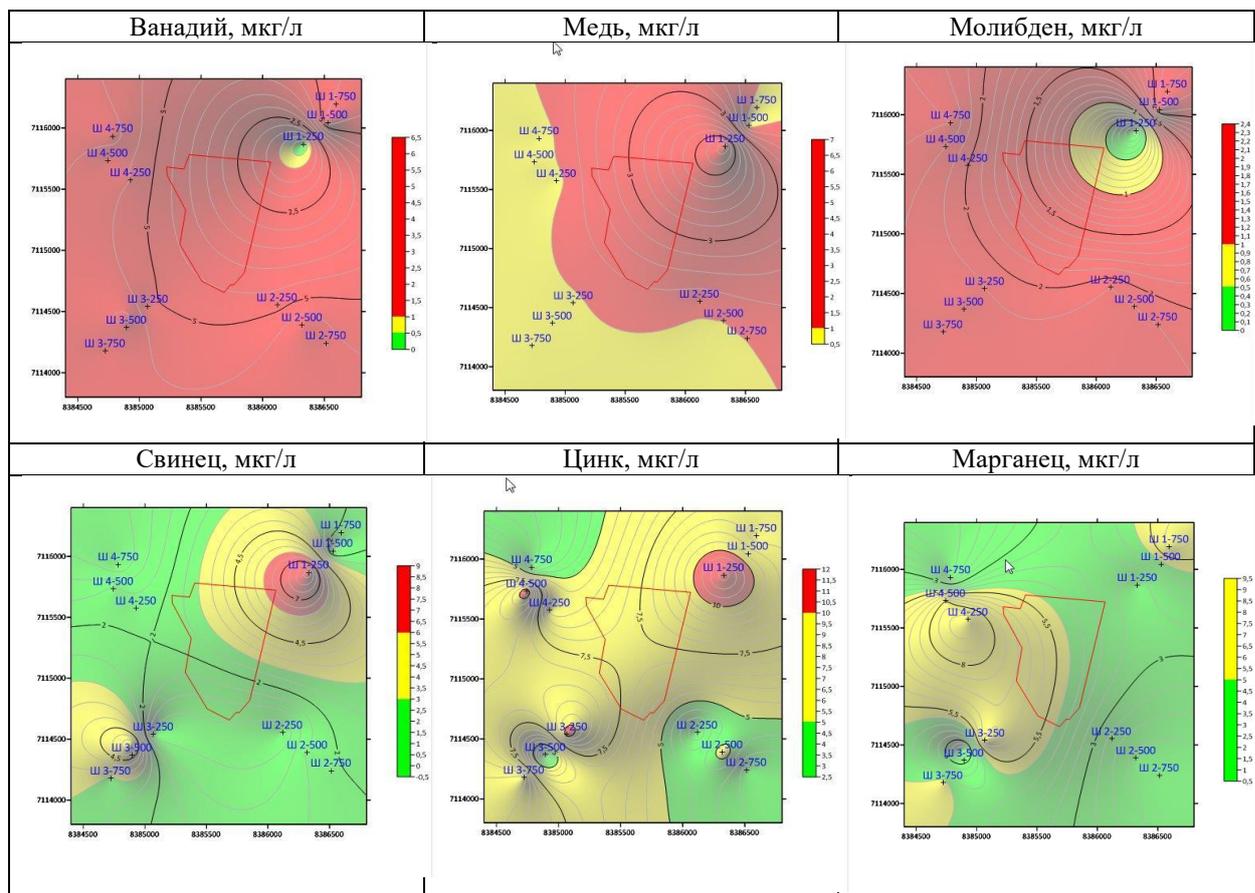


Рис. 2 - Пространственные распределения тяжелых металлов в точках отбора проб снега вокруг месторождения гипса в Холмогорском районе Архангельской области, мкг/л. Красным цветом показаны превышения ПДК для рыбохозяйственных водоемов

Вместе с тем, концентрации марганца на уровне 10-15 мкг/л характерны для небольших рек Архангельской области, имеющих болотное питание [5]. Марганец, как и железо, принадлежит к числу элементов, окисленные формы которых гораздо менее растворимы, чем восстановленные. Однако для окисления марганца необходимы гораздо большие значения окислительно-восстановительного потенциала. Образование окисленных форм марганца в околонеutralных водах возможно только при  $Eh > +600$  мВ [6]. По результатам анализов,  $Eh$  талых вод изменяется в интервале от 203 до 345 мВ. Кроме того, условиями, благоприятными для увеличения концентрации марганца в подземных водах являются рост концентрации  $CO_2$  и уменьшение pH, которое в талой воде составляет в среднем 5.11, изменяясь от 3.71 до 8.35. Низкая минерализация талых вод (3.13-6.23 мкг/л) обуславливает их высокую неравновесность по отношению практически ко всем минералам осадочных пород района, содержащих марганец в качестве примеси.

Молибден также может иметь природное происхождение, и переходить в воду за счет выщелачивания из алюмосиликатных пород (Na-монтмориллонита, альбита) [1]. В Мурманской области установлено широкое распространение молибденита в рудах Хибинского горного массива [7]. Повышенные его концентрации характерны и для поверхностных вод [8]. Общеизвестно, что в последний ледниковый период продукты выветривания пород Балтийского щита были перенесены на территорию Архангельской области и отложены в виде сплошного покрова моренных суглинков с галькой и валунами кислых и основных пород. Нужно также отметить, что критерии качества воды для молибдена для защиты пресноводных организмов находятся в диапазоне от 73 мкг/л в Канаде до 19 мкг/л в Неваде, США [1].

Влияние Мурманской области отмечается и в отношении меди, где она в большом количестве поступает в атмосферу в результате деятельности медно-никелевых комбинатов в городах Мончегорск и Никель [9].

Техногенная природа повышенных концентраций свинца, ванадия и цинка наиболее предпочтительна в исследованном районе [10].

### **Заключение**

Выполненные исследования показали, что концентрации тяжелых металлов в пробах снега вокруг разрабатываемого карьера гипсов убывают в следующей последовательности: Fe>Zn>Mo>Mn>Pb>Sb>V>Cr>Cu>As>Ti>Ni>Co. В растворимой форме концентрации практически всех элементов были значительно выше, чем в нерастворимой. Концентрации меди, цинка, молибдена, свинца и ванадия в растворимой форме превышали ПДК для объектов рыбохозяйственного значения. В одной из проб содержание свинца было около ПДК для водоемов, используемых для хозяйственно-бытовых нужд.

Предварительный анализ показал, что марганец может иметь природное происхождение, а молибден и медь связаны с разработкой месторождений полезных ископаемых Кольского полуострова (атмосферный перенос). Техногенная природа повышенных концентраций свинца, ванадия и цинка наиболее предпочтительна за счет их источников непосредственно в исследованном районе.

В дальнейшем планируются исследования в летний период распределения концентраций тяжелых металлов в поверхностных водах, донных отложениях и почве вокруг разрабатываемого карьера.

*Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (проект № 122011300333-1; тема FUUW-2022-0043).*

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Malov A.I. Transformation of the chemical composition of surface waters in the area of the exploited Lomonosov diamond deposit (NW Russia). Environ. Sci. Pollut. Res. 2018. Vol. 25. P. 33620–33636. DOI: 10.1007/s11356-018-3308-0.
2. Yakovlev E.Yu., Malov A.I., Druzhinin S.V., Zykov S.B., Malkov A.V., Bedrina D.D. Heavy metals distribution and environmental risk assessment in river sediments in the area of the Lomonosov diamond deposit (NW Russia). Environ. Sci. Pollut. Res. 2020. Vol. 27. P. 35392–35415. DOI:10.1007/s11356-020-09809-7.
3. ГН 2.1.5.1315-03. Гигиенические нормативы. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Минздрав России. 2003. Москва.
4. Приказ Федерального агентства по рыболовству от 18 января 2010 г. № 20 «Об утверждении нормативов качества воды для объектов водного рыболовства, в том числе норм предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ в водах объектов водного рыболовства». Москва.
5. Malov A.I., Sidkina E.S., Ryzhenko B.N. Model of the Lomonosov Diamond Deposit as a Water–Rock System: Migration Species, Groundwater Saturation with Rock-Forming and Ore Minerals, and Ecological Assessment of Water Quality. Geochem. Int. 2017. Vol. 55-12. P. 1118-1130. DOI: 10.1134/S0016702917090038.
6. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М. Геохимия подземных вод. 2012. Москва: Наука.
7. Яковенчук В.З., Иванюк Г.Ю., Пахомовский Я.А., Меньшиков Ю.П. 1999. Минералы Хибинского массива. Москва: Земля.
8. Сулименко Л.П., Кошкина Л.Б., Мингалева Т.А., Макаров Д.В., Маслобоев В.А., 2015. Исследование миграции молибдена в водных средах ландшафта Хибинского массива для разработки природоохранных мероприятий. Вестник МГТУ. 18-2, 345-355.

9. Котова Е.И., Коробов В.Б., Шевченко В.П., Иглин С.М. Экологическая ситуация в устьевой области реки Северной Двины (Белое море). Успехи современного естествознания. № 5. 2020. С. 121-129.

10. Малов А.И. Оценка фонового состояния и антропогенного загрязнения тяжелыми металлами почв и донных отложений Юго-Восточного Беломорья. Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2000. №2. С. 144-149.

## **ТЕРМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ АНТРАКСОЛИТОВ В РАЙОНЕ ПАЙХОВСКО-НОВОЗЕМЕЛЬСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ**

*Никитин Д.С., Прикащикова Е.Л., Белых О.С.*

Геологический институт РАН, г. Москва, ndsnomination@mail.ru

Антраксолиты являются миграционными продуктами, по характеру взаимоотношений с вмещающими породами и ряду других признаков непременно несут на себе следы их бывшего перемещения, образуют тела разнообразной формы и различного масштаба, на момент наблюдения являются твердым веществом. Ввиду того, что состав антраксолитов включает «биофильные» элементы - углерод (С), водород (Н), кислород (О), азот (N) и серу (S) - (исключая примесные элементы), а особенно некарбонатный углерод (часто более 90%), можно однозначно утверждать, что вещество антраксолитов представляет собой результат глубокой трансформации углеводородов и смежных соединений, прежде всего нефти.

Согласно своему происхождению, антраксолиты подразделяются на две основные категории: тектоногенные, образованные на месте (*in situ*), и пирогенные, которые образовались в результате миграции и повторного осаждения под воздействием гидротермальных условий. Относительно степени метаморфизации, прямо коррелирующей с продолжительностью и сложностью превращения битумного вещества, антраксолиты классифицируются на низкие, средние и высокие уровни [1, 2].

С точки зрения генетических классификаций антраксолиты принадлежат к термально-метаморфическому ряду, в котором всего два члена — кериты (слабо растворимые в органических растворителях) и антраксолиты; классы тех и других в свою очередь разделяются на подклассы. Кериты и антраксолиты представлены также в ряду асфальтенитовых битумов, где являются продуктами глубокой дифференциации и деасфальтенизации нефти. В отличие от представителей термальнометаморфического ряда, в данном случае для образования антраксолитов особенно высоких температур не требуется, достаточно 180–200 °С. Широко известна генетическая классификация природных битумов, разработанная В. А. Успенским, О. А. Радченко, Е. А. Глебовской и др. (1961) и затем усовершенствованная. В ней антраксолиты представлены как продукт обуглероживания широкого спектра битумов, ведущих свое начало либо от нефти (нафтиды), либо от нафтоидов («текто- и пиронафтоиды»).

Твердые битумы обычно исследуются в контексте нефтегазоносности и металлогении регионов. В нефтегазоносных бассейнах антраксолиты встречаются в породах, где происходит миграция углеводородов, в коллекторах нефти и в породах, которые действуют как барьеры для флюидов (флюидоупоры). Изучение антраксолитов в данном случае позволяет оценить время миграции и накопления исходной нефти, состояние ее залежей, изменения в свойствах коллекторов и другие аспекты. Исследование антраксолитов необходимо также для понимания закономерностей преобразования органического вещества при достаточно высоких температурах.

Битумы также встречаются на месторождениях свинца, цинка, ванадия, редких земель, ртути и урана. Изучение битумов позволяет понять последовательность отложения руд и роль органических веществ в процессе осаждения металлов. Антраксолиты могут быть использованы в качестве индикаторов условий формирования рудных месторождений.

Антраксолиты часто соотносятся с рудными месторождениями, образовавшимися гидротермальным путем. Проявления антраксолитов распространены как в нефтегазоносных бассейнах, так и в реликтовых палеобассейнах докембрия. В данном контексте исследование антраксолитов приобретает важное научное значение, особенно в контексте восстановления истории формирования рудных и нефтяных месторождений. Это, в свою очередь, может иметь существенные прогностические последствия.

Географическое и геологическое распространение антраксолитов обширно: они наблюдаются на всех континентах, охватывая всю область осадочных отложений и кристаллического фундамента. Проявления антраксолитов так или иначе сопровождают формации, обогащенные органическим веществом, а именно нефтегазоматеринскими, в случаях, когда эти образования сопровождаются процессами глубокого катагенеза, метаморфизма, интрузивного магматизма и постагматической гидротермальной активности. Одной из ключевых территорий, где происходит распространение антраксолитов на территории России, является Пайхойско-Новоземельская складчатая область [3-6] (рис. 1).

На этой территории выделяются четыре вторичные структуры (с юга на север): Пайхойский антиклинорий, Вайгачско-Южноземельский антиклинорий, Кармакульский синклинорий и Североновоземельский антиклинорий. Все эти складчатые мегаструктуры характеризуются относительно простым геологическим строением, обусловленным непрерывностью палеозойских отложений, сочетанием симметричных линейных складчатости и брахиформных складок и преобладанием субогласных разрывных нарушений [7]. По современным данным, рассматриваемые складчатые структуры сформировались в период с пермского по меловые периоды включительно, то есть 100 млн. летпозжеуральского орогена [8].

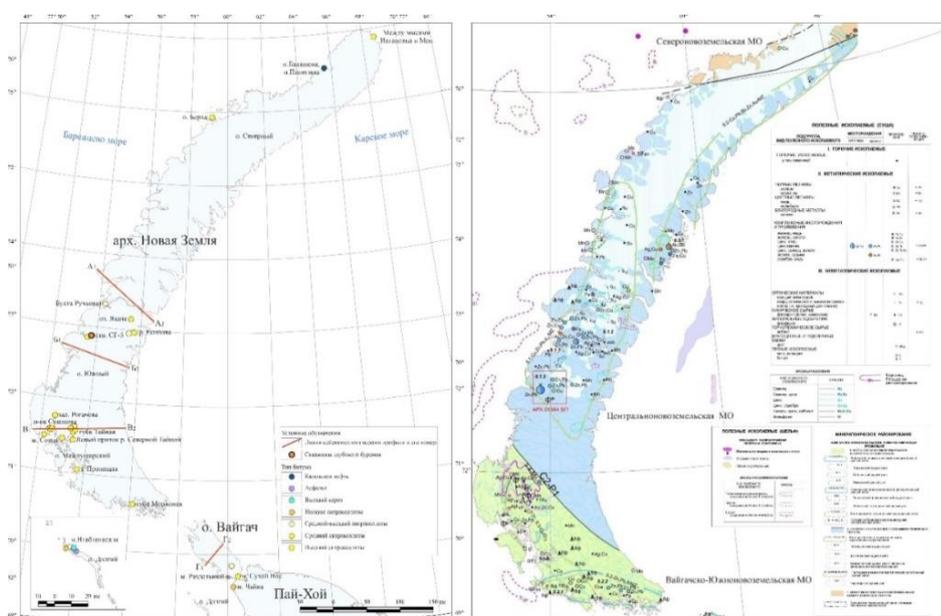


Рис. 1 – Справа - Пункты находки природных битумов на архипелаге Новая Земля, о-ве Вайгач, Пай-Хое и о-ве Долгий. Слева – Схема металлогенического районирования архипелага Новая Земля

Выявленные к настоящему времени многочисленные проявления антраксолита в пределах Пайхойско-Новоземельской складчатой области, приурочены в основном к

зонам развития полиметаллической минерализации (см. рис. 1). Проявления твердых природных битумов в пределах Новоземельской складчатой области, куда относятся арх. Новая Земля, о-в Вайгач и Пай Хой, связывают с различными типами гидротермальной минерализации, а также тектоническими процессами [9]. Находки антраксолитов приурочены к терригенно-карбонатным толщам силурийского, девонского и каменноугольного возрастов.

Степень катагенетической преобразованности средне-верхнепалеозойских отложений юга о-вов Новая Земля достаточно высокая, что косвенно подтверждается широким распространением в них антраксолитов. Наибольшее количество проявлений антраксолитов приурочено к нижне-среднедевонским, наиболее богатым ОВ толщам в южной части о-ва Новая Земля. Однако эти отложения в значительной степени преобразованы до стадии катагенеза АК<sub>1-2</sub> и, по всей видимости, реализовали свой нефте- и газоматеринский потенциалы. По-видимому, ОВ рассматриваемых толщ в ходе геологической истории потеряло 99% миграционно-способных дериватов [10].

В северной зоне единственное локализованное проявление антраксолитов обнаружено на о-ве Шмидта. Самое северное битумопроявление расположено между мысами Мон и Йогансена, здесь в порых доломитизированных силурийских известняках, выполненных кальцитом, наблюдался антраксолит. На о-ве Вайгач проявления антраксолитов связаны с галенит-сфалеритовым типом минерализации.

Из всех проявлений твердых битумов архипелага Новая Земля выделяется единственное проявление жидкого битума типа мальты в породах верхнедевонского возраста в районе п-ва Балашов [11]. Впервые это проявление было описано в 1933 г. И.Ф. Пустоваловым. По геохимическим данным мальты с п-ва Балашов представляют собой первично миграционные образования. Предполагается, что материнскими толщами в данном случае служили темно-серые известковистые алевритовые сланцы [11]. Их появление обеспечено благоприятным сочетанием материнских пород, ОВ которых достигло оптимального катагенеза (не выше МК<sub>2</sub>) и пород-коллекторов. Обнаружение на мысе Балашова первично-миграционных битумов свидетельствует о том, что генерационный потенциал нижнедевонских отложений в этом районе далеко не исчерпан.

На о. Долгий битумопроявления выявлены лишь в двух районах и в небольших количествах. В 1975 г И.С. Гольдбергом были обнаружены антраксолиты в трещинах, залеченных кальцитом и флюоритом, секущих битуминозные известняки верхнесилурийского возраста. В породах нижнекаменноугольного возраста наблюдались примазки желтого и коричневого битума типа асфальта в микропорах и по спайности кристаллов кальцита, доломита в пористых известняках.

**Метод.** Программное обеспечение и методика термического моделирования подробно нами была описана во многих публикациях [12-14]. Спецификой задания теплофизической структуры моделей в пределах исследуемой территории было сочетание на одном геотраверсе участков акваторий и островов, что сопровождалось чередованием температурных краевых условий на верхней границе моделей, характерных для температуры на дне акваторий или на границе «нейтрального слоя» на острове.

**Обсуждение результатов.** На архипелаге Новая Земля в настоящее время проводится освоение свинцово-цинкового месторождения «Павловское» на Южном острове в бассейне реки Безымянная. В комплекс работ входят геоморфологические, гидрогеологические, инженерно-геологические и геофизические исследования, а также поисково-разведочное бурение, в том числе, глубоких скважин. Можно надеяться, что в процессе изысканий в этом районе будут обнаружены новые проявления природных битумов, так как редкие находки антраксолитов в этом районе уже имеются.

В скважине СГ-5 на месторождении «Павловское» был измерен тепловой поток [Никитин, Хуторской, 2018]. Это было первое измерение на Новой Земле. Скважина СГ-5 была пробурена до глубины 490 м. В нее была размещена термодатчик, имевшая

вдоль кабеля 20 датчиков температуры. Скважина прошла всю криолитозону и на глубине 240 м был зафиксирован переход от отрицательных к положительным температурам. На забое скважины была зафиксирована температура 3,9°C. При расчете теплового потока учитывалось значение геотермического градиента при равновесном режиме температур в стволе скважины и в окружающем массиве горных пород. Для определения теплопроводности и величины радиогенной компоненты теплового потока проанализирована представительная коллекция из образцов керна этой скважины. Таким образом, мы констатируем, что полученное значение теплового потока – 46 мВт/м<sup>2</sup> можно считать фоновым для западной части архипелага.

При численном моделировании геотемпературного поля вдоль профилей (рис. 2) это значение задавалось как нижнее граничное условие второго рода на глубине 4 км. На верхней границе области моделирования, совпадающей с рельефом вдоль профиля, задавалась температура -1°C, зафиксированная в устье скважины СГ-5. В результате численного моделирования установлено, что температура на глубине 4 км составляет всего 60-65°C. Это существенно более низкая температура, чем на архипелаге ЗФИ, где на той же глубине отмечалась температура 100-120°C. Этот факт объясняется более низким тепловым потоком на Новой Земле (46 мВт/м<sup>2</sup>) по сравнению с ЗФИ (79-80 мВт/м<sup>2</sup>).

Природа понижения теплового потока на Новой Земле связана с геодинамической обстановкой геологического прошлого. Здесь произошло «экранирование» глубинного теплового потока аллохтонной литосферной пластиной, надвинутой со стороны палеоокеана при его закрытии в позднем палеозое. Заметим, что аномально низкий тепловой поток в Уральском складчатом поясе объясняется именно этим, что подтвердило проведенное эволюционное геотермическое моделирование. Редкие находки антраксолитов приурочены к локальным зонам в узких бухтах на о-вах Южный, Долгий и Вайгач, которые, собственно, и образовались из-за разломной тектоники. Находки природных битумов, вероятнее всего, объясняются гидротермальной деятельностью, которая генетически связана с разрывом сплошности массивов пород.

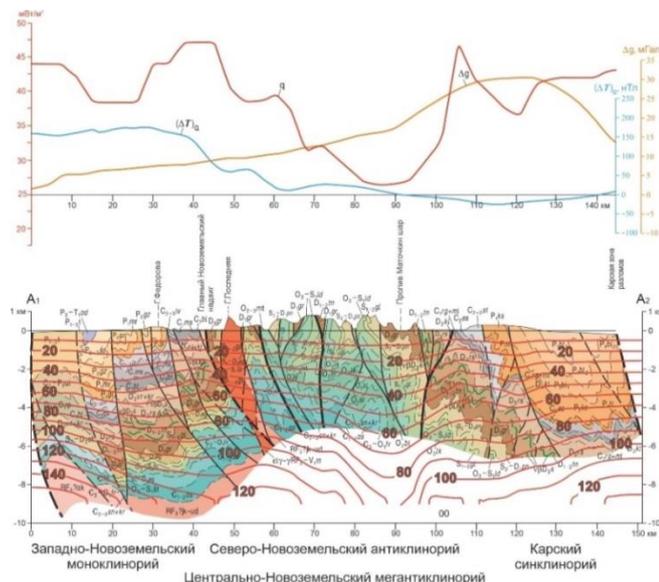


Рис. 2 – Распределение температур (°C), плотности теплового потока (мВт/м<sup>2</sup>), гравитационного и магнитного поля вдоль профиля А1-А2 на архипелаге Новая Земля (расположение профилей см. рис. 1)

**Выводы.**

Многочисленные находки жидких твердых природных битумов в районе Пайхойско-Новоземельской складчатой области свидетельствуют об активном

гидротермальном процессе, происходившем здесь в геологическом прошлом и, вероятно, продолжающимся в недавней геологической истории. По локализации находок природных битумов можно проследить действие гидротерм, пронизывающих скопления углеводородов. Процесс гидротермальной разгрузки сопровождал, а порой и способствовал формированию структурно-геологических обстановок

Вместе с веществом гидротермы адвективно выносят большое количество энергии, повышая температуру окружающих пород и изменяя их геотермические характеристики по сравнению с фоновыми значениями. Тепловое поле при гидротермальной разгрузке приобретает большую энтальпию и нестационарный характер. Температура в недрах и плотность теплового потока изменяются в зависимости от тепло- и температуропроводности среды, так что фиксируемые величины геотермических параметров – это результат суперпозиции всех тепловых воздействий: как генерации тепла, так и его расхода на прогрев окружающей среды и на излучение в тропосферу. Это обуславливает важность проведения геотермических исследований в районах распространения продолжительного гидротермального процесса, в том числе там, где этот процесс маркируется вещественными признаками. Появление природных битумов, приуроченных к разломам и проницаемым зонам, один из таких признаков.

*Работа выполнена в рамках Госбюджетной темы № 122012700311-2 и при финансовой поддержке гранта РНФ № 23-17-00019 «Тепловой поток и глубинные температуры в разнотипных тектонических структурах Северной Евразии».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черевко Н.К., Филиппов М.М. Высшие антракосолиты // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН, 2004. № 5. С. 5–8.
2. Черевко Н.К., Филиппов М.М., Голубев Е.А. Антракосолиты нафтидного, нафтидонафтoidного и нафтoidного рядов природных битумов // Углерод. Минералогия, геохимия, космохимия. Материалы Международной конференции. Сыктывкар: Геопринт, 2003. С. 113–115.
3. Клубов Б.А., Безруков В.М. Антракосолиты Новой Земли // Советская геология, 1992. № 4. С.55-64.
4. Силаев В.И. Минералогия и генезис стратиформной сульфидной минерализации. Л.: Наука, 1982. 234 с.
5. Черевко Н.К. Твердые битумы европейского северо–востока России. Екатеринбург: УрО РАН, 1999. 101 с.
6. Юшкин Н.П. Опыт среднемасштабной топоминералогии (Пайхойско-Южноновоземельская минералогическая провинция). Л.: Наука, 1980. 376 с.
7. Каленич А.П., Орго В.В., Соболев Н.Н. и др. Новая Земля и остров Вайгач. Геологическое строение и минералогия. СПб: Изд–во ВНИИ Океангеология, 2004. 174 с.
8. Тимонин Н.И. Юдин В.В., Беляев А.А. Палеогеодинамика Пай-Хоя. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 260 с.
9. Черевко Н.К. Твердые битумы Европейского Северо-Востока России. Екатеринбург: КомиНЦ РАН, 1999. 101 с.
10. Клубов Б.А., Безруков В.М. Антракосолиты Новой Земли // Сов. геология. 1992. № 4. С. 55–64.
11. Клубов Б.А., Кораго Е.А. О природе жидких битумов севера Новой Земли. Докл. АН СССР, т.315, № 4, с. 925-928, 1990.
12. Хуторской М.Д., Подгорных Л.В., Грамберг И.С., Леонов Ю.Г. Термотомография Западно-Арктического бассейна // Геотектоника. 2003. № 3. С. 79–96.

13. Хуторской М.Д., Вискунова К.Г., Подгорных Л.В., Супруненко О.И., Ахмедзянов В.Р. Геотемпературная модель земной коры Баренцева моря: исследования вдоль геотраверсов // Геотектоника. 2008. № 2. С. 36–54.
14. Хуторской М.Д., Ахмедзянов В.Р., Ермаков А.В. и др. Геотермия арктических морей. М.: ГЕОС, 2013. 232 с. (Тр. ГИН РАН. Вып. 605).

## **СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ О. ЗЕМЛЯ АЛЕКСАНДРЫ И СЕЙСМИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ АРХИПЕЛАГА ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА**

*Овсяченко А.Н.<sup>1</sup>, Жостков Р.А.<sup>1</sup>, Прокопович И.В.<sup>2</sup>, Едемский Д.Е.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, ovs@ifz.ru

<sup>2</sup>Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им.

Н.В. Пушкова РАН, г. Троицк

Хорошо известно, что период сейсмологических наблюдений в Арктике крайне непродолжителен для выявления всех сейсмоактивных структур и оценки их сейсмического потенциала (силы и повторяемости возможных землетрясений). По этой причине в последние десятилетия бурно развиваются палеосейсмологические исследования [1]. Они основаны на фактах обнаружения в эпицентральных зонах современных землетрясений многочисленных следов древних сейсмических катастроф (палеосейсмодислокаций). Это позволяет обнаруживать такие следы в других местах, получать параметры древних землетрясений и, на этой основе, делать долгосрочный сейсмический прогноз.

По результатам обобщения данных радиоуглеродного датирования поднятых морских террас, проведенным предшествующими исследователями, архипелаг Земля Франца-Иосифа (ЗФИ) показывает быстрое поднятие в голоцене (последние 10 тыс. лет) со скоростью 4-8 мм/год, что свидетельствует о высокой современной тектонической активности региона в целом [2]. При этом уровень современной сейсмической активности здесь низкий. Систематический сейсмический мониторинг Западно-Арктического региона России возобновился с 2012 г. за счет становления Архангельской сейсмической сети [3]. За этот период сосредоточенную сейсмическую активность продемонстрировали континентальный склон и обрамляющие архипелаг ЗФИ крупные грабены близмеридионального простирания. При повторяемости сильных землетрясений в сотни и тысячи лет такого небольшого промежутка времени недостаточно для выводов об уровне реальной сейсмической опасности.

Сейсмо тектонические исследования на Земле Александры выполнены в 2021-2023 гг. в целях изучения сейсмической опасности и опробования методических приемов геолого-геофизических исследований проявлений активной тектоники в условиях Арктики с определением их региональных ограничений и возможностей. Конкретный набор методов включил: дистанционное, геоморфологическое и палеосейсмологическое картирование следов сильных палеоземлетрясений в рельефе и молодых отложениях; аэрофотосъемку с построением фотопланов и цифровых моделей рельефа ключевых участков; микросейсмическое зондирование для изучения глубинного строения; георадарное профилирование с получением разреза молодых отложений на участках предполагаемых активных разломов.

Идентификация сейсмических очагов наиболее однозначна при выявлении сейсмо тектонических разрывов – импульсных смещений древней дневной поверхности, маркирующих собой выход очага сильного землетрясения на поверхность в зоне

активного разлома. Такие структуры были выявлены в центральной части о. Земля Александры (рис. 1).

В северо-западном основании мыса Двойной прослежена серия сейсмотектонических рвов и уступов, изученных георадарным профилированием на глубину около 20 м. Разрывы представлены рвами и уступами, нарушающими молодые формы рельефа – поверхность низкой морской террасы, борта и русло долины ручья. На георадарных профилях они представлены разрывами осей синфазности, резкими изменениями направления или смещения по вертикали осей синфазности, резкими изменениями текстуры волновой картины отражений вдоль профиля. Наиболее ярко проявлен разрыв, разделяющий разные георадарные комплексы в коренных породах и образующий резкий уступ в подошве молодых аллювиально-пролювиально-морских наносов.

Этот разрыв проявлен в коренных базальтах, где образует раскрывающуюся кверху, цветкообразную структуру, в осевой части заполненную обломочным материалом на глубину около 2 м. Цветкообразная система разрывов в поверхности коренных пород (цоколе позднеголоценовой морской террасы) образует серию опущенных ступеней, фиксирующих тектонические деформации, произошедшие после образования террасы. Морфология разрывов указывает на сдвиговую кинематику смещений.

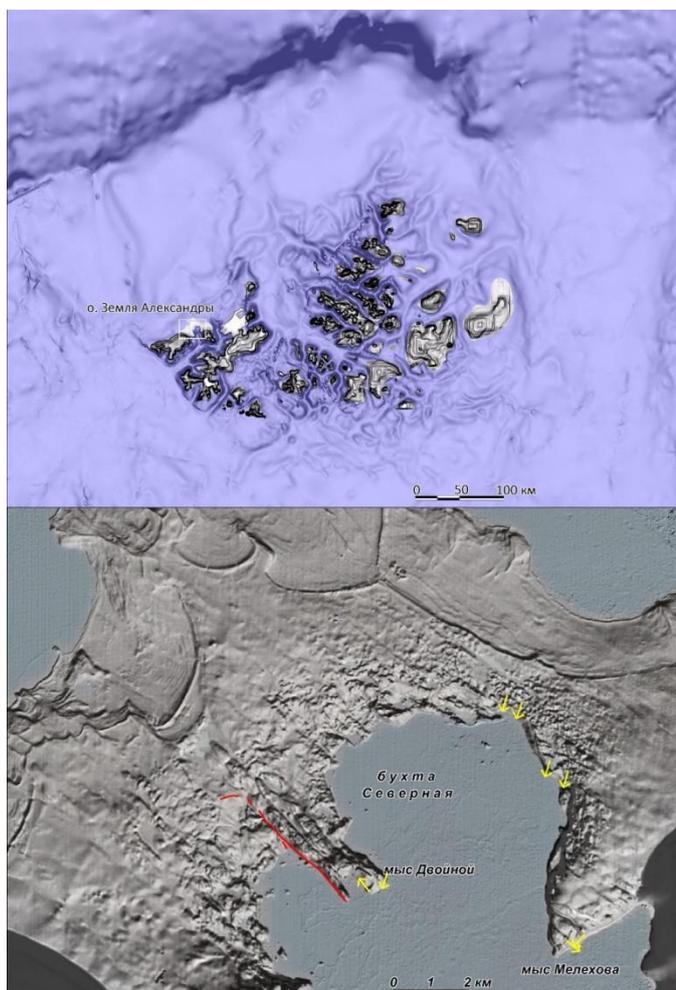


Рис. 1 – Рельеф Земли Франца-Иосифа, прилегающих участков шельфа и континентального склона с положением района исследований (белый квадрат). Внизу – схема изученных сейсмотектонических разрывов (красные линии) и деформаций выброса с направлением сейсмического воздействия (желтые стрелки)

В результате молодого тектонического смещения на пересечении с тектоническим рвом произошла перестройка долины – старое, прямое русло было брошено, а ручей потёк в новом, каменистом русле, отклонившись примерно на  $60^\circ$ . Выявленные признаки определённо указывают на наличие здесь активного разлома со следами импульсных сейсмотектонических смещений в позднем голоцене.

В случае, если в рассматриваемом районе действительно расположен потенциальный сейсмический очаг и здесь происходили сильные землетрясения, то это должно было приводить и к образованию вторичных сейсмогенных нарушений рельефа (палеосейсмодислокаций), вызванных сейсмическими сотрясениями. Такие исследования дают дополнительную, а в некоторых случаях и единственную возможность для оценки параметров палеоземлетрясений.

Вторичные палеосейсмодислокации представлены преимущественно деформациями встряхивания и выброса (в терминологии А.А. Никонова [4]). Деформации выброса отражают перелеты глыб по траекториям разной крутизны, возникающие, когда локальные пиковые ускорения грунта мгновенно превышают ускорение силы тяжести. Деформации встряхивания возникают при воздействии сейсмических волн за счет нарушения прочностных свойств, структурных связей и сплошности пород. Подобные деформации могут быть представлены трещинами с характерными сдвигами или разворотами в вертикальной или горизонтальной плоскостях, расселинами, структурами «расседания» скальных гребней и выступов склонов (гравитационно-сейсмотектонические нарушения). Необратимые смещения блоков пород возникают вдоль существующих неоднородностей – разрывов, трещин или слоёв в результате инерции горных масс при резких сейсмических колебаниях или сейсмотектонических рывках горных массивов.

Деформации выброса представлены глыбами, отброшенными от скальных обрывов в благоприятных геоморфологических условиях – тыловых швах цокольных морских террас, в которых обнажены прочные базальты нижнемелового возраста. Замеры выполнены на 8-ми участках. Выбросы происходили либо в направлении сейсмического удара, либо (на окончании мыса Двойной) по инерции в обратном направлении в результате колебаний выступающего скального гребня (рис. 2).



Рис. 2 – Пример деформации выброса на м. Двойной. Фрагмент скального гребня (глыба  $2 \times 2$  м) был отколот и отлетел в горизонтальном направлении на 3.5–4 м

Они обнаруживают систематическую направленность – в ЮЮЗ направлении, испытывая незначительное отклонение на мысе Мелехова. Систематические направления выброса глыб могут указывать направление на очаг землетрясения. Более значительное отклонение наблюдается в центральной части мыса Двойной, что может означать близость к очагу землетрясения. В некоторых случаях устанавливаются две генерации выбросов, что указывает на два землетрясения. Особое место занимают гравитационно-сейсмотектонические нарушения. Наиболее распространенные формы рельефа такого типа – привершинные рвы, обратные уступы на склонах хребтов (с поднятыми подгорными крыльями и опущенными вершинами), сдвиги гребней водоразделов и закрытые мелкие впадины в пределах рвов. Нарушения подобного типа расположены на мысе Мелехова (рис. 3). Окончание мыса рассечено гигантскими расселинами (рвами) двух основных направлений: СВ и ССЗ. Максимальными размерами отличаются рвы СЗ ориентировки, пересекающими весь мыс. Глубина наиболее крупного рва достигает 15 м при ширине до 100 м, длине около 1.1 км. На ЮВ фланге этот ров перегорожен валом поперечной ориентировки и кулисообразно смещаясь к югу, подставляется следующим рвом. Такая морфология свидетельствует о горизонтальной, левосдвиговой компоненте смещений. Рвы обеих ориентировок не проникают ниже уровня 2-ой морской террасы, что указывает на возраст и импульсный характер их образования.

Собранные данные позволяют полагать, что на Земле Александры расположен очаг неоднократных сильных землетрясений интенсивностью 8-9 баллов, происходивших несколько тысяч – сотен лет назад. Эти землетрясения произошли в условиях современного тектонического режима, следовательно могут произойти и в будущем.

Авторы считают своим долгом выразить глубокую признательность организаторам экспедиции от РГО Руслану Юрьевичу Мощенко и Сергею Анатольевичу Чечулину, директору национального парка «Русская Арктика» Александру Георгиевичу Кирилову, представителю Северного флота капитану 2-го ранга Сергею Георгиевичу Зинченко и всем сотрудникам национального парка «Русская Арктика», принимавшим участие в экспедициях. Научная программа выполнена в рамках работ по Государственному заданию ИФЗ РАН.

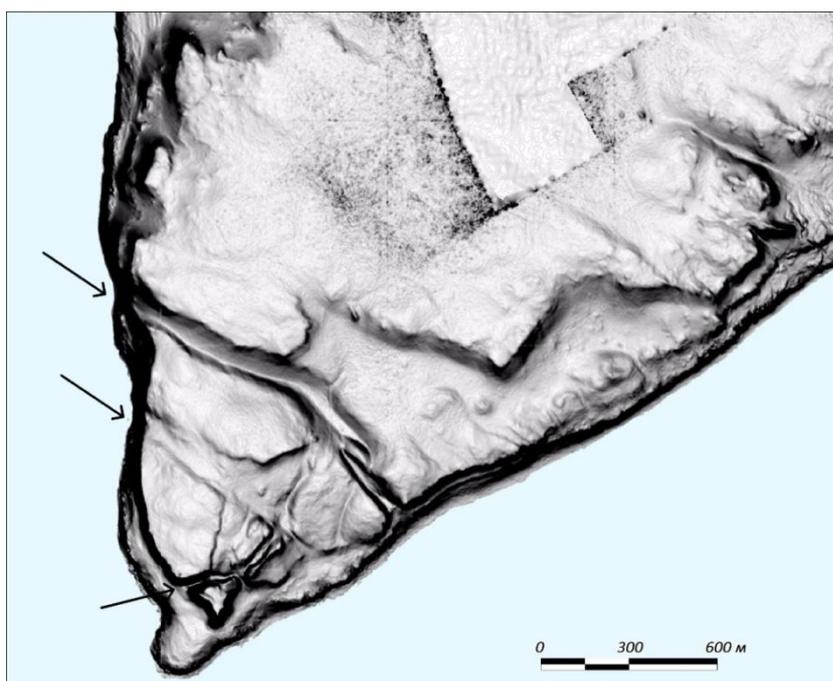


Рис. 3 – Мыс Мелехова, цифровая модель рельефа по данным аэрофотосъемки

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солоненко В.П. Палеосейсмогеология // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1973. № 9. С. 3-16.
2. Митяев М.В., Герасимова М.В. Геолого-тектонические, геоморфологические особенности строения и современные условия седиментации архипелага Земля Франца-Иосифа. // Труды Кольского научного центра РАН. 2014. №. 4 (23). С. 5-60.
3. Antonovskaya G.N., Basakina I.M., Vaganova N.V., Kapustian N.K., Konechnaya Y.V., Morozov A.N. Spatiotemporal relationship between Arctic Mid-Ocean ridge system and intraplate seismicity of the European Arctic // Seismological Research Letters. 2021. Vol. 92. № 5. P. 2876-2890.
4. Никонов А.А. Терминология и классификация сейсмогенных нарушений рельефа // Геоморфология. 1995. № 1. С. 4-10.

## ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ В ЭКОСИСТЕМАХ ТУНДРЫ (НА ПРИМЕРЕ НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА)

*Пучков А.В., Яковлев Е.Ю., Дружинина А.С., Дружинин С.В.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, andrey.puchkov@fciarctic.ru

С середины 20-го века территория Российской Арктики подвергалась воздействию техногенной радиоактивности в результате проведения ядерных испытаний, в том числе по всему миру [1]. Свой вклад в загрязнение окружающей среды техногенными радионуклидами внесли сбросы от западноевропейских радиохимических заводов Великобритании и Франции; радиационная авария на Чернобыльской АЭС [2-6]. Одним из наименее изученных с точки зрения радиоэкологии регионов Российской Арктики остается Ненецкий автономный округ, внутри и за пределами которого располагается значительное количество радиационно-опасных объектов, в том числе и в статусе «объектов ядерного наследия». Потенциальный вклад в радиоактивное загрязнение Ненецкого автономного округа могут вносить предприятия атомного судостроения и судоремонта, базы атомных кораблей и подводных лодок Северного флота ВМФ России, заводы по переработке и хранению радиоактивных отходов [6].

Антропогенная деятельность приводит к загрязнению тундровых территорий Ненецкого автономного округа не только техногенными радионуклидами, но и естественными. В первую очередь это связано с наличием как на континентальной части, так и на шельфе многочисленных месторождений углеводородов [7], зачастую обогащенными естественными радионуклидами U и Th рядов, а также K-40 [8].

Целью данного исследования является оценить источники и уровни содержания естественных и техногенных радионуклидов в экосистемах тундры Ненецкого автономного округа.

Ключевыми участками, характеризующими Ненецкий автономный округ в целом, в настоящем исследовании стали бассейны рек Канинской тундры (Несь, Вижас, Ома, Чижа), Малоземельской и Большеземельской тундр (Печора, Колва и Уса) (рис. 1).

В донных отложениях изученных рек оценивались удельные активности радионуклидов Cs-137, Ra-226, Ra-228, Pb-210. В почвах были проведены измерения удельных активностей техногенных радионуклидов Cs-137, Sr-90, Am-241, Pu-238, Pu-239+240.

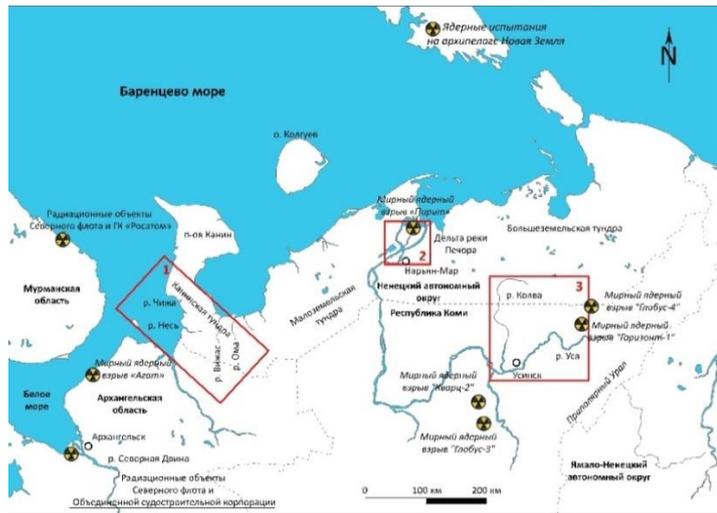


Рис. 1 – Основные радиационно-опасные объекты и ключевые участки проведения исследований на территории Ненецкого автономного округа: 1 – бассейны рек Чижга, Несь, Вижас, Ома, 2 – дельта реки Печора, 3 – бассейны рек Колва и Уса.

В рамках настоящего исследования были использованы следующие методы: гамма-спектрометрический с применением полупроводниковых спектрометров гамма-излучения Гамма-1П, альфа-спектрометрический с применением полупроводниковых альфа-спектрометров СЭА-13П1, альфа-бета радиометрический и радиохимический с применением альфа-бета радиометров.

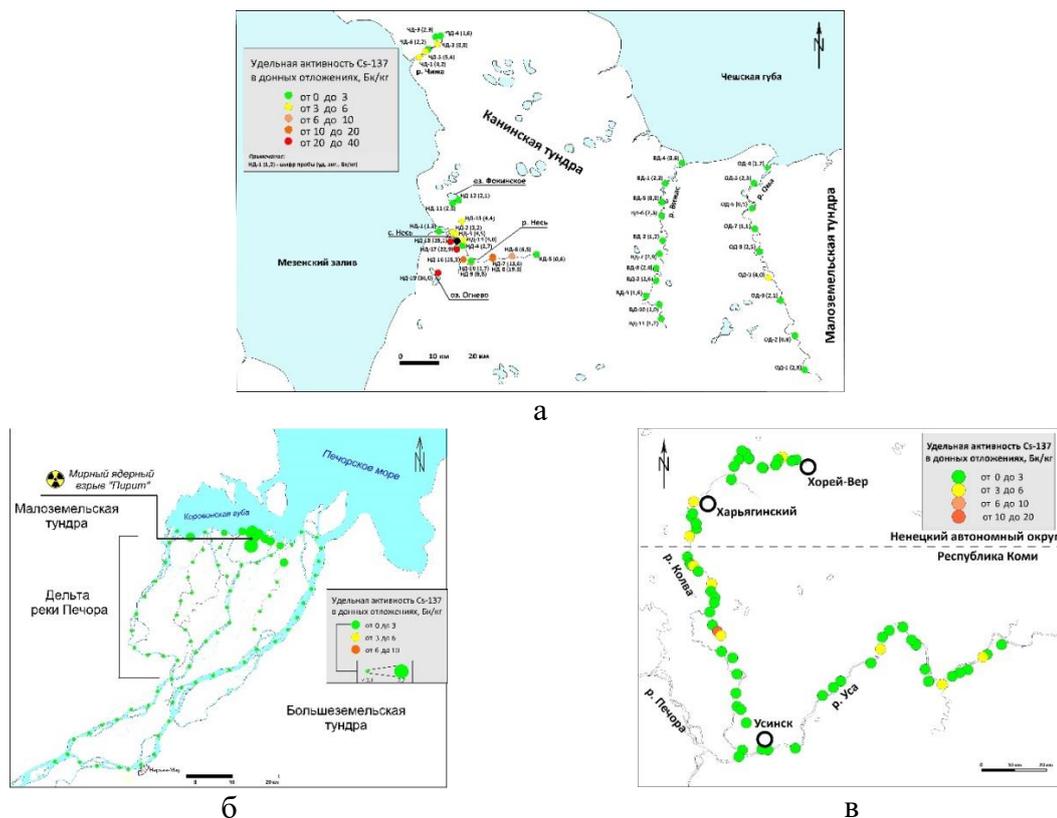


Рис. 2 – Активность Cs-137 в донных отложениях рек Канинской тундры (а), реки Колва и Уса (б), устьевой части р. Печора (в)

Экспедиционные работы на территории Ненецкого автономного округа были проведены в период с 2020 по 2022 год. Всего было отобрано 199 проб донных

отложений в реках Чижа, Несь, Вижас, Ома, Печора, Колва и Уса, и около 46 проб почвы в бассейне реки Несь. Выбор бассейна реки Несь для отбора проб почв был связан с наличием зоны повышенного содержания техногенных радионуклидов в объектах окружающей среды (рыба, почвы, растительность) [9-11].

Результаты исследований распределения Cs-137 в донных отложениях показали, что его активность в основном варьировала в диапазоне от минимально-детектируемой активности до 5,4 Бк/кг со средним значением не более 3,3 Бк/кг. Повышенное содержание Cs-137 зафиксировано в донных отложениях бассейна реки Несь (рис. 2) – до 36 Бк/кг в озерных отложениях и до 22,9 Бк/кг в речных отложениях, что превышает активность Cs-137 в донных отложениях большинства рек Северо-Запада России.

Факт повышенной активности Cs-137 может быть связан со стоком с водосборной площади реки, ее гидрологическими особенностями, а также аккумуляцией Cs-137 в мелкодисперсных фракциях донных отложениях. Результаты расчета изотопных отношений радионуклидов Cs-137, Sr-90, Am-241, Pu-238, Pu-239+240, определенных в почвах бассейна реки Несь, и построения траекторий загрязнений на основе модели HYSPLIT показывают, что наиболее вероятными источниками повышенного содержания Cs-137 являются глобальные атмосферные выпадения и след аварии на Чернобыльской АЭС.

Однако стоит отметить, что по результатам аэрогаммасъемки на территории Ненецкого автономного округа бассейн реки Несь не выделяется как зона повышенного содержания Cs-137 в объектах окружающей среды [12] (рис. 3). Несоответствие может быть связано с инструментальными особенностями проведения измерений, а также значительной обводненностью территории Канинской тундры, затрудняющей регистрацию гамма-излучения радионуклида Cs-137.

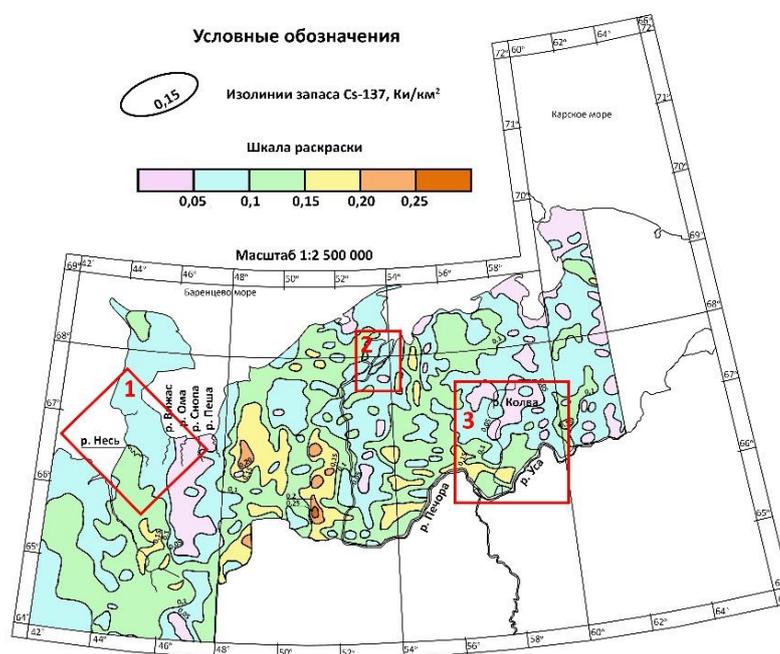


Рис. 3 – Карта запаса Cs-137 в почвах на территории Ненецкого автономного округа (1 – реки Чижа, Несь, Вижас, Ома; 2 – устьевая часть реки Печора; 3 – реки Колва и Уса) [12]

Проведенные исследования на территории Печорского бассейна показали, что на отдельных участках реки Колва в донных осадках выявлено повышенное содержание Ra-226 с удельной активностью до 89,0 Бк/кг (рис. 4). Установлена тесная связь Ra-226

и нефтепродуктов в донных осадках ( $R=0,74$ ). Это указывает на поступление в поверхностные воды продуктов и отходов нефтегазовой деятельности и последующее радионуклидное загрязнение водной среды. Это также подтверждается схожими значениями изотопных отношений Ra-226/Ra-228 и Ra-226/Pb-210 в донных осадках и нефтешламе бассейна реки Колва.

В донных осадках дельты реки Печора установлены повышенные активности Ra-226 (до 38,4 Бк/кг), что в два раза превышает значения удельной активности, характерные для других крупных рек региона (Северная Двина, Золотица). Причиной повышенного содержания Ra-226 в донных осадках Печора является вероятный снос загрязнения с водосборной площади реки Колва, в донных осадках которой также отмечены участки повышенного содержания данного радионуклида.

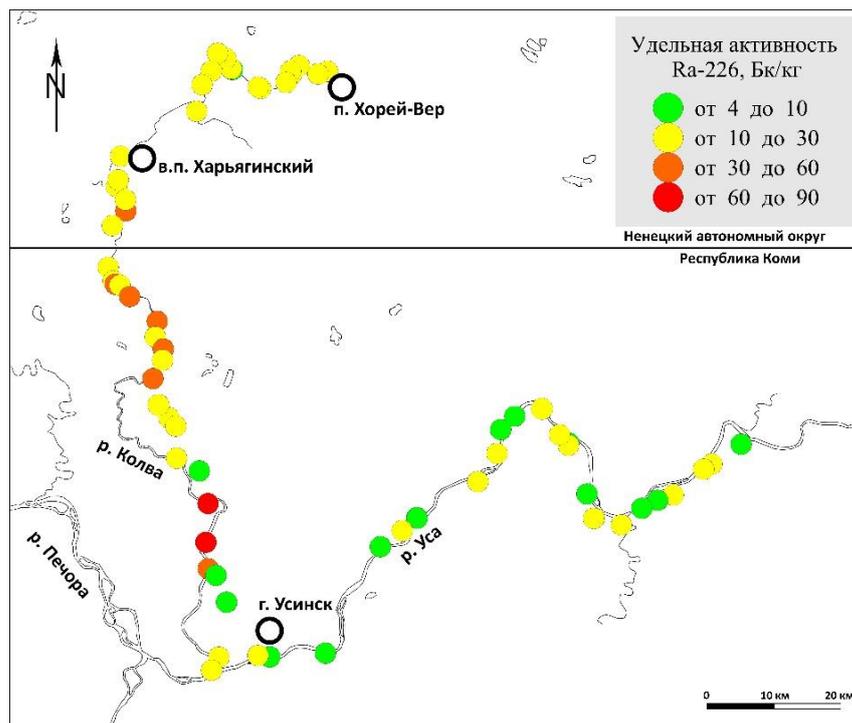


Рис. 4 – Удельная активность Ra-226 в донных осадках рек Колва и Уса

Таким образом, на территории Ненецкого автономного округа выявлено несколько генетически разных источников радиоактивного загрязнения окружающей среды, которые привели к образованию зон повышенного содержания естественных и техногенных радионуклидов. Основными источниками техногенной радиоактивности являются глобальные атмосферные выпадения и авария на Чернобыльской АЭС. Основным источником трансформации естественного радиационного фона является интенсификация освоения многочисленных углеводородных месторождений.

*Исследования проведены при финансовой поддержке РНФ, проект № 22-27-20079 «Радионуклиды в экосистемах тундры: источники, уровни загрязнения, антропогенные механизмы трансформации (на примере Ненецкого автономного округа)».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Charles M. UNSCEAR Report 2000: sources and effects of ionizing radiation // Journal of Radiological Protection. 2001. №. 21. № 1. P. 83.

2. Radioactive contamination in the Arctic - Sources, dose assessment and potential risks / P. Strand, M. Sickel, B. J. Howard [et al.] // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2002. Vol. 60. No 1-2. P. 5-21. DOI 10.1016/S0265-931X(01)00093-5.
3. Uptake of radionuclides by vegetation at a High Arctic location / M. Dowdall, J. P. Gwynn, C. Davids [et al.] // *Environmental Pollution*. 2005. Vol. 133. № 2. P. 327-332. DOI 10.1016/j.envpol.2004.05.032.
4. Киселев Г. П. и др. Радиоактивность донных осадков дельты реки Северная Двина // *White Sea System*, Институт океанологии, Москва. 2018.
5. Sources and vertical distribution of <sup>137</sup>Cs, <sup>238</sup>Pu, <sup>239+</sup> <sup>240</sup>Pu and <sup>241</sup>Am in peat profiles from southwest Spitsbergen / E. Łokas, J.W. Mietelski, M.E. Ketterer, K. Kleszcz, P. Wachniew, S. Michalska, M. Miecznik. // *Applied geochemistry*. 2013. № 28. P. 100-108.
6. Matishov G. G. et al. Long-term dynamics of radioactive contamination in the Barents-Kara region (1960-2013) / G. G. Matishov et al. // *Doklady Earth Sciences*. 2014. № 458. №. 4. P. 473-479.
7. Геология, ресурсы углеводородов шельфов арктических морей России и перспективы их освоения / А. Э. Конторович, М. И. Эпов, Л. М. Бурштейн [и др.] // *Геология и геофизика*. 2010. Т. 51. № 1. С. 7-17.
8. Третьякова А.Н., Корнус А.А. К вопросу радиоактивного загрязнения нефтегазовых месторождений. Украинское географическое отделение города Сумы // Сумы. 2017.
9. Пучков А.В., Дружинина А.С., Яковлев Е.Ю., Дружинин С.В. Накопление радионуклидов в рыбе из рек северо-западного сектора Российской Арктики // *АРКТИКА: ЭКОЛОГИЯ И ЭКОНОМИКА*. 2023. Т. 13. № 1. С. 127-137. <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2023-1-127-137>
10. Пучков А.В., Яковлев Е.Ю., Дружинин С.В. Радиационные параметры гидробионтов условно чистой территории Ненецкого автономного округа // *Успехи современного естествознания*. 2020. № 6. С. 118-122.
11. Пучков А.В., Яковлев Е.Ю. Особенности накопления и миграции техногенных радионуклидов Cs-137 и Sr-90 в тундровых ландшафтах Российской Арктики (на примере бассейна реки Несь, Канинская тундра) // *Вестник геонаук*. 2023. №1. С. 42-51.
12. Орлов В. В. Радиометрическая оценка территории Архангельской и Новгородской областей, Северо-Западной части Республики Коми с целью выявления и картирования экологически неблагоприятных площадей. Отчет АГП-4 о результатах экологической аэрогамма-спектрометрической съемки масштаба 1:1000000 на объекте Экосевер в 1990-1993 гг. Гос. Рег.номер 29-90-248/44. 1993 г.

## **ОБ ОРГАНИЗАЦИИ ЦЕНТРА ПОДГОТОВКИ ПОЛЯРНЫХ МАГНИТОЛОГОВ**

*Семаков Н.Н.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, [semakovnn@ipgg.sbras.ru](mailto:semakovnn@ipgg.sbras.ru)

<sup>2</sup>Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, г. Новосибирск

Мастерство геофизиков, проводящих угловые геомагнитные измерения на качественном уровне, базируется не только на понимании всей сложности магнитного поля Земли, но и на умении работать с феррозондовыми D-I магнитометрами. Современные размагниченные теодолиты, оснащенные феррозондовыми датчиками, работают как «нуль - индикаторы» и позволяют с высочайшей точностью определять углы склонения (D) и наклона (I), а также проводить астрономические наблюдения

для определения азимута «миры». Без обладания навыками угловых измерений невозможно определять абсолютные значения всех компонент вектора магнитной индукции и получать географические координаты магнитного полюса эквивалентного диполя.

Указанным мастерством владеют сотрудники мировой сети магнитных обсерваторий [1]. Умением проводить угловые геомагнитные измерения обладали и участники всех знаменитых полярных экспедиций прошлого. Размагниченные теодолиты в этих экспедициях использовались также для определения географических координат и прокладки курсов.

В каталоге Б.П. Вейнберга можно найти сведения о магнитных измерениях на Новой Земле, в устье Печоры, в Холмогорах и на дрейфующих льдах, начиная с 1556 года (со времен Ивана Грозного) [2]. Среди руководителей полярных экспедиций, проводивших магнитные измерения, много известных путешественников, и не только российских. С полным правом можно называть магнитологом Колумба, обнаружившего изменение магнитного склонения при переходе через Атлантику и Амундсена, определившего положение северного магнитного полюса в своей арктической экспедиции 1903-1906 годов.

В 1990-е и последующие годы геомагнитные наблюдения в российском секторе Арктике резко сократились. Была прекращена работа ряда магнитных обсерваторий и остановлены работы на сети пунктов векового хода. Одной из причин сложившейся ситуации стало отсутствие целенаправленной подготовки специалистов-магнитологов для работы в полярных широтах. Предлагается изменить эту ситуацию путем создания "Центра подготовки полярных магнитологов", учитывающего всю специфику их подготовки к предстоящей работе в Арктике и Антарктике. Возможно, среди таких магнитологов в будущем появятся люди, подобные Евгению Константиновичу Федорову. Ниже приведены строки из воспоминаний Н.А. Корнилова в книге «Этапы большого пути» [3].

«...И здесь произошел со мной не очень приятный, но очень запоминающийся для меня, как молодого зам. директора, случай. А произошло вот что: когда составляли план и программу работ для новой смены на «СП-22» на следующий год, я, в связи с ограничением финансирования, закрыл магнитные наблюдения. При обсуждении программы в институте особых возражений это не вызвало. Но когда об этом узнал Евгений Константинович при посещении магнитного павильона, когда увидел, что магнитолог понемногу начал сворачивать наблюдения и паковать приборы, он очень строго поговорил со мной (как говорят «снял стружку»), велел немедленно отменить распоряжение, магнитологу продолжать наблюдения по полной программе и дожидаться смены. Сам связался с А.Ф. Трешниковым (директором ААНИИ – Н.С.) и просил его срочно прислать замену магнитологу, который уже год проработал на станции. Оказывается, в это время «СП-22» находилась ближе, чем любая другая станция, к Северному магнитному полюсу и прекращать наблюдения нельзя было ни при каких обстоятельствах. Наблюдения продолжились и наука не пострадала...».

Дрейфующая льдина, на которой базировалась станция «Северный полюс-22» за 8 лет «нарисовала» огромное по площади «лассо» в Северном ледовитом океане (рис.1). И оказалось, что расчетные магнитные полюсы, полученные по магнитным измерениям в различных точках дрейфа, располагаются далеко не хаотично: эти полюсы легли на свою уникальную «арктическую петлю», ни разу не попав в ее центр [4]. В случае прекращения магнитных наблюдений на «СП-22» мы бы имели только «лассо» дрейфа и «петлю» (или еще один крест) на арктической магнитной науке.

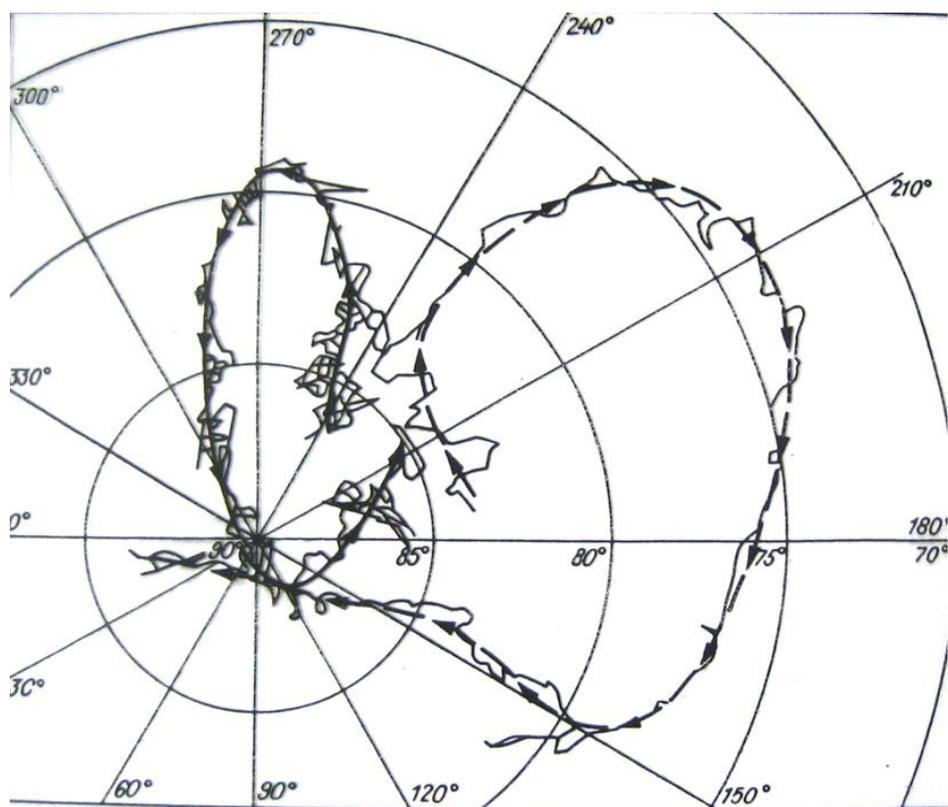


Рис. 1 – Положение станции «Северный полюс-22» (штриховая линия) и соответствующие расчетные магнитные полюсы (сплошная линия)

Сотрудники магнитной обсерватории «Новосибирск», входящей в состав Института нефтегазовой геологии и геофизики имени А.А. Трофимука, изучают перемещение магнитных полюсов Арктики более 40 лет. Для этого используются собственные измерения на пунктах векового хода и в маршрутах, но наиболее богатый материал дают архивные данные. И те данные, которые, благодаря вмешательству Е.К. Федорова, были получены на «СП-22» в 1970 –е годы, необычайно важны для науки. Важна и выполненная им магнитная съемка полуострова Таймыр, и непрерывный ряд магнитных данных, полученных на обсерватории мыса Челюскин, построенной И.Д. Папаниным и Е.К. Федоровым в 1934 году.

Главный урок, который преподал своей жизнью Евгений Константинович - в его фразе: «Только глубокие научные знания могут обеспечить человеку независимость в обществе» [3].

К сожалению, не нашлось в 2011 году человека с его убежденностью и авторитетом, чтобы воспрепятствовать закрытию этой магнитной обсерватории. А ведь сейчас, судя по той скорости, с которой истинный магнитный полюс перемещается от островов Канадского архипелага к берегам Сибири, именно она могла стать наиболее близкой к истинному северному магнитному полюсу обсерваторией.

Необходимость кооперации и активизации усилий в мониторинге магнитной обстановки диктуется сложностью и противоречивостью процессов, происходящих с магнитным полем Земли в ее полярных широтах. Для иллюстрации этой сложности приведем пути перемещения движения северного и южного магнитных полюсов с 1900 года, включая прогноз до 2030 года (рис.2 и рис.3). Основой для построения этих траекторий послужили среднегодовые значения склонения и наклонения вектора магнитной индукции в магнитных обсерваториях и на пунктах векового хода, модель нормального поля IGRF, а также специально организованные измерения вблизи истинных магнитных полюсов [5-7].

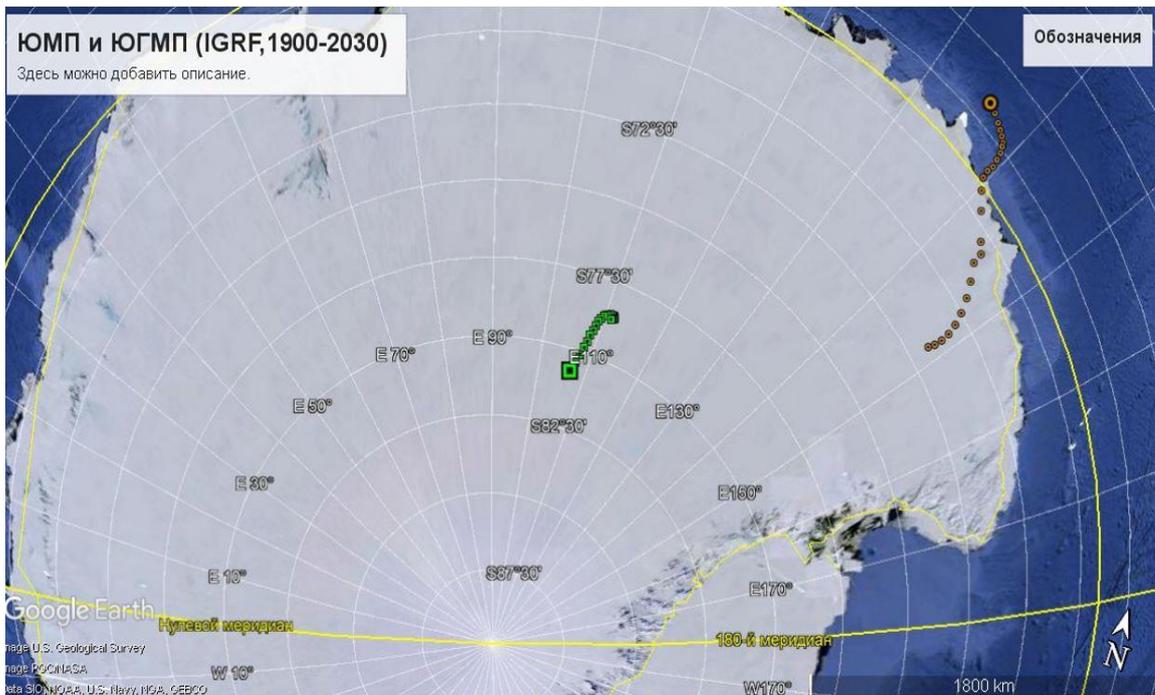


Рис. 2 – Миграция южного истинного магнитного полюса (длинная кривая) и южного геомагнитного полюса (короткая зеленая кривая)

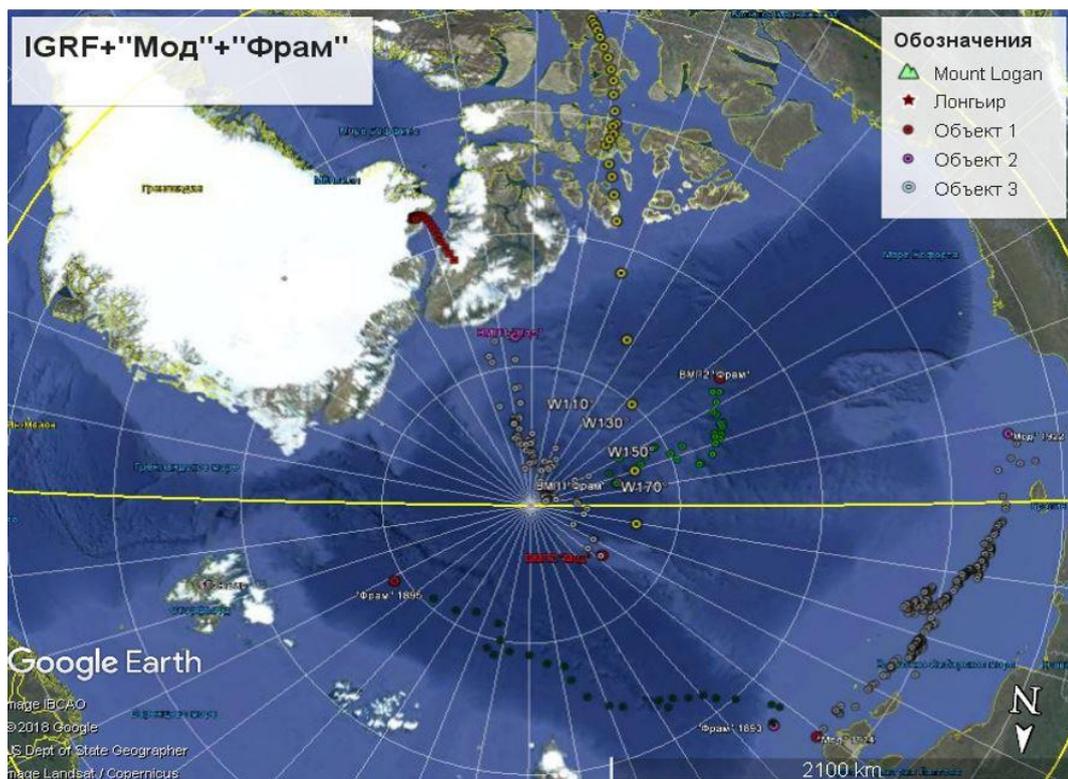


Рис. 3 – Миграция северного геомагнитного полюса (короткая красная кривая на севере Гренландии) и истинного северного магнитного полюса («канадская» желтая линия)

Короткими траекториями на этих рисунках показано изменение координат «средних» для Земли на каждый год южного и северного геомагнитных полюсов. Более протяженные траектории построены по угловым магнитным измерениям вблизи истинных магнитных полюсов, с учетом среднегодовых значений в магнитных

обсерваториях и пунктах векового хода Арктики и Антарктики за тот же 130-летний период. По этим траекториям можно судить о реальном и прогнозном перемещении истинных магнитных полюсов. Обращает на себя внимание противоположность в направлении многолетнего перемещения южных истинного и геомагнитного полюсов: геомагнитный приближается к южному географическому полюсу, а истинный пересек южный полярный круг и покинул Антарктиду.

Что касается северных магнитных полюсов, то оба они пока смещаются по направлению к восточному сектору Арктики, хоть и с разными скоростями. Но сложность с определением положения истинного северного магнитного полюса во многом обусловлена наличием двух мировых магнитных аномалий: Канадской и Сибирской, каждая из которых стремится «перетащить» северный магнитный полюс в свою сторону. За последнее столетие чаша «магнитных весов» склонялась в пользу Сибири. Если эта тенденция продолжится, то нам нужно готовиться к ближайшим десятилетиям к переходу истинного северного магнитного полюса в восточный сектор Арктики, а в ближайшие столетия - к его встрече на сибирских берегах.

Вместе с истинным магнитным полюсом к Сибири смещается и овал полярных сияний со всеми их красотами и неприятностями, связанными с наиболее яркими и опасными проявлениями солнечной активности в приполярных регионах.

Непрерывный геомагнитный мониторинг в арктической зоне, а также в Антарктике остро нуждается в специалистах-магнитологах высокого класса. Центр подготовки таких специалистов можно было бы организовать на базе магнитной обсерватории «Новосибирск» (ИНГГ СО РАН) и Арктического стационара на о. Самойловском в устье Лены при поддержке геолого-геофизического факультета Новосибирского государственного университета.

Исследования проведены при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (проект FWZZ2022-0019 «Механизмы воздействия природных и техногенных факторов на процессы в геосферах по результатам мониторинга естественных геофизических полей»).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. INTERMAGNET (International Real Magnetic Network, 2013) register. <http://www.intermagnet.org/data-donnee/>
2. Вейнберг Б.П. Каталог магнитных определений в СССР и сопредельных странах с 1556 по 1925 год. Ч. 1. Издание Главной геофизической обсерватории, Ленинград, 1929.
3. Этапы большого пути // Издательство Паулсен, 2010.
4. Физика Земли. Новый взгляд на некоторые проблемы. Новосибирск, Наука, 1989, 128 с.
5. Newitt, L.R. and Niblett E.R. Relocation of the north magnetic dip pole // Can. J. Earth Sci. 1986. Vol. 23. P.1062-1067.
6. Newitt, L.R. and C.E. Barton. The position of the North Magnetic Pole in 1994 // J. Geomag. Geoelectr., 48, 221-232, 1996.
7. Kuznetsov V.V., Pavlova I.V., Semakov N.N., Newitt L.R. Virtual magnetic poles, magnetic anomalies, and the location of the north magnetic pole // Russian Geology and Geophysics.-V.38(7).-P.1312-1320, 1997.

## АКТУАЛЬНЫЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ В ХОДЕ ТИПИЧНОГО И АНОМАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ГЕОСИСТЕМ ЧУКОТКИ

Скрыльник Г.П.

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток, [skrylnik@tigdvo.ru](mailto:skrylnik@tigdvo.ru)

Геосистемы (ГС) Чукотки лежат в масштабах географического пространства и территории, и их развитие протекает в рамках географического времени, с отражением различных категорий и в обстановках и типичного, и аномального (критического, кризисного и катастрофического). При этом нами принимается, что Время не имеет начала и конца, а Пространство без границ.

Обсуждение и результаты излагаются по отдельным тематическим блокам.

**А. Пространство – территория.** В их сравнении просматривается известная парадоксальность. С одной стороны, они внешне во многом близки, но внутренне разнородны. Это объясняется тем, что основное их отличие состоит в размерности – пространство всегда 3-х мерно и без границ, а территория 2-х мерна и с границами. При этом нами допускается, что в ходе их тесного взаимодействия кратковременно происходит некоторый взаимообмен свойствами: пространство на отдельных участках приобретает выраженность границ, а территория объемно-пространственные очертания. Таким образом, в ходе развития ГС они взаимосвязаны в своем сложном единстве. Поэтому мы принимаем его как одно понятие "пространство-территория". Эволюционное развитие ГС Чукотки включает разные динамические стадии:

- 1) Спокойного поступательного, стадийно-циклического, при типичных процессах;
  - 2) Возвратно-поступательного, при воздействии критических процессов;
  - 3) Прерывисто-поступательного, при ведущем вкладе кризисных процессов;
  - 4). Динамически взрывного и разрушительного, при господстве катастрофизма
- (рис. 1) [1]:

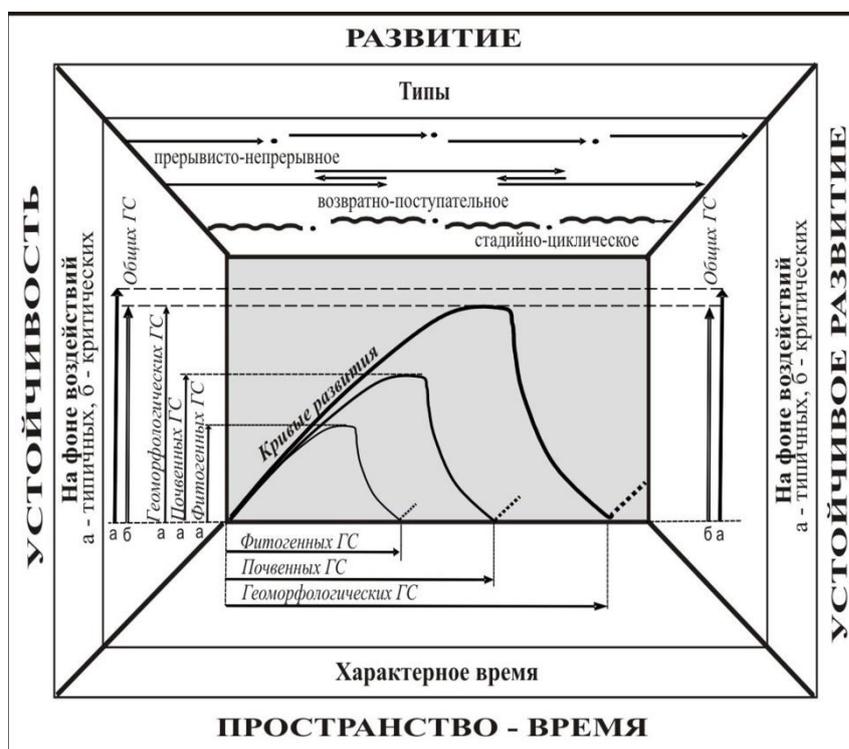


Рис. 1 – Принципиальная схема соотношений пространства и времени, устойчивости и динамических стадий в развитии геосистем

Сложные взаимоотношения пространства и территории в оптимальном случае развития ГС (например, в районе п. Марково) формируют во времени состояния гармонии, а в неблагоприятных обстановках (в частности, на Анадырской низменности) возможную различную степень его разбалансированности. Последняя проявляется в появлении критического состояния, а при дальнейшем изменении средоформирующей обстановки возникают элементы кризисности, часто переходящие в катастрофизм. Пройдя стадию катастрофизма, конкретный объект возвращается в близкое к первоначальному состоянию, в этап гармонии, но уже на новом более высоком витке развития и с большим запасом потенциальной энергии.

**Б. Пространственно-временные категории развития геосистем Чукотки.** Тематическое отражение «Пространства и Времени» в научной картине мира начинается с древних философов (Платон, Аристотель), затем продолжается более поздними естествоиспытателями (И. Кант, И. Ньютон, А. Эйнштейн и Г. Минковский, М. Аксенов, П.П. Семенов-Тяньшанский, В.А. Обручев, В.И. Вернадский), далее отмечается в художественном и реальном времени (Л.Н. Толстой, И.С. Тургенев, М.А. Булгаков, Ж.Б. Мольер) и, наконец, дополнительно раскрывается в настоящее время (Д. Массер, П. П. Гайденок, М.Д. Ахундов и т.д.).

В современной практике географических исследований Чукотки, как и других регионов, «Пространство» и «Время» чаще принимаются как физические категории. При этом примечательно, что Пространство и Время неразрывны, т.к. каждое время имеет свое пространство, а каждое пространство – свое время, понимая их вместе под термином "timespace", то есть "временем-пространством" [2]. Дополнительно напомним, что время, согласно причинной механики Н.А. Козырева, кроме пассивного свойства длительности, характеризуется еще и активными (физическими) свойствами, воздействующими на события в географическом пространстве [3].

В то же время проблему «Пространство-Время» следует рассматривать в расширительном плане. Так, в случае рационального природопользования категории Времени и Пространства всегда бывают также этическими и нравственными (Экологические программы и их результаты в п. Марково). В противовес им нерациональное природопользование превращается в антинравственное (в частности, в районе п. Канчалан – 1972 г.)

**В. Уровни критичности, кризисности и катастрофизма в развитии геосистем.** Уровни устойчивости и пластичности общих ГС Чукотки не беспредельны, т.к. главные резервы – соответственно, от геоморфологических (из-за консервативности) и фитосистем (из-за пластичности), в конечном счете, все же ограничены. Сейчас они часто находятся у своего предела, в частности, из-за направленного увеличения природных, а в условиях антропогенного "пресса" и техногенных катастроф [4].

Развитие геосистем Чукотки протекает в тектонически и климатически активной зоне, под двойным влиянием континента и океана [5]. Наиболее ярко указанные влияния отмечаются при участии континентальности и океаничности.

Факторы и процессы, участвующие в создании и дальнейшем развитии ГС Чукотки обособляются в 2 группы: а) типичные; и б) аномальные. К последним относятся экстремальные (критические и кризисные) и катастрофические (рис. 2).

*Типичные факторы* и процессы, уже просто по определению, поддерживают облик и состояние ГС в обычных устойчивых рамках. *Критические процессы* приводят к осязаемым, но кратковременным и обратимым, изменениям в структуре ГС. *Кризисные процессы* вызывают существенные нарушения структуры геосистем (крайне редко обратимые, чаще необратимые) и в целом сравнимы с катастрофическими.

*Катастрофизм* принимается автором как революционное развитие ГС, включающее в себя не только разрушение сформировавшихся ранее структур и типов функционирования ГС, но и создание адекватно новых динамических образований [6].



Рис. 2 – Принципиальная схема циклов развития, уровней интенсивности и состояний типичных и аномальных процессов в организации геосистем

В современном развитии геосистем материковых участков Чукотки прослеживается тенденция к повсеместному уменьшению смен равновесных и неравновесных состояний (при господстве равновесных) и, тем самым, к увеличению естественной устойчивости геосистем. В прибрежных территориях тенденция к увеличению этих смен (при сохраняющемся еще балансе равновесных и неравновесных состояний) приводит к уменьшению общей устойчивости геосистем, стимулирующих возрастание числа и масштабов природных аномалий [2, 7, 8].

В среднемноголетнем развитии ГС на всей территории Чукотки наиболее характерными являются типичные и критические динамические обстановки. Кризисные ситуации здесь бывают редко и связаны они лишь с активизацией термокарста в период повышенных летних температур и выпадения аномальных осадков или с усилением антропогенеза при нарушении норм устойчивого развития. Катастрофы повсеместно были связаны с былыми «всплесками» площадного термокарста в 70-е годы 20-го века во время наибольшего пика глобального потепления.

В последние годы изменение климата, в ходе глобального потепления, оказало значительное влияние на состояние ГС. Так, за счет увеличения частоты аномальных явлений. С 2007 по 2017 год среднегодовая температура грунта в Арктике увеличилась на 0,5°C [8, 9]. Эти изменения вызывали активизацию экзогенных криогенных процессов и гидрологического режима территории.

Действительно, потепление на Земле сказалось в росте уровня мирового океана, снижении площади снега и морских льдов, таянии ледников и деградации вечной мерзлоты. Но не повсеместно. Существуют регионы, где потепление «приостановилось» и дальше не происходит. Так, в Северной Атлантике существует небольшой район, где из-за замедления течения Гольфстрима и соответствующего снижения переноса им тепла и, вероятно, с изменением движения потоков воздуха на северном полюсе, отмечается локальное снижение температуры воздуха [8, 9]. В этом ряду находятся и западные регионы Арктики [10, 11].

Своего максимума потепление климата в Арктике достигло в 1970-1980-е годы прошлого столетия и далее начало замедляться и постепенно снижаться до настоящего. Так, «по аналогии с событиями двух закончившихся циклов солнечной активности можно заключить, что сохранение высоких темпов потепления Арктики в обозримой перспективе маловероятно» [12, с. 129]. Об этом также может свидетельствовать уменьшение в последние годы площади и количества термокарстовых озер на Чукотке, как показателя снижения деградации вечной мерзлоты (по аэрокосмическим материалам и данным автора).

Наблюдения на ряде метеостанций Восточной Чукотки (Колючино, Неттан, Уэлен, Дежнева пост, Ратманова, Лаврентия, Провидения, Чаплина мыс) свидетельствуют об устойчивом тренде к повышению температуры воздуха, начиная с

1970-х гг. Но в настоящее время (начиная с 2010 г.) это повышение замедлилось и в ряде мест прекратилось.

С этим совпадают и выводы международных экспертов о начавшемся похолодании климата в Арктике [10]. Об этом свидетельствует и снижение активности термокарста на Чукотке, сказывающееся в сокращении количества термокарстовых озер и новых поверхностных просадочных форм. Параллельно здесь возрастает активизация морозобойного трещинообразования.

На районно-локальном уровне Чукотки среди процессов, термодинамически значимых (относительно наиболее энергонапряженных, приводящих к сравнительно значительному эффекту), выступают [1]:

«взрывы» активности криогенеза и (или) «малого» гляциогенеза (рис. 3, 4), обвалы, сели и грязекаменные потоки; антропогенная деятельность.



Рис. 3 – Оползневая терраса и термоэрозионные овраги (пос. Лорино, Восточная Чукотка): а – осложняющие береговой уступ; б – овраг, возникший вдоль морозобойной трещины, ранее заполненной трещинно-жильным льдом.

Фото А.А. Маслакова

Термокарстовые явления поверхностные и подповерхностные (округлые западины, котловины и озерные ванны; линейные, линейно-коленчатые и полигональные формы проседания; гроты, ниши; и другие) экстремального проявления достигают на многих низменностях Чукотки только в редкие аномально теплые и дождливые годы (рис. 4).

**Заключение.** Критичность, кризисность и катастрофизм в развитии естественных ГС Чукотки ассоциируются с появлением «экологических рисков [5, 7], как важнейшей части более общих «природных рисков». Это перекликается с теорией так называемой «самоорганизованной критичности», согласно которой системы с

большим количеством взаимодействующих компонентов естественно эволюционируют к критическому (и далее реже к катастрофическому – Г.С.) состоянию [13].

Антропогенные факторы, воздействуя на ландшафты, проявляются в их «промерзании» и аридизации. Это приводит на севере Чукотки к образованию фрагментарных участков арктических пустынь с тенденцией к продвижению их на соседние участки тундры.

В целом, грань между аномальными процессами (критичности, кризисности и катастрофизма) и типичными в развитии ГС на Чукотке постепенно истончается. Они уже часто «смыкаются» с типичными, становясь с ними во многом схожими. Рамки «природных рисков» на временной шкале развития ГС, которые приобретают повышенную устойчивость при возникающем динамическом равновесии, направлены отодвигаются от прежнего положения во времени в сторону катастроф.

Актуальность комплексной оценки изменений ландшафтов (в частности, из-за колебаний климата в XX - XXI веке), с целью «снятия» возможных экологических рисков и нормализации природных обстановок, сейчас резко возрастает.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Короткий А.М. Аномальные природные процессы и их влияние на состояние геосистем юга российского Дальнего Востока: монография / А.М. Короткий, В.В. Коробов, Г.П. Скрыльник. Владивосток: Изд-во Дальнаука, 2011. 265 с.
2. Wallerstein Immanuel. The timespace of world-systems analysis: a philosophical essay. / Immanuel Wallerstein // *Hist. Geogr.*. 1993. № 1-2. P. 5-22.
3. Козырев Н.А. Человек и Природа: избранные труды / Н.А. Козырев. Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1991. С. 401-409.
4. Осипов В.И. Управление природными рисками / В.И. Осипов // *Вестник РАН*. 2002. Т. 72. №8. С. 678-686.
5. Скрыльник Г.П. Природные риски, кризисы и катастрофы на территории российского Дальнего Востока / Г.П. Скрыльник // *Тихоокеанская география*. 2020. № 3. С. 18-28.
6. Тимофеев Д.А. Неравномерность рельефообразования во времени и пространстве / Д.А. Тимофеев // *Проблемы регионального геоморфологического анализа (Чита)*. СПб.: Изд-во Геогр. об-ва СССР, 1974. С. 16-19.
7. Мягков С.М. География природного риска. М.: Изд-во Московского гос. ун-та, 1995. 222 с.
8. Marvel Keith. Changes in the hydroclimate of the 20<sup>th</sup> century, according to Facing Human Influence / Keith Marvel, Benjamin E. Cook, Celine J.W. Bonfils [et al.] // *Nature: J.* 2019. Vol. 569 (May 1). P. 59-65.
9. Jorgenson, M.T.; Romanovsky, V.; Harden, J.; Shur, Y.; O'Donnell, J.; Schuur, E.A.; Kanevskiy, M.; Marchenko, S. Resilience and vulnerability of permafrost to climate change. *Can. J. For. Res.* 2010, 40. P. 1219–1236. [CrossRef].
10. Global Atmosphere Watch Programme (GAWP) Electronic resource. URL: <https://public.wmo.int/.../programmes/global-atmosphere-watch-programme> (date of access: 16.06.2018).
11. Изменение климата, 2014 г.: Обобщающий доклад. Вклад Рабочих групп I, II и III в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата [основная группа авторов, Р.К. Пачаури и Л.А. Мейер (ред.)]. МГЭИК, Швейцария, Женева, 2014. 163 с.
12. Ловелиус Н.В., Ретеюм А.Ю. Циклы солнечной активности в Арктике // *Общество. Среда. Развитие*. 2018. № 1. С. 128-130.
13. Бак П., Чен К. Самоорганизованная критичность. М.: Изд-во Наука, 1972. 423 с.

## СЕЙСМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ОСТРОВНЫХ АРХИПЕЛАГОВ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА

Стрельников А.А.

Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
andrey.a.strelnikov@yandex.ru

Каждая территория обладает своим сейсмическим режимом, т.е. последовательностью землетрясений различных энергий во времени. Чем дальше вглубь прошлого прослежена сейсмическая история, тем точнее будет сейсмический прогноз. Палеосейсмология, т.е. выявление древних землетрясений по их геологическим следам позволяет решать эту задачу, что необходимо для оценки сейсмической опасности, важной для строительства. Так для строительства ответственных объектов необходимы данные о сейсмичности за 10 тыс. лет, которые невозможно собрать другими методами, кроме палеосейсмологического.

Сейчас активно обсуждаются вопросы сейсмической опасности Балтийского кристаллического щита, который характеризуется слабой современной сейсмичностью, как и другие платформы. Однако в связи с тем, что земная кора была продавлена существенной массой покровного ледника, который достаточно быстро растаял 12 тыс. лет назад, после резкого снятия нагрузки здесь могли возникать сильные землетрясения.

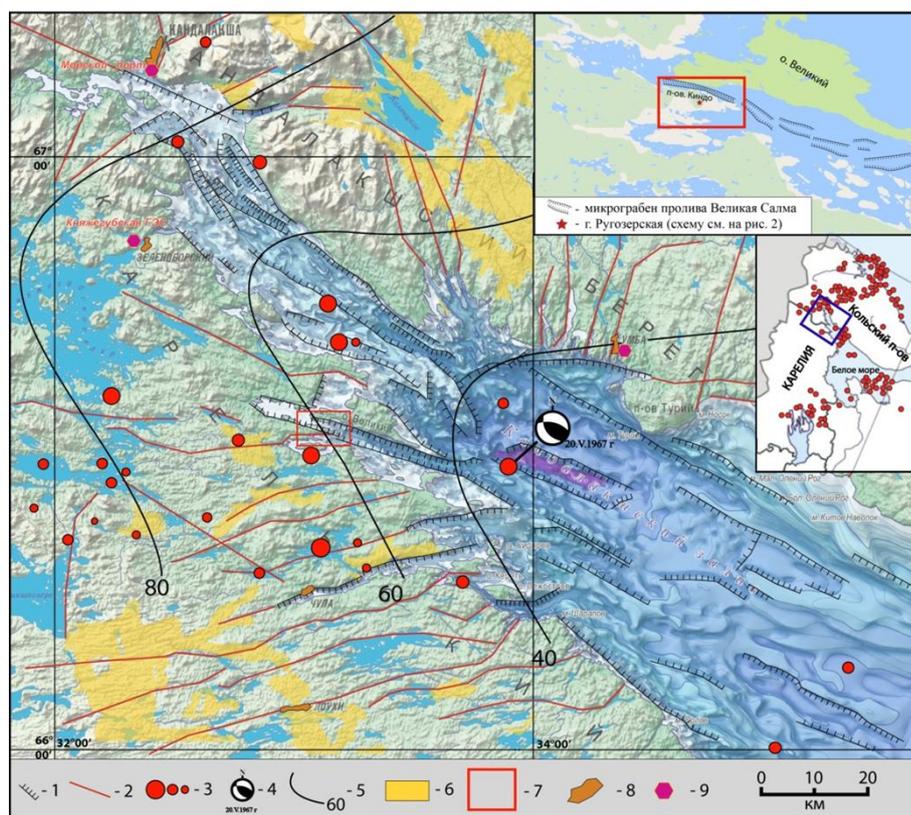


Рис. 1 – Неотектоника и сейсмичность Кандалакшского грабена 1 – основные тектонические уступы; 2 – разрывные нарушения побережья 3 – эпицентры землетрясений магнитудой 0.9-4.5 [Евзеров и др., 2014]. 4 – диаграмма фокального механизма Кандалакшского землетрясения 1967 г. 5 – изобазы гляциоизостатического поднятия, метры; 6 – участки аккумуляции четвертичных осадков; 7 – район исследований; 8 — населенные пункты; 9 — промышленные и социально значимые объекты [1]

Одной из предполагаемых сейсмически активных зон региона, в районе которого проводились исследовательские работы, является зона Кандалакшского грабена, т.е. системы опущенных по разломам сбросового типа блоков относительно бортов. С начала регистрации землетрясений, здесь выявлено более 40 сейсмических событий с магнитудой до 5.

На карте показано местоположения возможных сейсмодислокаций в районе Кандалакшского и Карельского берегов Белого моря по наблюдениям ряда авторов. Значительные концентрации послеледниковых дислокаций выявлены по берегам и на шхерах Кандалакшского залива.

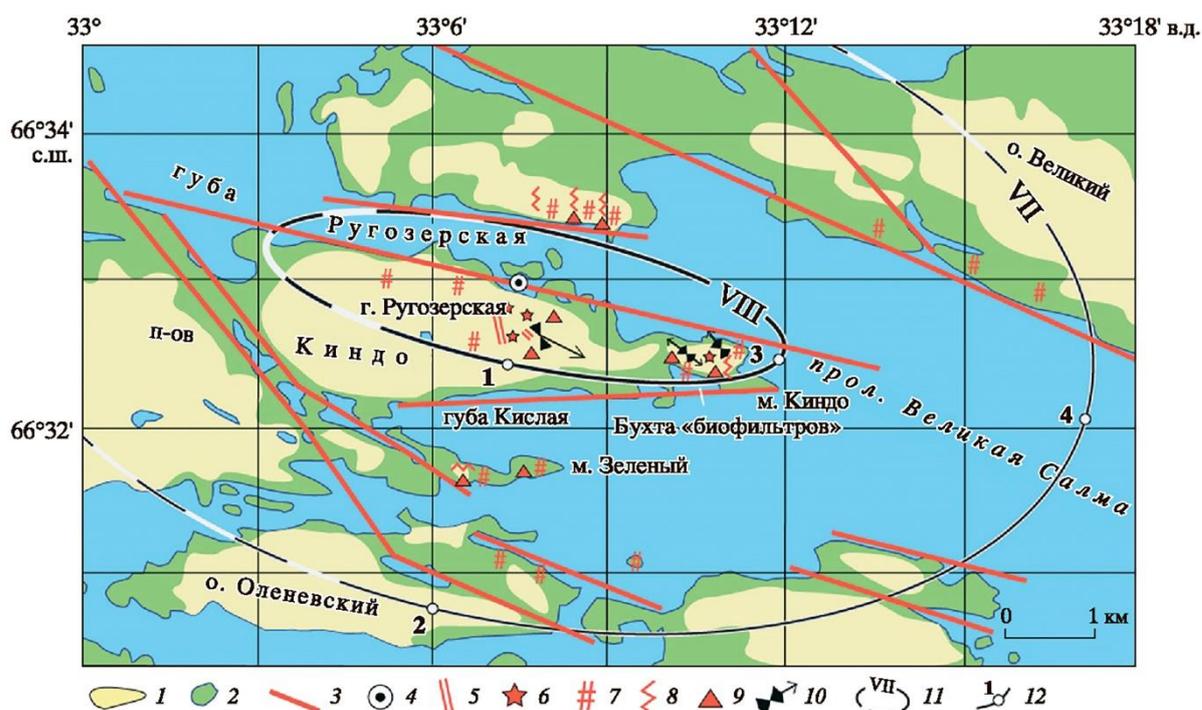


Рис. 2 – 1 – скальные массивы; 2 – четвертичные отложения; 3 – линияменты, выделенные с помощью морфоструктурного анализа; 4 – эпицентр палеоземлетрясения; 5 – трещины растяжения; 6 – блоковые смещения и развороты; 7 – участки площадного растрескивания; 8 – линейные нарушения (рвы, расщелины) с признаками сейсмического обновления; 9 – обвалы; 10 – направления максимального сейсмического воздействия по смещениям каменных блоков (стрелки) и квадранты сейсмического воздействия по интерпретации систематических разворотов блоков; 11 – изосейсты с указанием балльности; 12 – точки для расчета глубины очага и магнитуды [1]

Подробно рассмотрен достаточно небольшой участок юго-западного побережья Кандалакшского залива с весьма выразительным комплексом дислокаций ледникового рельефа. В районе полуострова Киндо развита структурно-денудационная цокольная равнина с абсолютными высотами до 100 м. Непосредственно в районе полуострова Киндо к потенциальным сейсмогенерирующим структурам могут быть отнесены бортовые разрывы микрограбена пролива Великая Салма, продолжающегося в Ругозерской губе. По данным непрерывного сейсмического профилирования, микрограбен отчетливо проявляется в рельефе коренного ложа в виде цепочки ассиметричных впадин глубиной 100-300 м, разделенных перемычками. Южный край микрограбена более крутой и расчлененный.

Для выяснения структурной позиции очага палеоземлетрясения, полученные данные о положении эпицентра у северного побережья г. Ругозерская соотнесены с

положением бортовых разрывов микрограбена пролива Великая салма. За сейсмогенерирующий следует принять ближний к полуострову (южный) береговой разрыв.

Собранные данные о распределении возможных вторичных палеосейсмодислокаций, позволяют отнести г. Ругозерскую и мыс Киндо к эллиптической VIII-балльной зоне сотрясения, а массивы со следами предположительно вибрационного растрескивания и сейсмогравитационных нарушений (о. Великий, мыс Зеленый, о. Оленевский) – к VII-балльной зоне.

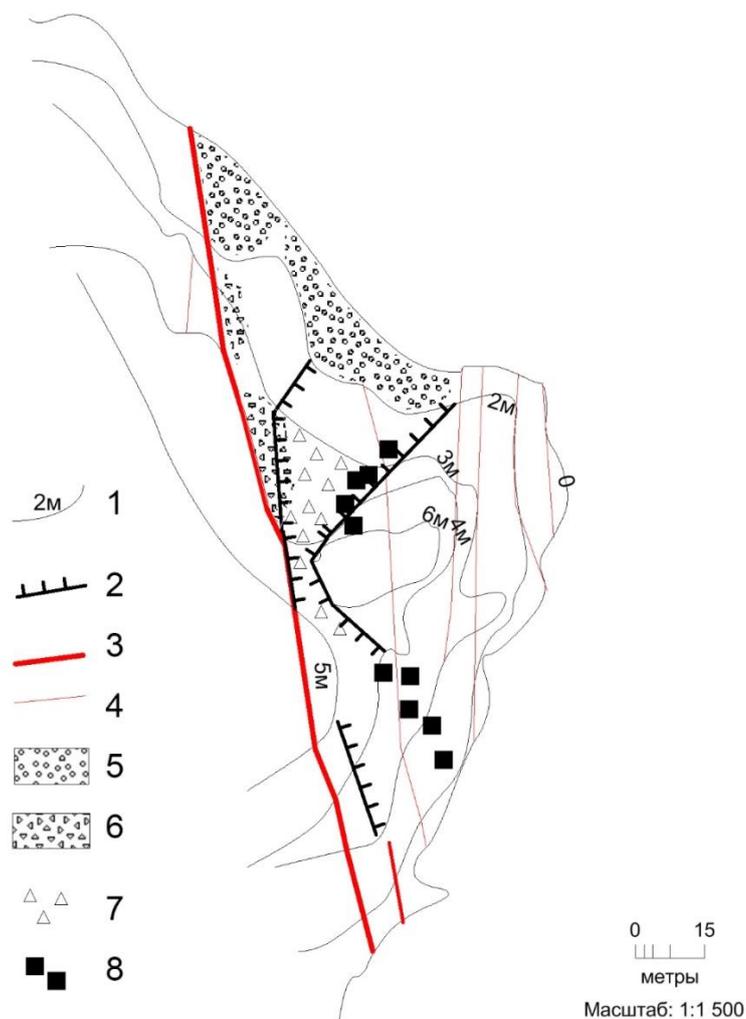


Рис. 3 – Ров растяжения в тыловой части сместившегося по слабонаклонной поверхности скольжения скального блока в береговой зоне о. Покормежный. 1 – изолинии; 2 – уступы; 3 – разрывы более 1м; 4 – разрывы менее 1м; 5 – галька; 6 – мелкие глыбы; 7 – крупные глыбы; 8 – отдельные блоки

Также палеосейсмологические исследования проводились на островных архипелагах Белого моря.

Раскрытые тектонические трещины обнаружены нами в районе о. Покормежный. Было выявлено смещение пластины гранитогнейсовых пород размером 40x50 м в прибрежной части о. Покормежный, на восточной части Кузокотского архипелага, с образованием в тылу части рва зоны растяжения, заполненного крупными угловатыми глыбами (рис. 3). Кроме того, перпендикулярно к направлению смещения в основном скальном массиве выявлена свежая трещина отрыва, указывающая на

формирование самого разрыва и блоковой дислокации в результате сейсмического воздействия, направленного в субширотно [2].

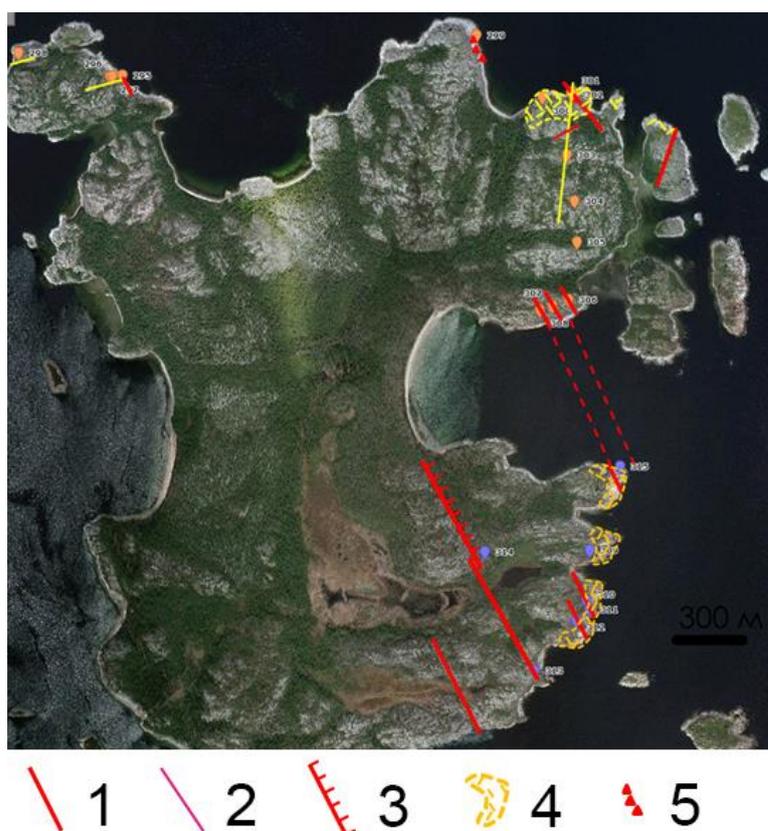


Рис. 4 – Предварительные данные о. Сидоров. 1 – молодые разрывы в виде трещин и рвов с неоглаженными бортами; 2 – древние разрывы с оглаженными бровками; 3 – предполагаемый сбросовый уступ; 4 – зоны трещиноватости; 5 – глыбовые развалы [3]

В результате проведенных полевых исследований на территории Керетского архипелага Белого моря был выявлен, в частности, протяженный участок местности, включающий в себя несколько островов Керетского архипелага, имеющий отличительные особенности по сравнению с остальной частью архипелага, а также прибрежного района континентальной части Северо-Карельского побережья [4]. Выяснилось, что этот объект, расположенный в субмеридиональной плоскости, имеет признаки сеймотектонического уступа, разрушенного в результате морозобойных процессов и сеченного систематически повторяющимися грабенообразными структурами.

На территории Керетского архипелага имеются и другие примеры структурных нарушений, несущие в себе следы сильнейших сейсмических воздействий, изучение которых может помочь продлению сейсмического каталога вглубь веков, а также способствовать более точной оценке сейсмической опасности Республики Карелия и других районов Крайнего Севера.

*Работа поддержана программой развития Томского государственного университета (Приоритет-2030). Полевые и камеральные исследования палеосейсмичности архипелага Белого моря и прибрежного района континентальной части Северо-Карельского побережья проводились совместно с С.Ф. Колесниковым, А.С. Ларьковым, Е.С. Горбатовым, С.Н. Родиной, Н.А. Гордеевым и И.А. Клоковым. Автор благодарит их за активное участие в совместных работах.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбатов Е.С., Сорокин А.А., Мараханов А.В., Ларьков А.С.. Результаты детальных палеосейсмологических исследований в районе полуострова Киндо (Карельский берег Белого моря) // Вопросы инженерной сейсмологии. 2017. Т. 44. С. 5–24.
2. Горбатов Е.С., Разумный С.Д., Стрельников А.А., Родина С.Н. Выявление Чупинской сейсмогенной структуры (Северная Карелия) и параметризация палеоземлетрясений в районе Кандалакшского грабена // Вопросы инженерной сейсмологии. 2020. Т. 47, № 1. С. 24–50.
3. Гордеев Н.А., Клоков И.А., Стрельников А.А. Результаты обработки геологических стресс-индикаторов для доголоценовых землетрясений Кандалакшского района // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2021. № 18. С. 124–129.
4. Горбатов Е.С., Сорокин А.А. Сильные голоценовые палеоземлетрясения Карельского берега Белого моря и особенности проявления их следов в рельефе // Современные проблемы механики. 2018. Т. 33, № 3. С. 186–196.

## ПОДВОДНЫЕ ЛАНДШАФТЫ ПРОЛИВА ВЕЛИКАЯ САЛМА КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

*Терёхина Я.Е.<sup>1</sup>, Токарев М.Ю.<sup>1</sup>, Рыбалко А.Е.<sup>2,3</sup>*

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва  
ya.terekhina@sc-lmsu.com

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, г. Санкт-Петербург

<sup>3</sup>ФГБУ «ВНИИОкеангеология», г. Санкт-Петербург

Применение геофизических, в первую очередь гидроакустических, методов для картографирования подводных ландшафтов и изучения структуры донных сообществ началось уже в 1940-х годах. В настоящее время используют множество биологических, экологических, геологических, гидрографических, океанографических и геофизических данных, поэтому возникла проблема возможности их комплексирования [1]

В докладе освещены методика применения геофизических наблюдений, в первую очередь гидроакустических, и подходы к их количественной интерпретации, для определения абиотических компонент подводных ландшафтов.

В основу анализа положены данные комплексного исследования, включающее съемку МЛЭ, трехчастотное ГЛБО, АПр, ССВР, пробоотбор и подводную видеосъемку [2].

Результатом комплексного анализа является определение распространения компонент подводных ландшафтов, заверенных результатами точечных наблюдений, в пределах однородных областей, определенных по данным дистанционных наблюдений. Состав и последовательность работ при картировании компонент подводных ландшафтов включает в себя следующие действия:

- изучение геологического строения по данным мультимастотных сейсмоакустических наблюдений [3];
- анализ данных МЛЭ для выделения геоморфологических элементов мезо- и микрорельефа;
- качественная и количественная интерпретация данных АП и ГЛБО для определения типов донных осадков и изучения литодинамических процессов [4];

- сбор и анализ данных отбора проб морской биоты на рыхлых и фото-, видеонаблюдений на плотных грунтах;
- обработка данных гидрологических наблюдений;
- комплексирование результатов гидрологических исследований, подводных фото- и видеонаблюдений, пробоотбора и лабораторных исследований с данными дистанционных наблюдений для определения компонент подводных ландшафтов.

Исследуемый полигон представляет собой узкий пролив глубиной до 108 м. Рельеф и геологическое строение обусловлены в основном новейшей тектоникой и деятельностью ледника и изменены современными субаквальными процессами. Обстановки осадконакопления варьируются в зависимости от глубины и близости берега. Гидродинамический режим контролируется в первую очередь приливно-отливными течениями и формой пролива. На полигоне были выделены склоны и равнины, а также ледниковые формы рельефа. Приповерхностные осадки имеют размерность от пелитовой до валунно-галечной.

В прибрежной области выделяется зона (Зона 1), характеризующаяся глубинами до 20 м, где преобладают денудационные процессы, обусловленные интенсивными волно-прибойными и приливно-отливными течениями. В основном это пологонаклонная равнина, часто осложненная мелкими грядами ледникового происхождения (морена Де Гира). Приповерхностный слой осадков представлен грубообломочными разностями (валунно-галечные отложения, гравий, дресва, пески и миктиты гравийные) ледникового происхождения, основанием служит архей-протерозойский фундамент. Наиболее значимые по площади участки этой зоны находятся на восточной и юго-восточной частях площади (Рисунок 1).

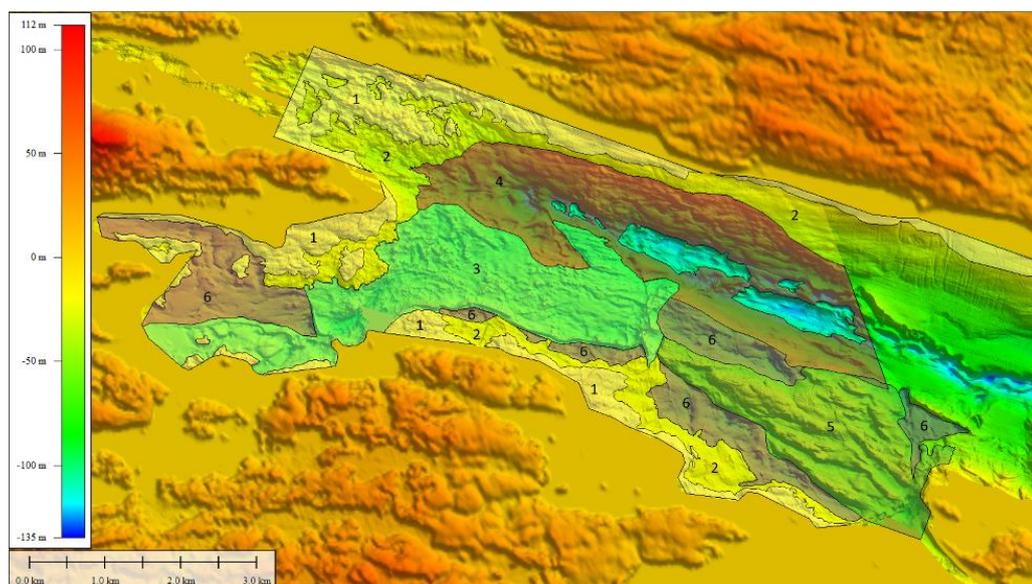


Рис. 1 – Карта зон абиотических компонент подводных ландшафтов:

- 1 - пологонаклонные структурно-денудационные равнины прибрежного мелководья (размыв и транзит наносов); 2 – структурно-денудационные склоны (размыв и транзит наносов); 3 – аккумулятивно-денудационная холмистая равнина (размыв и аккумуляция наносов); 4 - волнисто-ступенчатые структурно-гравитационные склоны (транзит и аккумуляция наносов); 5 - структурно-денудационная равнина с крупными горстообразными грядами и структурными впадинами; 6 - пологохолмистая морская равнина на ледниковом субстрате (преимущественно аккумуляция наносов); 7 – волнистые морские равнины

У мыса Киндо Зона 1 сменяется пологим склоном (Зона 2) с углами от 3 до 12 градусов, который заканчивается на глубине около 30 м. В этой области наблюдается превалирование приливно-отливных течений, что приводит к транзиту материала и перемыву подстилающих отложений. Приповерхностный слой представлен песчаными и миктитовыми осадками, которые залегают на ледниковых отложениях. Так же подобная зона обнаруживается на северном склоне пролива.

Между мысом Киндо и Савватеевский на глубинах от 30 до 40 м располагается аккумулятивно-денудационная холмистая равнина (Зона 3) с алевритовыми осадками, подстилаемыми ледниковым субстратом. Геологическое строение и рельеф этой области осложнены ледниковыми формами, а именно моренными холмами и озами.

Неровный волнисто-ступенчатый склон (Зона 4) на северном борту пролива осложнен оползневыми телами, сложенными смятыми морскими и ледниково-морскими осадками, и перекрытые современными морскими осадками (Рыбалко и др., 2013). Подстилающими отложениями служит фундамент и отложения гравитационных процессов. Перепад глубин от 40 до 70 м. К этой же зоне можно отнести участок южного склона и западную область замыкания залива.

Зона 5 – это структурно-денудационная равнина на глубинах 15-35 м образована горстообразными выступами фундамента северо-западной ориентировки, фрагментарно прикрытыми ледниковыми отложениями малой мощности. Поверхности и крутые склоны гряд покрыты тонким прерывистым чехлом перлювиальных валунно-галечных и песчано-галечных грунтов, формирующихся в условиях интенсивного размыва. Подножия склонов занимают мелкие и алевритовые пески. Структурные впадины между грядами и мелководья в тылу гряд заполнены песчано-алевритовыми морскими осадками, формирующимися в ходе флювиальной и нефелоидной аккумуляции в локальных седиментационных ловушках. Батиметрическая зональность в распределении осадков нарушена сложным режимом течений, следующих вдоль оси пролива и огибающих крутые гряды.

Зона 6 представляет собой аккумулятивную флювиальную равнину, сложенную песками мелкими, миктитами алевритовыми и алевритами.

Областей, характеризующихся подобными условиями, на площади исследования несколько: участок разгрузки рек Черная и Нильма, участки, окаймляющие Зону 5 с севера, востока и юга. Это участки активного динамического режима.

Дно пролива с глубинами более 100 м можно выделить в отдельную зону морской равнины (Зона 7), которая характеризуется сглаженным рельефом и выполнена алевритовыми пелитами. Небольшие эрозионные борозды свидетельствуют о локальных обстановках перемыва поверхности дна течениями.

Выводы: Комплексный подход к картированию подводных ландшафтов требует применения как «качественного», так и «количественного» анализа геолого-геофизических данных и последующего поэтапного уточнения выдвинутых предположений при детализации работ. Автоматизация интерпретации требует расчета и подбора атрибутов, отбраковки и нормирования входных данных. При этом результаты позволяют предполагать успешное внедрение технологии сбора и анализа геофизических данных для картографирования абиотических компонент подводных ландшафтов на обширных территориях перигляциальных и гляциальных шельфах России.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Brown Craig J., Smith Stephen J., Lawton Peter, Anderson John T. Benthic habitat mapping: A review of progress towards improved understanding of the spatial ecology of the seafloor using acoustic techniques/ Estuarine, Coastal and Shelf Science 92 (2011). P. 502-522.

2. Terekhina, Y. E., Barymova, A. A., Isachenko, A. I., Kokorin, A. I., Kozlovskiy, V. V., Mikhaylyukova, P. G., Mokievsky, V. O., Repkina, T. Y., Rybalko, A. E., Tokarev, M. Y., and Shabalyn, N. V. Chapter 39 - Geomorphological and habitat mapping of the glaciated shelf (the Velikaya Salma strait of the Kandalaksha gulf of the White sea, Russia). In GeoHab Atlas of Seafloor Geomorphic Features and Benthic Habitats (Amsterdam, Netherlands, 2019), Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat (Second Edition), Elsevier Science B.V, pp. 655–673.
3. Ampilov Y.P., Terekhina Y.E., Tokarev M.Y. Applied Aspects of Different Frequency Bands of Seismic and Water Acoustic Investigations on the Shelf // Izvestiya - Atmospheric and Oceanic Physics. 2019. Vol. 55. No. 7. Pp. 705–720.
4. Терехина Я.Е., Токарев М.Ю. Количественный анализ гидроакустических данных для картографирования абиотических компонент подводных ландшафтов // Геофизика. 2018. № 3. С. 153-160.

## **К ПРОБЛЕМЕ АСИММЕТРИИ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА В ДИВЕРГЕНТНЫХ ЗОНАХ ОКЕАНОВ И В МАНТИЙНЫХ ПЛЮМАХ**

*Хуторской М.Д.*

Геологический институт РАН, г. Москва, mdkh1@yandex.ru

Детальные исследования теплового потока в пределах склонов срединно–океанических хребтов и смежных абиссальных котловин показали, что его распределение не является везде симметричным относительно оси хребта в соответствующих однотипных зонах, а подчинено сложному механизму перераспределения, зависящему от многих геологических причин, связанных с тектоникой и особенностями строения литосферы этих зон.

Факт геотермической асимметрии склонов срединных океанических хребтов (СОХ), смежных абиссальных котловин и пассивных частей трансформных разломов в Атлантическом, Индийском и Тихом океанах был обоснован и подтвержден на основании статистической обработки выборок измерений из глобальной базы данных по тепловому потоку вдоль геотраверсов, пересекающих СОХ и охватывающих перечисленные структурные элементы океанической коры [1, 2]. Важно отметить, что асимметрия СОХ наблюдается не только в тепловом поле, но и в других геофизических полях: магнитном и гравитационном, а также в структуре коры [3, 4].

Природа этого феномена многократно обсуждалась, и предлагались различные геолого–геофизические модели для объяснения существующей асимметрии. Некоторые исследователи отмечают существование различной скорости спрединга океанических плит по разные стороны от оси хребтов [3], другие полагают, что различаются геодинамические процессы в смежных плитах, и на одной из них режим сжатия, сменивший первичную обстановку растяжения, создает характерные для сжатия шарьяжно–надвиговые структуры [1, 4].

Здесь мы приводим сравнительный анализ распределения теплового потока вдоль геотраверсов, пересекающих СОХ в южном и северном полушариях планеты. Естественно, нами рассматриваются те пересечения СОХ, которые наиболее представительны обеспечены измерениями теплового потока. Компиляция измеренных значений теплового потока отражена в глобальных базах данных [ 5 ].

Доказательство возможной геотермической асимметрии структурно–морфологических элементов вдоль геотраверсов вкост простирания Срединно–Атлантического хребта, Восточно–Тихоокеанского поднятия и Юго–Западно–Индийского хребта (рис. 1) основано на статистическом сравнении выборок

эмпирических данных, относящихся к разным его частям, в нашем случае, к его западному и восточному простиранию.

Для оценки статистически значимого различия средних значений теплового потока в исследуемых выборках использовался параметрический критерий Крамера–Вэлча ( $T$ ), значение которого находят по формуле:

$$T = \frac{\sqrt{mn} * (\bar{x} - \bar{y})}{\sqrt{ns_x^2 + ms_y^2}}$$

где  $\bar{x}$ ,  $s_x^2$ ,  $n$  и  $\bar{y}$ , и  $m$ , соответственно, выборочные средние, дисперсии и количество данных по двум сравниваемым выборкам. Если  $T < \varphi(1 - \frac{\alpha}{2})$ , где  $\varphi(1 - \frac{\alpha}{2})$  – значение обратной функции нормального распределения от уровня значимости  $\alpha$ , где  $\alpha=1-P$ ,  $P$  – доверительная вероятность, то принимают гипотезу об однородности средних значений теплового потока, т.е. существование асимметрии не подтверждается. Если же  $T \geq \varphi(1 - \frac{\alpha}{2})$ , то принимают гипотезу о том, что средние значения по рассматриваемому признаку неоднородны и асимметрия подтверждается. При уровне значимости  $\alpha=0.05$  (при  $P=95\%$ ) критическое значение критерия Крамера–Вэлча  $T=1.96$ . Следовательно, если значение критерия не превышает данную величину, то следует принять гипотезу об однородности данных выборок по среднему значению. Если значение критерия больше или равно критическому значению, то выборки по среднему значению признаются различными.

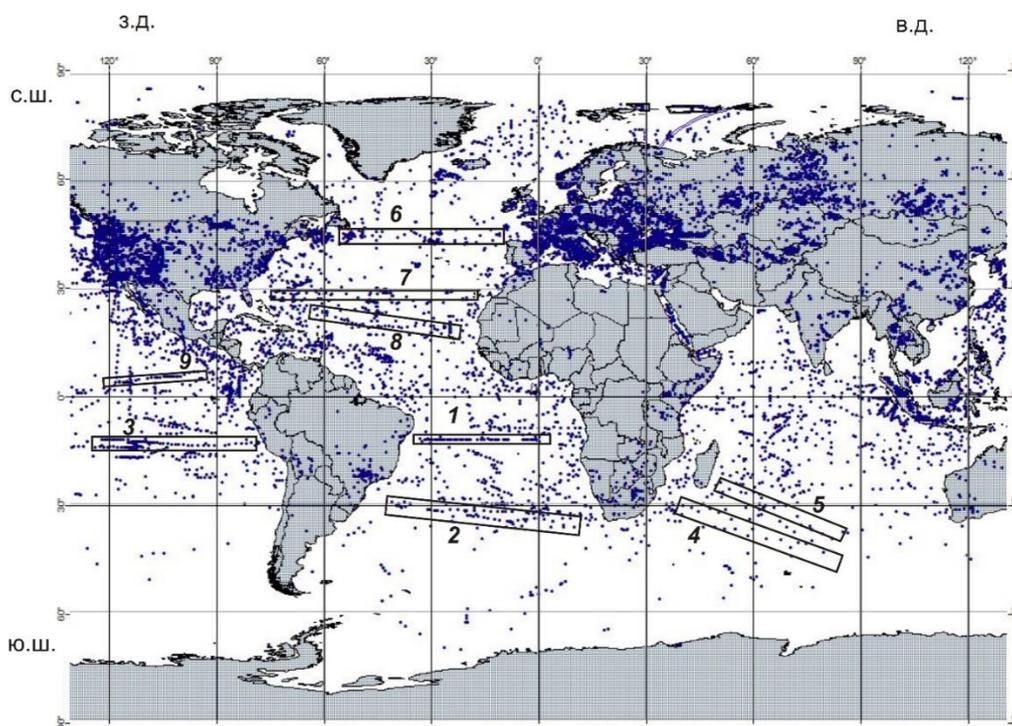


Рис. 1 – Схема расположения точек измерения теплового потока и исследованных геотраверсов в Мировом океане

В южном полушарии мы проанализировали распределение теплового потока вдоль пяти геотраверсов: 1) Анголо–Бразильский геотраверс (12°ю.ш.), 2) геотраверс вдоль 31°ю.ш. – в Атлантическом океане; 3) геотраверс 15°ю.ш. – в Тихом океане, а также геотраверсы в Индийском океане: 4) южная часть котловины Крозе–Мозамбикская котловина и 5) северная часть котловины Крозе–Мадагаскарская котловина (см. рис.1).

Сопоставление геотермических данных для флангов геотраверсов, пересекающих все СОХ в океанах Земли, выявило статистически значимую асимметрию теплового потока, различающуюся по направлению в южном и северном полушариях Земли: в южном полушарии западные фланги геотраверсов характеризуются более высоким тепловым потоком, а в северном – восточные (рис.2).

Объяснение этого феномена требует не только корректировки основных положений парадигмы спрединга океанского дна, но и более глобальных, планетарных причин проявления асимметрии в быстро- и медленно спрединговых хребтах. Можно указать, как минимум, две возможные причины, осложняющие симметричный дивергентный механизм. Это различающийся возраст блоков тектонических плит по разные стороны от оси хребта и/или наложение вторичных процессов на первичный спрединг, которые идут с выделением или поглощением энергии. Среди таких процессов можно указать на растяжение коры в аккреционной зоне и в смежных абиссальных котловинах, которое сопровождается образованием листрических сбросов, а также образование шарьированных блоков, экранирующих глубинный тепловой поток. С этими тектоническими процессами неразрывно связано сложное перераспределение конвективных потоков в верхней части океанской литосферы, которое фиксируется в геотермическом поле наличием аномально высоких и аномально низких (и даже нулевых) значений теплового потока.

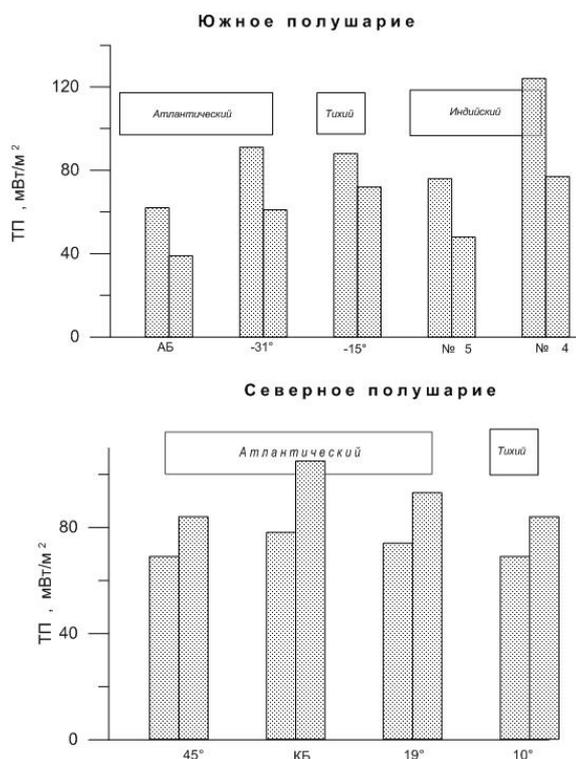


Рис. 2 – Гистограммы распределения среднеарифметических значений теплового потока вдоль геотраверсов в Южном и Северном полушариях Земли

Существующая методика расчета возраста второго слоя океанской коры по геотермическим данным основана на предположении о равной скорости спрединга по обе стороны от оси океанических хребтов. Именно на этом основании выведена формула, позволяющая рассчитать возраст дна ( $t$ ) по измерениям теплового потока ( $q$ ):  $q = \lambda \cdot T_a / \sqrt{\pi a t}$ , где  $\lambda$  – теплопроводность литосферы;  $T_a$  – температура астеносферы;  $a$  – температуропроводность, а также производную от этой другую

формулу для оценки мощности литосферы ( $H_L$ ):  $H_L = (T_s/T_a)\sqrt{\pi a t}$ , где  $T_s$  – температура солидуса мантийного вещества.

Наличие геотермической асимметрии существенно осложняет применение этих формул и заставляет предположить другую, более сложную модель для количественных оценок параметров океанской литосферы. Проведенные ранее исследования поиска корреляционной зависимости возраста океанической коры по магнитным аномалиям и по величине теплового потока не установили значимую корреляцию [6]. Идея о существовании геотермической асимметрии позволяет объяснить причину отсутствия корреляции.

Перечисленные факторы, несомненно, требуется учитывать при анализе геотермического поля океанской коры, но они не объясняют разное «направление асимметрии» в северном и южном полушариях.

Известно, что на любую материальную точку Земли ( $m$ ) из-за ее вращения против часовой стрелки с угловой скоростью ( $\omega$ ) будет действовать сила Кориолиса  $F_k = 2m \cdot v \cdot \omega \cdot \sin\varphi$ , которая в южном полушарии будет смещать массу влево относительно радиуса, а в северном, соответственно, вправо. В дивергентных зонах такой массой является магма, скопившаяся в астеносферном мантийном резервуаре и перемещающаяся внутри него под действием силы Кориолиса. Избыточная энтальпия этой массы обуславливает то специфическое распределение конвективного и кондуктивного теплового потока, которое мы наблюдаем в дивергентных зонах. Конвективная разгрузка глубинного тепломассопотока направлена строго вдоль разломной рифтовой зоны и выражается, в конечном итоге, в виде вулканических проявлений на морском дне. В то же время, главным источником кондуктивного теплового потока на флангах СОХ и в смежных абиссальных котловинах является присутствие фракционно расплавленного мантийного материала в астеносферном резервуаре. Концентрация магмы в этом резервуаре асимметрична, что обуславливается влиянием силы Кориолиса (рис.3). Появление большего количества высоко энтальпийной массы на одном из флангов объясняет наблюдаемую асимметрию кондуктивного теплового потока.

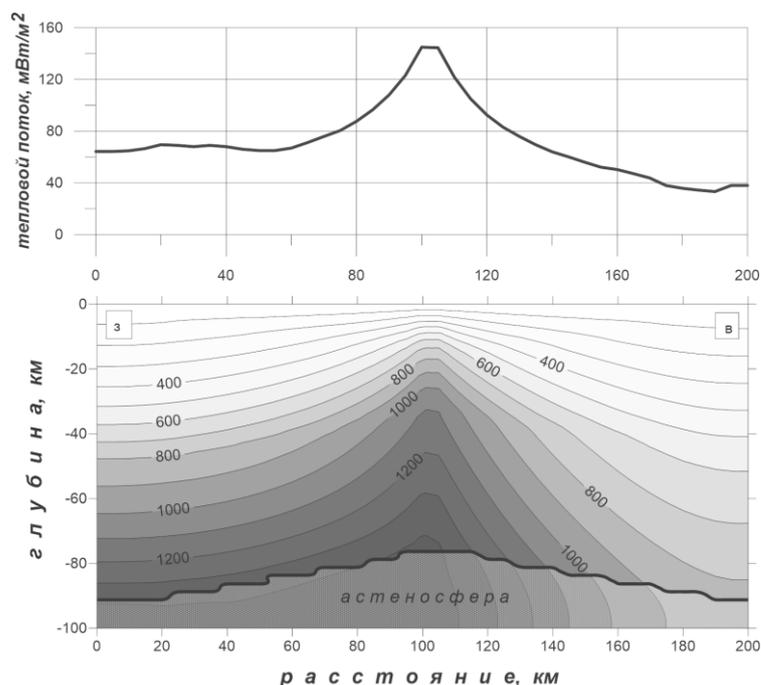


Рис. 3 – Асимметрия геотемпературного поля,  $T, ^\circ\text{C}$  (внизу) и теплового потока (вверху) вкрест простирания срединно-океанического хребта (пример для Южного полушария Земли)

Мы предложили ввести «количественный показатель геотермической асимметрии», который характеризуется абсолютной величиной разницы средних значений теплового потока на разных флангах геотраверса:  $\delta q = |q_1 - q_2|$ . Из-за увеличения силы Кориолиса по направлениям к полюсам Земли, этот показатель должен быть больше для геотраверсов в высоких широтах, чем в приэкваториальных. На рис. 4 по оси ординат отложена величина  $\delta q$  для всех изученных геотраверсов как функция широты его расположения. Фиттинговая аппроксимация (пунктирная кривая) имеет форму параболы с минимумом на широте экватора.

Таким образом, мы показали с помощью статистического анализа, что главным фактором, обуславливающим асимметрию теплового потока в дивергентных зонах Мирового океана, является действие силы Кориолиса на высоко энтальпийные магматические массы в астеносферном очаге.

В Мировом океане, кроме дивергентных структур срединных хребтов известны вулканические хребты другого происхождения, которые образуются при движении плит относительно участков мантии. Их принято считать неподвижными, называя «hot spots» (горячими точками (HS)) или «mantle plumes» (мантийными плюмами (MP)).

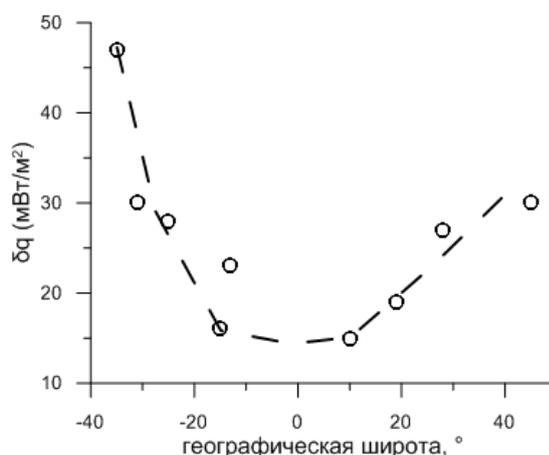


Рис. 4 – Зависимость показателя геотермической асимметрии  $\delta q$  от географической широты расположения геотраверса

Появились высказывания, что некоторые горячие точки, например, Йеллоустон, не связаны с глубокими мантийными плюмами.

Одним из аргументов, выдвигаемых критиками ортодоксальной, «гавайской» модели плюмов, был факт асимметрии теплового потока относительно расположения проекции выхода струи плюма на земную поверхность [ 7 ]. Это действительно так – центры вулканизма «горячих точек» и экстремальные значения теплового потока не совпадают на поверхности Земли. Иногда они смещены друг относительно друга на значительные расстояния, 100–300 км. Причины такого смещения мы связываем с влиянием силы Кориолиса, под действием которой адвективный поток из нижней мантии отклоняется от ортогональной траектории по отношению к поверхности планеты.

*Работа выполнена в рамках Госбюджетной темы № 122012700311-2 и при финансовой поддержке гранта РФФИ № 23-17-00019 «Тепловой поток и глубинные температуры в разнотипных тектонических структурах Северной Евразии».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Подгорных Л.В., Хуторской М.Д. Геотермическая асимметрия срединных хребтов Мирового океана // Геотектоника. 1999. № 3. С. 21-42.

2. Хуторской М.Д., Поляк Б.Г. Тепловой поток в трансформных разломах Северной Атлантики и Юго-Восточной Пацифики //Геотектоника, №2. 2017. С.55-66.
3. Нарышкин Г.Д., Погребницкий Ю.Е. Морфоструктура дна Юго-Восточной Атлантики //Литосфера Ангольской котловины и восточного склона Южно-Атлантического хребта. Л., 1986. С.10-23.
4. Пушаровский Ю.М., Пейве А.А., Разницин Ю.Н., Базилевская Е.С. Разломные зоны Центральной Атлантики. М.: ГЕОС, 1995. 163 с. (Тр.ГИН РАН, вып.495).
5. Hasterok D., Jennings S. Global database: <http://heatflow.org>, 2016.
6. Budanov V.G., Ermakov B.V., Podgornykh L.V. Geophysical asymmetry of the wings of mid-Atlantic ridge(MAR): gravity, magnetic fields, heat flow //European Geophysical Society, Annales Geophysical, part I, Society Symposia, Solid Earth Geophysics & Natural Hazards, Supplement I to Volume 15, SE27 Tectonic evolution and thermal structure at mid-ocean ridges, 1997, p.161.
7. Anderson D. The thermal state of the upper mantle: no role for mantle plumes // Geophys. Res. Lett. 2000. V. 27. P. 3623–3626.

## СОЛОВЕЦКИЙ АРХИПЕЛАГ. ЗАГАДКИ И ЗАДАЧИ ГЕОЛОГИИ

*Черкасов С.В.*

Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН, г. Москва,  
s.cherkasov@sgm.ru

Соловецкие острова представляют собой настоящую *terra incognita* с точки зрения геологии. Более-менее систематические исследования были связаны с планами по развитию инфраструктуры Большого Соловецкого острова в 20-х годах прошлого века [1] и с поисково-оценочными работами на стройматериалы [2, 3, 4], а в целом современные представления о геологическом строении верхней части земной коры в районе архипелага являются, результатом экстраполяции на территорию островов геолого-геофизических данных, полученных как в акватории Белого моря [5, 6], так и в прибрежных регионах Кольского полуострова и Архангельской области [7].

То же самое справедливо и для гипотез о геологической природе Соловецких островов. Доминирующая в литературе, особенно – популярной, точка зрения – острова имеют ледниковое происхождение [8], что было бы совершенно справедливо, если бы речь шла не об островах в целом, а о формировании современного рельефа. Понятно, что в непосредственной близости от поверхности мы наблюдаем ледниковые отложения, однако формирование островов должно начинаться с поднятия, которое позже разрушалось ледником и покрывалось этими отложениями.

На современных тектонических картах архипелаг расположен в центральной части Карельского выступа в западном обрамлении плитной части кратона (Мезенской синеклизы), практически на границе с палеопротерозойским Лапландско-Беломорским поясом [9]. При этом считается, что дочетвертичные отложения на островах представлены преимущественно аргиллитами верхневендского валдайского надгоризонта [10]. Однако, следует отметить тот факт, что обнажения дочетвертичных образований в пределах архипелага отсутствуют, и ни одной скважины, достигающей подошвы четвертичных отложений, пробурено не было.

Еще одна гипотеза касается возможного наличия на островах геотермальной аномалии. Предположение о наличии аномалии основывается на повышенных значениях теплового потока (спутниковые данные) и своеобразии биоценоза, во многом соответствующего более южным широтам [11]. Измерениями придонных температур в озерах Б. Соловецкого острова (рис. 1), проведенными сотрудниками

ГГМ РАН в 2021 г. [12], зафиксированы аномальные для димиктических озер придонные температуры (рис. 1), что может быть вызвано и предполагаемой геотермальной аномалией [13].

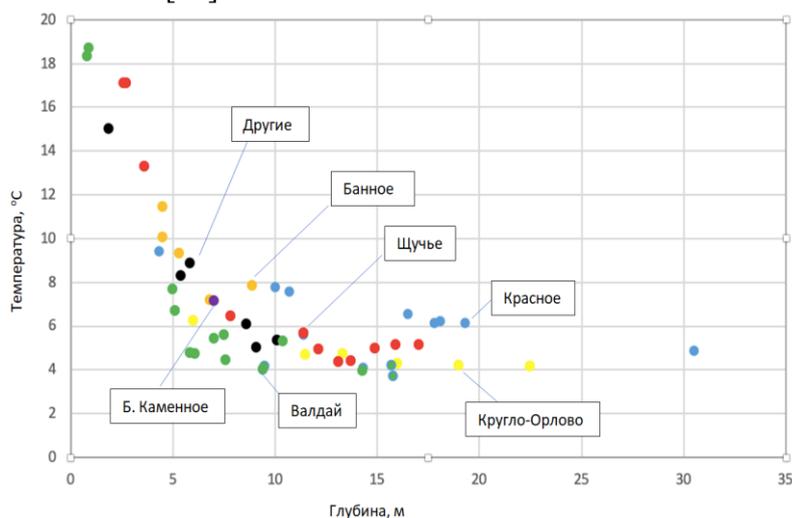


Рис. 1 – Придонные температуры воды в озерах Б. Соловецкого острова. Цвет точек соответствует разным озерам, названия озер – в рамках

В то же время, повышенные придонные температуры могут быть следствием придонных химических реакций, или ветрового перемешивания, поэтому для определения природы температурных аномалий, и, соответственно, для определения перспектив использования геотермальных ресурсов на островах, необходимо проведение дополнительных исследований.

Решения для большей части «геологических загадок» Соловецкого архипелага могут быть получены при проведении параметрического бурения, результаты которого, с одной стороны, позволят впервые получить достоверную информацию о строении верхней части земной коры архипелага, что важно для понимания как происхождения собственно островов, так и истории геологического развития Беломорского региона в целом, а с другой – дадут окончательный ответ о перспективах развития геотермальной энергетики.

*Исследования выполнены в рамках темы «Оценка возможности использования геотермальных ресурсов на территории Большого Соловецкого острова», № гос. регистрации 121102600209-2 и проведены при поддержке ООО «Нефть-Сервис».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов Вс.Н. Почвенно-геологические исследования Соловецкого острова [Электронный ресурс]: материалы 1924, 25 и 26 гг. / Вс. Н. Иванов. Соловки [п. Соловецкий, Архангельская обл.]: [Б. и.], 1927. (Материалы / Соловецкое общество краеведения; вып. 10). 102 с.
2. Кадастр месторождений полезных ископаемых. Том XVI. Лист Q-36 Строительные материалы // ПГО «Архангельскгеология». Архангельск, 1980, 5 л.
3. Копытина С.В. Отчёт о результатах проведения поисков и оценки месторождений общераспространённых полезных ископаемых в Приморском районе (участок-1 Соловецкий) Архангельской области // ООО Геостром - Санкт-Петербург, 2014. 182 л.
4. Мелитицкий А.В., Сухопарова Л.Д., Тарасов В.А. Отчет о проведении поисков песчано-гравийного материала и песка на Соловецких островах в Приморском р-не Архангельской обл. (1984-87 гг.) // ПГО «Архангельскгеология». Архангельск, 1987. 343 л.

5. Шаров Н.В., Журавлев В.А. Стрoение земной коры Белого моря // Арктика: экология и экономика № 3 (35), 2019, с. 62-72.
6. Косевич Н.И. Морфология и динамика рельефа островов Кандалакшского залива Белого моря: диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук // Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова. М., 2016. 232 с.
7. Макаров В.И., Шукин Ю.К., Юдахин Ф.Н. Позиция Соловецких островов в неотектонической структуре Беломорья, их природа и современная геодинамика // Литосфера, 2007. № 3. С. 86-94.
8. Богуславский Г.А. Острова Соловецкие. Архангельск, 1978. 172 с.
9. Балуев А.С. Континентальный рифтогенез Севера Восточно-Европейской платформы в неогее: геология, история развития, сравнительный анализ. Диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. Москва, 2013. 320 с.
10. Астафьев Б. Ю., Богданов Ю. Б., Воинова О. А., Воинов А. С. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Балтийская. Лист Q-(35), 36 – Апатиты. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. 436 с.
11. Шварцман Ю.Г., Болотова Г.Н., Болотов И.Н., Игловский С.А. Структура и пространственное распределение компонентов природных комплексов Соловецкого архипелага // Вестн. Поморского ун-та. 2005. Сер. 1. Естественные и точные науки. № 1. С. 4–17.
12. Черкасов С.В., Хуторской М.Д., Фархутдинов И.М., и др. Оценка возможности использования геотермальных ресурсов на территории Большого Соловецкого острова (заключительный). Отчет о НИР // ГГМ РАН. - Москва, 2021. 50 л.
13. Черкасов С.В., Фархутдинов И.М. Эксперимент по использованию придонных температурных измерений в озерах острова Большой Соловецкий для проверки гипотезы о наличии геотермальной аномалии // Труды КарНЦ РАН. Серия Лимнология и океанология, №6, 2022. С. 6-15.

## **КОМПЬЮТЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ НА ВЫЯВЛЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СТРАТЕГИЧЕСКИХ МЕТАЛЛОВ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИИ**

*Чиждова И.А.*

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии  
Российской академии наук, г. Москва, tchijova@igem.ru

В процессе анализа площадей, перспективных на обнаружение оруденения, наибольший интерес представляют: определение минерального (рудно-формационного) типа, определение части рудного или околорудного пространства, к которому следует отнести объект оценки, и оценка масштабности оруденения.

Эти прогнозно-металлогенические задачи - первоочередные при выборе перспективных площадей для постановки геологоразведочных работ (ГРР). От правильного их решения зависит выбор направления и эффективной методики ГРР, что способствует минимизации сроков, а также сокращению финансовых затрат. Результаты ГРР носят вероятностный характер. По данным ФА Роснедра, из 100 прогнозируемых участков по твердым полезным ископаемым в результате проведения ГРР, только на одном выявляется месторождение [1]. Применение экспресс-оценки месторождений будет способствовать более быстрой разбраковке выделенных участков.

Следовательно, они могут быть весьма востребованы для расширения минерально-сырьевой базы стратегических металлов на территории Арктических регионов.

Технология экспресс-оценки основана на решении прогнозных металлогенических задач, которые можно рассматривать как «задачи принятия решений», поскольку включает в себя сбор информации, оценку альтернатив и, наконец, определение окончательного выбора. Для автоматизации процесса поддержки принятия решения, как правило, применяются информационные цифровые компьютерные технологии [2, 8]. Методика решения прогнозных металлогенических задач на основе расчетно-логических (в виде формулы и логических действий) правил [5] позволяет применить IT-технологии для автоматизации поддержки принятия решения в помощь эксперту-геологу. Компьютерные технологии, реализующих математические методы анализа фактических данных, характеризующих объекты исследования, обеспечивают высокую степень оперативности и точность их сравнения с данными по эталонным объектам, отличающихся разными масштабами и специфичными свойствами их минеральных типов, и параметрами околорудных пространств. В отличие от интуитивного, этот подход использует объективные знания и логику, для получения результата.

В основу предлагаемой технологии положен логико-информационный анализ, разработанный в ИГЕМ РАН [3, 5], который позволяет сформировать логико-информационные модели (ЛИМ) и расчетно-логические решающие правила для поддержки принятия решений поставленных задач на основе компьютерного анализа эталонной выборки объектов исследования из базы данных, описанных в системе геологических, геофизических, минералогических, геохимических характеристик.

Данная технология была разработана на основе создания и изучения параметрических моделей полиметаллических месторождений и рудных полей Рудноалтайской минерагенической зоны [4, 6, 7]. Для характеристики разнообразия изучаемых месторождений эталонные объекты были подобраны с учетом проявления различных минеральных типов (колчеданно-полиметаллический (КП) и полиметаллический (П)) и различной масштабности М (мелкие, средние, крупные).

В базе данных по эталонным месторождениям хранятся сведения по описанию рудоносного, флангового, над- и подрудного пространства, занимаемого конкретным месторождением. Характеристика приводится исходя из параметрических моделей месторождений, построенных на основе расчленения объема, занимаемого конкретным месторождением, на ряд пространств: рудоносное (РМ), фланговое (РФ), над- (НР) и подрудное (ПР). Всего в базе данных содержатся сведения по 20 месторождениям (9 - колчеданно-полиметаллическим и 11 - полиметаллическим).

Для описания зон геологического пространства использована следующая система факторов и признаков: стратиграфо-литолого-фациальные, магматические, структурные (в первую очередь, конседиментационные и синвулканические), а также показатели, характеризующие состав, морфологию, зональность и интенсивность гидротермально-метасоматических изменений; морфологию, состав и положение рудных тел в структурах месторождений и разрезах рудовмещающих толщ; геохимические и геофизические аномалии, сопровождающие месторождения. Всего описание содержит 263 бинарных признака (со значениями 1 и 0, означающих присутствие или отсутствие признака на объекте).

Процесс поиска решающих правил строился с использованием принципа общности свойств, который основан на предположении, что объекты, образующие один класс (группу), обладают свойством подобия, отраженного в их характеристиках (признаках). Дерево решений прогнозных задач для объектов колчеданно-полиметаллического оруденения представлено на рисунке 1. Для решения каждой задачи строятся логико-информационные модели (ЛИМ).

Логико-информационная модель представляет собой набор информативных признаков с указанием их разделяющих весов и интервалов-индикаторов значений, характеризующих различающие свойства объектов анализируемых групп эталонов.

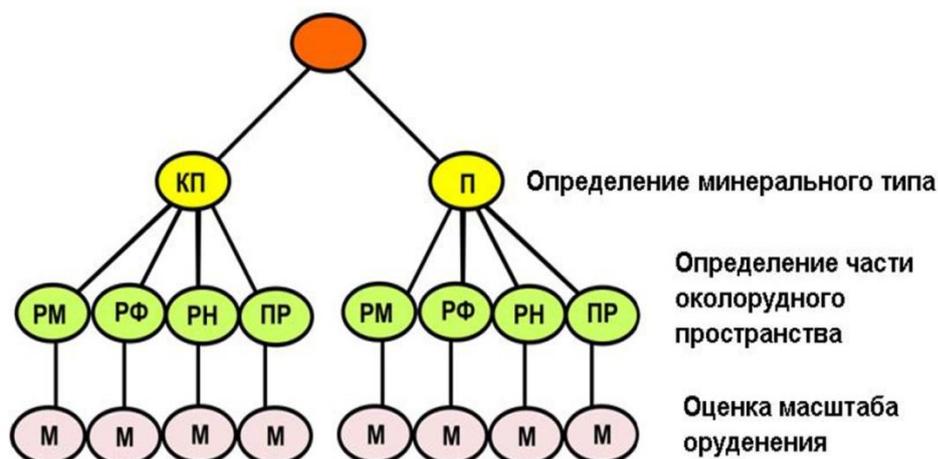


Рис. 1 - Дерево решений прогнозных задач для объектов колчеданно-полиметаллического оруденения

На основе оценки значимости информативных признаков и вычисления информационных весов объектов-эталонов проведена идентификация эталонных месторождений. Определены их тип, околорудное пространство и масштабность, проведена оценка качества распознавания. Полученные результаты позволяют использовать их в дальнейшем для экспресс-оценки потенциальных месторождений данного типа. Для решения всех поставленных задач построено 18 ЛИМ (по количеству вершин в дереве решений, см. рис. 1).

Чтобы оценить объект с помощью ЛИМ, надо описать его в указанной системе информативных признаков, найти сумму разделяющих весов тех признаков, для которых значение совпадает со значением указанного интервала-индикатора, затем сравнить полученную сумму (информационный вес объекта) с информационными весами эталонов по выбранной задаче, представленными на рис. 2, определив, в интервал значений какого класса эталонов он попадает.

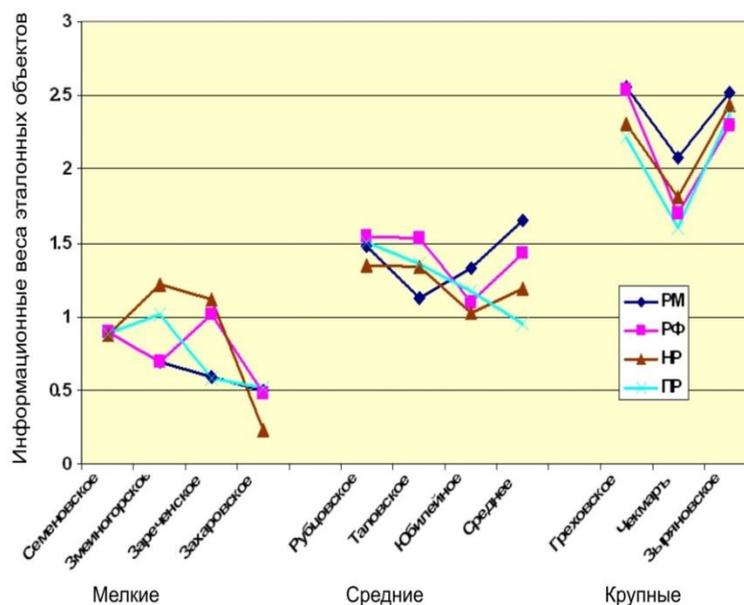


Рис. 2 - График информационных весов эталонных объектов полиметаллического типа для оценки масштаба оруденения

И принимается решение, что объект оценки принадлежит этому классу эталонов.

Представление ЛИМ в табличной форме в формате \*.xls позволяет автоматизировать процесс поддержки принятия решений по оценке объекта изучения путем расчета значения информационного веса и сравнения его с информационными весами объектов-эталонов.

Таким образом, применение разработанных систем информативных признаков с оценкой их разделяющих способностей (логико-информационных моделей (ЛИМ)) позволяет быстро и надежно провести оценку новых площадей, перспективных на выявление колчеданно-полиметаллического оруденения при условии, что объект оценки образован в геологических условиях, сходных с геологическими условиями эталонных объектов, используемых при машинном обучении.

Для использования предложенной методики в других районах, например, на Полярном Урале Арктической зоны РФ, необходимо построение соответствующих ЛИМ. А для этого потребуются подготовить базу данных на основе многофакторных параметрических моделей по эталонным и контрольным объектам, содержащую геологическую, геохимическую, минералогическую, геофизическую информацию (или ее часть) и применить процедуру логико-информационного анализа с целью получения систем информативных признаков для решения поставленных задач.

*Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания ИГЕМ РАН. Автор благодарит к.г.-м.н. В.В.Кузнецова (ЦНИГРИ) за предоставленные данные по объектам Рудноалтайской минерагенической зоны.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зиннатулин М.З. О геологической и экономической эффективности геологоразведочных работ // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2003. № 1-2. С. 8-13.
2. Индустриев М.А., Игнатьев М.А. Автоматизация управленческих решений как новый фактор повышения эффективности менеджмента организации // Гуманитарный научный журнал, 2020, №1. С. 68-76. DOI:10.24411/2078-9661-2020-10010.
3. Константинов Р.М. Математические методы количественного прогноза рудоносности. М.: Недра, 1979. 127 с.
4. Кузнецов В.В., Чижова И.А. Опыт разработки и применения интеллектуально-графических компьютерных систем // Руды и металлы. 2021. № 1. С. 26-41. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10002.
5. Чижова И.А. Логико-информационное моделирование при прогнозно-металлогеническом анализе перспективных площадей // Современные проблемы рудной геологии, петрологии, минералогии и геохимии. М.: ИГЕМ РАН, 2010. С. 59-84.
6. Чижова И.А. Возможности автоматизации поддержки принятия решений при экспресс-оценке площадей, перспективных на выявление колчеданно-полиметаллического оруденения // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2023. 20. С. 242-247. DOI:10.31241/FNS.2023.20.031. ISSN 2074-2479.
7. Чижова И.А., Кузнецов В.В. Логико-информационный анализ и экспресс-оценка месторождений на базе их параметрических моделей // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2022.19. С. 392-396. doi: 10.31241/FNS.2022.19.071.
8. Тиханьчев О.В. Теория и практика автоматизации поддержки принятия решения / М.: Едитус, 2018. 76 с. ISBN 978-5-00058-814-

## РАЗНОСТНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ РЕЛЬЕФА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

*Чистова З.Б., Кутинов Ю.Г., Минеев А.Л., Полякова Е.В.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, kutinov@fciarctic.ru

Исследуемый регион относится к площади Русской плиты Восточно-Европейской платформы с пассивный типом тектоники. Обычно считается, что территории древних платформ на современном этапе тектонически пассивны (развиты в основном ундуляционные движения, оживляющие существующие системы трещиноватости) и асейсмичны. Начатые в последнее время детальные сейсмические исследования, позволяют говорить о наличии малоамплитудных сейсмических событий происходящих в настоящее время [1].

При этом возникает вопрос, а настолько ли пассивны эти территории в тектоническом отношении? Для уточнения этого вопроса нами были построены базисные, разностные и вершинные поверхности рельефа на основе гидрологически корректной цифровой модели рельефа (ЦМР) ASTER GDEM v2 в программном обеспечении SAGA GIS. Метод расчёта базисных поверхностей был разработан В.П. Философовым и А.Н. Ласточкиным [2, 3] и, несмотря на ручной вариант расчетов, показал свою эффективность для оценки современных движений земной коры. Однако высокая трудоемкость расчетов сделала этот метод малоприменимым в последние десятилетия. Появление цифровых моделей рельефа свободного доступа и развитием методов геоморфометрии, реализованных в ГИС-технологиях, привело вновь к повышенному интересу к расчету поверхностей рельефа. Это дало возможность не только значительно снизить трудоемкость расчетов, но и дало возможность применять многовариантный анализ, за счет корректировки исходных условий решения задачи. На настоящий момент в большинстве профессиональных ГИС имеются модули для расчета поверхностей рельефа (например, ARC GIS или MatLLab), применяются также программные комплексы (ESRI, Golden Software Surfer, GEOstatistika) и ряд авторских программ. Существует также ряд авторских программ для расчета гидросети и водосборных бассейнов, необходимых для построения поверхностей рельефа [4-6 и др.]. Для расчетов наиболее часто используется SRTM 3 (пространственное разрешение для территории РФ – 3 угл. сек. или ~ 90 м).

Как указывалось ранее, нами для расчета базисных, разностных и вершинных поверхностей использовалась подготовленная ранее ЦМР ASTER GDEM v2 (пространственное разрешение 1 угл. сек. или ~ 30 м) и ПО SAGA GIS (модуль Channel Network). Подробное поэтапное описание методики построения моделей приведено в одной из работ авторов [7], алгоритм приведен на рис. 1.

Естественно, что расчеты начинались с построения базисных моделей (рис. 1), т.к. они лежат в основе построения разностных и остаточных моделей рельефа. При построении вершинных поверхностей вместо водотоков анализируются водоразделы, а не местные базисы эрозии. В целом, вершинные поверхности являются «зеркальным отражением» базисных. Разностные модели представляют собой алгебраическая разность базисных поверхностей различных порядков [3], т.е. по сути отражают амплитуду тектонических движений за разные временные интервалы. Нами учитывались только долины, начиная от 4-го до 10-го порядка (наивысший для региона - р. Северная Двина) и были построены карты базисных поверхностей от 4 до 10 порядка (рис. 1). Долины 1-3 порядков не учитывались, т.к. они обусловлены временными водотоками [4]. Нами в первую очередь анализировались разностные модели, т.к. они позволяют оценить амплитуду современных подвижек земной коры за определенный временной интервал в зависимости от их порядка. Расчет разностных

поверхностей области выполнялся с помощью модуля Grid Calculator вычитанием значений соответствующих ячеек порядковых поверхностей.

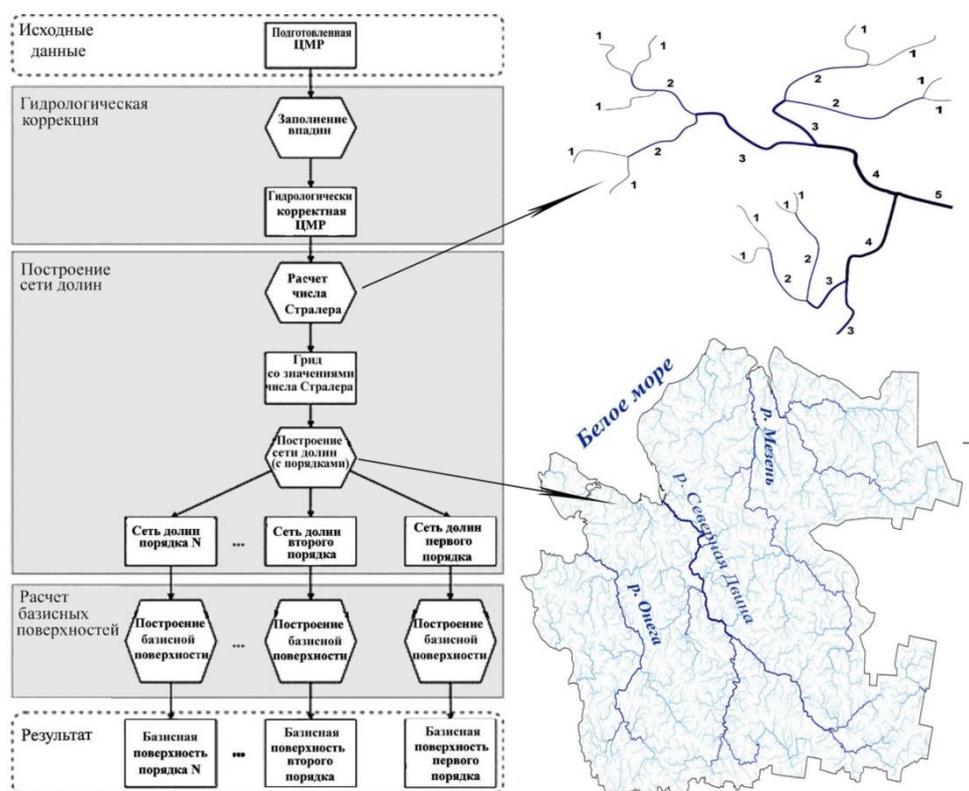


Рис. 1 – Алгоритм расчета базисных поверхностей по [7, 8]

В дальнейшем проводилась интерполяция полученных данных. Существует достаточно обширный набор методов интерполяции от линейной до сплайнов. Ранее нами были рассмотрены эти методы при построении ЦМР по топографическим картам [9]. Следует отметить, что идеальных методов интерполяции не существует. Наиболее корректным для аппроксимации сложных поверхностей является интерполяция сплайнами (*spline interpolation*), которая представляет особый вид кусочно-полиномиальной интерполяции. Этот вид интерполяции основан на методе минимальной кривизны, и представляет собой интерполяцию по наборам точек данных, полученных при сглаживании поверхности, точно наложенной на исходные данные. Интерполяция сплайн-функциями особенно удобна при моделировании поверхностей, осложненных разрывными нарушениями. Она позволяет избежать искажений типа «краевых эффектов» в зонах, удаленных от центра карты и слабо обеспеченных наблюдениями. В данном исследовании применялась интерполяция *B*-сплайнами. В отличие от обычной сплайн-интерполяции, «сшивка» элементарных *B*-сплайнов производится не в точках  $(t_i, x_i)$ , а в других точках, координаты которых определяет пользователь. Т.е., требование равномерного следования узлов при интерполяции *B*-сплайнами отсутствует и ими можно приближать разрозненные данные. В SAGA GIS методу соответствует модуль Grid Calculator.

Полученные модели сопоставлялись с тектоническими узлами. Это связано с теми обстоятельствами, что: 1) зафиксированное современное землетрясение [1] приурочено к тектоническому узлу; 2) узлы характеризуются повышенными значениями потенциальной энергии, индекса расчлененности рельефа (*TRI*) [8]; коэффициента дискретности земной коры и энергоемкости [10]; 3) для многих узлов характерен центробежный тип гидросети; 4) в тектонических узлах наблюдается повышенная электромагнитная эмиссия типа «земля-воздух» и глубинная дегазация

[11]. Все это свидетельствует о наличии современных тектонических подвижек слагающих узлы блоков.

Расчёт базисных поверхностей показал, что наиболее низкий уровень базиса эрозии характерен для поверхностей 9-го и 10-го порядка [7], что вполне естественно, т.к., чем выше порядок водотоков, тем больший возраст они имеют. Расчёт вершинных поверхностей подтвердил полученные выводы. Таким образом, полученные результаты косвенно подтверждают корректность расчетов и связь гидросети с тектоническими структурами. Максимальная разность базисных поверхностей (разностная поверхность) 7 и 8 порядков достигает 56 м, что говорит о достаточно интенсивных современных движениях земной коры, продолжавшихся наиболее длительное время. У разностных поверхностей более низкого порядка амплитуда значительно ниже, причем, чем меньше порядок водотоков, тем ниже амплитуда подвижек. В тоже время долины этих водотоков имеют V-образный профиль [9].

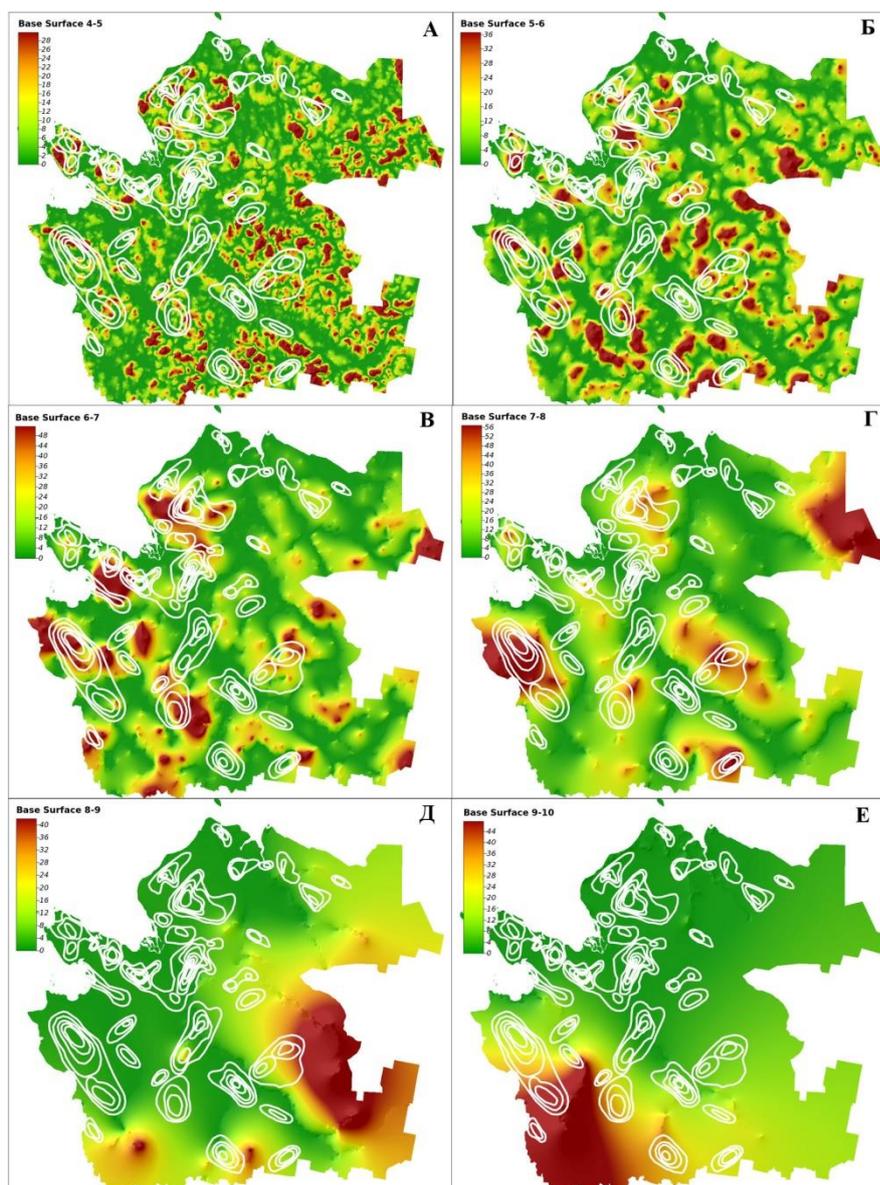


Рис. 2 – Разности базисных поверхностей с контурами тектонических узлов  
А – 4-5, Б – 5-6, В – 6-7, Г – 7-8, Д – 8-9, Е – 9-10

Сопоставление разностных поверхностей с контурами тектонических узлов, показало, что наиболее отчетливо совпадение наблюдается с поверхностями 6-7 и 7-8 порядков (рис. 2, В, Г), т.е. поверхностей с достаточно высоким уровнем

генерализации. На более низком уровне (4-5 и 5-6 порядков) выделяется внутренняя структура узлов (рис. 2, А, Б). При использовании поверхностей 8-9 и 9-10-го порядков информативность резко падает (рис. 2, Д, Е), что связано с наличием на исследуемой территории только единичных водотоков. В целом, в характере разностных поверхностей начиная с 8-9 порядков тектонические узлы 1 порядка практически не отражаются. Это говорит о том, что, скорее всего, подобные современные воздымания не являются продуктом блоковых подвижек, а обусловлены образованием складок продольного изгиба не только фундамента, но и слоев осадочного чехла с малыми углами падения крыльев. Основным источником возникновения подобной ситуации является поле волновых периодических горизонтальных напряжений [12] со стороны зоны спрединга. Проведенный нами анализ характера отражения структур кристаллического фундамента с поверхностью современного рельефа (рис. 3) показал, что прямой характер наследования имеет 61 % территории исследования, обратный – 25 %, районы, где наследования не отмечается, занимают 14 % территории [13].

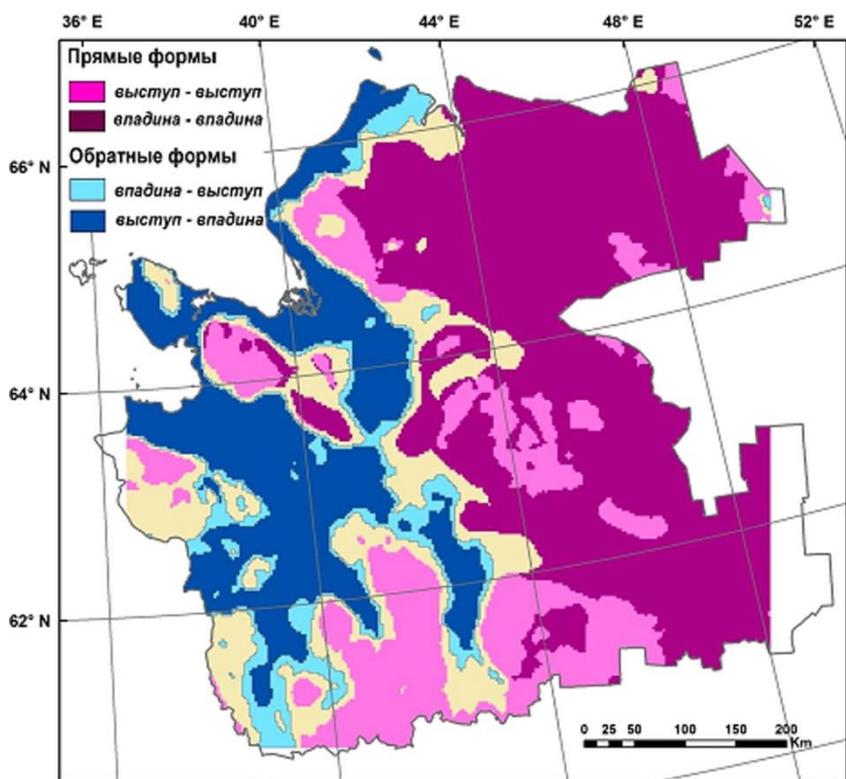


Рис. 3 – Прямые и обратные формы отражения структур фундамента в дневном рельефе [13]

Такой характер наследования подтверждает наличие структур продольного изгиба фундамента, слоев осадочного чехла и дневного рельефа. При этом структуры типа впадина-впадина пространственно совпадают с разностными поверхностями 8-9-го и 9-10-го порядков.

Суммируя вышеизложенное, получаем, что мы имеем дело со сложным взаимодействием эндогенных и экзогенных процессов. Все это в целом показывает, что здесь идут достаточно интенсивные для платформенных территорий современные тектонические процессы.

*Исследования проведены в рамках государственного задания № 122011300380-5 Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конечная Я.В., Морозов А.Н., Зуева И.А. Уточненные данные л сейсмичности Белого моря, включая Карельский регион за 2005-2016 гг. // Проблемы обеспечения экологической безопасности и устойчивое развитие арктических территорий: сб. материалов Всероссийской конф. с международным участием II Юдахинские чтения, (24-28 июня 2019). Архангельск: «ОМ-медиа», 2019. С. 87-91. 1 электрон. опт. диск (CD-R). Загл. с вкладыша контейнера. Текст (визуальный): электронный.
2. Ласточкин А.Н. О формах проявления разрывных нарушений в рельефе Западно-Сибирской равнины и структурно-геоморфологическом методе их обнаружения // Изв. ВГО. 1971. № 1. С. 48-56.
3. Философов В.П. Основы морфометрического метода поисков тектонических структур. Саратов: Изд-во Саратовского ун-та. 1975. 232 С.
4. Чернова И.Ю., Нугманов И.И., Даутов А.Н. Применение аналитических функций ГИС для усовершенствования и развития структурно-морфологических методов изучения неотектоники // Геоинформатика. 2010. №. 4. С. 9-22.
5. Lindsay J.B. The Terrain Analysis System: a tool for hydro-geomorphic applications // Hydrological Processes. 2005. V. 19. No. 5. P. 1123–1130. DOI: 10.1002/hyp.5818.
6. Кошель С.М., Энтин А.Л. Вычисление площади водосбора по цифровым моделям рельефа на основе построения линий тока // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2017. № 3. С. 42–50.
7. Полякова Е.В., Кутинов Ю.Г., Минеев А.Л., Чистова З.Б. Алгоритм расчёта базисных поверхностей на основе цифровой модели рельефа в программном обеспечении SAGA GIS (на примере Архангельской области) //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 3. С. 104–115. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-3-104-115.
8. Кутинов Ю.Г., Минеев А.Л., Чистова З.Б., Полякова Е.В., Беленович Т.Я. Потенциальная энергия рельефа. Методики расчета, проблемы, варианты //Уральский геологический журнал. 2022. № 6(150). С. 17-31.
9. Гофаров М.Ю., Болотов И.Н., Кутинов Ю.Г. Ландшафты Беломорско-Кулойского плато: Тектоника, подстилающие породы, рельеф и растительный покров. Екатеринбург: УрО РАН. 2006. 158 с.
10. Кутинов Ю.Г., Беленович Т.Я., Чистова З. . Дискретность земной коры, энергоёмкость блоков и сейсмичность Европейского Севера России // Вестник геонаук. 2021. 11(323). С. 16-24. DOI: 10.19110/geov.2021.11.2.
11. Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. Комплексная модель процессов межгеосферного взаимодействия в тектонических узлах Севера Русской плиты // Альманах Пространство и Время. 2012. Т. 1. Вып. 1. [Электронное научное издание]. URL: [https://www.elibrary.ru/download /elibrary\\_18155740\\_99936501.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_18155740_99936501.pdf) (дата обращения 15.09.2023).
12. Юдахин Ф.Н., Капустян Н.К., Шахова Е.В. Исследования активности платформенных территорий с использованием микросейсм. Екатеринбург: УрО РАН. 2008. 128 с.
13. Кутинов Ю.Г., Полякова Е.В., Чистова З.Б., Минеев А.Л. Отражение структур кристаллического фундамента Архангельской алмазоносной провинции в современном рельефе // Сергеевские чтения. Инженерная геология и геоэкология. Геоэкологическая безопасность разработки месторождений полезных ископаемых. М.: РУДН, 2017. Вып. 19. С. 514–518.

## АЛМАЗОНОСНОСТЬ СЕВЕРА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОБНАРУЖЕНИЯ НОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗА

*Щукин В.С.*

ООО «Арктикгеопоиск», г. Архангельск, vlad.shchukin@mail.ru

Первый алмаз на территории европейского севера России был обнаружен во времена правления Анны Иоановны (1730-1740 гг.). Согласно архивным данным, алмаз был обнаружен двенадцатилетним мальчиком на берегу реки Северная Двина близ крепости Орлецы на территории современной Архангельской области. Алмаз был достаточно крупным, был огранен и попал в царский двор. Впервые эти данные были опубликованы В.О. Ружицким в журнале «Природа» в 1957 году. Об этой находке, по всей видимости, знал М.В. Ломоносов, в своем знаменитом трактате «О слоях земных» он написал: «...горы Орлецкие способны к рождению алмазов». Многие ученые сомневались в достоверности этой находки и дискуссии по этому поводу продолжаются по настоящее время.

В 1986 году автором этих строк в рамках тематических исследований по алмазности территории Архангельской области был выполнен небольшой объем поисковых работ в районе крепости Орлецы. Были выполнены маршруты по обоим берегам реки С. Двина, чтобы определить, где принципиально возможно обнаружить алмаз, затем были отобраны 12 шлиховых проб. В результате установлено два алмаза, два обломка кимберлитовых пород, полный набор минералов-индикаторов кимберлита без признаков механического износа. Данные находки свидетельствуют о достоверности исторической находки алмаза и подтверждают пророческие слова М.В. Ломоносова о возможности обнаружения месторождений алмаза в регионе.

В настоящий момент находки алмазов, минералов-индикаторов кимберлита, обломков кимберлита в современных осадках и разновозрастных промежуточных коллекторах широко распространены на территории севера Восточно-Европейской платформы, что свидетельствует о многочисленности их коренных источников. В настоящее время кимберлиты, лампроиты и другие родственные породы установлены в Финляндии, Карелии, на Кольском п-ве, на Онежском п-ве, в Зимнебережном алмазном районе, на Среднем Тимане и Южном Урале. Большая часть находок алмазов, обломков кимберлитовых пород, минералов-индикаторов кимберлитов и практически все проявления кимберлитов и родственных пород приурочены к древним ядрам земной коры – кратонам и срединным массивам (рис.1).

Приуроченность практически всех коренных месторождений кимберлитового типа к древним кратонам установлена давно, и это является основным региональным критерием прогнозирования новых месторождений алмаза. В пределах кратонов размещение кимберлитовых полей и отдельных трубок контролируются глубинными разломами, точнее зонами этих разломов. Выявление и картирование глубинных разломов и их зон в пределах кратонов и срединных массивов является важной составляющей поисковых работ на коренные месторождения алмазов кимберлитового типа.

На севере Восточно-Европейской платформы размещение кимберлитовых и лампроитовых полей, а также отдельных кимберлитовых трубок контролируются линейными структурами субмеридионального простирания. Это подтверждается цепочечным расположением полей, отдельных трубок в их пределах и основным направлением удлинения большинства известных трубок.

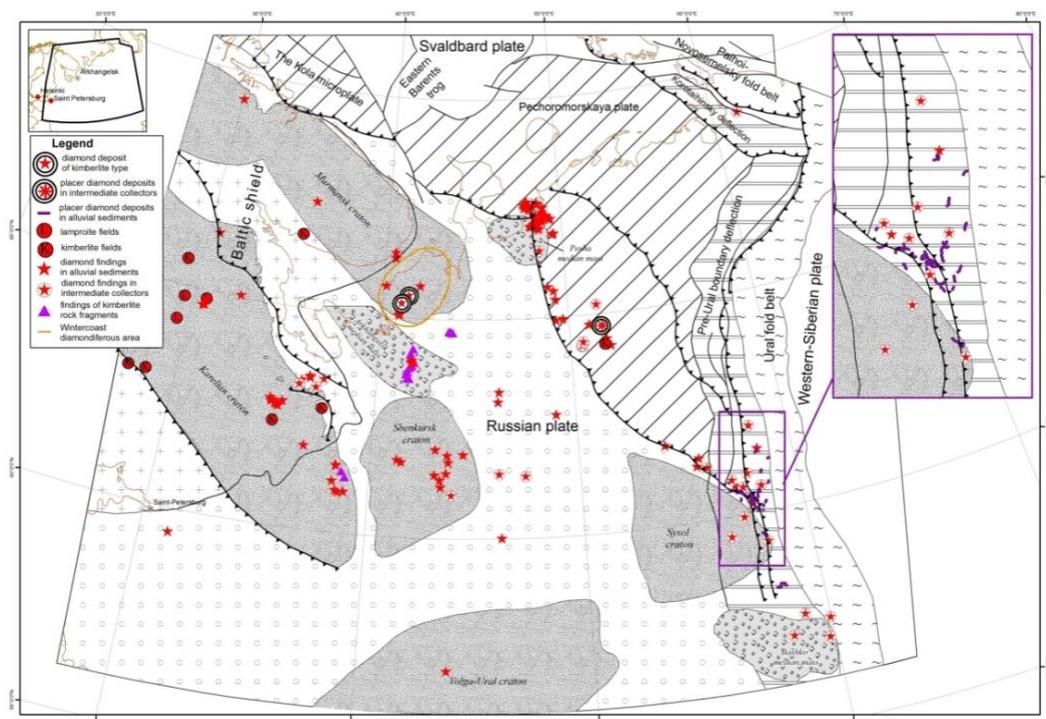


Рис. 1 – Схема распространения кимберлитов, лампроитов, находок алмаза и обломков кимберлитовых пород на севере Восточно-Европейской платформы на тектонической основе

Произведен анализ всех доступных материалов крупномасштабных аэромагнитных съёмок в пределах Архангельской области, в результате удалось установить большое количество линейных структур субмеридионального простирания по всей изученной территории. Практически вся территория области пронизана линейными структурами субмеридионального простирания (рис.2). Учитывая, что практически все кимберлитовые тела и более древние лампрофиры Зимнебережного алмазоносного района, а также разновозрастные кимберлитовые, лампроитовые поля и отдельные тела Финляндии контролируются линейными структурами (разломами) субмеридионального простирания, можно считать, что подобные структуры на протяжении длительного геологического времени на севере Восточно-Европейской платформы играли роль рудоконтролирующих. Участки недр, где данные структуры пересекают кратоны и срединные массивы, наиболее благоприятны для проявления алмазоносного магматизма.

Возраст кимберлитовых и родственных пород имеет широкий диапазон: кимберлиты 1764-2048 млн. лет (Кимозеро, Карелия) [8]; лампроиты 1250 млн. лет (Lentiira-Kuhmo, Финляндия) [10,11]; кимберлиты II, лампрофиры и лампроиты 1100 млн лет, кимберлиты 434-593 млн. лет (Kuorio-Raavi Финляндия) [10,11]; кимберлиты 756-759 (Kuusamo, Финляндия) [10,11]; кимберлиты 360-368 млн. лет (Ермаковское поле, Кольский п-ов) [6]; лампрофиры 570 млн. лет, кимберлиты 323-397 млн. лет (Беломорско-Кулойское плато, Архангельская обл.) [5,9]; кимберлиты 384 млн. лет (Средний Тиман, Республика Коми) [7]; алмазоносные лампрофиры 440-470 млн. лет (Северный Тиман, Архангельская обл.); оливиновые мелилититы 361±23 млн. лет (Онежский п-ов, Архангельская обл.); лампроит 197-203 млн. лет (Южный Урал) [3].

В целом, установленный кимберлитовый и родственному ему магматизм на севере Восточно-Европейской платформы проявился в пять этапов, разделенные по времени сотнями миллионов лет: **I этап** 1764-2048 млн. лет; **II этап** 1100-1250 млн. лет; **III этап** 570-759 млн. лет; **IV этап** 434-450 млн. лет; **V этап** 323-397 млн. лет.

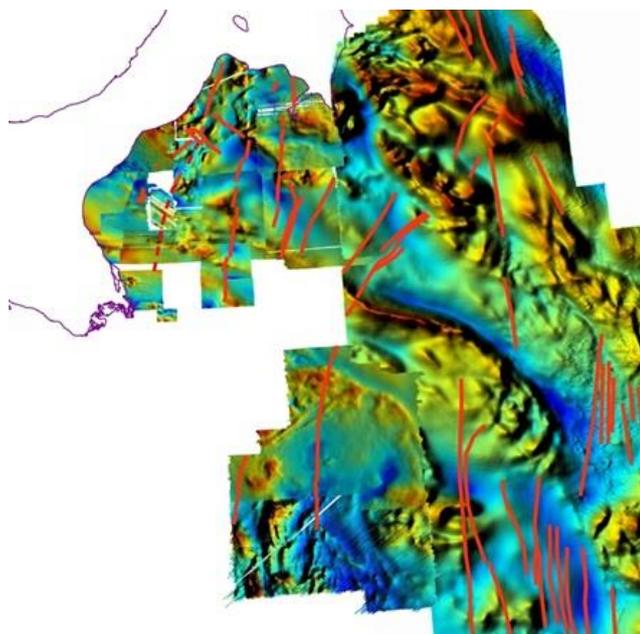


Рис. 2 – Локальное магнитное поле  $\Delta T$  с выделенными линейными структурами субмеридионального простирания

В пределах Архангельской алмазонасной провинции кимберлитовый и родственный ему магматизм установлен в связи III и V этапами. Этап VI (197 -250 млн. лет) прогнозируется на основании общегеологических соображений. Наличие двух промежуточных коллекторов алмаза и МИК в отложениях поздней перми и раннего триаса, находок обломков кимберлита, не окатанных обломков мантийных пород (лерцолита) и огромного количества минералов-индикаторов кимберлита (МИК) без признаков механического износа в современной аллювии, находок уникальных по своим физико-химическим свойствам алмазов в южных районах Архангельской области.

В начале 20 века А.П. Карпинским (1919 г.) была высказана мысль о том, что наша планета является единым геологическим объектом и все тектоно-магматические процессы, протекающие в геосинклинальных областях, где они хорошо проявлены, происходят и в стабильных платформах, но менее выражены. Позднее (1934 г.) В.И. Вернадский развил эту мысль и предложил, что «Землю следует рассматривать как Галактический объект, только тогда будут поняты полностью геологические процессы, происходящие в ней». На новом уровне (2011, 2017 гг.) эта мысль развита В.А. Кривицким, который предложил новую парадигму развития Земли на основе кластерной диссоциации звездного вещества планеты. Активизацию тектоно-магматических процессов на планете Земля этот исследователь связывает с особым положением Солнечной системы в Галактике. Вход Солнечной системы в зону коротации и выход из этой зоны процесс циклический, именно с этим процессом связано проявление тектоно-магматических циклов развития Земли в фанерозое [2,3]. Тектоно-магматические процессы активизируются и затухают на планете Земля, а не в отдельных её частях, что позволяет прогнозировать эти процессы в регионах, где они еще не выявлены или слабо проявлены.

Взаимосвязь тектоно-магматических процессов в Западном и Полярноуральском геоблоках Российской Арктики [1] и установленными этапами кимберлитового и родственного магматизма на севере Восточно-Европейской платформы, наглядно демонстрирует сопоставление рисунков 3 и 4, что позволяет обоснованно прогнозировать новые этапы проявления кимберлитового магматизма.

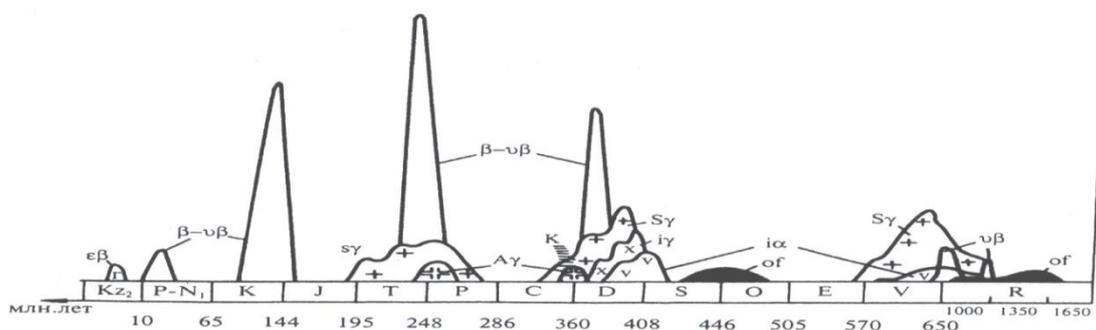
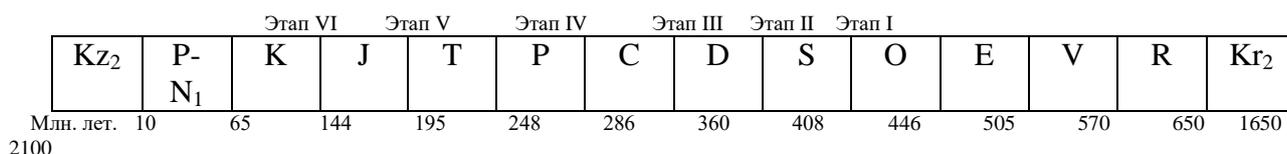


Рис. 3 – Время проявления и относительная интенсивность магматической деятельности в Западном и Полярноуральском геоблоках Российской Арктики [1]



2100

Рис. 4 – Время проявления этапов кимберлитового и родственного магматизма на севере Восточно-Европейской платформы

Сопоставление рисунков 3 и 4 показывает, что кимберлитовый и родственный магматизм на севере Восточно-Европейской платформы и магматизм в Российской Арктике синхронны по времени проявления, что позволяет прогнозировать выявление новых, более молодых проявлений кимберлитов и родственных пород. Выделение нового VI этапа кимберлитового магматизма пермско-триасового возраста в пределах платформы обосновывается большим количеством геологического материала и его установление может состояться в самое ближайшее время. Возможность обнаружения кимберлитов юрско-мелового и палеоген-неогенового возраста необходимо учитывать при проведении поисковых работ на алмазы, поскольку в арктической зоне Канады установлены кимберлитовые трубки этих возрастов, в том числе и промышленно алмазоносные (Lac de Cras – 55 млн.лет; Fort a La Corn -100 млн.лет; Victor – 170 млн.лет).

Перспективы Архангельской алмазоносной провинции далеко не исчерпаны и возможность обнаружения новых месторождений алмаза весьма велики.

**Зимнебережный алмазоносный район.** Зоны разломов, контролирующие трубок Золотицкого поля и трубки им. В. Гриба хорошо прослеживаются в северном и южном направлениях, при этом необходимо понимать, что это не абстрактная линия на карте, а именно зона субпараллельных нарушений шириной от одного до десятков километров.

**Патракеевская площадь** расположена в юго-западной части Зимнебережного алмазоносного района. Вся площадь рассечена зонами разломов, контролирующими размещение щелочных лампрофиров поздневендского возраста и известные месторождения алмазов. В пределах площади обнаружены обломки кимберлитов и пикритов, алмазы, большое количество минералов-индикаторов кимберлита с первичной поверхностью, в их числе пироп, хромдиопсид, пикроильменит, хромшпинелид, оливин, флогопит. По результатам высокоточной аэромагнитной съёмки масштаба 1:10000 выявлен ряд локальных магнитных аномалий трубочного типа.

**Козольская площадь** расположена в восточной части Зимнебережного алмазоносного района. Вся площадь рассечена двумя мощными зонами разломов субмеридионального простирания, на севере этих зон расположены алмазоносная трубка Суксома и поле базальтоидных трубок. Вся площадь покрыта высокоточной аэромагнитной съёмкой масштабов 1:5000 (северная часть) 1:10000 (южная часть). Установлен ряд локальных магнитных аномалий трубочного типа (ЛМА). Бурением

заверено 8 ЛМА, установлено 2 кимберлитовые трубки (ЛМА LD-40 и KL-01), на 6 ЛМА вскрыты туфогенно-осадочные породы.

Восточная часть Карельского кратона, Лачская площадь. В пределах площади обнаружены алмазы, обломки кимберлитов, сростки минералов мантийных пород, большое количество минералов-индикаторов кимберлита без признаков механического износа, среди которых пироп, хромдиопсид, оливин, пикроильменит, хромшпинелид, флогопит. Вся площадь закрыта высокоточной аэромагнитной съёмкой масштаба 1:10000, выявлен ряд ЛМА трубчатого типа, 9 ЛМА рекомендовано под заверку буровыми работами. Заверена ЛМА L-03, в результате бурения Скв. L-3/2 в интервале 126.3 -126.4 м вскрыты туфогенные породы.

Шенкурский кратон, Вельская и Шенкурская площади. В пределах этих площадей установлены алмазы и сотни тысяч МИК в современных аллювиальных отложениях и десятки тысяч МИК в промежуточных коллекторах позднепермского и раннетриасового возраста. Большое количество МИК без признаков механического износа, что свидетельствует о непосредственной близости их коренного источника. Кроме того, в современной аллювии и в базальных отложениях четвертичных отложений установлены алмазы с уникальными физико-химическими характеристиками, что свидетельствует о новых коренных источниках алмазов в этом районе.

Таким образом, потенциал в отношении алмазодобывающей промышленности только начинает раскрываться, вероятность открытия новых месторождений, в том числе и крупных, очень высока.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Караго Е.А., Столбов Н.М. Магматизм в неогейской геологической истории акваторий и прибрежных областей Российской Арктики // Российская Арктика: Геологическая история, минерагения, геоэкология. Санкт Петербург, 2002. С. 238-251.
2. Кривицкий В.А. Галактическая природа цикличности в истории развития Земли // Сб. статей Система «Планета Земля» М.ЛЕНАРД, 2011. С. 58-73.
3. Кривицкий В.А. Парадоксы трансмутации и развитие Земли. Неочевидные доказательства. М. НИЦ «Академика», 2016.-216 с.
4. Лукьянова Л.И., Марейчев А.М., Мащак И.М. и др. Первые находки лампроитового магматизма на Южном Урале // Доклады РАН, 1992, т.324. №6.
5. Первов В.А., Саблуков С.М., Богомолов Е.С. и др. «Rb-г возраст кимберлитов трубки Пионерская (Архангельская алмазоносная провинция) // ДАН. 2005. Т. 400.
6. Поляков И.В. и др. Новые аспекты алмазоносности кимберлитов Терского Берега Мурманской области // Алмазы и алмазоносность Тимано-Уральского региона, Сыктывкар, 2001. С.121-122.
7. Саблуков С.М., Дудар Л.П., Довжикова Е.Г. и др. Фазы формирования и возраст кимберлитовых трубок Среднего Тимана // Методы крупномасштабного прогноза месторождений алмазов, М. 1983. С. 64-74 (Тр. ЦНИГРИ. Вып. 182).
8. Самсонов А.В., Ларионова Ю.О., Сальникова Е.Б. и др. Изотопная геохимия и геохронология палеопротерозойских метакимберлитов Кимозерского проявления (центральная Карелия) // Материалы IV Российской конференции изотопной геохронологии. С.Пб., 2009. С. 158-161.
9. Шевченко С.С., Лохов К.И., Сергеев С.А. и др. Изотопные исследования во ВСЕГЕИ. Перспективы использования результатов в целях прогноза и поисков месторождений алмазов // Материалы научно-практической конференции 25-27 мая 2004 г. ВСЕГЕИ. Санкт-Петербург.
10. Hugh O'Brien, Marja Lehtonen, Roy Spenser and Andrew Birnie. Lithospher mantle in eastern Finland: a 250 km 3d trasect” 8<sup>th</sup> IGC. Long abstract, 2003.
11. H.E O'Brien, Tuni M. Mineralogy and geochemistry jf kimberlites and related rocks from Finland. Hrocddings of the VII International Kimderlite Conference. Volume 2 Cape Town. 1999. p. 625-636.

## К ВОПРОСУ О СЕЙСМИЧНОСТИ ПОБЕРЕЖЬЯ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Эртелева О.О., Никонов А.А.

Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, г. Москва, ertel@ifz.ru

С использованием новых данных об историческом землетрясении 18.11.1772 г. оценены сейсмические воздействия при этом событии на побережье Баренцева моря. В результате сделан вывод о необходимости проведения в районе масштабных сейсмологических и сеймотектонических работ для уточнения оценок сейсмической опасности региона исследований.

Северное побережье Баренцева моря (Кольский полуостров) среди большого количества специалистов – сейсмологов считается сейсмически малоактивным районом. На картах сейсмического районирования даже для периода повторяемости 5000 лет сейсмичность региона оценивается всего лишь интенсивностью 7.

Основной сейсмогенерирующей зоной рассматриваемого района является Мурманская зона, к которой приурочен ряд исторических событий в районе Кольского фьорда (землетрясения 1758, 1772, 1819, 1873 и 1967 гг.). В то же время современная сейсмическая активность характеризуется как низкая [1], а сама Мурманская зона как слабо активная, поскольку за инструментальный период наблюдений интенсивность зафиксированных немногочисленных событий составляет не более 5 баллов.

Но стоит напомнить, что низкая современная сейсмичность часто наблюдается перед появлением сильнейших землетрясений, по наблюдениям академика С.А. Федотова [2]. Кроме того, для объективной оценки сейсмической опасности важен учет и долговременной компоненты сейсмичности, учет палео- и исторических землетрясений.

На основании результатов, проводимых на территории Кольского полуострова полевых работ и изучения архивных письменных источников [3-7], ряд исследователей допускает возможность повышения оценок сейсмического потенциала региона в связи с возможностью возникновения здесь сильных землетрясений с интенсивностью выше 7 баллов [1, 6, 8].

Основной сейсмогенерирующей структурой рассматриваемого региона является северный разлом Карпинского северо-западного простирания, а также Печенгский разлом северо-восточного простирания и система субмеридиональных сдвигов района Кольского фьорда.

Признаки активных разрывных нарушений и следов сильных землетрясений прошлого обнаружены практически по всему Мурманскому побережью [6, 7, 9]. При этом Мурманская зона может рассматриваться как способная генерировать землетрясения с  $M \geq 6$ .

Вследствие малонаселенности рассматриваемого региона сведения об исторических землетрясениях Западного Мурмана, в том числе и об относительно сильных, очевидно являются далеко не полными как в отношении самого возникновения и числа событий, так и их макросейсмических характеристик. Однако, несмотря на отрывочность сведений, могут быть сделаны приближенные оценки магнитуд, механизмов очагов, их глубины, положения эпицентров. В результате в распоряжении оказывается набор входных данных, позволяющих спрогнозировать ожидаемые сейсмические воздействия.

Один из авторов данной работы, А.А. Никонов, анализируя разнообразные письменные источники, а также имеющиеся в его распоряжении материалы полевых геофизических работ, проводимых на Кольском полуострове, заново переопределил параметры землетрясения 18.02.1772 г. [10] Были использованы материалы геофизического профиля-разреза по дну моря к северу от мыса Погань-Наволоок,

характеристика скоплений обломочного материала на дне вдоль побережья Мурмана к западу от мыса Погань-Наволоок, а также сейсмонарушения на восточном побережье Кольского залива. По мнению А.А. Никонова, к выявленным сейсмонарушениям, которые можно соотнести с событием 1772 г., принадлежат следующие: сбросовая ступень на шельфе вдоль побережья Западного Мурмана; разрез от мыса Погань-Наволоок к северу, в море по меридиану 33°30' в.д.; подводные скопления обломочного материала к западу от мыса Погань-Наволоок; проявления активной геодинамики Кольского залива - ближайшей активной поперечной тектонической структуры – грабена Мурманской зоны ВОЗ; блоковая раздробленность и наличие нарушений различной ориентировки в районе мыса Зеленецкий на северо-восточном краю Кольского залива; наличие грабен-провала к востоку от г. Мурманска; обнаруженные отложения цунами; скважина на краю дельты р. Кола (из полевых материалов А.А. Никонова, сентябрь 1962 г.); признаки цунами в вершине Кольского залива и на выходе губы Ура в Баренцево море у бывшего города Порт-Владимир; крупная система сейсмодислокаций на севере о. Шалим на выходе губы Ура в Баренцево море.

По этим данным оказалось возможным оценить макросейсмическую интенсивность еще в 7 пунктах, данные которых при определении интенсивности этого землетрясения ранее не использовались [11]. Кроме того, были использованы новые письменные сведения о землетрясении 1772 г. в окрестностях мыса Погань-Наволоок на берегу Баренцева моря [9].

Оцененные в результате параметры землетрясения 18.02.1772 г. приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры землетрясения 18.02.1772 г. на Западном Мурмане

Дата	Координаты эпицентра		$H$ , км	$M$	$I_0$
	$\varphi^\circ$	$\lambda^\circ$			
18.02.1772	$69.3 \pm 0.1$	$33.0 \pm 0.1$	10 – 25	$5.8 \pm 0.3$	$(8 - 9) \pm 0.5$

Механизм очага, по оценкам А.А. Никонова, – взброс. Заметим, что оценка магнитуды рассматриваемого землетрясения относительно невелика, такие землетрясения при ОСР обычно пропускаются.

По этим данным были спрогнозированы ожидаемые сейсмические воздействия на побережье Баренцева моря от возможного землетрясения в Мурманской зоне ВОЗ. На практике, оценка ожидаемой максимальной магнитуды принимается на 0.5 магнитудной единицы выше наблюдаемой. Поэтому в расчетах было использовано значение максимально возможной магнитуды  $M = 6.3$ .

Расчеты проводились по эмпирическому методу прогнозирования параметров сильных движений грунта [12], отличительной особенностью которого является следующее: статистической обработкой эмпирических данных по сильным движениям грунта из разных регионов мира установлено, что в волновом поле распространяющихся сейсмических колебаний выделяются 3 зоны – разломная, ближняя и дальняя, имеющие различные законы затухания и зависимости параметров сейсмических колебаний от расстояния, механизма очага и грунтовых условий. Следует отметить, что в данной работе применены формулы, модернизированные в связи с накоплением новых эмпирических данных, незначительно отличающиеся от приведенных в [12]. При расчетах использовались нормированные расстояния  $R^*$ , определяемые по формуле:

$$\lg R^* = \lg R - M / 3, \quad (1)$$

где  $R$  – кратчайшее расстояние до поверхности разрыва, которое вычисляется с учетом ширины плоскости разрыва согласно работе [13].

В зависимости от значения  $R^*$  выбирается соответствующее уравнение затухания параметров сильных движений грунта. Границе между ближней и дальней зонами соответствует значение  $\lg R^* = -0.77$ . В нашем случае  $\lg R^* = -1.401$ . Значит, воздействия в эпицентре соответствуют ближней зоне.

Пиковое ускорение грунта вычисляется по корреляционному соотношению для ближней зоны:

$$\lg PGA = 1.8 - 0.63 \lg R^* \pm 0.20, \quad (2)$$

Продолжительность колебаний  $\tau$ , определенная как интервал времени, в течение которого уровень огибающей превышает половину максимального значения, вычисляется по формуле:

$$\lg \tau, \text{ с} = M/3 - 1.55 \pm 0.29. \quad (3)$$

Сейсмическая интенсивность  $I$  связана с пиковым ускорением грунта и продолжительностью соотношением:

$$I = 2.5 \lg PGA, \text{ см/с}^2 + 1.25 \lg \tau + 1.05. \quad (4)$$

Используя формулы (1) - (4), получаем:

- пиковое ускорение  $PGA = 294 \text{ см/с}^2$  на горизонтальной компоненте, продолжительность колебаний  $\tau = 3.5 \text{ с}$ , ожидаемая сейсмическая интенсивность  $I_0 = 8.7$  баллов.

Сравнение результатов проведенных расчетов и оценки интенсивности, приведенной в таблице 1, показывает, что оценка ожидаемой интенсивности меньше максимального значения интенсивности, полученного по макросейсмическим данным. Однако, прогнозное значение попадает в интервал значений макросейсмической интенсивности от 7.5 до 9.5 (табл. 1).

Очевидно, что полученная оценка максимально возможной интенсивности, хотя и не является абсолютно точной, превосходит значение интенсивности, принятое для района побережья Баренцева моря, которому на действующей на сегодняшний день карте ОСР -2015 - С приписывается значение 7 баллов.

Выводы. Накопление новых данных полевых наблюдений на Кольском полуострове, анализ ранее не использовавшихся письменных источников позволил пересмотреть оценки параметров очага известного землетрясения 18.02.1772 г. Ожидаемая интенсивность возможного сейсмического события с подобными параметрами превосходит величину интенсивности, принятую на сегодняшний день для рассматриваемого региона. При оценках уровня долговременной сейсмичности учет такого события повлияет на повышение уровня сейсмической опасности побережья Баренцева моря. Полученные результаты еще раз ставят вопрос о необходимости проведения масштабных исследований сейсмичности – сеймотектонических, геофизических, сейсмологических – в рассматриваемом регионе севера России для выработки адекватной модели сейсмичности региона.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов А.Н., Баранов С.В., Виноградов Ю.А., Асминг В.Э. Сейсмогенные зоны северной части Балтийского щита// Активные геологические и геофизические процессы в литосфере. Методы, средства и результаты изучения. Материалы XII международной конференции. 18–23 сентября 2006, Воронеж. Воронеж: Изд. ВГУ, 2006. Т.1. С.115–120.

2. Федотов С.А. О сейсмическом цикле, возможности количественного сейсмического районирования и долгосрочном сейсмическом прогнозе // Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968. С.121–150.
3. Зыков Д.С. Геоморфологические признаки проявления горизонтальной компоненты неотектонических движений вдоль границы Балтийского щита и Западно-Арктической платформы (Мурманская область) // Геоморфология. 2015. № 3. С.27–38.
4. Никонов А.А., Шварев С.В., Николаева С.Б. Мурманское побережье - крупнейшая в Российской Арктике сейсмогенерирующая зона: новейшие разработки // Природные ресурсы и комплексное освоение прибрежных районов Арктической зоны // Сборник трудов конференции. 29 – 30 сентября 2015, Архангельск. Архангельск: ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, 2015. С.34-40.
5. Николаева С.Б., Евзеров В.Я. О проявлениях голоценовой тектоники в рельефе и донных осадках озер района Кольского залива Баренцева моря // Фундаментальные проблемы квартара: итоги изучения и основные направления дальнейших исследований. Материалы X Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода. 25–29 сентября 2017, Москва. Москва: ГЕОС, 2017. С.271.
6. Никонов А.А., Шварев С.В. Сейсмолинеаменты и разрушительные землетрясения в российской части Балтийского щита: новые решения для последних 13 тысяч лет // Геолого-геофизическая среда и разнообразные проявления сейсмичности. Сборник трудов конференции. 23–25 сентября 2015, Нерюнгри. Нерюнгри, 2015. С.243–251.
7. Никонов А.А., Зыков Д.С., Николаева С.Б., Шварев С.В. Шовная зона “Линия Карпинского” на севере Европы как активный тектонически и сейсмически сейсмолинеамент высшего порядка // Проблемы тектоники и геодинамики земной коры и мантии. Материалы I Тектонического совещания. М: ГЕОС, 2018. С. 52–56.
8. Калашник А.И., Максимов Д.А. О подходах к оценке сейсмического риска и районированию Кольского полуострова применительно к поверхностным линейно-протяженным объектам // Вестник Кольского научного центра РАН. 2016. №2. С.44-51.
9. Никонов А.А. Сильное землетрясение и цунами 1772 года на Западном Мурмане (Кольский полуостров): исследование письменных и фольклорных материалов // Необычные и экстремальные явления XVIII века / Под ред. С.Ю. Нечаева. Т.3. СПб б.: БАН, 2020. С.74–110.
10. Никонов А.А. Сильное землетрясение 18.II.1772 г. на Западном Мурмане: тектоническая позиция, природные последствия, новые оценки очаговых параметров // Вопр. инж. сейсмологии. 2021. Т.48. №4. С. 48–73. <https://doi.org/10.21455/VIS2021.4-3>
11. Новый каталог сильных землетрясений на территории ССР с древнейших времен до 1975 г. / Отв. ред. Н.В. Кондорская, Н.В. Шебалин. М.: Наука, 1977. 536 с.
12. Эртелева О.О. Прогнозные сейсмические воздействия // Инженерная сейсмозащита и сейсмология 2022. Материалы четвертой научно-практической конференции. 23–25 марта 2022, Москва. М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2022. С. 26–30.
13. Wells D.L., Coppersmith K.J. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement // Bull. Seism. Soc. Am. 1994. V. 84. №4. Pp. 974-1002.

## ОЦЕНКА ИСТОЧНИКОВ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЧНОГО СТОКА ГОРНО-АРИДНОЙ ЗОНЫ ПО ДАННЫМ ОБ ИЗОТОПНОМ СОСТАВЕ ВОДЫ

Яковлев Е.Ю.<sup>1</sup>, Токарев И.В.<sup>2</sup>, Ерохин С.А.<sup>3</sup>, Тузова Т.В.<sup>3</sup>, Дружинин С.В.<sup>1</sup>, Пучков А.В.<sup>1</sup>, Орлов А.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, [evgeny.yakovlev@fciarctic.ru](mailto:evgeny.yakovlev@fciarctic.ru)

<sup>2</sup>Научный парк Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург

<sup>3</sup>Институт водных проблем и гидроэнергетики национальной Академии Наук Кыргызской Республики, г. Бишкек

Вода является важнейшим ресурсом Центральной Азии, определяющим многие аспекты хозяйствования и сохранения экономико-политической устойчивости в регионе. Природно-климатические особенности региона в ряде случаев обуславливают преимущественно формирование стока рек за счет таяния ледников. Связанное с глобальным потеплением повышение температуры воздуха ведет к сокращению массы ледников Центральной Азии, что в свою очередь ведет к изменению водности рек и сезонного распределения их стока. В будущем уменьшение стока рек, питающихся от ледников, может привести к негативным экономическим последствиям для регионов Центральной Азии – к дефициту водных ресурсов и, как следствие, к снижению гидроэнергетического потенциала, уменьшению продуктивности сельского хозяйства, особенно, пашенного земледелия. В тоже время, есть мнения, что сокращение открытых ледников может быть компенсировано за счет интенсификации вклада погребенных льдов, сосредоточенных в многочисленных моренно-ледниковых комплексах в верховьях горных речных долин [1]. Кроме этого, в ряде речных бассейнов по данным отдельных исследований даже в настоящее время вклад ледникового стока в водный баланс не столь значителен и основное питание они получают за счет сезонных осадков. Таким образом, очевидно, что только полноценный учет всех составляющих водного баланса может являться основой для корректного долгосрочного прогнозирования водных ресурсов горно-аридных областей. Оценка вклада различных источников в водность рек, их соотношение и динамика во времени могут быть выполнены на базе изучения изотопного состава воды, являющегося надежной генетической меткой компонентов гидрологического цикла [2]. В качестве объекта исследования выбран бассейн реки Ала-Арча, расположенный на Северном склоне Киргизского хребта.

Для решения задачи расчленения источников стока было выполнено опробование поверхностных и подземных вод в бассейне р. Ала-Арча – типичном речном бассейне Северного Тянь-Шаня с ледниковым питанием. Бассейн р. Арча-Арча в тоже время имеет важнейшее хозяйственное значение для Кыргызстана – широко используется для орошения сельско-хозяйственных земель Чуйской области и питает крупнейший водозабор подземных вод Орто-Алышский, обеспечивающий более 43% потребности г. Бишкек в питьевой воде. Площадь бассейна составляет 233 км<sup>2</sup>, средняя высота водосбора 3290 м н.у.м, среднемноголетний расход воды в реке – 4,69 м<sup>3</sup>/с, длина – 78 км, площадь оледенения составляет 53.5 км<sup>2</sup> включая 6 крупных ледников площадью более 4 км<sup>2</sup> [2, 3].

В общей сложности было отобрано 74 пробы поверхностных и подземных вод, опробованы основные притоки и родники. Отбор в р. Ала-Арча проведен от истока до нижнего течения (село Байтик). Во всех отобранных пробах непосредственно в полевых условиях измерены неустойчивые физико-химические параметры – температура (t) и электропроводность воды (ЕС), а также редокс (Eh) и водородный

(рН) потенциалы. Измеренные значения Eh приведены к стандартным условиям ( $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). В 74 пробах измерен состав стабильных изотопов  $\delta^{2}\text{H}$  и  $\delta^{18}\text{O}$ , а также ряда химических элементов. Пробы на стабильные изотопы отбирали в 10 мл пластиковые толстостенные виалы. Измерения выполнялись на лазерном анализаторе Picarro L2130i с использованием стандартов USGS45 и US GS46 с точностью  $\pm 0.02\text{ }_{\text{‰}}$  по  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\pm 0.3\text{ }_{\text{‰}}$  по  $\delta^{2}\text{H}$ . Пробы на химический состав отбирались в 50 мл пробирки, консервировались  $\text{HNO}_3$  ОСЧ. Измерения проводили методом атомно-абсорбционной спектроскопии ААС Shimadzu AA-7000. В 50 пробах изучен изотопный состав и концентрация урана  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  альфа-спектрометрическим методом с предварительной радиохимической подготовкой.

Параметры Eh<sub>7</sub> и рН находятся в интервалах 330-512 мВ и 7.3-8.0 ед. рН. Связь данных показателей с высотой не существенна, однако наблюдаются некоторые тенденции: снижение Eh<sub>7</sub> при движении от истока вниз по течению и рост рН при движении от истока вниз по течению. Изменения Eh<sub>7</sub> связаны с температурными колебаниями и особенностями перемешивания вод, которые обуславливают растворимость атмосферного кислорода в них, а также долей растворенных органических примесей, что требует более детального изучения. Низкие значения рН обусловлены питанием р. Ала-Арча ультрапресными талыми ледниковыми водами в верхнем течении, а рост рН связан с постепенным насыщением вод растворенными минеральными компонентами при движении вниз по течению, доля которых возрастает от 11 мг/л на истоке до 53 мг/л в нижнем течении в районе с. Байтик.

Параметры температуры и минерализации воды в р. Ала-Арча характеризуются закономерным для горных районов снижением с набором высоты: температура снижается от 14.0  $^{\circ}\text{C}$  на высоте 1150 м до 1.1  $^{\circ}\text{C}$  на высоте 3120 м, минерализация снижается с 53 мг/л на высоте 1150 м до 11 мг/л на высоте 3120 м. Судя по линии аппроксимации «температура-высота» снеговая линия в бассейне реки Ала-Арча находится на высоте  $\sim 3600$  м. Повышение температуры до 6  $^{\circ}\text{C}$  наблюдается на высоте 2900 м в районе заброшенной метеостанции, где перед моренным валом долина реки выполаживается, русло расширяется, течение замедляется, что позволяет несколько прогреться речной воде. Снижение минерализации с набором высоты связано со снижением содержания растворенных компонентов в талом ледниковом стоке. Зона повышенной минерализации наблюдается в диапазоне высот 2900-3100 м с максимальным значением 64 мг/л, что связано с дополнительным источником питания реки, вероятно, погребенными льдами.

На дейтерий-кислород-18 диаграмме опробованные источники воды располагаются вдоль прямой, отражающей локальную линию метеорных вод, и аппроксимируются прямой имеющей вид  $y=7.22x+8.06$  без признаков существенного неравновесного изотопного фракционирования (рис. 1). В области легкого состава (более отрицательные значения), закономерно располагаются точки, сформированные в сезоны с низкими температурами за счет легких снеговых осадков. В области тяжелых составов расположены точки, питающиеся, вероятно, более тяжелыми летними дождевыми осадками, например, притоки нижнего течения – р. Кадырберды и р. Карагайбулак. Явные признаки неравновесного изотопного фракционирования имеет точка АК-49 (наиболее удаленная от линии метеорных вод), представляющая собой пробу воды из родника в районе альплагеря. Изотопное фракционирование состава, вероятно, связано с длительным по времени взаимодействием с породами, что характерно для подземных вод глубокой циркуляции, возможно термальных. Данная точка имеет самую высокую температуру среди родников и притоков Ала-Арчи 9.0  $^{\circ}\text{C}$  в интервале высот 2300-1700 м. На глубинное происхождение источника также указывают уран-изотопные параметры, о которых будет сказано ниже.

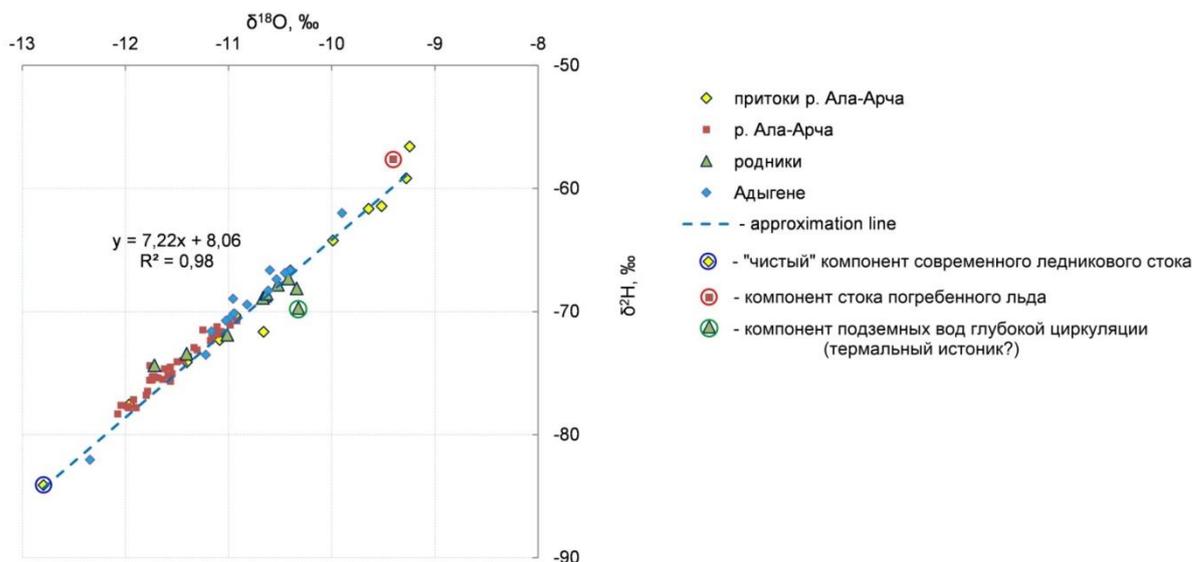


Рис. 1 – Изотопный состав поверхностных и подземных вод бассейна р. Ала-Арча

В верховьях р. Ала-Арча не обнаруживается чистая компонента современного ледникового стока. В изотопном составе он прослеживается лишь в стоке с ледника Голубина (р. Джындесу), который имеет самый легкий изотопный состав  $\delta^{18}\text{O}$  среди изученных проб  $-12.79\text{‰}$ . Судя по линии аппроксимации «изотопный состав-высота», в верховьях Ала-Арчи значения  $\delta^{18}\text{O}$  должны составлять около  $-12,4\text{‰}$  при условии питания только за счет таяния современного ледникового льда, сформированного легкими снеговыми осадками в холодные сезоны. Похожие значения изотопного состава  $\delta^{18}\text{O}$  имеет сток с ледника Адыгене  $-12.34\text{‰}$ . Почти все пробы в верховьях р. Ала-Арчи имеют аномально тяжелый для высоты опробования изотопный состав  $\delta^{18}\text{O}$  (тяжелее  $-12\text{‰}$ , вплоть до  $-9.40\text{‰}$ ), что говорит о значительном влиянии на сток Ала-Арчи в верхнем течении дополнительного источника питания, вероятно за счет таяния погребенных льдов. Тяжелый изотопный состав этого источника связан с тем, что он формировался из осадков более теплого периода, чем современный, когда температура зимой могла быть выше, чем сейчас. Аномалия изотопного состава воды в реке Ала-Арча сохраняется вплоть до впадения р. Джындесу, что говорит о том, что на этом участке русла Ала-Арча получает некоторую, возможно значительную, долю питания за счет тающих погребенных льдов и только при впадении р. Джындесу в расходе Ала-Арчи начинает доминировать талая ледниковая составляющая с ледника Голубина.

Погребенный лед является важной составной частью морено-ледниковых комплексов. В верховьях Ала-Арчи находится самый крупный в бассейне реки моренно-ледниковый комплекс площадью  $7.0\text{ км}^2$  – Большой ала-арчинский каменный глетчер. Погребенные льды занимают здесь значительные объемы, их таяние вероятно и образует аномалии изотопного состава в стоке верховье р. Ала-Арчи. Для притоков, где площади моренно-ледниковых комплексов незначительны, например, р. Джындесу ( $0.3\text{ км}^2$  при площади ледника Голубина  $9.4\text{ км}^2$ ) изотопный состав воды сохраняет параметры современного талого ледникового стока с легкими составами.

Средняя концентрация урана в р. Ала-Арча составляет  $10.47\text{ мкг/л}$ , что соответствует многолетним наблюдениям [2]. С набором высоты содержание U имеет тенденцию уменьшения, что обусловлено снижением общей минерализации и количества растворенных минеральных веществ. Однако в верховьях р. Ала-Арчи в зоне влияния моренно-ледникового комплекса формируется зона повышенной концентрацией U, указывающая на длительный контакт воды с породами, а не на ледниковый сток. Изотопный состав урана  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  по направлению от истока вниз по

течению варьирует незначительно, изменяясь под влиянием притоков. Среднее значение  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  составляет 1.18. Максимальное обогащение вод р. Ала-Арча изотопом  $^{234}\text{U} = 1.35$  наблюдается также в верховьях. Обнаруживается положительная связь между концентрацией растворенного U и pH ( $r=0.38$ ), что говорит о том, что источником урана в верховьях является выщелачивание из горных пород (таяние погребенных льдов моренно-ледникового комплекса).

Среди притоков значимо выделяются р. Туук и р. Аксай имеющие близкие к равновесным отношения изотопов урана. Наибольшее обогащение  $^{234}\text{U}$  среди притоков демонстрирует р. Муратсай  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} = 1.54$  при крайне низкой концентрации урана 1.04 мкг/л. Наиболее высокое изотопное отношение урана  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} = 1.68$  при низкой концентрации урана 5.13 мкг/л, характерно для родника в районе альплагеря. Он же имеет самую высокую минерализацию среди всех опробованных в бассейне р. Ала-Арча источников, а также имеет признаки неравновесного изотопного фракционирования по  $\delta^2\text{H}-\delta^{18}\text{O}$ , что может указывать на его глубинное происхождение (возможно термальное).

По изотопному составу и концентрации урана можно выделить 4 источника формирования стока р. Ала-Арчи: 1) ледниковый сток современного оледенения  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} = 1.0$ ,  $U < 3$  мкг/л (р. Туук, р. Джындесу); 2) сток от таяния погребенных льдов  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} > 1.35$ ,  $U > 11$  мкг/л (верховья Ала-Арчи); 3) подземные воды глубокой циркуляции  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} > 1.68$ ,  $U < 5$  мкг/л (родник в альплагере, р. Муратсай); 4) неглубокие подземные воды  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} \sim 1.14-1.18$ ,  $U > 15$  мкг/л (небольшие родники).

Влияние моренно-ледникового комплекса в верховьях долины р. Ала-Арчи отражается на химических параметрах воды в реке. Так в этой зоне значительно возрастает концентрация стронция, магния, бария, мышьяка.

Таким образом, проведенные исследования сводятся к следующему.

Выполнены изотопно-гидрохимические исследования поверхностных и подземных вод бассейна реки Ала-Арча. Для 74 отобранных проб определены состав стабильных изотопов  $\delta^2\text{H}$  и  $\delta^{18}\text{O}$ , а также ряд химических элементов. Во всех пробах выполнены полевые определения неустойчивых физико-химических параметров: pH, Eh, T, минерализация (электропроводность). В 50 пробах изучен изотопный состав и концентрация урана  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ . Физико-химические параметры воды в р. Ала-Арча (температура и минерализация) характеризуются закономерным для горных районов снижением с набором высоты. На  $\delta^2\text{H}-\delta^{18}\text{O}$  диаграмме опробованные источники воды располагаются вдоль прямой, отражающей локальную линию метеорных вод без признаков существенного неравновесного изотопного фракционирования. Явные признаки неравновесного фракционирования имеет точка, представляющая собой пробу воды из родника в районе альплагеря. Изотопное фракционирование состава, вероятно, связано с длительным по времени взаимодействием с породами, что характерно для подземных вод глубокой циркуляции, возможно термальных.

В верховьях р. Ала-Арчи обнаружен аномально тяжелый для высоты опробования изотопный состав  $\delta^{18}\text{O}$ , что говорит о значительном влиянии на сток в верхнем течении дополнительного источника питания, вероятно за счет таяния погребенных льдов, составляющих значительный объем крупнейшего в бассейне Ала-Арчи моренно-ледникового комплекса. Влияние моренно-ледникового комплекса в верховьях долины р. Ала-Арчи отражается на физико-химических и химических параметрах воды в реке. Так в этой зоне значительно возрастает pH, минерализация, концентрации урана, стронция, магния, бария и мышьяка.

Таким образом, изотопно-гидрохимические данные позволили выполнить диагностику компонентов стока горного речного бассейна Ала-Арча и определить составляющие стока реки в зоне развития современного оледенения.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект №20-77-10057 «Диагностика деградации мерзлоты на базе изотопных трассеров ( $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ,  $\delta^{18}\text{O}+\delta^2\text{H}$ ,  $\delta^{13}\text{C}+^{14}\text{C}$ )».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шукурбеков К.К., Ерохин С.А., Загинаев В.В. Водные ресурсы погребенных льдов // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2021. № 4. С. 35-38.
2. Тузова Т.В., Ерохин С.А., Загинаев В.В., Давид В. Неравновесный уран как естественный радиоактивный индикатор генезиса поверхностных и подземных вод Центральной Азии // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2019. № 4. С. 85-91.
3. Калашникова О.Ю., Эсенаман уулу Мухаммед, Усубалиев Р.А. Влияние климатических изменений на сток и оледенение бассейна реки Ала-Арча за период 1915-2018 гг. // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2019. № 4. С. 36-41.

**РОЛЬ ПОЛЯРНЫХ ЭКОСИСТЕМ В  
ГЛОБАЛЬНЫХ  
БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ЦИКЛАХ И  
ВЗАИМОСВЯЗЬ С ИЗМЕНЕНИЯМИ  
КЛИМАТА**

---

## ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ И ВОДОРАСТВОРИМЫХ БЕЛКОВ В ПОЧКАХ РАЗНЫХ ФОРМ СОСНЫ В РАЗНЫЕ ГОДЫ

Аганина Ю.Е., Тарханов С.Н.

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, julja-a30@rambler.ru

Одни исследователи в качестве более эффективной защиты метаболизма от активных форм кислорода выделяют ферментативную систему [1], другие – низкомолекулярные антиоксиданты [2]. Отмечается [3], что доминирующее положение во внутри- и внеклеточной защите занимает аскорбиновая кислота, являясь потенциальным донором атомов водорода и электронов, используемых для восстановления перекиси водорода или некоторых свободнорадикальных продуктов. В 2020 году существенные (на 5 % уровне значимости) различия между формами сосны с плоским и выпуклым типом апофиза семенных чешуй содержания аскорбиновой кислоты в почках в период с июля до декабря не были выявлены ( $t$ -критерий,  $p > 0,05$ ) (рис. 1).

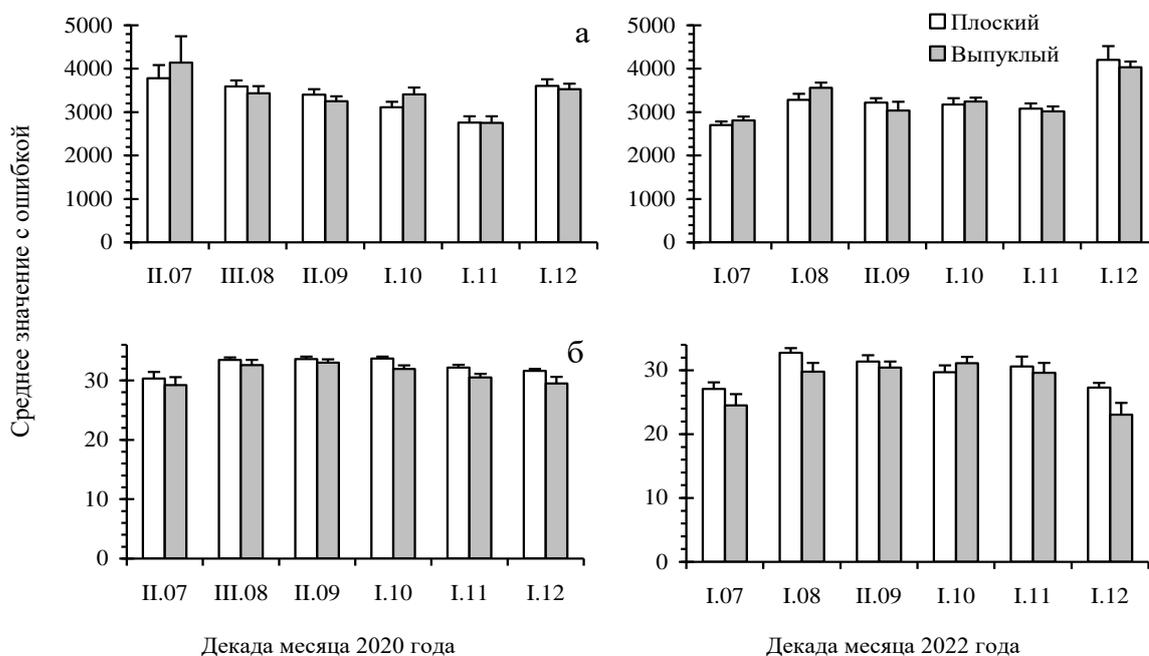


Рис. 1 – Сезонная динамика биохимических параметров (среднее значение с ошибкой) почек у форм сосны с разным типом апофиза в разные годы (а – содержании аскорбиновой кислоты, мкг/г в сух.массы; б – содержание водорастворимых белков, мг/г в сух.массы)

По сравнению с началом ноября содержание аскорбиновой кислоты в почках в начале декабря 2020 года значительно возросло как у сосны с плоским апофизом, так и у формы с выпуклым апофизом ( $t = 3,90 - 3,95$ ;  $t_{0,05} = 2,26$ ). В декабре 2022 года этот показатель существенно увеличивался по сравнению с другими летними и осенними месяцами у обеих форм ( $t = 2,59 - 7,57$ ;  $t_{0,05} = 2,26$ ). Характер сезонной динамики этого показателя у сосны с выпуклой и плоской формой апофиза (за исключением октября) сходный. Однофакторный дисперсионный анализ (ОДА) подтвердил влияние фактора «форма апофиза» на динамику содержания аскорбиновой кислоты в октябре-ноябре 2020 года ( $F = 4,66 - 6,08$ ;  $F_{0,05} = 4,41$ ). Двухфакторный дисперсионный анализ (ДДА)

подтвердил достоверное влияние фактора «сезон» на изменчивость этого показателя только в комплексе «сезон-форма» ( $F = 5,81$ ;  $p < 0,001$ ;  $F_{0,05} = 2,30$ ). В 2022 году установлено достоверное влияние фактора «сезон» на динамику содержания аскорбиновой кислоты в комплексе «сезон-форма» методом ДДА ( $F = 18,78$ ;  $p < 0,001$ ;  $F_{0,05} = 2,30$ ).

У сосны с желтой и красной окраской микростробилов характер сезонной динамики аскорбиновой кислоты (с июля до декабря 2020 и 2022 годов) также сходный (рис. 2).

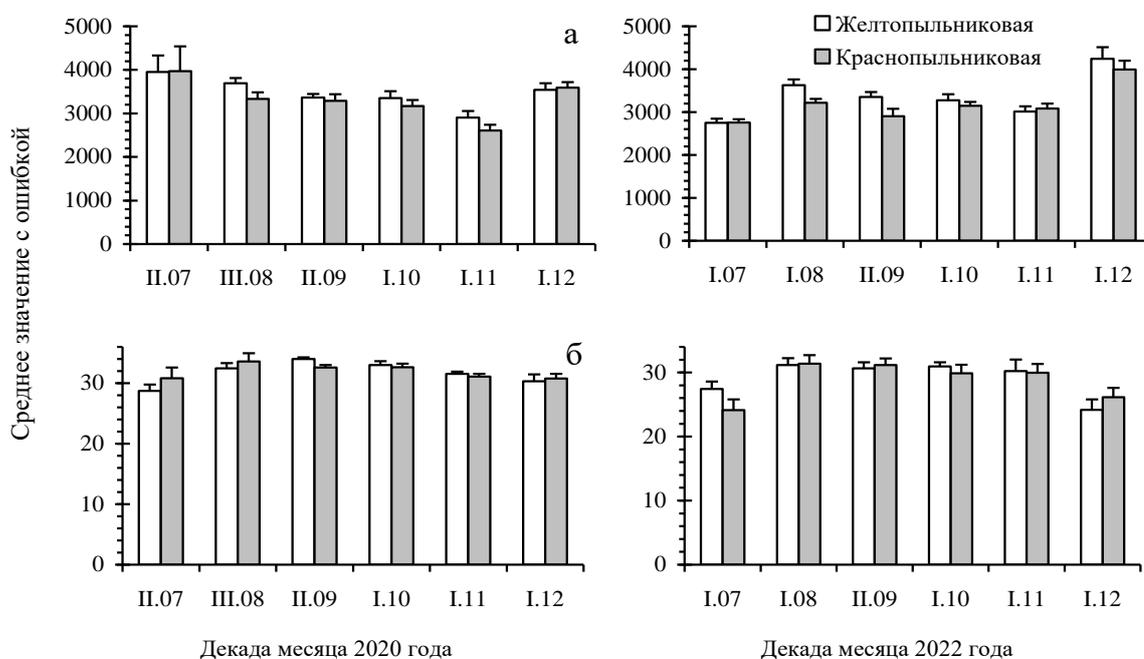


Рис. 2 – Сезонная динамика биохимических параметров (среднее значение с ошибкой) почек у форм сосны с разным цветом микростробилов в разные годы (а – содержания аскорбиновой кислоты, мкг/г в сух.массы; б – содержание водорастворимых белков, мг/г в сух.массы)

В начале декабря 2020 года содержание аскорбиновой кислоты в почках повышалось в соответствии (рис. 2). В декабре 2022 года это превышение существенно по сравнению со всеми другими месяцами ( $t$ -критерий,  $p < 0,05$ ). Установлены достоверные различия содержания аскорбиновой кислоты в почках между сосной с жёлтыми и красными микростробилами в августе 2022 года ( $t = 2,42$ ;  $t_{0,05} = 2,26$ ). В августе этого года количество выпавших осадков составляло лишь 37 мм, что значительно ниже среднеголетнего показателя (67 мм). Концентрация аскорбиновой кислоты в почках жёлтопыльниковой формы в августе существенно больше по сравнению с краснопыльниковой формой. Это указывает на более выраженную защитную реакцию сосны с жёлтыми микростробилами в данных условиях. ОДА подтверждает достоверное влияние фактора «форма» на динамику содержания аскорбиновой кислоты в почках в августе-сентябре 2022 года ( $F = 4,51 - 5,85$ ;  $F_{0,05} = 4,41$ ). ДДА выявил достоверное влияние этого фактора в комплексе «сезон-форма» ( $F = 5,07$ ;  $F_{0,05} = 3,93$  – «форма» и  $F = 19,93$ ;  $F_{0,05} = 2,30$  – «сезон»).

Известно [4], что накопление аскорбиновой кислоты является следствием интенсивного ее образования и (или) освобождения из связанного состояния. Повышение содержания аскорбиновой кислоты в почках сосны в начале зимы, по-видимому, является общим свойством для вечнозеленых зимующих древесных растений.

Предполагается [5, 6], что низкотемпературная устойчивость обеспечивается как в результате снижения интенсивности обмена до очень низкого уровня, так и вследствие синтеза в осенний период различных соединений, в том числе белков, обладающих криозащитным действием. Согласно полученным нами данным в 2020 году, существенные различия между формами с плоским и выпуклым апофизом семенных чешуй в содержании водорастворимых белков в почках выражены только в октябре ( $t = 2,47$ ;  $t_{0,05} = 2,26$ ). Их содержание больше у сосны с плоской формой апофиза (рис. 1).

Среднемесячная температура воздуха в октябре 2020 года была значительно выше ( $4,3$  °C) среднемноголетнего показателя ( $1,5$  °C). Деревья данной формы, вероятно, испытывают в этих условиях более сильный стресс и активируют свои защитные реакции. Наблюдаются существенные различия между содержанием водорастворимых белков в почках сосны с плоским апофизом в июле, с одной стороны, и в августе – октябре 2020 года, с другой ( $t = 2,60 - 2,86$ ;  $t_{0,05} = 2,26$ ). В августе – сентябре их содержание существенно возросло только по сравнению с декабрем ( $t = 3,42$ ;  $t_{0,05} = 2,26$ ). У сосны с выпуклым апофизом эти различия достоверны только между июлем и сентябрем ( $t = 2,66$ ;  $t_{0,05} = 2,26$ ). У сосны с плоской формой апофиза в августе – сентябре их содержание существенно увеличивалось только по сравнению с декабрем ( $t = 4,32$ ;  $t_{0,05} = 2,26$ ). Содержание водорастворимых белков в июле значительно меньше. В октябре содержание водорастворимых белков в почках значимо больше по сравнению с ноябрем – декабрем у сосны с плоским апофизом ( $t = 2,61 - 4,43$ ;  $t_{0,05} = 2,26$ ). В сентябре 2020 года этот параметр выше по сравнению с ноябрем – декабрем у формы с выпуклым апофизом ( $t = 2,82 - 3,05$ ;  $t_{0,05} = 2,26$ ).

В июле 2022 года концентрация водорастворимых белков в почках у формы с плоским апофизом существенно меньше по сравнению с августом и сентябрём ( $t = 2,95 - 4,41$ ;  $t_{0,05} = 2,26$ ). В августе их содержание значительно превышало этот показатель у этой формы в октябре и декабре ( $t = 2,33 - 5,11$ ;  $t_{0,05} = 2,26$ ). В сентябре содержание водорастворимых белков в почках у сосны с плоским апофизом было существенно больше, чем в декабре ( $t = 3,23$ ;  $t_{0,05} = 2,26$ ). У сосны с выпуклой формой апофиза содержание водорастворимых белков в почках в июле значительно меньше, чем в августе-октябре ( $t = 2,35 - 3,25$ ;  $t_{0,05} = 2,26$ ). В августе их концентрация в почках существенно больше по сравнению с декабрём ( $t = 2,91$ ;  $t_{0,05} = 2,26$ ). В сентябре-ноябре этот показатель также значительно выше, чем в декабре ( $t = 2,69 - 3,81$ ;  $t_{0,05} = 2,26$ ). ОДА выявил влияние фактора «форма апофиза» на содержание водорастворимых белков в октябре-ноябре 2020 года ( $F = 4,66 - 6,08$ ;  $F_{0,05} = 4,41$ ). ДДА комплекса «форма-сезон» подтвердил достоверное влияние этих факторов на динамику содержания водорастворимых белков в 2020 году ( $F = 9,42$ ;  $p = 0,003$ ;  $F_{0,05} = 3,93$  – форма; и  $F = 7,46$ ;  $p < 0,001$ ;  $F_{0,05} = 2,29$  – сезон). Методом ОДА установлено влияние фактора «форма апофиза» на содержание водорастворимых белков в декабре 2022 года ( $F = 4,43$ ;  $F_{0,05} = 4,41$ ). ДДА подтверждает достоверное влияние факторов в комплексе «форма-сезон» на динамику водорастворимых белков в 2022 году ( $F = 5,31$ ;  $F_{0,05} = 3,92$  – «форма» и  $F = 8,99$ ;  $F_{0,05} = 2,30$  – «сезон»).

Между формами с красными и желтыми микростробилами различия в содержании водорастворимых белков в почках за все изучаемые календарные периоды (с июля до декабря 2020 года) недостоверны на принятых уровнях значимости  $t$ -критерия. У сосны с желтой окраской микростробилов содержание водорастворимых белков в июле 2020 года существенно меньше по сравнению с августом – ноябрем ( $t = 2,61 - 4,95$ ;  $t_{0,05} = 2,26$ ) (рис. 2). Этот показатель в сентябре существенно больше у этой формы по сравнению с ноябрем – декабрем ( $t = 3,12 - 5,45$ ;  $t_{0,05} = 2,26$ ). У формы с красной окраской микростробилов содержание водорастворимых белков в августе существенно больше по сравнению с ноябрем – декабрем ( $t = 2,89 - 4,14$ ;  $t_{0,05} = 2,26$ ), а в октябре – больше, чем в декабре ( $t = 2,60$ ;  $t_{0,05} = 2,26$ ). Вероятно, сезонная динамика

их содержания связана с развитием почечных структур и подготовкой почек у деревьев разных форм к перезимовке. В июле 2022 года у формы с жёлтым цветом микростробиллов содержание водорастворимых белков в почках существенно меньше по сравнению с августом и октябрём ( $t = 2,38 - 2,68$ ;  $t_{0,05} = 2,26$ ). У формы с красными микростробилами содержание водорастворимых белков в почках в июле значительно меньше, чем в августе-ноябре ( $t = 2,71 - 3,60$ ;  $t_{0,05} = 2,26$ ). Концентрация этих белков у жёлтопыльниковой и краснопыльниковой сосны в августе – сентябре существенно больше по сравнению с декабрём ( $t = 2,64 - 3,56$ ;  $t_{0,05} = 2,26$ ). У жёлтопыльниковой сосны содержание водорастворимых белков в почках в октябре и ноябре значительно больше по сравнению с декабрём ( $t = 2,49 - 3,83$ ;  $t_{0,05} = 2,26$ ). Существенные различия содержания водорастворимых белков в почках между этими формами в разные сезоны 2022 года не наблюдались ( $t$ -критерий;  $p < 0,005$ ). Влияние фактора «форма» на содержание водорастворимых белков в почках деревьев с разным цветом микростробиллов в сентябре 2020 года подтверждается ОДА ( $F = 4,54$ ;  $F_{0,05} = 4,41$ ). Методом ДДА в этом году доказано достоверное влияние фактора «сезон» на концентрацию водорастворимых белков у форм с разным цветом микростробиллов ( $F = 7,19$ ;  $p < 0,0001$ ;  $F_{0,05} = 2,30$ ). В 2022 году методом ДДА подтверждается достоверное влияние фактора «сезон» на изменчивость содержания белков ( $F = 8,49$ ;  $F_{0,05} = 2,30$ ). Осенняя подготовка древесных растений к зиме сопровождается усилением синтеза белков в живых тканях. Наши данные по увеличению содержания водорастворимых белков в почках у деревьев разных форм в осенние месяцы свидетельствуют об активации защитных реакций сосны при подготовке к перезимовке. Это позволяет снизить риск повреждения мембранных структур при действии отрицательных температур зимой.

*Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания по теме «Структура и изменчивость популяций лесных сообществ на приарктических территориях Севера Русской равнины» № гос.регистрации АААА-А18-118011690221-0.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zhang, J., Kirkham M. B. Drought-stress induced changes in activities of superoxide dismutase, catalase, and peroxidase in wheat species // Plant Cell Physiology. 1994. Vol. 35. P. 785-791.
2. Blokhina, O., Virolainen E., Fagerstadi K. V. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivative stress: a review // Annals of Botany. 2003. Vol. 91. P. 179-194.
3. Полесская, О. Г. Растительная клетка и активные формы кислорода. М.: КДУ, 2007. 140 с.
4. Алаудинова, Е. В., Миронов П. В. Особенности низкотемпературной адаптации хвойных Сибири: изменение содержания водорастворимых и нерастворимых компонентов клеток // Хвойные бореальной зоны. 2015. Т. 33, № 1-2. С. 90-94.
5. Алексеев, В. Г. Беленкова Т. Д., Щербакова Т. М. Криобелки и адаптация растений Севера к низким температурам // Физиология растений. 1987. Т. 34, вып. 6. С. 140-148.
6. Volger, H. G. Heber V. Cryoprotective leaf proteins // Biochimica et Biophysica Acta. 1975. Vol. 412, № 2. P. 335-340.

## ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФЕНОЛЬНЫЙ И ПИГМЕНТНЫЙ КОМПЛЕКСЫ ДРЕВЕСНОЙ ЗЕЛЕНИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ *PINUS SYLVESTRIS*

Боголицын К.Г.<sup>1,2</sup>, Гусакова М.А.<sup>1</sup>, Красикова А.А.<sup>1</sup>, Хвиюзов С.С.<sup>1</sup>, Самсонова Н.А.<sup>1</sup>, Пустынная М.А.<sup>1</sup>, Селиванова Н.В.<sup>1</sup>

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, ann.krasikova@gmail.com

<sup>2</sup>Северный (Арктический) федеральный университет имени Ломоносова, г. Архангельск.

В настоящее время одним из наиболее востребованных направлений экологии является прогнозирование реакции растений на постоянное изменение климата. Наибольший интерес для изучения в этом аспекте представляют лесные массивы. Адаптация растительных объектов к специфическим природно-климатическим условиям их произрастания приводит к приобретению теми или иными фракциями органических соединений определенного компонентного состава и уникальных свойств. Растения содержат огромное количество веществ - вторичных метаболитов (ВМ), отвечающих за формирование накопительного характера отклика растения на воздействие стресса. Среди вторичных метаболитов, синтезируемых в растениях, важное место занимают ароматические фенольные соединения (ФС), выполняющие широкий спектр защитных функций к факторам абиотического и биотического стресса. Такие защитные функции как антиоксидантная защита и защита от ультрафиолетового излучения присущи одной из наиболее распространенных групп фенольных соединений - флавоноидам. Также известно, что одним из биохимических показателей реакции растений на изменение факторов внешней среды, степени их адаптации к новым экологическим условиям является изменение содержания пигментного комплекса (хлорофиллов и каротиноидов – главных фоторецепторов фотосинтезирующей клетки). Поэтому исследования изменения их содержания часто используют в качестве показателя реакции растений на стресс.

Стоит отметить, такие факторы окружающей среды, как температура, влажность, освещение, минеральный состав почв, являются определяющими факторами биосинтеза и колебаний содержания вторичных метаболитов в растениях [1]. Причем, для растений, произрастающих в условиях климата высоких широт, из всего комплекса факторов окружающей среды первостепенное влияние оказывают средняя температура периода вегетации, продолжительность безморозного периода, продолжительность светового дня, среднегодовое количество осадков [2]. Согласно [3], адаптивным изменениям растений предшествуют биохимические и физиологические перестройки, вызванные неблагоприятными биотическими и абиотическими факторами среды. Таким образом, целью работы являлось исследование изменения содержания вторичных метаболитов хвойных пород древесины в ответ на изменение основных климатических факторов (температура, влажность воздуха, освещенность) на примере сосны обыкновенной.

В качестве объекта исследования использовалась древесная зелень сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*). Древесная зелень была разобрана на хвою по возрастным классам (формирующаяся хвоя текущего года, 1 года, 2 года). Отбор образцов древесной зелени проводили согласно ГОСТ 21769-84 в течение вегетационного периода в северотаежном районе Архангельской области (65°5'64"; 41°5'30"). Северотаежная природно-климатическая зона характеризуется слабой теплообеспеченностью, избыточным увлажнением, плохой аэрацией и недостатком питательных веществ почвы, длительной и холодной зимой с низким уровнем солнечной радиации [4]. Для оценки статистической значимости влияния основных

климатических факторов на изменение содержания исследуемых вторичных метаболитов в годичном цикле был использован метод многопараметрового регрессионного анализа данных, а также расчет коэффициента Пирсона.

В начале периода вегетации разновозрастная хвоя выступает в качестве основной фотоассимилирующей ткани и главного поставщика вторичных метаболитов. Исходным субстратом для образования компонентов растительных тканей служит глюкоза, образующаяся в результате фотосинтеза, происходящего в кроне деревьев, в результате чего энергия солнечного света переходит в энергию химических связей. У хвойных пород именно хвоя выполняет функцию фотосинтетического аппарата, характеризующегося высокодинамичными структурными и функциональными сезонными перестройками пигментного комплекса [5].

Изменение содержания пигментов в ходе вегетации обусловлено различием интенсивности процессов их биосинтеза, происходящих при изменении комплекса климатических факторов. Акклиматизация вечнозеленых хвойных деревьев в бореальных регионах включает регуляторные процессы, защищающие фотосинтетический аппарат хвои в холодное время года. На сегодняшний день не существует четкого мнения о механизме, объясняющем происходящие зимой в древесной зелени хвойных пород процессы. Существующие механизмы и модели фотосинтетических процессов в растениях принимают во внимание общую схему сосуществования двух фотосинтетических систем I и II - центров окислительно-восстановительных светозависимых реакций [5], которые улавливают свет различных длин волн с помощью хлорофилла *a*, а также хлорофилла *b* и каротиноидов в качестве вспомогательных фотосинтетических пигментов. Поскольку две фотосистемы пространственно разделены, для обмена электронами между ними в качестве подвижных переносчиков выступают пластохинон, филлохинон, пластоцианин. Так энергия света преобразуется для работы электротранспортных цепей, которые создают электрохимический потенциал через тилакоидную мембрану.

Роль фотосистемы I связана с воздействием абиотических факторов, главным образом, температуры и освещенности. Она дает энергию на внутренние процессы биосинтеза, и при пониженной освещенности зимой работает именно фотосистема I, а не фотосистема II. Таким образом, интерес представляет изучение двух периодов в годовом цикле – периода вегетации и зимнего периода, с целью выявления действия разных фотосистем в разное время года. Для анализа влияния комплекса основных выбранных климатических факторов (освещенности *i*, влажности *h*, температуры *t*) на изменение содержания исследуемых пигментов (хлорофиллы *a* и *b*, каротиноиды) был проведен расчет коэффициента Пирсона (таблица 1).

Таблица 1 – Значения коэффициента корреляции Пирсона, рассчитанные для пигментного комплекса

	период вегетации				зимний период			
	текущий год	1 год	2 год	одревесневший побег	текущий год	1 год	2 год	одревесневший побег
хл <i>a</i> (t)	0,7227	0,4007	0,1400	-0,5191	-0,5031	0,1488	-0,2743	-0,4725
хл <i>a</i> (h)	0,6170	0,7340	-0,1102	0,8299	0,2379	0,3402	0,7011	0,6002
хл <i>a</i> (i)	-0,0242	-0,4873	-0,3562	-0,8233	-0,7300	-0,4791	-0,6438	-0,8918
хл <i>b</i> (t)	0,7062	-0,3610	-0,5086	-0,6858	-0,0019	0,3787	0,7091	-0,2052
хл <i>b</i> (h)	0,6647	0,8724	0,6430	0,7176	-0,5473	0,3000	0,4169	0,6041
хл <i>b</i> (i)	-0,0319	-0,9100	-0,5596	-0,9359	-0,0612	-0,2609	-0,0285	-0,7913
кар (t)	-0,3622	-0,9632	-0,4570	0,5747	-0,5796	-0,1813	-0,6950	-0,9108
кар (h)	0,9037	0,0076	0,5328	0,1702	0,1255	-0,0167	0,7646	-0,0325
кар (i)	-0,7705	-0,5703	-0,9575	-0,2352	-0,6870	-0,4303	-0,9611	-0,5790

Расчет коэффициента корреляции Пирсона демонстрирует умеренную обратную зависимость содержания хлорофилла *a* от освещенности в период вегетации в разновозрастных образцах хвои, с явным усилением этой зависимости в зимний период, что может являться подтверждением смены фотосистем - снижения интенсивности действия фотосистемы II и вовлечения фотосистемы I в процессы фотосинтеза зимой. В вегетационный период полученные математические коэффициенты для хвои текущего года, как правило, выше, что указывает на действие разных фотосистем. Для каротиноидов отмечена стабильная высокая обратная зависимость от освещенности в течение всего годового цикла без явных резких перепадов, справедливая для образцов хвои разных лет, что подтверждает различие механизмов регуляции пигментов. Для хлорофилла *b* наблюдаются от заметной до высокой обратные зависимости от освещенности и температуры и высокая прямая зависимость от температуры, как для хвои, так и для одревесневшего побега, справедливые для периода вегетации. В зимний период отмечено резкое снижение значений коэффициента Пирсона, свидетельствующее об ослаблении наблюдаемых зависимостей. Расчет коэффициента Пирсона для образцов одревесневшего побега демонстрирует стабильные высокие по модулю зависимости всех определяемых пигментов от выбранных климатических факторов, что по нашему мнению свидетельствует о процессах диффузии вторичных метаболитов из хвои в побег с их последующим накоплением. Согласно полученным данным, формирующаяся хвоя наиболее подвержена влиянию таких климатических факторов как температура в период вегетации и освещенность в зимний период, поскольку температурный режим относится к числу основных факторов среды, оказывающих влияние на состояние пигментного аппарата.

Для подтверждения полученных результатов расчета коэффициента Пирсона был использован метод многопараметрового регрессионного анализа данных. Поскольку, согласно [5], среди исследуемых биообъектов максимальная активность фотосинтетических процессов характерна именно для формирующегося ассимиляционного аппарата хвои сосны, нами проанализировано влияние комплекса трех климатических факторов на изменение содержания исследуемых пигментов в годовом цикле на примере хвои текущего года. В качестве примера приведены математические зависимости, полученные для периода вегетации (1-3). Количественное сравнение интенсивностей абиотических факторов определено по значениям соответствующих коэффициентов  $a_i$ .

$$f(\text{хл } a) = 0,033t + 0,003h - 0,04i \quad (R=0,96) \quad (1)$$

$$f(\text{хл } b) = 0,016t + 0,002h - 0,02i \quad (R=0,96) \quad (2)$$

$$f(\text{кар}) = 0,0004t + 0,004h - 0,03i \quad (R=0,86) \quad (3)$$

Для полученных зависимостей коэффициенты корреляции  $R$  оказались выше или стремились к 0.9, что свидетельствует о применимости выбранной математической модели. Среди исследуемых факторов, в целом, на содержание всех пигментов наибольшее влияние оказывает изменение освещенности. Вероятно, данный эффект обусловлен высокой интенсивностью процессов фотосинтеза с образованием глюкозы, и ее непосредственным участием в различных путях биосинтеза фенольных соединений, а в случае хлорофиллов *a* и *b* – интенсивностью фотохимических процессов в хлоропластах. Для хлорофиллов *a* и *b* показана прямая зависимость от температурного фактора, определяющего продолжительность вегетационного периода.

Таким образом, методом статистического анализа показано, что среди абиотических факторов наибольшее влияние на изменение содержания пигментного комплекса в формирующейся растительной ткани хвои оказывает освещенность. Качественные тенденции корреляционных зависимостей содержания пигментов от

климатических факторов, полученные с применением двух разных математических моделей, схожие, однако количественные показатели различаются ввиду разных методов расчета. Полученные математическими методами статистически значимые результаты подтверждают роль хлорофилла *a* и его участие в действии фотосистем.

Рассматривая приведенную выше концепцию совместного существования и действия фотосистем, мы учитываем участие в протекающих процессах хинонных соединений для обмена электронами между фотосистемами. Хинонные структуры могут быть образованы только при наличии фенольных соединений, активных форм кислорода и участия ферментативных систем (пероксидазы). Данные механизмы также могут быть подвержены воздействию внешних условий, что приводит к необходимости анализа влияния климатических параметров на содержание фенольных соединений и ферментативной активности. Накопление низкомолекулярных фенольных соединений в тканях хвойных пород является индикационным признаком низкотемпературного и водного стресса [6]. Сопоставление динамики изменения пигментов и фенольных соединений в годичном цикле показало совпадение тенденций. Можно предположить, что уровень содержания фенольных соединений, так же как и уровень содержания фотосинтетических пигментов, являются адаптивными биоиндикационными эколого-физиологическими особенностями хвойных растений к действию различных стрессовых факторов. Ввиду чего, интерес представляет расчет математических показателей зависимости состояния фенольного комплекса (содержание ФС и флавоноидов) и активности пероксидазы (АПО) от климатических параметров.

Таблица 2 – Значения коэффициента корреляции Пирсона, рассчитанные для фенольного комплекса

	период вегетации				зимний период			
	текущий год	1 год	2 год	одревесневший побег	текущий год	1 год	2 год	одревесневший побег
ФС (t)	0,4334	0,0962	0,4433	-0,2584	0,6421	0,8595	0,5206	0,2157
ФС (h)	0,8415	0,8092	0,4087	0,7515	-0,6538	-0,4863	-0,5706	0,4461
ФС (i)	-0,2593	-0,0977	0,4634	-0,9047	0,6447	0,6424	0,6349	-0,1656
Флав (t)	0,1325	-0,2654	-0,3984	-0,4026	0,7170	0,8044	0,5993	0,8195
Флав (h)	0,9110	0,9442	0,9246	0,6999	0,4764	0,3962	0,5265	0,3368
Флав (i)	-0,5241	-0,6281	-0,7196	-0,9092	-0,0208	0,1007	-0,0106	0,1603
АПО (t)	-0,2099	-0,9153	-0,4487	-	-0,2238	0,3023	-0,0177	-
АПО (h)	0,8150	-0,1429	-0,1953	-	-0,57012	-0,3992	0,8642	-
АПО (i)	-0,8153	-0,6229	-0,6368	-	0,4120	0,7505	-0,4099	-

Как видно из таблицы 2, высокие положительные коэффициенты корреляции с температурой наблюдаются для флавоноидов и фенолов в зимний период. В свою очередь высокое положительное влияние влажности на фенольный комплекс наблюдается в период вегетации. Значительное положительное влияние на активность пероксидазы в формирующейся хвое в период вегетации оказывает влажность, а отрицательное – освещенность. Используя предложенный выше подход, проанализировано влияние климатических факторов на комплекс фенольных метаболитов и пероксидазную активность. Полученные результаты для хвои текущего года в вегетационном периоде представлены в виде математических зависимостей (4-6):

$$f(\text{ФС})=2,15t+0,45h-4,03i \quad (R=0,93) \quad (4)$$

$$f(\text{флав})=0,71t+0,28h-2,1i \quad (R=0,92) \quad (5)$$

$$f(\text{АПО})=0,015t+0,01h-0,1i \quad (R=0,93) \quad (6)$$

Для всех зависимостей коэффициенты корреляции оказались выше 0,9, что свидетельствует о применимости выбранной математической модели. Так же, как и расчет коэффициента Пирсона, проведенный корреляционный анализ показал, что наибольшее влияние на общее содержание фенольных соединений, флавоноидов и активности фермента пероксидазы в формирующейся растительной ткани хвои оказывают освещенность и температура, что вызвано преобладающим влиянием данных факторов на процесс фотосинтеза с образованием глюкозы, как первичного метаболита, и ее непосредственного участия в дальнейших процессах биосинтеза вторичных метаболитов, в т.ч. фенольных соединений.

Таким образом, в ходе проведенного исследования показано, что на растительные объекты, произрастающие в бореальной зоне, одновременно действует комплекс факторов. С помощью корреляционного и многопараметрового регрессионного анализа данных подтверждено предположение о наличии взаимосвязей между содержанием вторичных метаболитов хвои сосны обыкновенной и о влиянии на данный показатель условий среды, возникающих в изменяющемся климате высоких широт. На примере сосны обыкновенной показано, что первостепенное влияние на процессы образования вторичных метаболитов фенольной природы оказывают освещенность и температура. Установлено, что адаптация растений к воздействию различных повреждающих факторов идет по пути аккумуляции низкомолекулярных протекторных соединений (фенольных соединений, пигментов) и формирования защитной системы против окислительного стресса. Разные скорости образования фенольного и пигментного комплексов в разные периоды годичного цикла свидетельствуют о переключении между двумя фотосистемами в зависимости от сезона и внешних условий.

*Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания по теме «Физико-химические основы селективных методов выделения, характеристики и применение биологически активных комплексов растительных объектов высоких широт для решения задач экологического контроля и здоровьесбережения» № гос.регистрации 122011700252-1 с использованием оборудования ЦКП НО КТ РФ-Арктика (ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Verma N., Shukla S. Impact of various factors responsible for fluctuation in plant secondary metabolites // Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants. 2015. Vol. 2. P. 105-113.
2. Li Y., Kong D., Fu Y., et al. The effect of developmental and environmental factors on secondary metabolites in medicinal plants // Plant Physiology and Biochemistry. 2020. Vol. 148. P. 80-89
3. Судачкова Е.А. Состояние и перспективы изучения влияния стрессов на древесные растения. Лесоведение. 1998. Т.2. С. 3–8.
4. Основы ландшафтной экологии европейских таежных лесов России / под ред. Громцева А. Н. / Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2008. 238 с.
5. Bag P., Chukhutsina V., Zhang Z., Paul S., Ivanov A. G., Shutova T., et al. Direct energy transfer from photosystem II to photosystem I confers winter sustainability in Scots Pine // Nature Communications. 2020. Vol. 11, Is.1. Article number: 6388.
6. Rice-Evanc C.A., Miller N.J., Pagenga G. Antioxidant properties of phenolic compounds // Trends in Plant Science. 1997. Vol. 2. P. 152-159.

## ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ БИОМАССЫ КУСТАРНИЧКАМИ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ НА ПОЛУОСТРОВЕ ТАЙМЫР

Бондарев А.И., Машуков Д.А., Мухортова Л.В.

Институт леса им В.Н. Сукачева ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск,  
abondarev@ksc.krasn.ru

Исследование проводилось на территории участка «Ары-Мас» [1] Таймырского государственного биосферного заповедника. Задачи исследования включали анализ возрастной структуры, определение общей и годичной продукции надземной фитомассы фоновых листопадных гипоарктических кустарничков. Образцы отбирались в июле 2022 г. в лиственничном редколесье из *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr. в районе научного стационара заповедника (72,46°с.ш., 101,94° в. д., в.у.м. 24 м) у трех видов: *Betula exilis* Sukaczew, *Vaccinium uliginosum* L. и *Salix glauca* L., широко представленных в травяно-кустарничковом ярусе.

Для каждого вида было взято по 10 побегов в диапазоне высот 20-40 см. Побеги взвешивались в облиственном состоянии, после чего листва удалялась и определялся отдельно вес каждого побега и листьев. Затем образцы высушивались до воздушно-сухого состояния и в таком виде транспортировались для проведения измерений в лабораторных условиях.

После высушивания до абсолютно-сухого состояния образцы повторно взвешивались, что позволило определить общий и фракционный запас надземной фитомассы (табл.1).

Таблица 1 - Запасы надземной фитомассы гипоарктических листопадных кустарничков

№ пп	Показатель	Ед. изм.	Наименование вида		
			<i>Betula exilis</i>	<i>Vaccinium uliginosum</i>	<i>Salix glauca</i>
1	Количество экземпляров	шт.	10	10	10
2	Высота растения (длина побега)	см	$\frac{30,4}{22,0-41,6}$	$\frac{30,4}{24,8-35,5}$	$\frac{23,4}{14,1-38,5}$
3	Диаметр основания	мм	$\frac{3,7}{2,8-4,9}$	$\frac{2,6}{2,1-3,5}$	$\frac{5,0}{3,0-6,1}$
4	Вес общий	г	$\frac{2,3}{1,3-4,4}$	$\frac{1,6}{0,7-3,0}$	$\frac{5,8}{1,3-13,8}$
5	Вес побега	г	$\frac{1,7}{0,9-3,2}$	$\frac{1,2}{0,6-2,2}$	$\frac{3,7}{0,8-9,3}$
6	Вес листьев	г	$\frac{0,7}{0,4-1,2}$	$\frac{0,5}{0,1-0,8}$	$\frac{2,1}{0,5-4,5}$
7	Доля листьев	%	$\frac{30}{27-39}$	$\frac{29}{16-40}$	$\frac{37}{31-48}$

Примечания:

1. В числителе приведены средние значения, в знаменатели – их диапазон
2. Все значения показателей приведены для абсолютно-сухого состояния
3. Все растения представлены одиночными побегами

В достаточно близком диапазоне высот виды отличаются по средней массе одного экземпляра. Наименьшей массой обладает *Vaccinium uliginosum* – 1,6 г, далее следуют *Betula exilis* - 2,3 г и *Salix glauca* – 5,8 г. В структуре фитомассы преобладает масса побегов, которая в зависимости от вида составляет от 71% у *Vaccinium uliginosum* до 63% у *Salix glauca*.

Для определения годичной продукции традиционно используется масса однолетних побегов за последние 1-3 года [2,3]. Однако данный показатель не учитывает изменение годичного прироста массы побегов на протяжении всей жизни растения. Поэтому было решено определить возраст каждого растения и уже затем рассчитать среднегодовое значение продукции фитомассы. Задача установления возраста оказалась весьма непростой в силу крайне незначительных размеров основания побегов, диаметр которых составлял лишь несколько миллиметров.

Для определения возраста с торцов побегов были взяты микросрезы с использованием микротомы санного типа. Перед резкой на микротоме образцы размягчались в дистиллированной воде. Затем на микротоме изготавливались поперечные срезы толщиной примерно 10-15 мкм. Срезы помещались на предметное стекло и под микроскопом проверялось их качество, при этом часть срезов отбраковывалась. Наиболее качественные срезы использовались для приготовления временных микропрепаратов с использованием известных методик [4, 5].

Окраска срезов проводилась 2%-м раствором сафранина в течение 2-3 мин, при этом детали структуры становились более заметными (рис. 1). Подсчет числа годичных колец и измерение их ширины проводились на оборудовании для компьютерного анализа изображений Axio Imager MAT, version 04/14/2005 Karl Zeiss Light AG Microscopy, с точностью измерений до 0,003 мм и с применением специализированного программного обеспечения, позволяющего определять линейные размеры и площади анатомических элементов в разных частях годичного кольца [6]. Измеренные параметры доступны в виде электронных таблиц в формате .csv, которые можно обрабатывать в соответствующих программах, например, в Microsoft Excel.

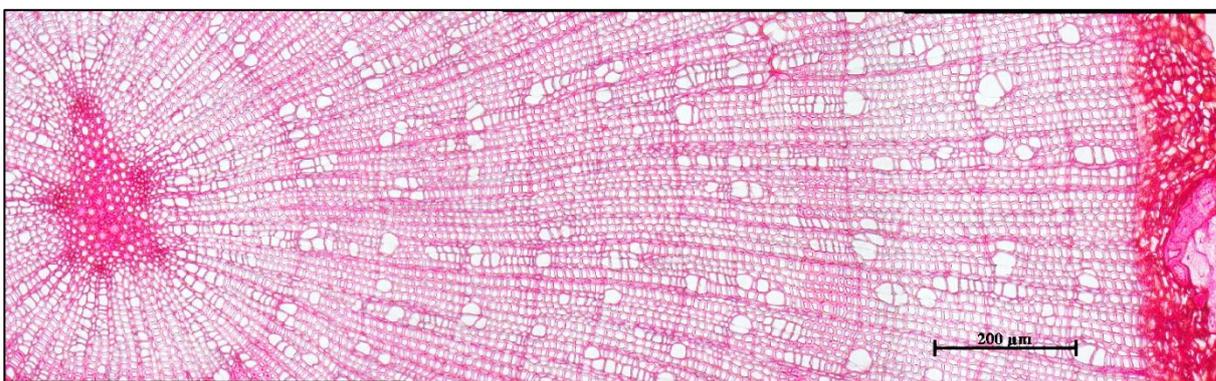


Рис. 1 – Ширина и структура годичных колец побега *Betula exilis* при 200-х кратном увеличении

В пределах изучаемого диапазона высоты растений их средний возраст у отдельных видов оказался достаточно близким, но изменчивость показателя существенно отличалась (табл.2). Наибольшая вариабельность возраста установлена для *Vaccinium uliginosum* – 33%, наименьшая - для *Betula exilis* – 17%.

Максимальное значение средней скорости накопления фитомассы побегов без учета листвы выявлено для *Salix glauca*, при этом данному показателю для всех видов также присуща достаточно высокая изменчивость: от 35% у *Vaccinium uliginosum* до 70% у *Salix glauca*. Относительное значение годичного прироста фитомассы к общему весу растения более стабильно. Близкие значения получены для *Betula exilis* и *Salix glauca*, а наибольший относительный средний прирост годичной продукции, достигающий 10% выявлен для *Vaccinium uliginosum*. При этом изменчивость относительного прироста уменьшается практически в два раза по сравнению с абсолютными его значениями.

Таблица 2 – Годичная продукция надземной части побегов гипоарктических листопадных кустарничков

№ пп	Показатель	Ед. изм.	Наименование вида		
			<i>Betula exilis</i>	<i>Vaccinium uliginosum</i>	<i>Salix glauca</i>
1	Количество экземпляров	шт.	10	10	10
2	Средний возраст	лет	13±2	11±4	15±4
3	Годичная продукция	г	0,13±0,06	0,11±0,05	0,25±0,17
		%	7,8±1,2	10,1±3,5	7,2±1,7

В рамках проведенного исследования впервые для данного региона получены данные, характеризующие среднегодовое накопление фитомассы надземной частью отдельных растений трех видов гипоарктических листопадных кустарничков с учетом их возраста. Помимо полученных данных работа имеет важное методическое значение, поскольку использованный подход позволяет оценивать годовую продукцию кустарничковых видов, исходя из их количества на единице площади и среднегодовой скорости накопления фитомассы.

*Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).*

*Авторы выражают признательность Объединенной дирекции заповедников Таймыра (ФГБУ «Заповедники Таймыра») за поддержку и содействие в проведении исследований.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Ары-Мас. Природные условия, флора и растительность самого северного массива. 1978. Л.: Наука. 192 с.
2. Scurlock J.M.O., Johnson K., Olson R.J. Estimating net primary productivity from grassland biomass dynamics measurements // *Global Change Biology*. 2002. V. 8. P. 736–753.
3. Базилевич Н.И., Титлянова А.А., Смирнов В.В., Родин Л.Е., Нечаева Н.Т., Левин Ф.И. Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах. М.: Мысль, 1978. 185 с.
4. Фурст, Г.Г. Методы анатомо-гистохимического исследования растительных тканей. М.: Наука. 1979. 156 с.
5. Бенькова, В.Е. Швейнгрубер Ф.Х. Анатомия древесины растений России (атлас для идентификации древесины деревьев, кустарников, кустарничков, полукустарников и деревянистых лиан России). Бирменсдорф: Хаупт. 2004. 456 с.
6. Munro, M.A.R. Image Analysis of Tracheid Dimensions for Dendrochronological Use / In: *Tree Rings, Environment and Humanity*. Edited by Dean J. S., Meko D. M., Swetnam T.W. Radiocarbon. 1996. P. 843–852.

## ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКИЙ СОСТАВ АНАЭРОБНЫХ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ В ДОННЫХ ОСАДКАХ БАРЕНЦЕВА И КАРСКОГО МОРЕЙ, И ИХ РОЛЬ В БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ЦИКЛАХ УГЛЕРОДА, СЕРЫ И АЗОТА

Брюханов А.Л.<sup>1</sup>, Кадников В.В.<sup>2</sup>, Кравчишина М.Д.<sup>3</sup>, Севастьянов В.С.<sup>4</sup>, Саввичев А.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, brjuchanov@mail.ru

<sup>2</sup>ФИЦ Биотехнологии РАН, г. Москва

<sup>3</sup>Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, г. Москва

<sup>4</sup>Институт геохимии и аналитической химии имени В.И. Вернадского РАН, г. Москва

Активное экономическое развитие Арктики привело к тому, что в настоящее время изучению экологии и уникального природного разнообразия северных морских регионов уделяется повышенное внимание. В нашей работе с помощью высокопроизводительного секвенирования фрагментов гена 16S рРНК был определён полный филогенетический состав микробных сообществ в донных осадках Баренцева и Карского морей, отобранных в ходе нескольких рейсов НИС «Академик Мстислав Келдыш», в том числе у берегов архипелагов Новая Земля и Земля Франца-Иосифа, а также у полуострова Ямал (рис. 1).

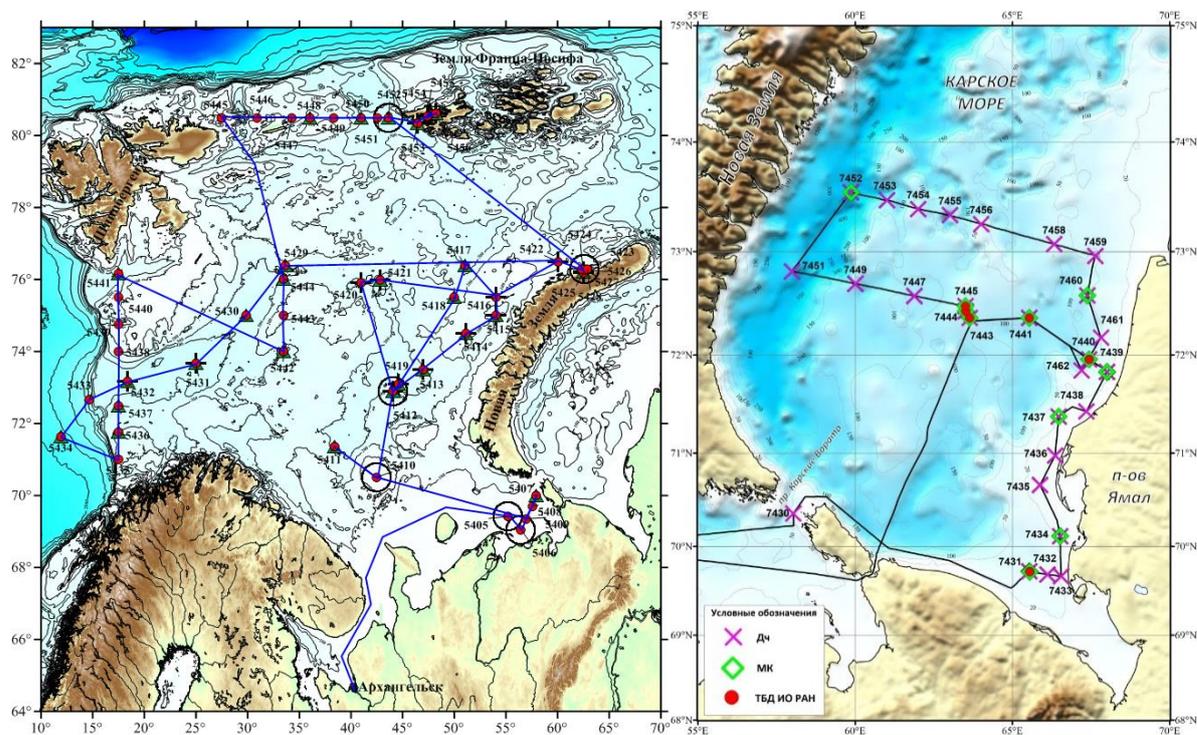


Рис. 1 – Станции отбора проб в Баренцевом и Карском морях

Показана тесная связь различных физиологических групп микроорганизмов с биогеохимическими процессами круговорота углерода, серы и азота. В Карском море концентрация метана в верхних окисленных горизонтах (0–5 см) донных осадков составляла около 0,02–0,04 мкМ и увеличивалась в подстилающих восстановленных горизонтах (18–20 см) до 0,1–0,7 мкМ, достигая 7,24 мкМ на 65-см горизонте осадков у выхода из Байдарацкой губы. В Баренцевом море содержание метана в донных осадках обычно значительно выше – от 0,2 до 2,4 мкМ в верхних окисленных горизонтах и до 9,5 мкМ на горизонте 16–19 см [1]. Концентрация сероводорода в восстановленных горизонтах донных осадков Баренцева и Карского морей составляла 6–153 мкМ, а скорость процесса сульфатредукции в баренцевоморских осадках варьировалась от 0,2

до 27,4 нмоль/см<sup>3</sup> × сут [2].

В окисленных и подстиляющих верхних горизонтах восстановленных осадков на некоторых станциях в Баренцевом море и на большинстве станций в Карском море встречались хемолитотрофные археи семейства *Nitrosopumilaceae* (2,1–27,4% от всех прочтений последовательностей гена 16S рНК, а в восстановленных горизонтах донных осадков Байдарацкой губы Карского моря вплоть до 35,6%). Эти археи осуществляют окисление аммиака до нитрит-аниона (нитрозные микроорганизмы) и способны существовать в местообитаниях с низким содержанием кислорода [3]. Среди строго анаэробных метаногенных архей в сильно восстановленных осадках в относительно небольшом количестве на нескольких станциях детектировали представителей порядков *Methanosarcinales* и *Methanomassiliicoccales* (0,4–3,3% от всех прочтений). Анаэробное окисление метана в подповерхностных слоях донных осадков арктических морей осуществляется, по всей видимости, археями из групп ANME–2a–2c, относящихся к филуму *Halobacterota*, в консорциуме с сульфатредуцирующими бактериями.

Сульфатредуцирующие бактерии – строгие анаэробы, получающие энергию путём окисления преимущественно низкомолекулярных органических соединений или молекулярного водорода, что сопряжено с восстановлением сульфата до сероводорода. СРБ широко распространены в различных анаэробных экосистемах, где присутствует сульфат, в особенности, в морских донных осадках и илах сточных вод. СРБ играют ключевую роль в глобальных биогеохимических циклах углерода и серы в Мировом океане, способствуя минерализации примерно 50% органического углерода в донных осадках [4], а также вовлечены в функционирование антропогенных экосистем, участвуя в процессах микробной коррозии и биоремедиации от тяжелых металлов и радионуклидов. Ранее по результатам ряда морских арктических экспедиций было установлено, что скорость сульфатредукции в донных осадках арктических морей часто весьма высока [5, 6], а несколько новых видов психрофильных СРБ, выделенных из таких осадков в чистые культуры, были способны даже сохранять метаболическую активность при отрицательных температурах [7].

Наибольшее количество СРБ обнаружено в морских донных осадках Баренцева и Карского морей на горизонте 18–20 см (вплоть до 14,5–27,6% от всех прочтений), значительную долю из них в этих восстановленных ( $E_h = -370 - -105$  mV) терригенных илах составляли представители семейства *Desulfobacteraceae*. На этом же горизонте донных осадков в акватории Карского моря детектировали некультивируемых бактерий из клады Sva1033 отряда *Desulfuromonadales*, способных, согласно анализу известных геномов, к анаэробному дыханию, используя в качестве акцептора электронов серу и железо(III). Интересно, что СРБ, относящиеся к семействам *Desulfovibrionaceae* и *Desulfobulbaceae*, некоторые представители которых известны своей устойчивостью к кислороду, присутствовали также в верхних окисленных ( $E_h = 84-226$  mV) горизонтах арктических донных осадков (до 3,95% от всех прочтений). Довольно многочисленными в донных осадках Баренцева моря были и некультивируемые СРБ из клад SAR324 и Sva0485 [2]. На ряде станций в семействах *Desulfobulbaceae* и *Desulfobacteraceae* большая часть СРБ также была отнесена к некультивируемым подгруппам, что свидетельствует о потенциальных перспективах идентификации, выделения и всестороннего физиолого-биохимического изучения новых таксонов СРБ, обитающих в пока ещё малоизученной области Мирового океана – арктических морях. Образующий СРБ сероводород может окисляться нитратредуцирующими бактериями из семейства *Sulfurovaceae* [8].

На горизонте 65 см в значительном количестве (до 8,1% от всех прочтений) на некоторых станциях Карского моря детектировали бактерий рода *Thauera* (семейство *Rhodocyclaceae* класса *Betaproteobacteria*), также способных к анаэробному дыханию, иногда с использованием селенита в качестве акцептора электронов. Кроме того, в

восстановленных арктических донных осадках часто присутствовали (1,4–8,8% от всех прочтений) анаэробные хемогетеротрофные бактерии семейства *Anaerolineaceae*.

Таким образом, филогенетический состав микробных сообществ донных осадков арктических морей существенно различается в зависимости от места отбора проб и горизонта осадка. Биогеохимический цикл серы в осадках морей западной части Евразийской Арктики связан с анаэробным окислением метана и циклом азота, который включает окисление аммиака (как в верхних окисленных горизонтах, так и в подстиляющих горизонтах с низким содержанием кислорода) и денитрификацию, сопряженную с окислением сульфида в восстановленных горизонтах.

*Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ, проект № 20-04-00487 «Микробные процессы и микробные сообщества биогеохимической трансформации органического вещества на границе вода-дно морских водоемов Арктики» и РНФ, проект № 20-17-00157 «Роль гидротермальных и термогенных процессов в современном осадконакоплении в субполярной Северной Атлантике и Арктике».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Begmatov S., Savvichev A.S., Kadnikov V.V., Beletsky A.V., Rusanov I.I., Klyuvitkin A.A., Novichkova E.A., Mardanov A.V., Pimenov N.V., Ravin N.V. Microbial communities involved in methane, sulfur, and nitrogen cycling in the sediments of the Barents Sea // *Microorganisms*. 2021. Vol. 9. №11. P. 2362-2382.
2. Brioukhanov A.L., Kadnikov V.V., Rusanov I.I., Novigatskiy A.N., Kanapatskiy T.A., Politova N.V., Ravin N.V., Pimenov N.V. Phylogenetic diversity in sulphate-reducing bacterial communities from oxidised and reduced bottom sediments of the Barents Sea // *Antonie van Leeuwenhoek, International Journal of General and Molecular Microbiology*. 2022. Vol. 115. №6. P. 801-820.
3. Könneke M., Bernhard A.E., de la Torre J.R., Walker C.B., Waterbury J.B., Stahl D.A. Isolation of an autotrophic ammonia-oxidizing marine archaeon // *Nature*. 2005. Vol. 437. №7058. P. 543-546.
4. Jørgensen B.B., Findlay A.J., Pellerin A. The biogeochemical sulfur cycle of marine sediments. *Frontiers in Microbiology*. 2019. Vol. 10. P. 849-875.
5. Ravenschlag K., Sahm K., Knoblauch C., Jørgensen B.B., Amann R. Community structure, cellular rRNA content, and activity of sulfate-reducing bacteria in marine Arctic sediments // *Applied and Environmental Microbiology*. 2000. Vol. 66. №8. P. 3592-3602.
6. Finke N., Vandieken V., Jørgensen B.B. Acetate, lactate, propionate, and isobutyrate as electron donors for iron and sulfate reduction in Arctic marine sediments, Svalbard // *FEMS Microbiology Ecology*. 2007. Vol. 59. №1. P. 10-22.
7. Knoblauch C., Sahm K., Jørgensen B.B. Psychrophilic sulfate-reducing bacteria isolated from permanently cold Arctic marine sediments: description of *Desulfofrigus oceanense* gen. nov., sp. nov., *Desulfofrigus fragile* sp. nov., *Desulfofaba gelida* gen. nov., sp. nov., *Desulfotalea psychrophila* gen. nov., sp. nov. and *Desulfotalea arctica* sp. nov. // *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 1999. Vol. 49. №4. P. 1631-1643.
8. Sun Q.L., Zhang J., Wang M.X., Cao L., Du Z.F., Sun Y.Y., Liu S.Q., Li C.L., Sun L. High-throughput sequencing reveals a potentially novel *Sulfurovum* species dominating the microbial communities of the seawater-sediment interface of a deep-sea cold seep in south China Sea // *Microorganisms*. 2020. Vol. 8. №5. P. 687-704.

## СОСТАВ И ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ И ПОЧВЫ ВОДОСБОРА ОЗЕРА ВАРВАРИНСКОГО (БОЛЬШОЙ СОЛОВЕЦКИЙ ОСТРОВ)

*Вахрамеева Е.А., Кокрятская Н.М.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г.Архангельск, vakhr-elena@yandex.ru

В ходе комплексных экспедиций 2021-2023 гг. на Большой Соловецкий остров была проведена оценка современного состояния экосистем острова. Влияние ландшафта на водоем можно проследить на малом слабопроточном озере. Материалом для настоящего исследования послужили керны: донных отложений, отобранные в о. Варваринское на станции К4 с координатами. ( $65^{\circ}2'57''$ с.ш.;  $35^{\circ}44'5''$ в.д.) и почвы на побережье ст. Var ( $65^{\circ}03'26''$ с.ш.;  $35^{\circ}44'33''$ в.д.), рис. 1.

В защищенной со всех сторон Долгой губе тайга подступает к самому морю, и поэтому здесь раньше началось освоение нижних террас острова монастырской братией, в районе прибытия паломников в 1857 году была построена часовня Св. мученицы Варвары, а ближайшее к часовне озеро назвали Варваринским.

Озеро одно из наиболее типичных Соловецких озер, характеризующихся ледниково-тектоническим происхождением, небольшой площадью 0,093 (9,3 га), но значительной глубиной – до 8,3 м, на глубине 3 м наблюдается анаэробная зона, кислород полностью отсутствует. Вода озера имеет повышенную минерализацию [1, 2].

Озеро Варваринское интересно рассмотреть как природный комплекс связей его питания с водосборной площадью, так как рек здесь нет. Уровень воды в озере поддерживается атмосферными осадками и поверхностно-грунтовыми водами с ближайших болот. Свои свойства оно во многом сохраняет благодаря каналу в море, который увеличивает проточность водоема во время весеннего половодья и обильных дождей.

Озеро представляет собой водоем с замедленным водообменом и с резко-выраженной вертикальной стратификацией. Слабое динамическое перемешивание вод определяется малой акваторией озер, относительно большой глубиной/



Рис. 1 – Карта-схема отбора проб донных осадков (К4) оз. Варваринское и почвы (Var) на прибрежной территории

Озеро овально-лопастной формы с невысокими полого-поднимающимися берегами. Растительность на берегах представлена смешанными лесами.

Озеро было когда-то частью моря и образовалось при его отступлении. Сейчас оно находится на первой от него террасе, высота которой составляет 3–5 м над уровнем моря [1].

Отбор производился, как правило, в наиболее глубокой части водоема, где отложения достигают максимальной мощности. При описании кернов учитывали цвет, консистенцию отложений и почв, наличие включений. Керн донных отложений разделяли на слои мощностью 5 см, а почвы отбирали почвенным буром методом «конверта» с высотой слоя 20 см, для последующего анализа. Площадь отбора составила 10 м<sup>2</sup>.

Гранулометрический состав донных отложений озер определяли в соответствии с методикой [3]. Расчет содержания фракций проводили на абсолютно-сухую навеску образца. Относительная погрешность измерения для всех гранулометрических фракций составляет от 19 до 29 %. Пробоподготовка почв к гранулометрическому анализу проводилась по ГОСТ 12536-2014 с некоторыми дополнениями. Интенсивное механическое взбалтывание пробы в дистиллированной воде в течение 2 ч [4] было заменено на обработку пробы ультразвуком в течение 5 минут. Далее следовало кипячение почвенной суспензии в течение 1 ч.

Содержание ОБ оценивалось по содержанию потерь при прокаливании (ППП). Метод измерения основан на взвешивании остатка, получаемого при прокаливании пробы при температуре 550±20 °С [5]. В этой же в пробе определяли влажность при температуре 105±2 °С. Расчет ППП проводили на абсолютно-сухую навеску образца.

Почвы водосборной площади озера Варваринское формируются под воздействием двух процессов – торфообразование и оглеение. Процесс торфообразования протекает в органическом торфяном горизонте, а глеевый процесс (оглеение) – в минеральной толще почвы. Оглеение представляет собой восстановительный процесс элементов с переменной валентностью (Fe, Mn, S, N), протекающий в анаэробных условиях при обязательном наличии водорастворимых органических веществ и участии анаэробных микроорганизмов. Верхний слой керна почвы (0-20 см) содержит 97 % крупных частиц торфа, что характерно для торфяно-глеевых почв, а нижние слои до 88,55 % физического песка и до 29,36 % физической глины, характеризующие глеево-подзолистые, рис. 2,3(а).

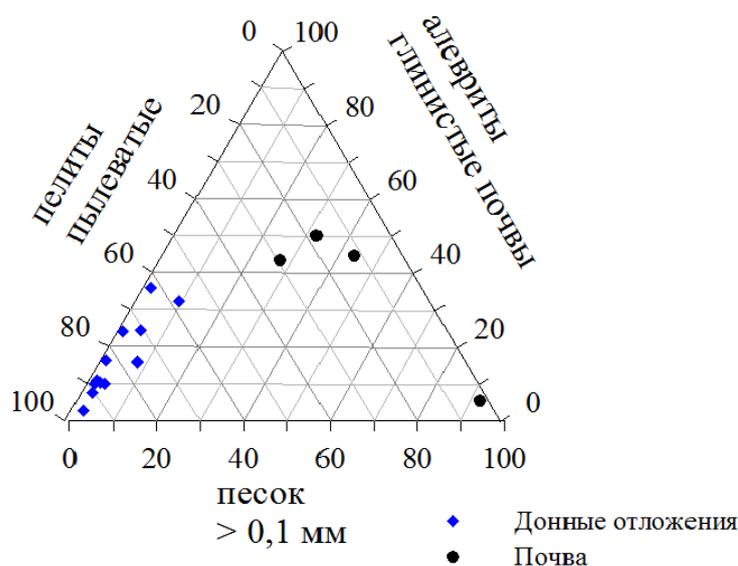


Рис. 2 – Распределение гранулометрических фракций в донном керне (ст.К4) и почвенных горизонтах водосборной площади (ст.Var.) озера Варваринского

Все слои донных отложений сильно обводнены, влажность слоев варьирует от 90,69 % до 97,77 %. Донные отложения озера представляют собой чередование темно-коричневых алевро-пелитовых (до 32,39 % пелита) и пелитовых илов (до 95,59 %), рис. 2,3(б). Илы, отобранные в глубоководной части озера, жидкой консистенции содержат мелкодисперсный детрит, а в прибрежной части появляются грубый детрит и крупные минеральные частицы, что указывает на преобладание автохтонного процесса на аллохтонным.

На рисунке 3 (а) показан разрез почвы ст. Var, где хорошо просматривается описанные слои. В верхней части глеевого горизонта (глубина 28–45 см) заметны охристые пятна. Бурые тона горизонту также придают гумусовые вещества.

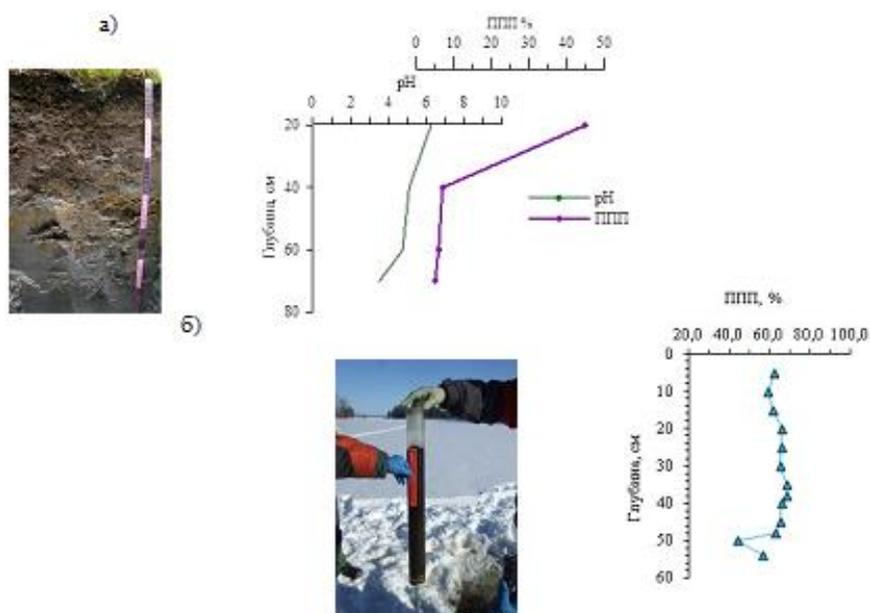


Рис. 3 – Разрез и распределение рН и ППП (а) в почве на ст. Var и в донных отложениях (б) на ст. K4

Торфяно-глеевые почвы развиваются в понижениях рельефа на водоразделах, надпойменных террасах, поймах, в приозерных понижениях в условиях избыточного увлажнения.

Болотные почвы хорошо гумифицированы (40-50% гумусовых веществ), в составе которых преобладают гуминовые кислоты. поэтому просматривается вынос почвенного ОВ (гуминовые кислоты) в озеро. Вода в озере имеет желтоватую окраску.

Органическое вещество, определенное как потери при прокаливании (ППП), важный признак донных отложений, который отражает широкий спектр процессов и явлений, приводящих к аккумуляции соединений в водоеме.

Высокое содержание ППП характерно для всех горизонтов колонки илистых отложений озера. Диапазон варьирует от 44,6 до 69,0 % со средним значением 62,8 %, а содержание ППП в почвах снижается с 44,8 % до 5,0 % (рис. 3). рН почвы снижается с нейтральной 6,3 до кислой реакции 3,5, а в донных отложениях по всей длине колонки среднее значение рН 5,3. Однородный гранулометрический состав донных отложений и высокое содержание ППП определяется особенностями гидрологического, гидрохимического режима озера, а также его происхождением.

Полученные данные по распределению гранулометрических фракций, потерь при прокаливании в пробах, отобранных в толще отложений и на побережье озера Варваринского, отделившегося от Белого моря, представляют собой полезную информацию для изучения протекающих в них биогеохимических процессов.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ, проект № 22-27-20144 «Сукцессионные процессы при переходе лимнической экосистемы от морской к континентальной с учетом воздействия природных и антропогенных факторов (на примере водоемов Большого Соловецкого острова)».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грицевская Г.Л., Кябилева Г.К., Николаева Л.А., Семенова В.И. Гидрология и гидрохимия Соловецких озер / Материалы по комплексному изучению Соловецких озёр. Петрозаводск: Карелия, 1972. С. 6-43. 48. Долгин В.Н., Иоганзен Б. Пресноводные моллюски полуостровов.
2. Климов С.И., Быков В.М. Гидрологические особенности озер Соловецкого архипелага в летний период // Метеорология и гидрология. 2022. № 9. С. 53–64.
3. МИ № 88-16365-010-2017. Донные отложения водоемов. Определение гранулометрического состава ситовым и пипеточным методами. Введена 26.12.2017. Архангельск. 2017. 12 с.
4. Качинский Н.А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 191 С.
5. Heiri O., Lotter A., Lemeke G. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results // Journal of Paleolimnology, 2001. V. 25. P.101-110.

#### МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ И ПОЧВ ГЫДАНСКОГО ПОЛУОСТРОВА

*Глухова Т.А.<sup>1</sup>, Саева О.П.<sup>1</sup>, Юркевич Н.В.<sup>1</sup>, Тулисова К.Ю.<sup>1</sup>, Шейн А.Н.<sup>2</sup>,  
Ульяницкая В.Ю.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, г. Новосибирск,  
glukhovata@ipgg.sbras.ru

<sup>2</sup>ГАУ ЯНАО "Научный центр изучения Арктики", г. Салехард

Экологические исследования в арктических регионах приобретают особую актуальность в последнее время в связи с развитием промышленности, освоением северных месторождений полезных ископаемых, ростом техногенной нагрузки на окружающую среду. [1, 2, 3]. Актуальны исследования по изучению изменчивости химического состава водных экосистем на незагрязнённых арктических территориях для обоснования выбора фоновых (реперных) значений при оценке их экологического состояния.

Территория Гыданского полуострова является одной из наименее освоенных и слабо изученных территорий. Для реализации планов экологически безопасного промышленного освоения Тазовского района ЯНАО необходима оценка современного состояния криолитозоны Гыдана, организация мониторинговых наблюдений за трансформацией окружающей среды под влиянием антропогенной нагрузки. Важнейшим объектом геоэкологической диагностики являются почвы, грунты и водные объекты. Современные исследования в данном регионе ведутся по нескольким направлениям: изучается экологическое состояние и химический состав водоемов [4, 5, 6], загрязнение растительности в зоне ресурсодобывающих регионов [7] и трансформация криолитозоны [8].

Цель работы — рассмотреть распределение валовых концентраций химических элементов в почвах и поверхностных водах озер и водотоков вблизи оз. Парисенто

Гыданского полуострова в рамках мониторинговых работ в связи с разработкой нефтегазовых месторождений.

Для исследования химического состава сотрудниками ГАУ ЯНАО «Научного центра изучения Арктики» (А.Н. Шейн) были отобраны пробы почв и воды озёр и водотоков вблизи оз. Парисенто (Ямало-Ненецкий автономный округ, Тазовский район, (рис. 1):

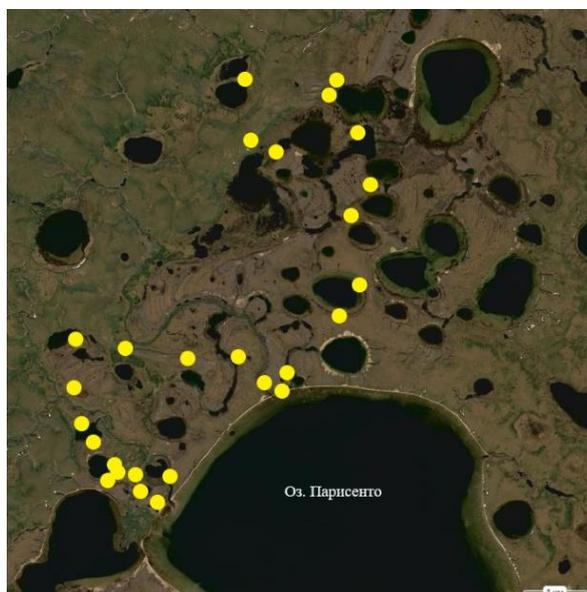


Рис. 1 - Точки отбора почв и поверхностных вод Гыданского полуострова

Ранее [9] водотоки и водоемы данного района были разделены на три группы:

1. Термокарстовые озера с малой минерализацией до 20 мг/л;
2. Водоемы с промежуточной минерализацией от 10 до 50 мг/л;
3. Водоемы старичного типа с минерализацией порядка 100 мг/л.

В составе водных проб определен спектр химических элементов (табл. 1), представлены средние значения по всем отобраным пробам для трёх групп водных объектов. Fe, Ca, Si, Na, Mg, K, Al, Sr - породообразующие и биогенные элементы, концентрации варьируют от 1,5 мкг/л Al до 108 мг/л Na в III группе. Присутствие данных элементов в водах обусловлено, в основном, растворимостью алюмосиликатных минералов в составе пород, с которыми они взаимодействуют. Щелочные и щелочно-земельные металлы, Ca, Na, Mg, K, являются главными элементами основного катионного состава. Fe и Al являются одними из основных растворенных компонентов в воде. Ba, Mn, Li, As, Sb, Cr, Ni, Co, Rb, – микроэлементы с концентрациями от 0,013 мкг/л Sb (II группа) до 39 мкг/л Mn (I группа). Присутствие этих элементов в водах связано как с их выходом в раствор из донных отложений и макрофитов, так и привносом с атмосферными осадками. Ce, La – лёгкие редкоземельные элементы с концентрациями в водах от 0,013 до 0,19 мкг/л.

Таблица 1 – Средние значения концентраций микроэлементов в поверхностных водах озёр и водотоков вблизи оз. Парисенто для 3 гидрохимических групп

Элемент	I группа, мкг/л	II группа, мкг/л	III группа, мкг/л
Ca	1 090	2 000	7 800
Si	230	220	1 600
Na	730	1 400	27 400
Mg	730	1 300	7 400
K	110	250	450

Al	15	5	9
Sr	5,7	11	44
Fe	65	51	870
Ba	5,0	4,8	4,8
Zn	5,5	0,26	0,50
Mn	6,2	2,0	14
Cu	0,12	0,16	0,52
Ni	-	-	1,7
Li	0,37	0,50	1,9
As	0,53	0,56	1,1
Cr	-	-	16
Sb	0,13	0,14	0,12
Co	0,11	0,043	0,14
Ce	0,11	0,032	0,062
La	0,042	0,027	0,042
Rb	0,27	0,46	0,65

Проведен сравнительный анализ среднего содержания микроэлементов во всех опробованных водных объектах с кларковыми значениями для речных вод [10]. Основные превышения характерны для III группы водных объектов (рис.2). На превышает кларковые значения в 5,4 раза, Mg в 2,5 раз и Mn в 1,4 раза. Концентрации Fe, Sr и Rb выше кларка в 22, 16 и 33 раз, соответственно. Содержание остальных элементов не превышают кларковые значения. Превышения в I и II группах присутствуют только для Fe и Rb. Такое превышение Na над кларком и над содержанием кальция в воде не характерно для данной территории [11], возможно рост его содержания в воде связан с разработкой нефтегазовых месторождений. Воды имеют слабокислый-нейтральный pH (в III группе), в данных физико-химических условиях Fe и Mn находятся в растворенной форме, не выпадая в осадок.

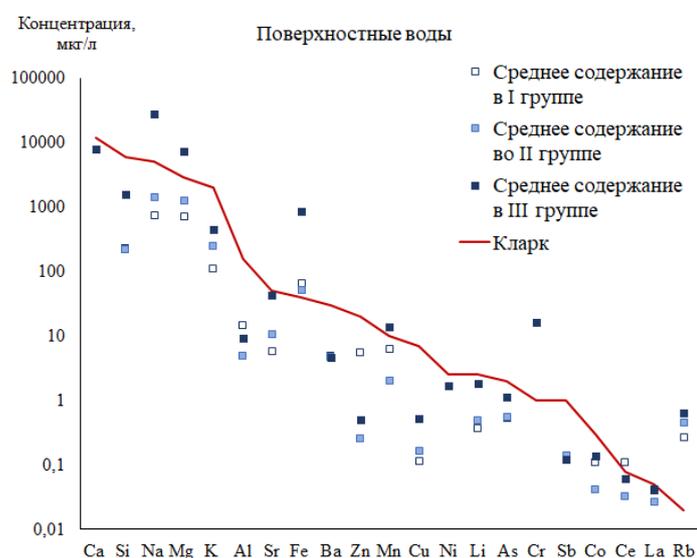


Рис. 2 – Средние значения концентраций химических элементов в водных объектах и сравнение с кларковыми значениями для речных вод [10].

Формирование почвенного покрова в условиях застоя воды, вызванное водоупором многолетнемерзлых пород, приводит к появлению в почвенном слое легкоподвижных органических соединений. А органическое вещество сорбирует металлы и As, приводя к накоплению данных элементов в почвенном слое. Превышение

Cu и Вг может быть связано с биоаккумуляцией элементов в приповерхностном горизонте. Породообразующие элементы выщелачиваются водой и попадают в поверхностные воды, превышение которых над кларком были обнаружены выше.

Сравнение средних концентраций химических элементов в почвах с кларковыми значениями почв Земли и земной коры (рис. 3) по данным А.П. Виноградова [12] показало превышение содержания Cu в 2 раза. As, Pb и Mo превышают значения кларка в 2, 3,5 и 3 раза, соответственно.

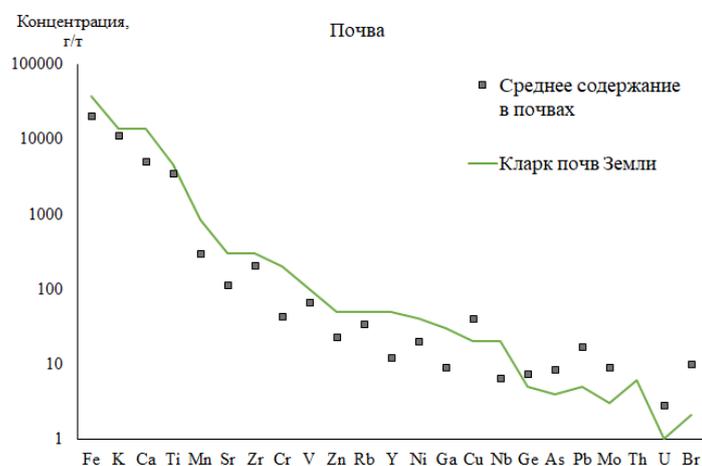


Рис. 3 - Средние значения концентраций химических элементов в почвах и сравнение с кларковыми значениями почв Земли и земной коры [12].

Многолетняя мерзлота создает водоупор, из-за которого происходит застой воды. В результате этих процессов элементы вымываются из почв и поступают в поверхностные воды, где их поведение регулируется физико-химическими условиями в водоеме. Слабокислые рН водных объектов Гыданского полуострова способствуют нахождению Fe и Mn в растворенной форме. В почве могут накапливаться некоторые металлы и As благодаря связыванию с органическим веществом и биоаккумуляции.

*Исследования проведены при финансовой поддержке государственной программы «Выполнение фундаментальных научных исследований» (проект FWZZ-2022-0029).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кремлева Т. А., Южанина А. А., Печкин А. С., Агбалян Е. В. Экологическое состояние и основные факторы формирования химического состава малых озер Надымского района // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2018. Т. 4. № 4. С. 33-50.
2. Румянцев В. А., Измайлова А. В., Крюков Л. Н. Состояние водных ресурсов озер арктической зоны Российской Федерации // Проблемы Арктики и Антарктики. - 2018. - Т. 64. № 1. С. 84-100.
3. Агбалян Е. В., Шинкарук Е. В. Оценка зависимости концентраций тяжелых металлов от водородного показателя в малых озерах бассейна реки Надым //Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. №. 6. С. 457-459.
4. Farquharson L., Anthony K. W., Bigelow N., Edwards M., Grosse G. Facies analysis of yedoma thermokarst lakes on the northern Seward Peninsula, Alaska //Sedimentary Geology. 2016. V. 340. P. 25-37.

5. Edwards M., Grosse G., Jones B. M., McDowell P. The evolution of a thermokarst-lake landscape: Late Quaternary permafrost degradation and stabilization in interior Alaska //Sedimentary Geology. 2016. V. 340. P. 3-14.
6. Зайков К. С., Калинина М. Р., Кондратов Н. А., Тамицкий А. М. Стратегические приоритеты научных исследований России и зарубежных государств в арктическом регионе //Арктика: экология и экономика. 2016. Т. 3. №. 23. С. 29-37.
7. Gauthier P. T., Blewett T. A., Garman E. R., Schlekot C. E., Middleton E. T., Suominen E., Cremazy A. Environmental risk of nickel in aquatic Arctic ecosystems //Science of The Total Environment. 2021. P. 1-22.
8. Irrgang A. M., Bendixen M., Farquharson L. M., Baranskaya A. V., Erikson L. H., Gibbs A. E., Ogorodov S. A., Overduin P. P., Lantuit H., Grigoriev M. N., Jones B. M. Drivers, dynamics and impacts of changing Arctic coasts //Nature Reviews Earth & Environment. 2022. Т. 3. №. 1. С. 39-54.
9. Саева О. П., Юркевич Н. В., Сеницкий А. И., Камнев Я. К., Шейн А. Н., Юркевич Н.В. Особенности распределения элементов в многолетнемерзлых породах полуострова Гыдан //Интерэкспо Гео-Сибирь. 2019. Т. 2. №. 2. С. 129-136.
10. Taylor S. R., McLennan S. M. The continental crust: its composition and evolution. – Blackwell Scientific. 1985. 312 p.
11. Томберг И. В., Фирсова А. Д., Сороковикова Л. М., Сезько Н. П., Погодаева Т. В., Ходжер Т. В. Химический состав вод и фитопланктон Гыданской губы (Карское море) //Криосфера Земли. 2011. Т. 15. №. 4. С. 103-106.
12. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957.

## **ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КРУПНОТОННАЖНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ПРИ БИОРЕМЕДИАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ГРУНТОВ**

*Грошева С.В., Тихонова И.О.*

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва, sgrsheva90@gmail.com

В 2003 году в докладе Северной экологической финансовой корпорации и Секретариата Программы мониторинга и оценки Арктики, был приведен перечень экологических «горячих точек» Баренцева Евро-Арктического региона, состоявший из 42 объектов, представлявших различные отрасли промышленности, а также иные объекты – в т.ч. участки территории, загрязненные нефтепродуктами [1].

В число «горячих точек» входят также объекты II категории НВОС и объекты, для улучшения экологической эффективности которых могут быть применены наилучшие доступные технологии (НДТ) и наилучшие экологические практики, связанные с обращением с отходами [2] и рекультивацией участков территории [3, 4].

В 2011 г. международными организациями был определен перечень приоритетных секторов экономики, для которых разрабатываются документы в части наилучших экологических практик (Best Environmental Practices – BEP) на основании следующих критериев: степень воздействия сектора на окружающую среду, уровень внедрения объединенной системы экологического менеджмента и аудита (EMAS) в секторе, и потенциал минимизации негативного антропогенного воздействия в производственной цепочке.

В связи с тем, что техногенное загрязнение Арктики сохраняется очень длительное время и полного самоочищения почв в зоне многолетнемерзлых пород

практически не происходит, возникает задача наиболее эффективного метода очистки северных почв от нефтяного загрязнения [5].

Устойчивое развитие при работе на нефтегазовых месторождениях должно базироваться на принципах экономики замкнутого цикла, а также применении современных технологий по утилизации отходов от бурения, включая нефтезагрязненные почвогрунты. Одной из таких технологий, отнесенных к НДТ, является биоремедиация [3], иногда называемая как «*Технология, основанная на использовании дополнительно внесенных биопрепаратов*» [4]. В настоящее время для рекультивации нефтезагрязненных почвогрунтов наиболее эффективными являются биологические методы, которые заключаются во внесении микроорганизмов-нефтедеструкторов одновременно с внесением структураторов.

В зависимости от содержания нефтепродуктов в загрязненных почвогрунтах применяют различные виды микроорганизмов-нефтедеструкторов, подбирают температурные режимы ведения работ, оптимальную влажность, а также используют различные добавки (структураторы), позволяющие интенсифицировать процесс. Основным плюсом данной технологии является возможность снижения класса опасности отходов и возврата их в хозяйственный оборот.

В качестве вторичных ресурсов (отходов), которые могут применяться в качестве структураторов, в нашей работе были использованы крупнотоннажные органические отходы V класса опасности для окружающей среды – отходы производства пищевых продуктов (свекловичный жом, пивная дробина, гидролизный лигнин) [6].

Согласно статистическим данным Росприроднадзора [7], за 2022 год масса образованных отходов составила: свекловичного жома 6039452 т, пивной дробины 1009533 т, а объемы утилизации этих отходов заметно меньше (свекловичного жома 75%, пивной дробины 9%), что приводит к накоплению отходов и необходимости их размещения на полигонах. Также крупнотоннажным органическим отходом является лигнин, количество отходов которого в России (отходы дрожжевой, кормовой, целлюлозно-бумажной промышленности) по разным данным составляет от 100 до 200 млн т. Из ежегодно выделяемых из растительного сырья более чем 50 млн т лигнина для различных практических целей используется немногим более 1 млн т, т. е. около 2% [8].

Авторами был поставлен эксперимент по оценке перспективности биоремедиации нефтезагрязненных грунтов – отходов, отобранных на шламовых амбарах, и характеризующихся высоким содержанием нефтепродуктов – от 12 до 21%. В качестве микробиологического препарата-нефтедеструктора был выбран препарат производства ООО «НПО «Волга-Экология» по ТУ 20.59.59-004-41289053-2021. В качестве структураторов использовались: гидролизный лигнин, пивная дробина и свекловичный жом в различных количествах (от 1 до 10%). Продолжительность биоремедиации составила 3 месяца, необходимую влажность поддерживали периодическим поливом.

Остаточное содержание нефтепродуктов определяли гравиметрическим методом согласно ПНД Ф 16.1:2:2.2:2.3:3.64-10, для всех структураторов во всех диапазонах добавления эффективность очистки была очень высокой и составляла: для лигнина – 95-99%; для пивной дробины – 89-97%; для свекловичного жома – 90-97%.

Таким образом, вовлечение крупнотоннажных органических отходов в хозяйственный оборот при проведении работ по биоремедиации нефтезагрязненных грунтов позволит не только повысить интенсификацию процесса биоремедиации, но и достичь определенного процента замещения природных ресурсов вторичными ресурсами, тем самым рассматривая биоремедиацию как одну из наилучших экологических практик.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скобелев Д.О., Микаэльссон О.Т. Наилучшие доступные технологии как критерии исключения российских промышленных предприятий из списка экологических «горячих точек» Баренцева Евро-Арктического региона. Экономика устойчивого развития – Краснодар. 2020. № 2 (42). с. 179-185.
2. ИТС 15-2021. Утилизация и обезвреживание отходов (кроме обезвреживания термическим способом (сжигание отходов). [Электронный ресурс]: Режим доступа: [https://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=1667&etkstructure\\_id=1872/](https://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=1667&etkstructure_id=1872/) (дата обращения 06.08.2023).
3. ИТС 16-2016. Горнодобывающая промышленность. Общие процессы и методы. [Электронный ресурс]: Режим доступа: [https://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=801&etkstructure\\_id=1872/](https://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=801&etkstructure_id=1872/) (дата обращения 06.08.2023).
4. ИТС 53-2022. Ликвидация объектов накопленного вреда окружающей среде. [Электронный ресурс]: Режим доступа: [https://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=1842&etkstructure\\_id=1872/](https://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=1842&etkstructure_id=1872/) (дата обращения 06.08.2023).
5. Петров С.А., Субботин А.М., Мамаева Н.Л., Нарушко М.В. Нефтезагрязнение земель криолитозоны и разработка способа их биологической рекультивации // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18. № 2-3. С.783-788.
6. Грошева С. В., Куликова Н. В., Тихонова И. О. Влияние различных структураторов на эффективность процесса деструкции нефтепродуктов (биоремедиации) // Успехи в химии и химической технологии: сборник научных трудов. РХТУ им. Д.И. Менделеева Москва, 2022. Т. 36. С.122–125.
7. Сведения об образовании, обработке, утилизации, обезвреживании, размещении отходов производства и потребления по форме 2-ТП (отходы) за 2022 год, систематизированные по видам отходов ФККО [Электронный ресурс]. URL: <https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/production-consumption-waste/> (дата обращения 06.08.2023)
8. Tsvetkov M.V., Salganskii E.A. Lignin: applications and ways of utilization (review) // Russian Journal of Applied Chemistry. 2018. Т. 91. № 7. p. 1129-1136.

### **ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ О СОСТАВЕ И СТРОЕНИИ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ОЗЕРНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ АНТАРКТИКИ (СТ. БЕЛЛИНСГАУЗЕН И СТ. РУССКАЯ)**

Гузева А.В.<sup>1,2</sup>, Слуковский З.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт озераведения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург, olina2108@mail.ru

<sup>2</sup>Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, г. Апатиты

**Введение.** Одну из ключевых ролей в биогеохимических циклах наземных и водных экосистем играет органическое вещество. Разложение биологических остатков и дальнейшее образование гумусового вещества в природе носит глобальный характер и происходит в почвах, торфах и донных отложениях. Химические свойства гуминовых веществ зависят от условий, в которых протекают процессы гумификации: климат, биогеографические и геологические особенности территории, интенсивность микробиологической активности. Полярные регионы представляют особый интерес, так как трансформация органики здесь происходит в экстремальных природных условиях.

Цель исследования – впервые провести комплексный анализ элементного состава и строения гуминовых кислот, выделенных из донных отложений озер Антарктики.

**Материалы и методы.** Полевые работы проводились на ст. Беллинсгаузен и ст. Русская в период сезонных работ 67 РАЭ. Пробы донных отложений озер были отобраны с помощью дночерпателя Ван-Вина. Параллельно с отбором проб отложений измерялись физико-химические параметры водной толщи (минерализация, рН, Eh) для гидрохимической характеристики водной объекта.

Гуминовые кислоты из отложений экстрагировались согласно международной методике IHSS (International Humic Substances Society). Далее исследовался их состав (СНН-анализ), а также молекулярное строение (<sup>13</sup>С ЯМР-спектметрия и ИК-спектроскопия).

**Результаты исследования.** Впервые получены данные об элементном составе и молекулярном строении гуминовых кислот и их прекурсорах гумификации в антарктических озерах. Из 15 обследованных озер ст. Беллинсгаузен, полноценные гуминовые кислоты из отложений выделяются в 6. В остальных водных объектах в составе гумусового вещества абсолютно преобладают светлоокрашенные фульвокислоты, которые не выпадают в осадок даже в сильноокислых растворах. Кроме того, результаты показывают, что даже в экстремальных условиях ст. Русская в одном из открытых в 2022 году озер [1] идут полноценные процессы гумификации, а молекулы гуминовых кислот имеют все основные молекулярные фрагменты, присущие данному типу соединений [2].

*Исследования проведены при финансовой поддержке РФФ, проект № 22-27-0013 «Роль гумусового вещества отложений озер холодноводных регионов в процессах самоочищения лимносистем и их адаптации к антропогенному воздействию и изменению климата». Авторы выражают искреннюю благодарность Научному парку Санкт-Петербургского государственного университета: «Центр магнитно-резонансных исследований», «Центр химического анализа и материаловедения» за проведенные СНН и СР/MAS <sup>13</sup>С-ЯМР анализы.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демидов Н.Э., Гузева А.В. Озера полюса ветров Антарктиды (ст. Русская) // Российские полярные исследования. 2022. №1, С. 19-22.
2. Guzeva A., Krylova E., Fedorova I. Environmental aspects of molecular composition of humic acids isolated from lake sediments of a permafrost-affected area of the Arctic // Polish Polar Research. 2021. - Vol. 42. - №. 3. - P. 173–191.

#### РОЛЬ БОРЕАЛЬНЫХ ЛЕСОВ РОССИИ В СОХРАНЕНИИ КЛИМАТА

*Дайнеко Д.В.*

Иркутский научный центр СО РАН, г. Иркутск, ddayneko@oresp.irk.ru

Огромную роль в снижении концентрации парниковых газов и изменении климата в Арктике играет политика сохранения и восстановления бореальных лесов, эффективного управления лесами, что очень важно и для сохранения поглощающей способности лесов. 70 % всех бореальных лесов, расположенных севернее параллели 60 градусов северной широты, из 25 % мировых лесных ресурсов расположено в России.

Бореальные леса России составляют более половины общей площади циркумполярных бореальных лесов мира и являются самым крупным «хранилищем» углерода и главным производителем кислорода. Как и все зеленые растения,

бореальные леса поглощают углерод и выделяют кислород. Таким образом, играя важную роль в сохранении климатического баланса. По экспертным заключениям в бореальных лесах России уже сегодня депонировано до 17% глобальных запасов углерода всей Евразии. Следует отметить и важную функцию «биотического насоса» бореальных лесов России, обеспечивающую циклическое перемещение воды в биосфере планеты. Преимущественно это хвойные леса, простирающиеся от лесотундры до средних широт в условиях холодного и умеренного климата. Породный состав российских бореальных лесов составляют пихты, ели, сосны и лиственницы[1].

Сегодня учет и сохранение бореальных лесов России является одной из ключевых компонент климатической политики. Согласно официальным данным российские леса поглощают по разным оценкам около 500-600 млн тонн углекислого газа в год. Причем отечественной методики учета поглотительной способности российских лесов пока так и не существует. Несмотря на то, что такой объем составляет всего лишь 1,2% от всех антропогенных выбросов парниковых газов, поглотительный потенциал бореальных лесов необходимо сохранять чтобы не допустить дальнейшего повышение глобальной температуры на Земле. Отсутствие должного лесного менеджмента может привести к сокращению поглощающей способности наших лесов в следствии сплошных рубок, лесных пожаров, старения и деградации бореальных лесов. Антропогенное влияние, сокращение и изменение породного состава бореальных лесов, глобальное изменение климата уже сильно влияет на многие регионы, где наблюдается изменение традиционных климатических и природных условий на менее комфортные, что в свою очередь скажется на продуктивной способности лесов.

Согласно исследований, особое влияние на климатические последствия оказывают лесные пожары. Согласно статистическим данным в России случается до 20-ти тысяч лесных пожаров ежегодно. При этом суммарные выбросы окиси углерода от лесных пожаров достигли 260 миллионов тонн.

Кроме того, лесные пожары являются источником черного углерода, легкие частички которого распространяются на огромные площади, и таким образом оказывают влияние на Арктику: осаждаясь на поверхности континента меняют отражающую способность льда (альбедо) и поэтому таяние льда фактически происходит гораздо быстрее.

Среди новых принимаемых противопожарных мер следует отметить такие как увеличение пожароопасного периода на 28-29 дней, полный запрет на сжигание сухой травы, пересмотр зонирования лесов, пристальный мониторинг особо подверженных пожарам бореальных лесов с помощью спутникового дистанционного зондирования и средств авиа лесоохраны с увеличением часов полетов в пожароопасный сезон, что помогает лучше мониторить наиболее уязвимые и подверженные частому антропогенному воздействию части леса. Также сегодня требуются совместные усилия ученых и общественности, поддержка бизнеса.

Для сохранения важной роли лесов в сохранении климатического баланса требуется масштабная замена практики сплошных рубок, сжигания отходов на лесосеках, отказ от освоения новых территорий и хорошо налаженная система борьбы с лесными пожарами. Уже сегодня Россия может возглавить создание новой глобальной экологической и климатической программы, в которой сложившиеся экосистемы рассматриваются как сложные механизмы поддержания устойчивого сохранения окружающей среды и климата. Как отмечалось ранее, леса играют ключевую роль в атмосферной циркуляции и распределении осадков, а также в удержании уровня воды в природных водоемах. Роль этих процессов в поддержании климатической устойчивости также требует исследований и особого внимания ученых, наряду с вниманием к депонированию углерода.

В дальнейшем предполагается создание международного центра по охране и восстановлению лесов, это будет способствовать и глобальной цели двух градусов [2]. Установлено, что бореальные леса более чувствительны к изменению климата, чем другие леса на планете. Климатические изменения также влекут за собой разные последствия, например, изменение породного состава лесов, сокращение биоразнообразия, увеличение количества насекомых вредителей и др. 76% всех лесов России, по оценке экспертов, полностью управляемые. Под управлением лесами в официальных документах подразумевается соответствующая система организационно-хозяйственных мероприятий по обеспечению устойчивого и неистощительного пользования лесными ресурсами, включая инвентаризацию лесного фонда; выполнение лесовосстановительных мероприятий и ухода за лесом; охрану и защиту лесов от пожаров и прочих нарушений; определение допустимых размеров устойчивого лесопользования; проведение рубок главного и промежуточного пользования, заготовки недревесной лесной продукции [3].

Особую роль в сохранении лесов играют крупные компании. Несмотря на текущие санкции и проблемы выхода с готовой продукцией на международные рынки, представители больших компаний России, на протяжении многих лет отслеживают европейские тенденции регулирования, намереваются кроме технических мер модернизации снижать выбросы также и своим вкладом в восстановление лесов. Для оценки экологичности в развитых странах существуют соответствующие индексы экокомпаний, к которым выгодно стремиться. Так, например, только в США работает около 400 самых экологически- и социально ответственных компаний, и разница в их индексе Доу Джонса с неэкологичными компаниями доходит до 47%. Такая тенденция существует и среди российских компаний, чтобы получить высокие международные бизнес-индексы путем повышения экологической ответственности.

Ряд крупных компаний, как, например, Русал, En+ Group, участвует в лесных проектах, включая лесопосадки и благоустройство природных объектов. В том числе, реализуются проекты создания полигонов по выращиванию быстрорастущих деревьев, чтобы поглощать выбросы и заменять в дальнейшем уголь на биотопливо.

Такая инициатива по участию компаний в лесных проектах должна быть поддержана для реализации программы постепенного замещения используемой не только тепловой энергии за счет биотоплива, но и электроэнергии получаемой ими от ТЭЦ и АЭС, за счет возобновляемой энергетики. Что является триггером реального перехода России на низко углеродную и социально ориентированную экономику, без ТЭЦ, являющихся источниками загрязнения окружающей среды, и без АЭС, несущих потенциальную угрозу радиоактивного загрязнения, проблему утилизации радиоактивных отходов и рисков последствий аварий. Таким образом, наряду с реализуемыми программами сохранением лесов, это будет весомый вклад в климатически нейтральное будущее планеты и устойчивое развитие Российской Федерации.

Кроме этого, политика управления бореальными лесами должна включать в нормативно-законодательной части положение об установлении правовых режимов защитных бореальных лесов и особо защитных участков бореальных лесов, исключаящих передачу их в аренду для промышленной заготовки древесины. Такая работа уже ведется на законодательном уровне, как всесторонняя оценка социально-экономических аспектов ратификации и разработки соответствующей национальной нормативно-правовой базы[4].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бореальный лес [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://neftegaz.ru/tech-library/geology/148152-borealnyy-les/> (дата обращения 07.08.2023)

2. Парижское соглашение [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.un.org/ru/climatechange/paris-agreement> (дата обращения 07.08.2023)
3. (Не)управляемые леса [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://below2.ru/2015/12/05/foru/> (дата обращения 07.08.2023)
4. Потапов В. Климатический снобизм МИД России. Изд-во Регнум. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://regnum.ru/article/2191503> (дата обращения 09.08.2023)

## БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ АРКТИЧЕСКОГО ГОРНОРУДНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

*Даувальтер В.А.<sup>1</sup>, Денисов Д.Б.<sup>1</sup>, Сандимиров С.С.<sup>1</sup>, Даувальтер М.В.<sup>2</sup>, Слуковский З.И.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты, [v.dauvalter@ksc.ru](mailto:v.dauvalter@ksc.ru)

<sup>2</sup>Геологический институт Кольского НЦ РАН, г. Апатиты

Горнодобывающая и перерабатывающая промышленность является важнейшей отраслью экономики Мурманской области, и в то же время одним из наиболее мощных факторов антропогенного преобразования окружающей среды, в том числе природных вод [1]. Апатит-нефелиновое месторождение Олений Ручей, расположенное на территории Кировского района Мурманской области в пределах юго-восточной части Хибинского щелочного массива, разрабатывается Акционерным обществом «Северо-Западная Фосфорная Компания» (ГОК «Олений Ручей» АО «СЗФК») с 2012 г.

Оценка антропогенного влияния на качество природных вод проведена по основанию снегосъемки 2021 г. в районе промышленной площадки ГОК «Олений ручей» и на территории водосбора озера Умбозеро. Всего было проведено исследование снега на восьми станциях, четыре станции в импактной зоне и четыре на условно фоновой территории. Отбор снега производился с помощью снегоотборника, который представляет собой пластиковую трубу длиной 1 м и диаметром 11 см. Отбор керн проводился на всю мощность снега из ненарушенной стенки траншеи, выкапываемой от поверхности до почвенно-растительного слоя; почвенно-растительный материал удалялся из пробы. Три колонки снега отбирались с каждой станции, которые затем объединялись в одну смешанную пробу. Химический состав талых снеговых вод анализировали в центре коллективного пользования ИППЭС КНЦ РАН по единым методикам [2]. В пробах определялись значения pH, электропроводности, содержание главных ионов ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ), соединений биогенных элементов ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{N}_{\text{общ.}}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{P}_{\text{общ.}}$ , Si), показателей содержания органического вещества (цветность, перманганатная окисляемость, органический углерод  $\text{C}_{\text{орг.}}$ ), микроэлементов (Al, Fe, Mn, Sr, Cu, Zn, Ni, Co, Cr, Cd, Pb). Концентрации микроэлементов определялись атомно-абсорбционным методом при аналитических условиях, рекомендованных фирмой-изготовителем (Perkin-Elmer): Al, Fe, Ni, Cu, Zn, Mn, Sr на AAS Perkin-Elmer-5000 с графитовым атомизатором HGA-400; Co, Pb, Cr, Cd на AAS AAnalyst-800 с земановским корректором фона.

Качество природных вод, подверженных влиянию деятельности ГОК «Олений ручей», описано в ранее опубликованных статьях [3–6]. За десятилетнюю историю деятельности ГОК «Олений ручей» выявлена четкая достоверная тенденция к увеличению величины pH воды, минерализации, содержания главных ионов, нитрат-иона  $\text{NO}_3^-$  в поверхностных водах, а также увеличению содержания ряда микроэлементов (Sr, Cu, Mo, F), в несколько раз превышающую величину предельно допустимых концентраций вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов.

Установлено, значение pH талой воды фоновой территории находится в

диапазое 5.40–5.63, т.е. близко к значению для незгрязной атмосферы [7]. В импактной зоне величина pH талой воды увеличивается до 5.84–6.03, что является следствием влияния пылевых выбросов ГОК, содержащих минералы щелочных и щелочноземельных металлов. Снег исследуемой территории обогащен ионами  $\text{Cl}^-$  и  $\text{Na}^+$  и имеет характерное для атмосферных осадков приморских районов севера европейской части России соотношение главных анионов  $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$  и катионов  $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ = \text{Mg}^{2+}$  (рис. 1) и величину минерализации в пределах от 1.7 до 6.4 мг/л (среднее значение для снега импактной зоны – 5.3, фоновой территории – 2.3 мг/л). Концентрации  $\text{NO}_3^-$  в атмосферных осадках исследуемой территории меньше концентраций основных анионов  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  в пересчете на количество вещества эквивалентов (рис. 1), но довольно значительное, что позволяет причислить нитрат-ион к числу основных ионов, формирующих качественный состав атмосферных осадков.

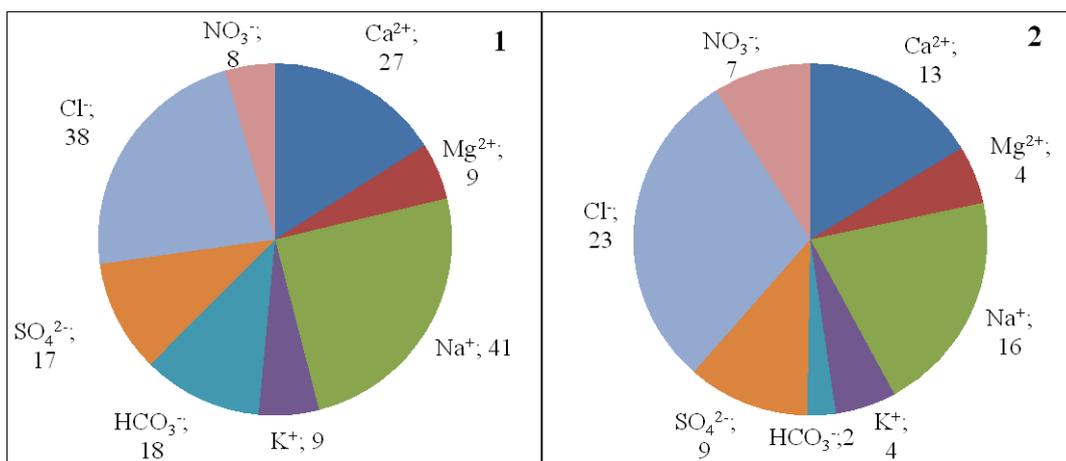


Рис. 1 – Средние эквивалентные концентрации (мкг-экв/л) главных ионов в талой снеговой воде импактной зоны (1) и фоновой территории (2) разработки апатит-нефелинового месторождения Олений Ручей

Большой удельный вес в атмосферных осадках имеют компоненты биогенного происхождения, такие как ионы азотной группы –  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{NO}_3^-$ , концентрации которых могут иногда достигать 20-25% количества вещества эквивалентов [8]. При добыче апатит-нефелиновых руд на ГОК «Олений ручей» используют азотсодержащие взрывчатые вещества, которые значительно увеличивают содержание азотных соединений в природных водах, в том числе и в атмосферных осадках. При проведении взрывных работ в атмосферу попадают составные части взрывчатых веществ (например, аммонита), состоящих из азотных соединений: аммоний-, нитрит- и нитрат-ионов. Содержание  $\text{NO}_3^-$  в талых снеговых водах увеличиваются до 186 мкгN/л в импактной зоне. В среднем содержание нитрат-иона примерно равное в снеге импактной и фоновой зон (рис. 1), но значительное различие наблюдается в других соединениях азотной группы – содержание  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{N}_{\text{tot}}$  в снеге импактной зоны больше в 4 и 2.5 раза соответственно, чем в фоновой (табл. 1).

Таблица 1 – Среднее содержание соединений N и P (мкг/л), цветность (Цветн., °Pt), химическое потребление кислорода (ХПК<sub>Mn</sub>, мгO/л), общий органический углерод (C<sub>орг</sub>, мгC/л) и Si (мг/л) в талой снеговой воде импактной зоны (1) и фоновой территории (2)

№№	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$	$\text{N}_{\text{общ}}$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{P}_{\text{общ}}$	Цветн.	ХПК <sub>Mn</sub>	C <sub>орг</sub>	Si
1	81	107	495	5	26	7	5.51	5.76	0.03
2	23	98	196	1	9	4	2.56	3.51	0.04

Содержания  $\text{PO}_4^{3-}$  и  $\text{P}_{\text{tot}}$  в снеге импактной зоны значительно больше, чем в

снеге и воде водоемов фоновой зоны (табл. 1), что объясняется поступлением соединений фосфора в атмосферу в составе пылевых выбросов ГОК «Олений Ручей», так как основным добываемым минералом на предприятии является апатит, представляющий собой фосфат кальция. Содержание кремния в снеге незначительное, на два порядка меньше, чем в воде водоемов, потому что кремний в снеге находится в основном в составе пылевых частиц алюмосиликатов в нерастворимой кристаллической форме (табл. 1).

В снеге импактной зоны показатели содержания органического вещества (цветность, ХПК<sub>Mn</sub>, C<sub>орг</sub>) примерно в 2 раза выше, чем в снеге фоновой зоны (табл. 1). Высокое содержание органического вещества в снеге может быть связано с поступлением органических веществ-реагентов, используемых при получении апатитового концентрата, из хвостохранилища ГОК «Олений ручей» (особенно при сильном ветре), а также с интенсивным ростом водорослей.

Биогенные элементы, в большом количестве поступающие с пылевыми выбросами ГОК «Олений Ручей», обеспечивают рост водорослей. На поверхности снежников в Хибинах весной и летом активно развиваются колонии одноклеточных зеленых водорослей *Chlamydomonas nivalis* (Bauer) Wille (Chlorophyta) [9]. Они придают снегу красноватую окраску за счет высокого содержания каротиноидов [10]. Колонии представлены сравнительно крупными сферическими клетками (рис. 2) [11].

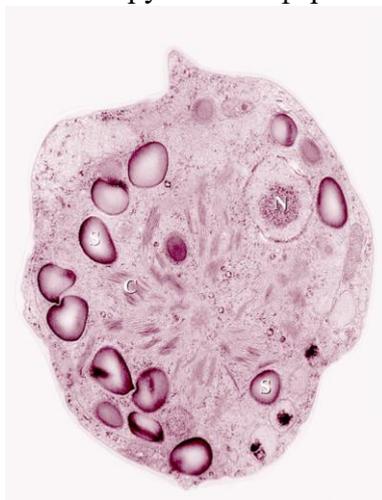


Рис. 2 - Клетка *Chlamydomonas nivalis* (Bauer) Wille (Chlorophyta) [11]

Установлено, что массовое развитие этих водорослей может происходить только в весенне-летние месяцы в условиях достаточной освещенности [12]. Дополнительным фактором интенсивного роста водорослей является увеличивающаяся продолжительность дня, которая в конце апреля в Хибинах достигает 16 часов. В снегу Хибин встречались также единичные экземпляры диатомовых водорослей. Лимитирующим фактором развития диатомей является очень малое содержание кремния в снеге (табл. 1). В снеге импактной зоны, отобранном около промышленной площадки ГОК «Олений Ручей», обнаружены повышенные содержания Zn, Mn, Cu, Cr, Pb и Cd (больше чем в воде водного объекта импактной зоны), а также Al, Fe и Ni (табл. 2).

Таблица 2 – Среднее содержание микроэлементов (мкг/л) в талой снеговой воде импактной зоны (1) и фоновой территории (2)

№№	Al	Fe	Cu	Ni	Co	Zn	Mn	Sr	Pb	Cr	Cd
1	32	16	3.8	1.31	0.07	13.4	5.4	4	0.65	0.80	0.035
2	11	6	1.1	0.43	0.08	1.8	2.5	2	0.08	0.13	0.013

Довольно высокие содержания микроэлементов можно объяснить тем, что в составе горных пород апатит-нефелиновых месторождений Хибин встречается большое количество сульфидных минералов (например, сфалерит  $ZnS$ , борнит  $Cu_5FeS_4$ , халькозин  $Cu_2S$ , халькопирит  $CuFeS_2$ , галенит  $PbS$  [13]), содержащих многие микроэлементы, в том числе и тяжелые металлы. Микроэлементы входят в состав автомобильного топлива и присадок для используемых горюче-смазочных материалов. Поэтому атмосферные выбросы ГОК «Олений Ручей» могут содержать большое количество микроэлементов.

Дендрограмма сходства гидрохимического состава снеговой воды исследуемой территории позволила выделить пять групп с однородными значениями показателей химического состава снега исследованных станций (рис. 3).

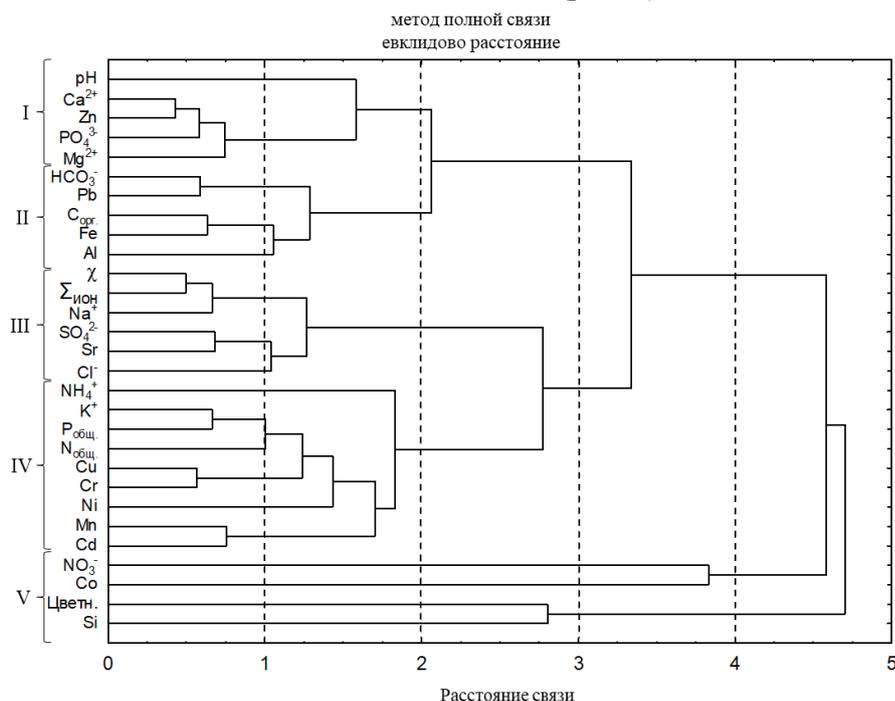


Рис. 3 - Дендрограмма сходства между показателями химического состава снега исследованных станций.  $\chi$  – электропроводность (мкСм/см);  $\Sigma_{ион}$  – минерализация (мг/л); Цветн. – цветность (°Pt)

В первую группу вошли составные части главного рудного минерала – апатита ( $Ca^{2+}$  и  $PO_4^{3-}$ ), а также щелочноземельный металл магний, сопутствующий кальцию, и цинк, входящий в состав сфалерита ( $ZnS$ ) – одного из наиболее широко распространенных сульфидов в составе апатит-нефелиновой руды [13]. К этой группе примкнул водородный показатель, имеющий значительно меньшее сходство по сравнению с перечисленными показателями. Вторая группа объединила гидрокарбонаты, органические соединения ( $C_{орг}$ ), а также железо, алюминий и свинец. Перечисленные металлы обладают повышенной способностью к комплексообразованию с органическими соединениями в природных водах Кольского полуострова [14], а гидрокарбонаты являются продуктом разложения органических веществ в окислительной обстановке. В третью группу входят электропроводность и определяющая ее минерализация, превалирующие основные ионы ( $Cl^-$ ,  $Na^+$  и), а также  $SO_4^{2-}$  и Sr, поступающие из рудообразующих пород разрабатываемого месторождения. Две подгруппы – соединения биогенных элементов (азот, фосфор и калий), необходимых для образования органического вещества (в том числе клеток водорослей), и тяжелые металлы, стимулирующие увеличение хлорофилла [15], образуют четвертую группу. Гидрохимические показатели ( $NO_3^-$ , цветность, Si и Co),

характеризуемые по результатам дисперсионного анализа недостоверными отличиями между двумя кластерами (талыми снеговыми водами импактной зоны и условно фонового района), вошли в пятую группу. Таким образом, по результатам иерархического кластерного анализа установлено, что определенную стимулирующую биохимическую роль в развитии водорослей помимо соединений биогенных элементов могут оказывать микроэлементы (Cu, Cr, Ni, Mn, Cd).

*Исследования проведены при финансовой поддержке РФФ, проект № 22-27-00131 «Роль гумусового вещества отложений озер холодноводных регионов в процессах самоочищения лимносистем и их адаптации к антропогенному воздействию и изменению климата».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dauvalter V.; Slukovskii Z.; Denisov D.; Guzeva A. A Paleolimnological Perspective on Arctic Mountain Lake Pollution // Water. 2022. V.14, No. 24. 4044.
2. Standard method for examination for water and wastewater. 20-th Edition (Eds. Clescerl L.S., Greenberg A.E., Eaton A.D.). Washington: American Public Health Association USA, 1999. 2671 p.
3. Dauvalter V.A., Dauvalter M.V., Slukovskii Z.I. The dynamics of the chemical composition of surface water in the zone of influence of North-West Phosphorous Company JSC // IOP Conf. Series: Earth Environ. Sci. 2020. V. 539. 012026.
4. Даувальтер В.А., Даувальтер М.В. Гидрохимический режим озера Комариное, Хибинский щелочной массив, Мурманская область // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2020. № 17. С. 158–162.
5. Даувальтер М.В., Даувальтер В.А., Денисов Д.Б., Слуковский З.И. Загрязнение горного озера стоками апатит-нефелинового производства // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2021. № 18. С. 150–154.
6. Даувальтер М.В., Даувальтер В.А., Сандимиров С.С., Денисов Д.Б., Слуковский З.И. Гидрохимический мониторинг поверхностных вод в зоне влияния деятельности ГОК «Олений Ручей» // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2022. № 19. С. 80–85.
7. Израэль Ю.А., Назаров И.М., Прессман А.Я. и др. Кислотные дожди. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 269 с.
8. Никаноров А.М. Гидрохимия. СПб: Гидрометеиздат, 2001. 444 с.
9. Денисов Д.Б., Валькова С.А., Кашулин Н.А. Водорослевые сообщества и макрозообентоса водных экосистем Хибинского горного массива (Кольский полуостров) // Вестник Кольского научного центра РАН. 2018. Т. 10, №1. С. 23–35.
10. Remias D., Lutz-Meindl U., Lutz C. Photosynthesis, pigments and ultrastructure of the alpine snow alga *Chlamydomonas nivalis* // Eur. J. Phycol. 2005). V. 40. P. 259–268.
11. Terashima M., Umezawa K., Mori S., Kojima H., Fukui M. Microbial Community Analysis of Colored Snow from an Alpine Snowfield in Northern Japan Reveals the Prevalence of Betaproteobacteria with Snow Algae // Front. Microbiol. 2017. V.8. 1481.
12. Mosser J.L., Mosser A.G., Brock T.D. Photosynthesis in the snow: the alga *Chlamydomonas nivalis* (Chlorophyceae) // J. Phycology. 1977. V. 13, No. 1. P. 22–27.
13. Яковенчук В.Н., Иванюк Г.Ю., Пахомовский Я.А., Меньшиков Ю.П. Минералы Хибинского массива. М.: Земля, 1999. 326 с.
14. Дину М.И., Баранов Д.Ю. Роль органических веществ гумусовой природы в формировании равновесных форм элементов в водах озер Кольского полуострова: экспериментальные исследования и расчетные результаты // Геохимия. 2022. Т. 67, № 1. С. 57–68.
15. Mu W., Chen Y., Liu Y., Pan X., Fan Y. Toxicological effects of cadmium and lead on two freshwater diatoms // Environ. Toxicol. Pharmacol. 2018. V. 59. P. 152–162.

## ПОЛИСАХАРИДЫ ЛИШАЙНИК ВИДА *HYPOGYMNINGIA PHYSODES*: ВЫДЕЛЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКА

Жильцов Д.В.<sup>1</sup>, Слобода А.А.<sup>1</sup>, Бровко О.С.<sup>1</sup>, Бойцова Т.А.<sup>1</sup>, Боголицын К.Г.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, dnorton.usa@gmail.com

<sup>2</sup>Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск

### Введение

Клеточные стенки почти всех грибов образуют хитин. Исключением является грибы из семейств *Saccharomycetes*, *Laboulbeniales* (*Ascomycetes*), *Oomycetes* и *Monoblepharidaceae* (*Phycomycetes*), в которых клеточная стенка состоит из целлюлозы. Хитин — один из наиболее распространённых в природе полисахаридов, состоящий из остатков N-ацетилглюкозамина, связанных между собой  $\beta$ -(1→4)-гликозидными связями. По некоторым оценкам, каждый год на Земле в живых организмах образуются и разлагаются миллиарды тонн хитина. Он выполняет защитную и опорную функции, обеспечивая жёсткость клеток. Хитин является главным компонентом экзоскелета членистоногих. Во всех организмах, вырабатывающих и использующих хитин, он находится не в чистом виде, а в комплексе с другими полисахаридами и очень часто ассоциирован с белками. Несмотря на то, что хитин является веществом, очень близким по строению, физико-химическим свойствам и биологической роли к целлюлозе, в организмах, образующих целлюлозу (растения, некоторые бактерии) хитин найти не удалось.

Лишайники — симбиотические ассоциации грибов (микобионт) и микроскопических зелёных водорослей и/или цианобактерий (фотобионт, или фикобионт) Микобионт образует слоевище (таллом), внутри которого располагаются клетки фотобионта. Данная группа грибов насчитывает более 26 000 видов [1]. Все вещества, продуцируемые лишайниками можно разделить на две группы: первичные и вторичные. Первичные лишайниковые вещества, как и в грибах, выполняют структурную функцию и участвуют в клеточном обмене. Вторичные лишайниковые вещества участвуют в фотосинтезе, играя роль светофильтров, то есть защищают фотобионт от чрезмерной радиации, способствуют передвижению углеводов из фото- в микобионт, участвуют в разрушении минерального субстрата [2].

Известно, что для многих видов лишайников первичным метаболитом является хитин [3-5]. Однако в ряде работ [6] было установлено, что при кипячении с водой цетрарии исландской образуется много слизистых, застывающих продуктов, названных «лишайниковым крахмалом» или лихенином. В настоящее время установлено, что «лишайниковый крахмал» состоит из двух фракций, различающихся по растворимости: нерастворимый в холодной, но растворимый в горячей воде лихенан), и растворимый в холодной воде изолихенан. Лихенаны и изолихенаны представляют собой разветвлённые D-глюканы, звенья которых (остатки D-глюкозы) соединены связями 1→3 и 1→4. Лихенан построен из остатков  $\beta$ -D-глюкозы, а изолихенан из  $\alpha$ -D-глюкозы. Данная полисахаридная фракция лишайников обладает противоопухолевой активностью [7].

Перспективным источником лихенана и изолихенана могут служить эпифитные лишайники вида *Hypogymnia physodes*, которые широко распространены в лесах на территории России. Работ по выделению и изучению характеристики полисахаридов из лишайника *H. physodes* нет.

Поэтому целью данной работы являлось выделение и характеристика полисахаридов лишайника вида *H. physodes*.

### Материалы и методы

В качестве объекта исследования был выбран двухкомпонентный лишайник *Hypogymnia physodes* (*H. physodes*) (рис. 1). Исследуемые образцы лишайника отобраны на территории смешанного леса вне зоны антропогенного и техногенного воздействия на Большом Соловецком острове (архипелаг Соловецкий, Архангельская область).



Рис. 1 – Таллом лишайника *H. physodes*

Выделение полисахаридной фракции из лишайника *H. physodes* проводили в соответствии с методикой [8], предварительно для удаления экстрактивных веществ проводили экстракцию смесью ацетон : хлороформ (1:2), продолжительность экстракции составляла 3 часа.

Моносахаридный состав полисахаридов определяли альдитол-ацетатным методом. Синтезированные альдитолацетатные производные (D-Glc, D-Gal, D-Rib, D-Ara, L-Rha, D-Man, D-Xyl и D-Fru) проанализированы методом газовой хромато-масс-спектрометрией (ГХ-МС) (колонка Thermo Finnigan TRACE 2000 / MS, DB-5MS (30 м × 0.25 мм × 0.25 мм), температурная программа от 180 до 270 °С при 20 °С/мин, с удержанием 270 °С в течение 25 мин). Пики, соответствующие альдитолацетатам и их фрагментам, определялись их массспектрами и временем разделения. Отношение моносахаридов в полисахаридах определяли путем сравнения площадей пика.

Определение молекулярной массы ( $M_w$ ) полисахаридной фракции проводили методом гель-проникающей хроматографии (ГПХ). В качестве элюента применяли буферный раствор с рН 6,2. Значения  $M_w$  рассчитывали согласно [9].

#### **Результаты и обсуждение**

Результаты настоящего исследования показали, что общий выход лихенана, изолихенана и кислых полисахаридов составил 5,0; 1,82; и 0,26 % от абсолютно сухой навески таллома лишайника *H. physodes*, соответственно.

Установлено, что основными мономерами полисахаридной фракции лишайника *H. physodes* являются глюкоза (ГЛ), галактоза (ГА), манноза (МН) и ксилоза (КС). Причем соотношение мономеров для разных фракций выделенных полисахаридов имеет существенное различие. Так для лихенана эти соотношения ГЛ:ГА:МН:КС = 76,5:12,1:8,3:2,5, для изолихенана – ГЛ:ГА:МН:КС = 86,7:6,5:4,4:2,4 и для фракции кислых полисахаридов – ГЛ:ГА:МН:КС = 49,7:22,3:26,3:1,7. Различие между

соотношением мономеров в полисахаридах свидетельствуют о различной природе и структуре между лихенаном/изолихенаном и кислыми полисахаридами.

Также значения  $M_w$  выявили различия между фракциями полисахаридов. Выявлено, что лихенан и изолихенан имеют  $M_w$  от 53 до 56 кДа. В то же время кислые полисахариды обладают значительно меньшим показателем масс в пределах от 19 до 21 кДа.

Следует отметить, что при выделении различных фракций полисахаридов из таллома лишайника *H. physodes* выход твердого кубового остатка составил 31,0 %. Предполагается, что в составе кубового остатка преобладает пигмент меланин грибного происхождения, являющийся природным антиоксидантом, гепатопротектором, обладает антимуtagenным эффектом, способностью сорбировать тяжелые металлы, органические загрязнители и нейтрализовать продукты перекисного окисления липидов [10].

Таким образом, общий выход фракции полисахаридов (лихенан, изолихен и кислые полисахариды) составил 7,1 % от абсолютно сухой массы таллома лишайника *H. physodes*. Мономерный состав и значения молекулярных массы показали существенную разницу между фракциями лихенан/изолихенан и кислые полисахариды. Предполагается, что кубовый остаток (выход 31,0 %) в своем составе содержит пигмент меланин грибного происхождения, обладающий рядом уникальных свойств, что может позволить дальнейшее его использование в качестве сорбента.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. R. Honegger, S. Bartnicki-Garcia. Cell wall structure and composition of cultured mycobionts from the lichens *Cladonia macrophylla*, *Cladonia caespiticia*, and *Physcia stellaris* (Lecanorales, Ascomycetes) // *Mycol. Res.* 95 (8): 905-914 (1991)
2. Жизнь растений. Том 3. Водоросли. Лишайники / Под ред. Голлербах М.М. / М.: Просвещение, 1977. 487 с.
3. Бровко О.С., Ивахнов А.Д., Жильцов Д.В., Бойцова Т.А. Выделение хитинсодержащих комплексов из таллома лишайника вида *Peltigera aphthosa* // *Сверхкритические флюиды: теория и практика*. 2022. Т. 17. № 1. С. 49-65.
4. Жильцов Д.В., Бровко О.С., Ивахнов А.Д., Боголицын К.Г., Бойцова Т.А., Паламарчук И.А. Сорбционные свойства хитин-содержащих комплексов, выделенных из талломов лишайников методом сверхкритической флюидной экстракции // *Успехи современного естествознания*. 2018. № 11-2. С. 210-215.
5. Жильцов Д.В., Бровко О.С., Паламарчук И.А., Бойцова Т.А., Боголицын К.Г., Чухчин Д.Г. Морфология и свойства хитин-глюкановых комплексов, выделенных из различных природных источников // *Известия Уфимского научного центра РАН*. 2018. № 3-3. С. 9-13.
6. Энциклопедический словарь Т. 13 / Под ред. Брокгауз Ф.А., Ефрон И.А. / СПб.: Типолитография И.Е. Ефрона, 1894. 587 с.
7. Вайнштейн Е.А. О лишайниковых углеводах // *Новости систематики низших растений*. 1993. Т. 29. С. 73-83.
8. Горшкова Р.П., Назаренко Е.Л., Зубков В.А., Степаненко Д.С., Исаков В.В. Структурное исследование полисахаридов лишайников *Cetraria cucullata* и *C. islandica* // *Биоорганическая химия*. 1997. Т. 23, № 2. С. 134-138.
9. Определение молекулярных масс лигнинов на ультрацентрифуге и методом гель-фильтрации / Под ред. Соколов О.М. Л.: 1987. 75 с.
10. Ушакова Н.А., Донцов А.Е., Сакина Н.Л., Ратникова И.А., Гаврилова Н.Н., Гармаш Н.Ю., Бастраков А.И., Козлова А.А. Меланины и особенности меланогенеза на разных стадиях жизненного цикла мухи *Hermetia illucens* // *Известия российской академии наук. Серия биологическая*. 2018. №1. С. 55-59.

## АДАПТАЦИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ УСЛОВИЯМ СОЛЕННОСТИ АРКТИЧЕСКИХ ЛЕДОВЫХ ЭКОСИСТЕМ

*Каракозова М.В., Назаров П.А.*

Институт физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского Московского  
Государственного Университета имени М.В. Ломоносова, г. Москва,  
mvk752002@gmail.com

Все живые организмы стремятся адаптироваться к экологическим условиям своей среды, и бактерии-экстремофилы, обитающие в суровых окружающих средах, не являются исключением. Они проявляют способность к выживанию и размножению в условиях, которые считаются экстремальными для большинства организмов, включая чрезмерно высокие или низкие температуры, аномальное давление, кислотность или соленость. Эти условия чаще всего непригодны для более сложных живых существ и даже для обычных бактерий, которые называются мезофилами.

Экстремофилы вносят значительный вклад в современные технологии. Они обеспечивают нам термостабильные ферменты, такие как ДНК-полимеразы, а также белки, способные кристаллизовать воду, что полезно, например, для создания искусственного снега. Они также предоставляют холодоустойчивые ферменты, которые находят применение в косметической и пищевой промышленности.

Исследование адаптации к экстремальным условиям имеет важное значение не только для практических целей, но и для наших научных знаний о возникновении жизни на Земле и на других планетах. Кроме того, это помогает нам лучше понимать возможные последствия антропогенного воздействия человека на уязвимые экосистемы в результате исследовательской и хозяйственной деятельности.

Известно, что энергетические механизмы внутри клеток имеют фундаментальное значение для способности микроорганизмов к выживанию. В данном исследовании мы провели анализ обычных микроорганизмов - грамположительных бактерий (*Bacillus subtilis* и *Staphylococcus aureus*), а также грамотрицательных бактерий (*Escherichia coli* и её делеционных мутантов, лишенных определенных генов помп), с целью исследования вклада биоэнергетических процессов в их адаптацию к экстремальным условиям, которые были созданы искусственно в лаборатории. Наши эксперименты позволили установить, что в некоторых случаях энергетический обмен бактерий изменяется благодаря активации футильных циклов, и здесь важную роль играют системы откачки ионов и бактериальные помпы [1].

*Работа была выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда, проект № 22-15-00099).*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nazarov PA, Kuznetsova AM, Karakozova MV. Multidrug Resistance Pumps as a Keystone of Bacterial Resistance. Moscow Univ Biol Sci Bull. 2022;77(4):193-200. doi: 10.3103/S009639252204006X.

## ПРОТИВОРЕЧИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ МОНИТОРИНГА ЭКОТОНАЛЬНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ ОБСКОЙ ГУБЫ

Кириллов В.В.<sup>1,2</sup>, Ковалевская Н.М.<sup>1</sup>, Семчуков А.Н.<sup>1</sup>, Акулова О.Б.<sup>1</sup>, Букацкий В.И.<sup>1</sup>,  
Винокурова Г.В.<sup>1</sup>, Донцов А.А.<sup>1</sup>, Ермолаева Н.И.<sup>1</sup>, Ковешников М.И.<sup>1</sup>, Криволапов Г.И.<sup>3</sup>,  
Крылова Е.Н.<sup>1</sup>, Ловцкая О.В.<sup>1</sup>, Митрофанова Е.Ю.<sup>1</sup>, Суторихин И.А.<sup>1</sup>, Хворова Л.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, vkirillov@iwer.ru

<sup>2</sup>Алтайский государственный университет, г. Барнаул

<sup>3</sup>Сибирский государственный университет телекоммуникации и информатики,  
г. Новосибирск

Экологический мониторинг, как система повторяющихся наблюдений, оценки состояния и прогноза изменений природных систем [1], необходим для информационного обеспечения принятия решений по управлению сохранением и устойчивым использованием природных ресурсов, включая экологическую безопасность и снижение экологического риска многоцелевого использования водных объектов. При разнообразии систем организации и уровней развития методов, нормативных документов и экологической политики, как в России, так и в других странах, существуют противоречия практики и теоретически обоснованной методологии мониторинга. В основе этих противоречий находятся нарушение двух методологических принципов получения, анализа и использования экологической информации:

1) Принципа соответствия пространственно-временной организации объектов и факторов воздействия, методов исследования, анализа экологических эффектов и системы управления использованием природных ресурсов.

2) Принципа непрерывности и преемственности в ряду достоверность, доступность (доходчивость) и действенность экологической информации

*Анализ пространственно-временной организации* разнотипных водных экосистем Обь-Иртышского бассейна дает основание для рекомендаций по организации экологического мониторинга и управления использованием природных ресурсов с учетом отличий водных объектов по размерам и характерным временам внутриводоемных процессов, а также, пространственно-временной организации факторов и последствий воздействия [2].

*Достоверность* экологической информации может быть обеспечена в результате организации комплексного (геофизического, гидрологического, гидрохимического и биологического) экологического мониторинга водных экосистем, в том числе с использованием современных методов получения и обработки спутниковых данных в сочетании с результатами контактных исследований

*Доступность* (доходчивость) экологической информации, в том числе получаемой учреждениями Министерства природных ресурсов РФ, а также предприятиями-водопользователями, возможна лишь при создании открытых межведомственных информационных систем, целевых баз данных и программных средств их поддержки с использованием ГИС-технологий и данных дистанционного зондирования Земли.

*Действенность* экологической информации определяется ее целесообразным использованием, которое в настоящее время достигается при создании Системы поддержки принятия решений при интегрированном управлении речным бассейном (СППР ИУРБ), состоящей из: 1) измерительно-коммуникационных систем (в основном, автоматизированных), информационных систем (БД, БЗ и ГИС), 2) моделирующих систем, 3) экспертно-аналитических систем и интерфейсов пользователей [3].

Цель исследований - создание научно обоснованной, высокотехнологической, единой системы комплексного экологического мониторинга Обь-Иртышского речного

бассейна, позволяющей прогнозировать экологическое состояние речного бассейна с учётом изменяющегося климата и увеличения антропогенной нагрузки на водные объекты для рационального использования природных ресурсов и предотвращения экологических катастроф.

Работа выполнена на основе междисциплинарного анализа пространственно-временной организации экосистем Обь-Тазовской устьевой области, факторов их формирования и функционирования по результатам полевых гидрологических, гидрохимических и гидробиологических исследований, с использованием ретроспективных и оперативных контактных измерений и спутниковых данных, полученных в ИВЭП СО РАН в период 2003-2023 гг., сведений из научных публикаций за период 1929-2023 гг., архивных материалов и режимных данных.

Обская губа, самый крупный залив Карского моря, ограниченный полуостровами Ямал и Гыданский, протянулась с юга от дельты Оби на север до своей морской границы на 800 км. Ширина ее колеблется в диапазоне 30–90 км, а максимальные глубины – от 3 м (по линии Ямальского (66°54'с.ш., 71°45'в.д.) и Надымского (66°30'с.ш., 72°20'в.д.) баров в южной части губы) до 25 м (севернее слияния с водами Тазовской губы). Общая площадь акватории 40800 км<sup>2</sup> [4].

В Обскую губу поступает континентальный геосток - совокупность стока воды, взвешенных наносов, химических веществ, живых организмов и тепла [5] с реками Обь, Таз, Пур, Надым и другими водотоками, дренирующими территорию Ямало-Ненецкого автономного округа, включая полуострова Ямал и Гыдан. В целом через Обскую губу по среднемноголетней величине в Карское море поступает 530 км<sup>3</sup> пресного стока, при общем объеме водных масс Обской губы около 400 км<sup>3</sup>. При этом, по результатам экспедиционных исследований 29 июля–17 августа 2010 г. и 18 сентября–7 октября 2010 г. показана уникальная среди всех рек мира особенность комплекса: р. Обь – Обская губа. Внутригодовое распределение стока таково, что даже во время летних съемок в губе наблюдались как паводковые воды, так и воды зимнего стока Оби, имеющие очень разные гидрохимические характеристики. [6].

Обская губа, как залив Карского моря, *пространственно* находится на северной границе континента Евразия и Северного Ледовитого океана. Происходящее здесь взаимодействие континентального пресноводного стока с солеными морскими водами, определяет экотональность экосистемы Обской губы, и вследствие этого, значительную неоднородность (гетерогенность) гидрофизических и гидрохимических параметров, а также и более богатое, чем в р. Обь и Карском море, таксономическое разнообразие населяющих ее животных и растений, и высокий уровень биологической продукции.

Особенность пространственной организации Обской губы связана с тем, что этот залив Карского моря является частью Обь-Тазовской устьевой области, сочетающей свойства дельты и эстуария, так как в устье Оби, формируется обширная, площадью более 4000 км<sup>2</sup>, дельта.

Объем вод губы больше среднего стока р. Оби за год, и немногим меньше стока всех рек в нее впадающих, что позволяет отнести этот залив Карского моря к типу аккумулятивных систем. Но, в отличие от других малопроточных водоемов, Обская губа характеризуется постоянным преобладанием экодинамических (внешних) факторов над ценодинамическими (внутриводоемными), природных - над антропогенными, с преобладанием гидрологических процессов в формировании количества и качества воды, их многолетней динамики при значительных межгодовых отличиях водности. Природная цикличность объема водного стока является фактором стабильности в многолетнем аспекте, высокого потенциала самовосстановления экосистемы и обратимости экологических эффектов воздействия хозяйственной деятельности, в первую очередь – нефтегазового комплекса, включая поступление углеводородов в окружающую среду и последствия создания транспортных систем – судовых и трубопроводных.

*Временная организация* Обь-Тазовской устьевой области определяется ее расположением в условиях Субарктики, в основном в зоне тундры, и более сложной, по сравнению с другими водными объектами водосборного бассейна, структурой гидрологического года с длительным (до 250 дней в году) периодом ледостава, растянутым во времени половодьем и короткой меженью. Но, как и в других водных объектах Субарктики, здесь в течение года наблюдается короткий период с относительно высокой температурой воды и интенсивной инсоляцией, которые в сочетании с высокой концентрацией биогенных элементов, способствуют образованию первичной продукции на уровне эвтрофных водоемов и вторичной, включая рыб, – достигающей мезотрофного уровня.

Экологический мониторинг водных объектов исторически является геофизическим. Гидрохимические исследования крайне разрежены, гидробиологические – практически отсутствуют. Но и пункты геофизических наблюдений по расположению недостаточны для оценки состояния такой большой по пространственным масштабам системы, как Обская губа. При этом большинство существующих оценок водных объектов – точечные по пространству и дискретные (интервальные) по времени. Исключение – объем водного стока – интегральной по времени величины. Другая, общая, практически для всех систем мониторинга особенность – это оценка состояния системы через большой интервал времени. Например, данные о водных объектах Росгидромет публикует через год. Прогноз изменения экосистем дается на основе феноменологического анализа, практически без математического моделирования. Недостаточны для представления об экосистеме в целом и ее динамике и эпизодические исследования для отдельных участков водоема при выполнении НИР по государственным программам или в рамках проектных работ и производственного мониторинга организаций, использующих природные ресурсы.

В настоящее время в Обской губе экологический мониторинг, как источник оперативной, представительной по пространству и времени системы сбора, передачи и анализа данных водоема не соответствует требованиям Федерального закона от 21.11.2011 № 331-ФЗ для государственного мониторинга устьевых областей рек для физических характеристик [4] при практическом отсутствии данных мониторинга по гидрохимическим и гидробиологическим параметрам. Такой мониторинг позволяет уловить только долговременные тенденции изменения качества поверхностных вод.

Обская губа – значительная по размерам, сложная по количеству и разнообразию элементов, взаимосвязей между ними, имеющая высокую биологическую продуктивность, экотональная (пограничная) экосистема с ярко выраженной многофакториальной неоднородностью по пространству и времени физических, химических и биологических характеристик [7, 8]. Эти особенности, а также мелководность и слабая проточность водоема при существующем и планируемом значительном увеличении объемов добычи и переработки углеводородов, и соответствующем развитии водно-транспортной системы, определяют необходимость оптимизации экологического мониторинга Обской губы и Обь-Тазовской устьевой области в целом.

Необходимая методическая и организационная основа комплексного (междисциплинарного) экологического мониторинга водных объектов и территории водосборного бассейна – современные методы получения, передачи, хранения и анализа информации в реальном времени, в том числе, в подледный период, при сочетании контактных измерений, дистанционного зондирования Земли из космоса, ИТ-технологий, автоматизированных автономных сенсорных комплексов, адаптированных к условиям Севера Западной Сибири, и математического моделирования [9].

В ИВЭП СО РАН выполнен анализ судовых и спутниковых данных RapidEye, Terra/ASTER и Landsat-8 (2015) и данных спутника MERIS/ENVISAT (2003–2011 гг.), которые были обработаны в открытой программной среде BEAM-VIASAT/ESA на

основе метода нечеткой кластеризации в яркостном пространстве признаков для получения распределения основных оптических классов и на основе НС-алгоритмов для оптически сложных поверхностных вод. Установлена оптическая сложность вод акваторий окраинных морей Северного Ледовитого океана и необходимость использовать данные наборов диапазонов (CoastalBlue, Green, RedEdge) для детального мониторинга фитопланктона и желтого вещества в заливах Карского моря [8]. Полученные результаты позволяют определить условия эффективного оперативного мониторинга водных экосистем региона в условиях изменения климата и увеличения антропогенной нагрузки вследствие использования природных ресурсов Гыданского полуострова и дноуглубительных работ для обеспечения круглогодичного судоходства в районах портов Сабетта и Каменный Мыс. [10].

Совместно со специалистами Арктического и Антарктического научно-исследовательского института Росгидромета (г. Санкт-Петербург) в 2020-2022 годах обоснован приоритет дистанционных методов для оценки возраста и толщины льда в Обской губе и Карском море. Получены оригинальные, по содержанию и технологии, результаты сравнения спутниковых данных CryoSat-2, SMOS и комбинации CryoSat-2&SMOS с детализированными ледовыми картами (октябрь–апрель 2010–2018 гг.) [11] и результатами расчета изменения толщины льда в Обь-Тазовской устьевой области в годовом цикле на основе трехмерной модели гидрофизических процессов (программный комплекс Delft3D компании Deltares) [12].

Создана информационная система ретроспективных данных дистанционного зондирования, результатов контактных измерений и математического моделирования экологических процессов для формирования единой системы комплексного экологического мониторинга (гидрологического, гидрохимического, гидробиологического) в пределах Обской Губы и Обь-Тазовской устьевой области [13].

Результаты работы применимы при организации комплексного (междисциплинарного) мониторинга экологического состояния водных объектов Субарктики, реализации экологической политики, образовательной и просветительной деятельности, для решения важных социально-экономических и экологических проблем, в том числе в рамках Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности до 2035 года.

*Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания по теме «Исследование разнообразия и структурно-функциональной организации водных экосистем для сохранения и рационального использования водных и биологических ресурсов Западной Сибири» № госрегистрации 0306-2021-0001 и при финансовой поддержке Российского Центра освоения Арктики (г. Салехард) проект № госрегистрации 122041300036-8 по теме «Комплексные научные исследования Обской губы в рамках реализации проекта «Экологическая безопасность Обь-Иртышского речного бассейна».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. М.: Гидрометеиздат, 1984. 560 с.
2. Кириллов В.В. Пространственно-временная организация водных экосистем как основа экологического мониторинга Обь-Иртышского бассейна // Научный вестник Водного форума. Ханты-Мансийск. 2006. С. 44-49.
3. Пушистов П.Ю., Данчев В.Н. Информационно-вычислительные комплексы водных объектов бассейна Оби. Часть 1 – ИВК «Северная Сосьва». Часть 2 – ИВК «Телецкое озеро» / науч. ред. В.Н. Лыков, В.А. Земцов. – Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing, 2013. 160 с.

4. Третьяков М.В., Иванов В.В., Муждаба О.В. Проблемы организации и развития системы специализированных гидрологических наблюдений в устьевых областях крупных рек Арктической зоны Российской Федерации // Научный Вестник ЯНАО. № 1 (94). Салехард, 2017. с. 70-73.
5. Алексеевский Н.И. Малые реки // Россия: социально-экологические водные проблемы. Екатеринбург: Аэрокосмоэкология. 1999. С. 176-213
6. Стунжас П. А., Маккавеев П. Н. Объем вод Обской губы как фактор формирования гидрохимической неоднородности // Океанология. 2014. № 5. С 622–634.
7. Флинт М.В., Поярков С.Г. Комплексные исследования экосистемы Карского моря (128-й рейс научно-исследовательского судна «ПРОФЕССОР ШТОКМАН») // Океанология. 2015. № 4. С. 723-726.
8. Кириллов В. В., Ковалевская Н. М., Павлов В. Е, Котовщиков А. В., Семчуков А. Н., Мышляков С. Г., Скачкова А. С., Печкин А. С., Скороспехова Т. В., Хворова Л. А, Колисниченко Н. А. Исследование динамики параметров качества воды в заливах Карского моря и прилежащем Карском шельфе на основе архивной и оперативной спутниковой информации // Вычислительные технологии. 2018. № 4. С. 65–82.
9. Криволапов Г.И., Трубехин Е.Р. История и перспективные направления сотрудничества СибГУТИ с предприятиями ЯНАО // Научный Вестник ЯНАО. 2016. №4. С. 166-169.
10. Ефанов А.В., Кириллов В.В., Ковалевская Н.М., Кульшин А.В., Ловцкая О.В., Хворова Л.А. Использование многоспектральной спутниковой информации для мониторинга динамики озер и оценки лимнологических характеристик водных экосистем Центрального Ямала // Высокопроизводительные вычислительные системы и технологии. 2021. № 1. С. 331–337.
11. Кириллов В.В., Ловцкая О.В., Девятаев О.С., Афанасьева Е.В., Синицкий А.И., Хворова Л.А., Фокин Д.С., Семчуков А.Н., Ковешников М.И., Ковалевская Н.М. Возможности исследования возрастных характеристик льда Карского моря на основе спутниковых данных CRYOSAT-2 и SMOS // Проблемы Арктики и Антарктики. 2023. № 1. С. 10-28.
12. Семчуков А.Н. Захаров В.П. Математическое моделирование термохалинного режима Обской губы с помощью программного комплекса Delft3D: построение цифровой модели рельефа дна, подготовка входных данных и пробные расчеты Научный Вестник ЯНАО. 2019. № 2. С. 52–59.
13. Донцов А. А., Суторихин И.А., Кириллов В. В., Ловцкая О. В. Интегрированная геоинформационная система Обь-Иртышского речного бассейна // Моря России: вызовы отечественной науки. Тезисы докладов Всероссийской научной конференции. 28-30 сентября 2022, Севастополь: ФИЦ Морской гидрофизический институт РАН, с. 301-303.

## **ИЗУЧЕНИЕ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ 226RA**

*Кочева Л.С.<sup>1</sup>, Рачкова Н.Г.<sup>2</sup>, Карманов А.П.<sup>2</sup>, Котова О.Б.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, lskocheva@geo.komisc.ru, kotova@geo.komisc.ru

<sup>2</sup>Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, ark0948@yandex.ru, rachkova @ib.komisc. ru

Одним из приоритетных направлений современной науки, техники и технологии является изучение и прогнозирование процессов рассеяния и локализации

радиоактивных загрязнений с целью минимизации негативных экологических последствий их воздействия на водные, наземные и лесные природные ресурсы [1]. Радиоэкологические исследования по миграции и трансформации естественных радионуклидов в окружающей среде, в основном, посвящены изотопам урана. Проблема распространения радия-226 требует проведения дальнейших исследований [2], поскольку этот изотоп способен мигрировать из очагов радиоактивного загрязнения на значительные расстояния в составе разнообразных природных водных растворов, нанося ощутимый экологический вред. Следует также отметить, что экспериментальные данные о строении и свойствах основных компонентов древесных растений, произраставших в условиях длительного хронического воздействия радиации, вызванного радиоактивным загрязнением почвы тяжелыми естественными радионуклидами, практически полностью отсутствуют [3].

Цель нашего исследования состояла в оценке содержания и межфазового распределения радия-226 в почвах, донных отложениях и поверхностных водах, а также в выявлении радиационного влияния на древостой осины обыкновенной *Populus tremula*, произраставшей вблизи бывшего радиевого промысла на территории Республики Коми. Предприятие занималось добычей радия из минерализованных подземных вод и продуктов химической переработки урансодержащих руд в период с 1931 по 1956 гг. Специфика проведенных исследований и полученных данных состоит в тесной взаимосвязи с особыми отличительными характеристиками водотоков, почв и лесных массивов радиоактивно загрязнённых территорий северотаёжной подзоны европейской России.

Таблица 1 – Удельные активности  $^{226}\text{Ra}$  в образцах почв\*

Точка отбора	Удельная активностью, Бк/г		Точка отбора	Удельная активностью, Бк/г	
	валовая	$\Sigma$ легкоподвижных форм**		валовая	$\Sigma$ легкоподвижных форм*
Участок № 1 (подзолистая)			Участок № 2 (аллювиально-дерновая)		
П-1	112	1.93	1	0.66	0.32
2	64.8	3.89	2	0.58	0.39
3	4.37	2.41	3	8.26	1.47
4	29.6	2.71	4	2.52	0.59
5	1.98	1.01			

\* в расчете на воздушно-сухое вещество.

\*\* сумма удельной активности легкоподвижных форм нахождения радия (фракции «водорастворимая», «обменная», «карбонаты»).

Исследовано влияние физико-химического и минералогического состава радиоактивно загрязненных подзолистой и дерново-луговой почв на распределение в них радионуклида  $^{226}\text{Ra}$ . В результате проведенных исследований показано, что физико-химический состав почв зависит от способа их загрязнения и в различной степени влияет на подвижность радионуклида. К числу важных факторов, снижающих подвижность  $^{226}\text{Ra}$  в исследуемых почвах, относится содержание фосфора и органического вещества. Исследован гранулометрический состав техногенных почв. Наиболее высокое содержание радия наблюдается во фракции <10 мкм. Установлена роль состава тонкодисперсных фракций техногенных почв в ограничении мобильности радионуклида  $^{226}\text{Ra}$ . Зависимости между содержаниями радионуклида  $C_{\text{Ra}}$  и органического вещества  $C_{\text{орг}}$  в гранулометрических фракциях описываются логарифмической функцией  $C_{\text{Ra}} = a + b \ln(C_{\text{орг}})$ ,  $R^2 = 0.9$  ( $p < 0.05$ ). Полученные результаты свидетельствуют о тесной корреляции экспериментальных данных. Выявлено, что содержание радионуклида и органического вещества положительно

коррелирует с относительным содержанием смектита и иллита и отрицательно коррелирует с содержанием хлорита [4].

Рассмотрены содержание и геохимическая подвижность  $^{226}\text{Ra}$  в поверхностных водах, донных отложениях и радиоактивно загрязненных почвах (табл. 1) северотаежной подзоны в районе бывшего радиевого промысла. Установлено, что в подзолистой почве уровень радиоактивного загрязнения и удельная активность геохимически подвижного радия выше, а его миграция с поверхностными водами слабее, чем в аллювиально-дерновой почве. Выявлено, что дренажные воды последней характеризуются максимальным для района содержанием радия (0.55 Бк/л) и наибольшей его долей во фракциях взвешенного вещества (98 %) и гуминовых кислот (97 %). Для исследованных речных вод подтверждено доминирование взвешенных форм нахождения и фульвокислотной группы соединений радия. Показано, что в условиях низкой температуры и высокой скорости течения воды, слабой сорбционной способности донного материала удельная активность радиоактивного элемента в речных осадках зоны техногенного влияния превышает среднефоновое значение (0.3–1.8 против 0.2 мБк/г). Седиментация радионуклида радия в геохимически подвижных и маломобильных формах нахождения наиболее активно протекает в створах загрязненных участков. В выделенных из почв химических фракциях («карбонаты», «полуторные оксиды и гидроксиды», «обменные») содержание радия было выше, чем в других экстрактах. Совокупная доля групп соединений «водорастворимая», «органическое вещество» и «аморфные силикаты» в подзолистой почве составляла 0.4–3.7 %, в аллювиально-дерновой – 1.6–7.4 % содержания радионуклида, причем фракция «органическое вещество» преобладала. Доля геохимически подвижного радия отрицательно коррелировала с его валовой удельной активностью в почве ( $R = -0.81$ ). Вклад фракции нерастворимого остатка в удельную активность радионуклида в подзолистой почве составил 23.5–95.5, в аллювиально-дерновой почве – 7.8–69.4 %.

Таблица 2 – Показатели радиоактивности почвы и древесины на участках пробоотбора

Участок, №	Удельная активность $^{226}\text{Ra}$ , Бк/г		Содержание урана U, мг/г	
	почва	древесина	почва	древесина
1	0.34±0.03	6.25± 0.92	1.69±0.15	0.015±0.001
2	6.45±0.63	17.6±10.8	86.0±16.4	0.014±0.0003
3	116.9±7.5	34.0±5.67	165.0±15.5	0.013±0.001

Растения способны адаптироваться к неблагоприятным внешним факторам среды, обладая способностью к саморегуляции и оптимизации протекающих в них биохимических реакций. Ключевую роль в осуществлении этих процессов играет структурный компонент всех наземных сосудистых растений – ароматический биополимер лигнин. С целью изучения воздействия радиации на структурную организацию основных компонентов растительной ткани выполнен комплекс физико-химических исследований лигнина древесины осины обыкновенной *Populus tremula*, произраставшей в течение 28-30 лет на участках с нормальным (участок № 1) и повышенным уровнем (участки № 2 и № 3) радиоактивного фона на территории бывшего предприятия по добыче радия-226 (табл. 2). Препараты лигнина выделяли классическим диоксановым методом Пеппера [5]. Для изучения структуры лигнинов использованы методы 2D HSQC-, ЭПР-, FTIR-спектроскопии, пиролитической хромато-масс спектрометрии, элементного и химического анализа.

В результате проведенных исследований установлено, что радиоактивный стресс оказывает заметное влияние на химическую структуру лигнинов (табл. 3), что выражается в изменении количественного соотношения мономерных структурных единиц – увеличивается количество сиригильных единиц в макромолекулах и уменьшается доля гваяцильных и *n*-кумаровых единиц.

Таблица 3 – Результаты количественной оценки основных структурных единиц и межмономерных связей в исследуемых образцах лигнинов (по данным 2D HSQC-спектроскопии), %

	Структурные единицы*			Межмономерные связи			
	G	S	H	A ( $\beta$ -O-4)	B( $\beta$ -5)	C( $\beta$ - $\beta$ )	D**
	28.1	70.7	1.1	60.8	7.0	25.2	5.3
	29.6	69.8	0.6	62.7	7.5	23.6	5.0
	27.9	71.5	0.6	68.5	5.6	20.3	4.2

\* G – гваяцильные, S – сирингильные, H – *p*-кумаровые.

\*\* структуры дибензодиоксицина (тип D).

При оценке количества межмономерных связей и субструктур выявлено увеличение количества  $\beta$ -O-4 связей и снижение числа конденсированных структур в лигнинах, выделенных из древесины, выросшей на участке с повышенным радиационным фоном. С практической точки зрения это означает, что древесина, выращенная в условиях радиационного стресса, способна к более быстрой химико-технологической переработке. Это связано с тем, что изменения композиционного состава и перераспределение межмономерных связей в пользу увеличения доли эфирных связей между мономерными единицами должны приводить к интенсификации и углублению процессов делигнификации этой древесины в варочных процессах производства целлюлозы. При изучении физико-химических характеристик образцов показано, что лигнины осины проявляют выраженные парамагнитные свойства, обусловленные присутствием стабильных феноксильных радикалов. Установлено, что все изученные лигнины обладают высокой антиоксидантной активностью, не уступающей таким эффективным антиоксидантам, как рутин и аскорбиновая кислота.

Выполненные исследования являются составной частью научно-исследовательских работ по комплексному изучению абиотических стрессовых воздействий на природные системы с целью улучшения качества жизни населения Российской Арктики.

*Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания по темам Государственного задания Института геологии и Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН «Развитие минерально-сырьевого комплекса Тимано-Североуральско-Баренцевоморского региона на основе эффективного прогноза, геологического моделирования, геолого-экономической оценки ресурсного потенциала и новых технологий переработки полезных ископаемых» № гос.регистрации 122040600011-5 и «Действие ионизирующего излучения и факторов нерадиационной природы на биологические объекты и биогенная миграция тяжелых естественных радионуклидов» № гос.регистрации 122040600024-5.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рачкова Н.Г., Шуктомова И.И. Сравнительный анализ миграционной способности и концентрирования природного урана в экосистемах рек Печорского бассейна // Радиационная биология. Радиоэкология. 2013. Т.53. № 1. С. 84-94.
2. Рачкова Н.Г., Шапошникова Л.М. Формы нахождения радия-226 в компонентах наземных и водных северотаежных экосистем в районе расположения бывшего радиевого промысла // Геохимия. 2020. Т.65. №6. С. 599-608. DOI: 10.31857/S0016752520050106.
3. Karmanov A.P., Shaposhnikova L.M., Kocheva L.S., Rachkova N.G., Belyy V.A., Lutoev V. Structural features of stress lignin of aspen (*Populus tremula* L.) growing under increased

background radiation // Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2023. V.50. P. 102677. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102677>.

4. Носкова Л.М., Шуктомова И.И. Особенности распределения радия в техногенных почвах в зависимости от их физико-химических и минералогических характеристик // Геохимия. 2015. Т.11. С. 1043-1050.

5. Pepper J.M., Baylis P.E., Adler E. The isolation and properties of lignin obtained by the acidolysis of spruce and aspen woods in dioxane-water // Can. J. Chem. 1959. Vol.37(8). P. 1241-1245.

## УСТАНОВЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СУММЫ ФЛАВANOИДОВ В ЛЕКАРСТВЕННОМ РАСТИТЕЛЬНОМ СЫРЬЕ В РАЙОНАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ

Ларина Г.В.<sup>1</sup>, Дайбова Е.Б.<sup>2</sup>, Макарюк А.Д.<sup>1</sup>, Видяйкина Л.Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Горно-Алтайский государственный университет, г. Горно-Алтайск

<sup>2</sup> Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН, г.Томск, [edaibova@yandex.ru](mailto:edaibova@yandex.ru)

В Горном Алтае расположены области приравненные к районам Крайнего Севера – это Северный и Северо-Восточный Алтай. Климат района резко континентальный, с коротким жарким летом и длинной холодной зимой. Зимой континентальный воздух со стороны Монголии и Восточной Сибири, растекаясь между хребтами Алтая, приносит с собой сухую холодную и ясную погоду. Устойчивая антициклональная погода здесь задерживается на протяжении 5 - 6 месяцев. Лекарственные растения Горного Алтая представляют собой разнообразный набор биологически активных веществ, относящихся к разным классам органических соединений. Известны ценные фитохимические и лекарственные свойства *Ziziphora Clinopodioides*, лапчатки прямостоячей, таволги и болотного дикого розмарина. С помощью стандартного метода анализа было определено содержание флавоноидов в лекарственных растениях Северного и Северо-Восточного Алтая. Содержание флавоноидов определяли методом дифференциальной спектрофотометрии с реагентом  $AlCl_3$ .

Сравнительный анализ лекарственных растений Северного и Северо-Восточного Алтая таких как: зизифора пахучковидной (*Ziziphora clinopodioides*), побеги лапчатки прямостоячей (курильского чая) (*Potentilla erecta*), листья и соцветия лабазника вязолистного (таволги) (*Filipéndula*), побеги багульника болотного (*Lédum palústre*), цветы календулы лекарственной (*Caléndula officinális*), цветы ромашки аптечной (*Matricāria chamomilla*), соцветия липы сердцевидной (*Tilia cordáta*), тимьяна ползучего (чабреца) (*Thýmus serpyllum*), соцветия тысячелистника обыкновенного (*Achilléa millefólium*), соцветия душицы обыкновенной (*Lamiaceae*) показал разнообразный набор биологически активных веществ. Методом дифференциальной спектрометрии с реагентом  $AlCl_3$ , было определено количественное содержание флавоноидов в этих лекарственных растениях и проведена сравнительная характеристика между собой как произрастающих в районах приравненных к Крайнему Северу Республики Алтай

Лекарственное сырье востребовано для глубокой переработки с целью получения лекарственных, профилактических и косметических препаратов. Основными действующими фитоконпонентами в составе лекарственных растений являются флавоноиды. Флавоноиды являются представителями фенольных соединений,

содержат в своей структуре фрагмент дифенилпропана (С6-С3-С6) и представляют собой чаще всего производные 2- фенилхромана (флаван) или 2-фенилхромона (флавоон). Выявлено многообразие биологической активности флавоноидов, что проявляется через антиоксидантный и противовоспалительный эффекты, также исследованиями подтверждена противоопухолевая, противомикробная, противовирусная, антитромбогенная, нейротропная активности [1-4, 5-7]. Флавоноиды способны прямо или косвенно ослаблять или предупреждать клеточные повреждения, вызываемые свободными радикалами [8]. Разнообразная биологическая активность вторичных метаболитов связана с многообразием их химических структур и различными физико-химическими свойствами [9-13].

Горный Алтай обладает богатейшей сырьевой базой дикорастущих лекарственных растений и является значимым центром распространения ботанических видов в Сибири, а также в Казахстане и Монголии. Сложная пространственная структура растительного покрова Горного Алтая обусловлена высокой степенью дифференциации климатических и экологических условий. Указанное определяет специфику обменных процессов в растениях, что в конечном итоге может оказывать влияние на количественное содержание вторичных метаболитов – флавоноидов в дикорастущих видах лекарственного сырья различных агроклиматических районов Горного Алтая.

Целью представленной работы является изучение содержания суммы флавоноидов в растениях, произрастающих в условиях Северного и Северо-Восточного Алтая.

**Экспериментальная часть.** Объектами исследований являлись: трава зизифоры паучковидной (*Ziziphora clinopodioides*); побеги лапчатки прямостоячей (курильского чая) (*Potentilla erecta*); листья лабазника вязолистного (таволги) (*Filipéndula*); побеги багульника болотного (*Lédum palústre*), цветки календулы лекарственной (*Caléndula officínalis*), цветки ромашки аптечной (*Matricária chamómilla*), соцветия липы сердцевидной (*Tília cordáta*), трава тимьяна ползучего (чабреца) (*Thýmus serpyllum*), соцветия тысячелистника обыкновенного (*Achilléa millefólium*), соцветия душицы обыкновенной (*Lamiaceae*).

Образцы сырья собраны в Северном и Северо-Восточном Алтае в фазу цветения – в июле, августе 2019 и 2020 г.

Для определения содержания биологически активных веществ (БАВ) собирали надземную часть, побеги или соцветия с 15-30 особей указанных видов.

Сырье высушивали при 65 °С в сухожаровом шкафу с принудительной конвекцией (LDO-080T, США, 2013) до постоянной массы, измельчали в лабораторно зерновой мельнице ЛЗМ-1 (Россия, 2013) и просеивали через сито с диаметром 2 мм. На электронных лабораторных весах (DL, A&D CO LTD, Япония 2013) взвешивали 1±0,0001 г фракционированного сырья, помещали в колбу объемом 250 мл со шлифом диаметром 15 мм. Добавляли 100 мл 70% этилового спирта, и проводили экстракцию на кипящей водяной бане (Simax Kavalier EL-200, Чехия, 2000) с обратным холодильником при температуре 98 °С в течение 1 часа. Полученный экстракт охлаждали до комнатной температуры, отфильтровывали, объем полученного фильтрата довели до метки в мерной колбе до 100 мл 70% раствором этилового спирта [13].

1 мл фильтрата переносили в мерную колбу объемом 25 мл, добавляли 1 мл 3% раствора  $AlCl_3$  в 95% этиловом спирте, 1 каплю разведенной  $CH_3COOH$  (33%) и 70% раствор спирта до метки и оставляли на один час. Сумму флавоноидов в исследуемых лекарственных растениях определяли методом дифференциальной спектрофотометрии. Регистрация электронных спектров водно-спиртовых извлечений анализируемого растительного сырья и стандартного раствора рутина проводили на спектрофотометре ПЭ-5400ВИ (Россия, 2013) при аналитической длине волны 412 нм. УФ-спектры были

построены посредством интерполяции кубическими сплайнами функциональной зависимости оптической плотности от длины волны, представленной набором точек, в среде «Mathematica 11.0». Для раствора сравнения 1 мл фильтрата переносили в мерную колбу емкостью 25 мл, добавляли 1 каплю  $\text{CH}_3\text{COOH}$  и 70% раствор спирта до метки.

Приготовление раствора стандартного образца (СО) рутина: 0,02 г рутина (химически чистый) помещали в мерную колбу объемом 50 мл, растворяли при нагревании на водяной бане в 70% водно-спиртовом растворе. Охлаждали, раствор доводили до метки 70% раствором этилового спирта. В мерную колбу емкостью 25 мл помещали 1 мл приготовленного СО рутина, добавляли 1 мл 3% раствора  $\text{AlCl}_3$  в 95% этиловом спирте, 1 каплю  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (33%) и 70% раствор спирта до метки.

Измеряли оптическую плотность полученного раствора СО рутина с  $\text{AlCl}_3$  относительно раствора сравнения. Раствором сравнения являлся раствор СО рутина, приготовленный в аналогичных условиях, но без реагента  $\text{AlCl}_3$ . Содержание суммы флавоноидов в пересчете на рутин в исследуемом растительном сырье рассчитывали по формуле (1):

$$X = [(A_x \cdot m_{\text{ст}} \cdot 2500) / (A_{\text{ст}} \cdot m_{\text{сырья}} \cdot 2500)] \cdot 100, \quad (1)$$

где  $X$  – содержание суммы флавоноидов, в %;  $A_x$  – оптическая плотность экстракта с раствором  $\text{AlCl}_3$ ;  $A_{\text{ст}}$  – оптическая плотность раствора комплекса СО рутина с  $\text{AlCl}_3$ ;  $m_{\text{сырья}}$  – масса сырья, г;  $m_{\text{ст}}$  – масса стандартного образца рутина, г.

Процесс достижения комплексообразования флавоноидов с реагентом  $\text{AlCl}_3$  регистрировали дифференциальным методом спектрофотометрического анализа. Относительная ошибка определения суммы флавоноидов в исследуемом растительном сырье в пересчете на рутин составляет 3-5%.

### Результаты.

Интегральные спектры комплексных соединений флавоноидов с реагентом  $\text{AlCl}_3$  и дифференциальные спектры комплексных соединений флавоноидов с реагентом  $\text{AlCl}_3$ . Для флавоноидов листья лабазника вязолистного (таволги) (*Filipéndula*); лапчатки прямостоячей (*Potentilla erecta*); и багульника болотного (*Lédum palústre*). правомерно использовать в качестве стандарта рутин: с  $\lambda_{\text{max}}$  412 нм. В водно-спиртовых извлечениях зизифоры пахучковидной (*Ziziphora clinopodioides*); побеги лапчатки прямостоячей (курильского чая) (*Potentilla erecta*); листья лабазника вязолистного (таволги) (*Filipéndula*); побеги багульника болотного (*Lédum palústre*) преобладают флавоноиды, комплексы которых с  $\text{AlCl}_3$  доставляют максимумы при меньшей  $\lambda$ : 375-385 нм.

Согласно УФ-спектрам максимальная длина волны ( $\lambda_{\text{max}}$ ) для ряда флавоноидов в водно-спиртовом экстракте зизифоры пахучковидной (*Ziziphora clinopodioides*) возможно присутствие: 7-О-рамнозида (372 нм), мирицетина (377 нм), рамнетина (375 нм), изорамнетина (375 нм). В водно-спиртовом экстракте лапчатки прямостоячей (курильского чая) (*Potentilla erecta*) при  $\lambda_{\text{max}}$  366 нм: эллаговые кислоты (366 нм), халконы (340-390 нм), ауруны (380-430 нм). В водно-спиртовом экстракте лабазника вязолистного (таволги) (*Filipéndula*) преобладают галловая, п-кумаровая и ванилиновая кислоты, гликозидов кверцетина (рутин, гиперозид, авикулярин, спиреозид, кверцетин-3-глюкуронид и кемпферол-4-глюкозид), присутствуют изокверцитрин и 4'-О- $\beta$ -D-галактопиранозид кверцетина, в побегах багульника болотного (*Lédum palústre*): оксихиноны-бензохинона (375-410 нм) [2], в цветках календулы лекарственной (*Caléndula officinális*): оксихиноны-производные бензохинона (375-410 нм); ауруны (380-430 нм) [13], в цветках ромашки аптечной (*Matricāria chamomilla*): оксихиноны-производные бензохинона (375-410 нм), в соцветиях липы сердцевидной (*Tilia cordāta*): антрахиноны (400 нм); оксихиноны-производные бензохинона (375-410 нм), в надземной части чабреца (тимьяна ползучего) (*Thýmus serpyllum*): флавонолы (340-

380 нм); (340-390 нм) халконы, в соцветиях тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium*): эллаговые кислоты (366 нм); халконы (340-390 нм), в соцветиях душицы обыкновенной (орегано) (*Lamiaceae*): оксихиноны-производные бензохинона (375-410 нм); эллаговые кислоты (366 нм); флавонолы (340-380 нм); халконы (340-390 нм); ауроны (380-430 нм) [13-15].

Применение в качестве СО рутина при определении флавоноидов в побегах лапчатки прямостоячей (курильского чая) *Potentilla erecta*, в лабазнике вязолистном (*Filipéndula*), в багульнике болотном (*Lédum palústre*), в цветках календулы лекарственной (*Caléndula officinális*), в цветках ромашки аптечной (*Matricāria chamomilla*), в соцветиях липы сердцевидной (*Tilia cordáta*) подтверждено дифференциальными спектрами водно-спиртовых экстрактов с реагентом  $AlCl_3$ :  $\lambda_{max}$  составляет 412 нм.

Содержание суммы флавоноидов, определенное методом дифференциальной спектрофотометрии при аналитической длине волны 412 нм в пересчете на рутин составляет в воздушно-сухом сырье зизифоры пахучковидной *Ziziphora clinopodioides* –  $4,72 \pm 0,23$  %; в побегах лапчатки прямостоячей (курильского чая) (*Potentilla erecta*) –  $(8,36 \pm 0,36)\%$ ; в листьях и цветках листа лабазника вязолистного (таволги) (*Filipéndula*) –  $(9,25 \pm 0,47)\%$ ; в побегах багульника болотного (*Lédum palústre*) –  $(4,72 \pm 0,15)\%$ ; в цветках календулы лекарственной (*Caléndula officinális*) –  $(0,95 \pm 0,04)\%$ ; в цветках ромашки аптечной (*Matricāria chamomilla*) –  $(6,24 \pm 0,31)\%$ ; в соцветиях липы сердцевидной (*Tilia cordáta*) –  $(3,10 \pm 0,12)\%$ ; в траве чабреца (тимьяна ползучего) (*Thýmus serpyllum*) –  $(4,63 \pm 0,24)\%$ ; в соцветиях тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium*) –  $(4,12 \pm 0,19)\%$ ; в соцветиях душицы обыкновенной (*Lamiaceae*) –  $(9,94 \pm 0,36)\%$ .

#### **Заключение.**

Определено количественное содержание суммы флавоноидов в лекарственных растениях Северного и Северо-Восточного Алтая. Ряд представителей из перечня лекарственных растений характеризуется повышенным содержанием флавоноидов, что, возможно, является отражением экологических условий произрастания в зоне Крайнего Севера. Таким образом, результаты сравнительного изучения электронных спектров водно-спиртовых экстрактов из исследуемых растений показали, что исследуемое лекарственное сырье содержит различные группы флавоноидов. Получены предварительные результаты, свидетельствующие о многообразии качественного состава флавоноидов в лекарственных растениях горного региона.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Огуреева Г.Н. Ботаническая география Алтая. М. : Наука, 1980. 188 с.
2. Храмова Е.П., Кукушкина Т.А., Шалдаева Т.М., Сыева С.Я. Сравнительное исследование биологически активных веществ *Dasiphora fruticosa* и *Comarum Salesovianum* из Горного Алтая // Химия растительного сырья. 2020. № 1. С. 189–197.
3. Минаева В.Г. Лекарственные растения Сибири. Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1991. 431 с.
4. Щербаков А.В., Чистякова М.В., Рахманкулова З.Ф., Усманов И.Ю. Физиологические аспекты регуляции пластичности накопления флавоноидов на Южном Урале // Вестник Башкирского университета. 2012. № 17 (2). С. 931–942.
5. Руководство по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище. М. : Фед. центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 240 с.
6. Государственная Фармакопея Российской Федерации. XIV изд. М., 2018. URL: <http://femb.ru/femb/pharmacopea.php> (дата обращения: 25.04.2021).
7. Куркин В.А., Правдивцева О.Е., Морозова Т.В., Куркина А.В., Шайхутдинов И.Х., Кретова А.А. Разработка методики количественного определения суммы флавоноидов

- в цветках боярышника полумягкого // Химия растительного сырья. 2019. № 3. С. 137–144.
8. Корулькин Д.Ю., Абилов Ж.А., Музычкина Р.А., Толстикова Г.А. Природные флавоноиды. Новосибирск : Гео, 2007. 232 с.
9. Лубсандоржиева П.Б. Антиоксидантная активность экстрактов из *Bergenia crassifolia* Fritsch (L.) и *Vaccinium vitis-idaea* L. in vitro // Химия растительного сырья. 2006. № 4. С. 45–48.
10. Авдеева Е.Ю., Краснов Е.А., Шилова И.В. Компонентный состав фракции *Filipendula ulmaria* с высокой антиоксидантной активностью // Химия растительного сырья. 2008. № 3. С. 115–118.
11. Косман В.М., Пожарицкая О.Н., Шиков А.Н., Макаров В.Г. Сравнительное изучение содержания флавоноидов и кумаринов в некоторых препаратах ромашки аптечной // Химия растительного сырья. 2015. № 1. С. 107–112.
12. Запрометов М.Н. Основы биохимии фенольных соединений. М. : Высш. школа, 1974. 213 с.
13. Краснов Е.А., Авдеева Е.Ю. Химический состав растений рода *Filipendula* (обзор) // Химия растительного сырья. 2012. № 4. С. 5–12.
14. Авдеева Е.Ю., Краснов Е.А., Шилова И.В. Динамика содержания флавоноидов и фенолоксилов в надземной части *Filipendula ulmaria* (Rosaceae) // Растительные ресурсы. 2009. № 45 (1). С. 107–112.
15. Высочина Г.И., Кукушкина Т.А., Шалдаева Т.М. Содержание основных групп биологически активных веществ в растениях сибирских видов. *Filipendula* Mill // Химия растительного сырья. 2014. № 2. С. 129–135.

### **ИЗМЕНЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ И ГИГРОСКОПИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННИЦЫ ГМЕЛИНА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ДЕРЕВОРАЗРУШАЮЩИХ ГРИБОВ**

*Лоскутов С.Р., Шапченкова О.А., Анискина А.А., Мухортова Л.В.*

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск, [shapchenkova@mail.ru](mailto:shapchenkova@mail.ru)

Леса представляют собой большой резерв углерода в глобальном бюджете. При этом значительная часть углерода (до 20%) может находиться в виде крупных древесных остатков [1]. В условиях Арктики разложение растительного материала и особенно крупных древесных остатков происходит очень медленно. Исследования изменения свойств древесины при разложении крупных древесных остатков в условиях Арктики ограничены. Редколесье лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr) является единственным типом древостоя Циркумполярной Арктики на территории филиала «Ары-Мас» государственного биосферного заповедника «Таймырский» и широко известно как самый северный в мире лесной массив. Оно представляет собой остров редкостойного леса в пределах южных тундр [2]. Цель данной работы состояла в определении показателей неизотермической термодеструкции и гигроскопических свойств древесины лиственницы Гмелина разной стадии разложения (биодеградаци).

Исследования проводили в лиственничных редколесьях (участок «Ары-Мас» (72.54 с.ш., 101.47 в.д.), где основным и единственным лесообразующим древесным видом является лиственница Гмелина. Высота деревьев достигает до 5–7 м, диаметр стволов – 7–20 см. Древостои Vб класса бонитета с относительной полнотой 0.5 и сомкнутостью полога до 0.3 [3]. Средняя температура января составляет -34 °С, июля – около 12 °С, средняя годовая температура – -14 °С. Среднегодовое количество осадков

– 300–350 мм в год [4,5]. Рассматриваемый регион относится к области сплошных вечномерзлых грунтов, мощность залегания которых превышает 300 м [6].

Образцы древесины для проведения анализов отбирали от валежных стволов лиственницы разной стадии разложения, имеющих признаки поражения грибами белой гнили. На основе визуальных признаков и физических свойств древесины выделяли 4 стадии разложения [7]: 1) древесина еще не потеряла своей исходной плотности, кора плотно прилегает к древесине, на стволе сохранены еще мелкие и средние ветви (С1); 2) древесина частично утратила свою плотность, кора легко отслаивается от древесины, но кора и крупные ветви все еще присутствуют на стволе (С2); 3) древесина в значительной степени утратила свою исходную плотность, нож легко входит в нее, кора и крупные ветви частично сохранены на стволе (С3); 4) древесина рыхлая – легко деформируется при нажатии, кора частично может сохраняться на стволе, крупные ветви почти полностью отсутствуют (С4).

Образцы отбирали в виде дисков на всю ширину ствола. Для каждой стадии разложения было отобрано по три образца от разных стволов. Для сравнения были отобраны образцы древесины двух живых деревьев (стадия 0, контроль). Образцы высушивали до воздушно-сухого состояния, затем измельчали, не допуская их нагрева, до получения фракции опилок ~0.1–0.3 мм. Для экспериментов использовали смешанные образцы для каждой стадии. Термический анализ и определение гигроскопичности проводили в трех повторностях по методам, описанных нами ранее [8–10].

На рис. 1 и 2 показаны результаты термогравиметрии (ТГ) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) образцов. В процессе термической деструкции древесины наблюдается преимущественное разложение низкомолекулярных веществ и полисахаридов (180–290 °С), целлюлозы (290–370 °С) и лигнина (370–470 °С), а также окисление термостабильных конденсированных полифенолов и образовавшегося угля (выше 470 °С).

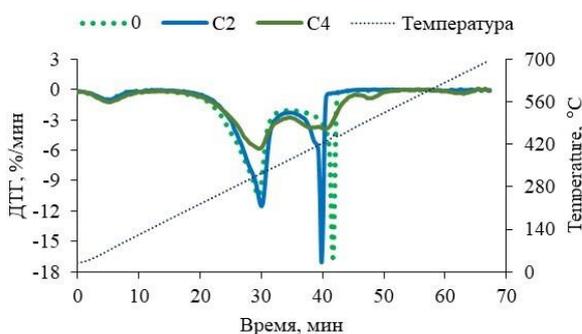


Рис. 1 – Дифференциальные термогравиметрические (ДТГ) кривые образцов древесины лиственницы 2 и 4 стадий биодegradации по сравнению с контролем (0). Скорость нагрева 10 С°/мин в окислительной среде (воздух). Стандартное отклонение потери массы в термогравиметрическом эксперименте изменялось от 0.03 до 2.24% в температурном диапазоне от 150 до 700 °С

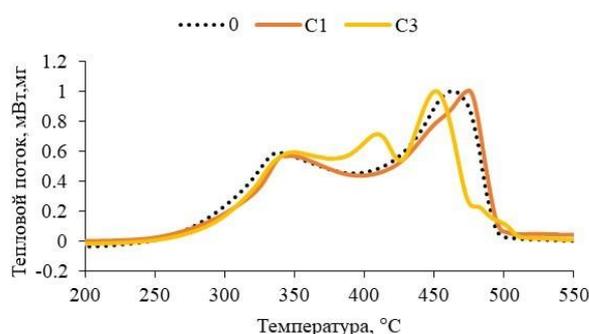


Рис. 2 – ДСК-профили термической деструкции древесины лиственницы 1 и 3 стадий биодegradации по сравнению с контролем (0). Скорость нагрева 10 С°/мин в окислительной среде (воздух). Стандартное отклонение теплового потока изменялось от  $6.20 \cdot 10^{-4}$  до  $1.9 \cdot 10^{-2}$  мВт/г в температурном интервале от 25 до 550 °С

Из представленных рисунков видно, что амплитуда, полуширина и температура пиков ДТГ различны для исследованных образцов. Существенно различается температура экзотермических пиков ДСК и площадь под кривыми теплового потока, пропорциональная тепловому эффекту термического разложения образцов древесины

разной стадии биodeградации. Из-за значительной химической гетерогенности исследуемых образцов и частично перекрывающихся пиков ДТГ, отвечающих их индивидуальным компонентам, при ТГ/ДТГ анализе регистрируется так называемый контур ДТГ, «содержание» которого можно увидеть после его деконволюции или по четвертой производной (рис. 3).

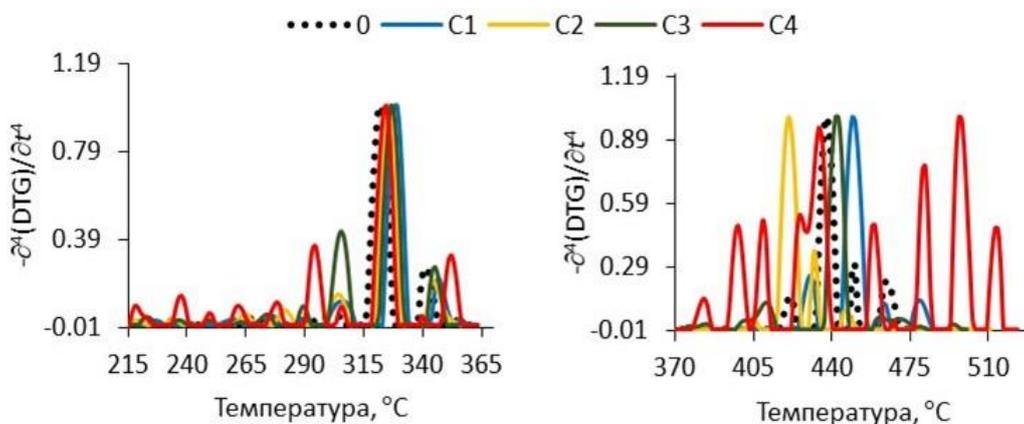


Рис. 3 – Четвертые производные контуров ДТГ окислительной термодеструкции древесины лиственницы. 1 – 4 – стадии биodeградации, 0 – контроль.  $\partial^4(\text{ДТГ})/\partial t^4$  как функции температуры рассчитаны после сплайн-интерполяции по Савицкому-Голау (последовательно по 4 точкам свертки экспериментальных зависимостей  $\text{ДТГ} = f(t, \text{ }^\circ\text{C})$  и последующей генерацией производных  $\partial^4(\text{ДТГ})/\partial t^4 = f(t)$

Из рис. 3 определяется существенное изменение картины термодеструкции древесины в результате биodeградации и присутствия в ней материала микроскопических грибов. Различия прослеживаются в температурных интервалах, характеризующих термодеструкцию низкомолекулярных компонентов и углеводного комплекса, лигнина и других термостабильных соединений. Древесина, подверженная воздействию дереворазрушающих грибов, характеризуется иными (по сравнению с неповрежденной древесиной) кинетическими параметрами процесса термодеструкции: энергией активации и кажущейся константой скорости реакций термодеструкции (рис. 4 и 5).

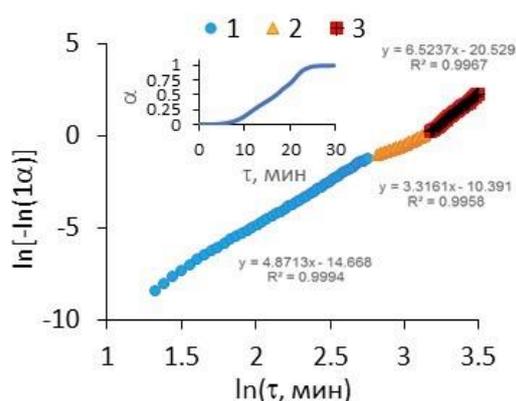


Рис. 4 – Пример построения графика Колмогорова-Ерофеева-Авраами по интегралу профиля ДСК (на врезке:  $\alpha$  – степень завершенности экзотермического процесса) для расчета кажущейся константы скорости реакции термической деструкции древесины лиственницы 3 стадии биodeградации

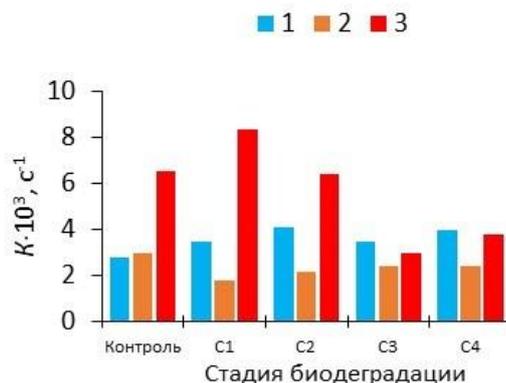


Рис. 5 – Константы скорости ( $K$ ) термического разложения древесины лиственницы. Стандартное отклонение при определении  $K$  изменялось от  $1.67 \cdot 10^{-4}$  до  $8.33 \cdot 10^{-4} \text{ c}^{-1}$ . Температурный диапазон: 1 – 250–350, 2 – 350–450, 3 – 450–530 °C

Для исследованной серии образцов, «уравновешенных» с влажностью окружающей среды (воздуха) при 55–60%, установлена зависимость содержания гигроскопической влаги от стадии биодegradации: влагосодержание древесины (г H<sub>2</sub>O/г сухого вещества) от контрольного образца до наиболее деградированного изменяется по линейному закону ( $R^2 = 0.829$ ) от 4.72 до 6.70%. При этом остаточная масса после термодеструкции образцов изменялась по экспоненте ( $R^2 = 0.989$ ) от 1.48 до 8.49%.

Зависимость одного из важных термодинамических показателей – изменение энтальпии (или теплового эффекта) испарения влаги и окислительной термодеструкции от стадии биодegradации древесины иллюстрирует рис. 6.

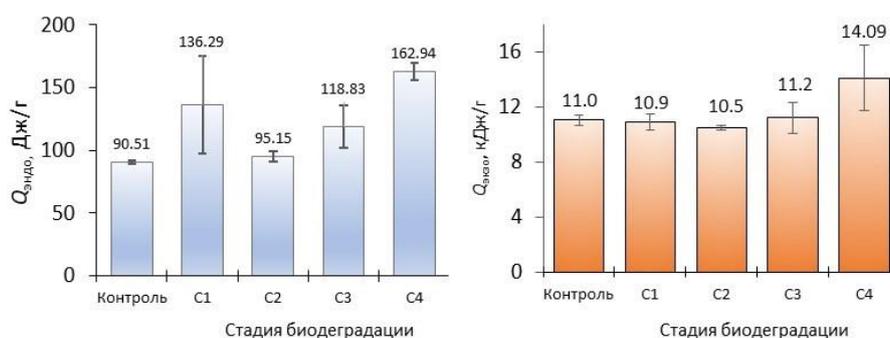


Рис. 6 – Средние значения величины эндотермического эффекта испарения влаги (А) и экзотермического эффекта (Б) термоокислительной деструкции древесины лиственницы. Погрешность определения тепловых эффектов в тестах по ДСК не превышала 5%

Анализ кинетики сорбции воды (изначально сухими образцами древесины разной стадии разложения) при относительной влажности среды 95% свидетельствует о сложности процесса, обусловленного химической гетерогенностью образцов и протеканием релаксационных переходов в их полимерном матриксе.

На рис.7 в качестве примера приведены кинетические кривые поглощения паров воды образцами неповрежденной древесины (контроль) и 4-ой стадии биодegradации.

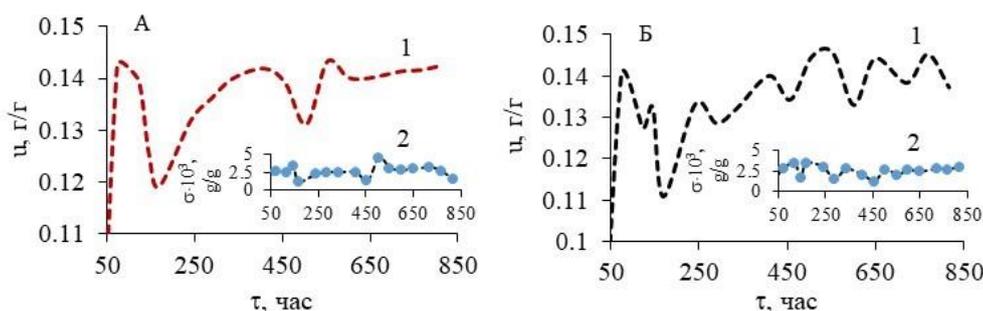


Рис. 7 – Кинетика сорбции влаги образцами древесины лиственницы при относительной влажности среды 95%. (А) – контроль, (Б) – 4 стадия биодegradации, 1 – кинетические кривые, 2 – зависимость соответствующего стандартного отклонения от продолжительности сорбции влаги

### Заключение

Впервые охарактеризована термоокислительная деструкция и гигроскопичность древесины лиственницы Гмелина, подверженной воздействию дереворазрушающих грибов в зоне Циркумполярной Арктики. Полученные результаты представляют интерес в трех наиболее важных, с нашей точки зрения, аспектах: биотехнологическом (получение новых продуктов в результате переработки биодegradированной древесины), экологическом (трансформация лигноцеллюлозного материала в условиях

арктической зоны – круговорот углерода) и пирологическом (накопление «black carbon» в результате масштабных пожаров в зоне распространения вечной мерзлоты).

*Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания по теме «Снижение рисков возрастающего воздействия болезней и вредителей на лесные экосистемы в условиях глобальных изменений окружающей среды», № гос.регистрации 0287-2021-0011.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Weedon J.T., Cornwell W.K., Cornelissen J.H.C., Zanne A.E., Wirth C., Coomes D.A. Global meta-analysis of wood decomposition rates: a role for trait variation among tree species? // Ecology Letters. 2009. Vol. 12. P. 45-56.
2. Walker D.A., Raynolds M.K., Daniëls F.J.A., Einarsson E., Elvebakk A., Gould W.A., Katenin A.E., Kholod S.S., Markon C.J., Melnikov E.S., Moskalenko N.G., Talbot S.S., Yurtsev B.A., and other members of the CAVM Team. The Circumpolar Arctic Vegetation Map // Journal of Vegetation Science. 2005. Vol. 16. P. 267-282.
3. Проект освоения лесов федерального государственного учреждения «Государственный природный биосферный заповедник «Таймырский». Хатанга, 2010. 92 с.
4. Щербакова Е.Я. Восточная Сибирь / Климат СССР. Л., 1961. Вып. 5. 300 с.
5. Летопись природы государственного природного биосферного заповедника «Таймырский». Книга 18. Хатанга, 2003. 393 с.
6. Игнатенко И. В. Почвенный покров // Ары-Мас: Природные условия, флора и растительность самого северного в мире лесного массива. Л.: Наука, 1978. С. 30-64.
7. Fraver S., Wagner R.G., Day M. Dynamics of coarse woody debris following gap harvesting in the Acadian forest of central Maine, USA // Canadian Journal of Forest Research. 2002. Vol. 32. P. 2094-2105.
8. Tyutkova E.A., Loskutov S.R., Petrov I.A. Thermal responses of mountain birch and Siberian larch of an alpine forest-tundra ecotone to climate change // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2022. Vol. 147. P. 3625-3632.
9. Shapchenkova, O., Loskutov S., Aniskina A., Börcsök Z., Pásztor Z. Thermal characterization of wood of nine European tree species: thermogravimetry and differential scanning calorimetry in an air atmosphere // European Journal of Wood and Wood Products. 2022. Vol. 80. P. 409-417.
10. Лоскутов С.Р., Шапченкова О.А., Анискина А.А., Пастори З. Гигроскопические свойства древесины лиственных пород // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2022. № 2. С. 92-102.

### **СОВРЕМЕННАЯ ЭКСПАНСИЯ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ГОРНУЮ ТУНДРУ ПОЛЯРНОГО УРАЛА: ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ КЛИМАТОГЕННОЙ ДИНАМИКИ**

*Мазера В.С.*

Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург,  
mazera@ipae.uran.ru

Изучению климатогенной динамики лесотундровых сообществ, произрастающих в экотоне верхней границы древесной растительности, уделяется значительное внимание [1-7]. Целью этих исследований является необходимость оценки отклика лесотундровых и лесолуговых сообществ на современное потепление и

увлажнение климата, начавшемся в конце XIX – начале XX вв. и продолжающегося до настоящего времени. Наиболее перспективны такие исследования в высокогорных и северных районах, где наблюдается высокая изменчивость климатических условий, а древесная растительность произрастает в экстремальных условиях. Кроме того, во многих из этих районов влияние антропогенных факторов сведено к минимуму.

В пределах Уральской горной страны динамика высокогорной древесной растительности на верхнем пределе ее произрастания наиболее четко выражена на Полярном Урале, где в течение последнего тысячелетия происходили существенные изменения в ее составе, структуре и пространственном распределении. Наиболее перспективным районом для изучения динамики древесной растительности является бассейн р. Соби, в частности подножия склонов массива Рай\_Из и горы Черной, где выше современной верхней границы леса и под пологом современных редколесий сохранилось большое количество остатков давно отмерших деревьев лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.). В настоящей работе приведена количественная характеристика расселения и роста лиственницы сибирской за последнее столетие в бассейне р. Кер\_Доман\_Шор, у подножия юго\_восточного склона горного массива Рай\_Из. Характерная особенность этого участка склона площадью около 40 га – наличие большого количества хорошо сохранившихся остатков усохших лиственниц в верхней части экотона верхней границы древесной растительности (диаметр некоторых из них достигал 40 см).

В 1983 г. на юго\_восточном склоне массива Рай\_Из была заложена высотная трансекта площадью 0.86 га в пределах полностью отмершего к концу XIX в. лиственничного редколесья. Трансекта начинается на высоте 340 м над ур. м., где сохранились наиболее высоко расположенные остатки отмерших деревьев в виде валежа и сухостоя, и заканчивается вблизи современной верхней границы редколесий (280 м над ур. м.). Ближайший небольшой островок лиственничного редколесья удален к юго\_западу от трансекты на 200 м. Склон защищен от сильных зимних ветров, а мощность снегового покрова достигает 0.5–1.0 м. Произрастающие здесь деревья имеют одноствольную форму роста. Крутизна склона небольшая (7–8 град), его поверхность покрыта горнотундровой почвой. Напочвенный покров представлен ерничково-осоково-разнотравной тундрой. Его сомкнутость составляет 60–70%. Мхи отсутствуют. Сомкнутость лишайникового покрова, состоящего в основном из кустистых видов, не превышает 20%. Площадь не покрытых растительностью щебнистых и земляных пятен около 15%. На этом склоне выражен термический тип верхней границы леса, поэтому здесь наблюдается постоянное смещение верхнего предела произрастания лесотундровых сообществ под влиянием вековых и внутривековых изменений климата.

Прямоугольная высотная трансекта длиной 430 м и шириной 20 м была разбита на 86 учетных площадок размером 10X10 м, по две площадки в ряду. В углах площадок установлены каменные столбики. Левый ряд столбиков пронумерован сверху вниз (от 1 до 44). Географические координаты верхнего левого угла трансекты следующие: 66°51'19" с.ш., 65°38'57" в.д., 340 м над ур. м., нижнего – 66°51'08" с.ш., 65°38'51" в.д., 280 м над ур. м.

В пределах трансекты в 1983 г. было закартированы и описаны 252 древесных остатка различной степени перегнивания и 19 живых лиственниц. С каждого древесного остатка были взяты поперечные спилы для определения календарного времени жизни деревьев при помощи дендрохронологического метода. Поскольку эти остатки находятся на месте их произрастания, представилась возможность реконструировать смещение верхних границ распространения лесотундровых сообществ с высокой степенью точности.

Одной из целей закладки трансекты было слежение за процессом формирования лесотундровых сообществ на тундровых участках, на которых до середины XIX в.

произрастала древесная растительность. Такой процесс наблюдается в связи с улучшением лесорастительных условий, вызванных современным потеплением и увлажнением климата. На всех площадках трансекты в 1983, 2004 и 2014 гг. было произведено картирование и описаны появившиеся лиственницы. У каждой живой особи измеряли и определяли такие показатели, как высота, диаметр у основания ствола и на высоте 1.3 м, возраст, жизненность. В 2004 г., кроме того, были произведены замеры величины прироста верхушечного побега, а в 2014 г. – горизонтальной проекции кроны.

На трансекте и прилегающих участках склона в 1977, 1983, 1996, 2004 и 2014 гг. производилось повторное ландшафтное фотографирование в целях визуальной иллюстрации изменений в древесной растительности.

Результаты дендрохронологических датировок древесных остатков на трансекте показали, что с VIII до XIV в., т.е. во время Средневекового потепления климата, верхняя граница древесной растительности постепенно поднималась выше в горы и достигла максимальной высоты (340 м) в XIII в. Затем наступил Малый ледниковый период (с XIV до XX в.), когда происходило массовое отмирание деревьев, что привело к снижению верхней границы произрастания древесной растительности до 260–280 м над ур. м. Наиболее интенсивное снижение этой границы наблюдалось в XV и XIX вв. [8, 9]. В конце XIX в. на трансекте не осталось ни одного живого дерева. Ситуация изменилась в начале XX в., когда на трансекте стал появляться жизнеспособный подрост.

Во время закладки трансекты в 1983 г. в ее нижней половине было обнаружено 19 живых лиственниц и одна усохшая. Первая живая лиственница появилась в 1903 г. и в возрасте 80 лет имела высоту 4 м. Следующие две лиственницы появились только через 40 и 45 лет (в 1943 и 1948 гг.). Более интенсивное возобновление лиственницы происходило с 1963 по 1975 г. Следующий пересчет живых лиственниц на трансекте был произведен в 2004 г., т.е. через 21 год. За это время появилось 129 молодых лиственниц. Их расселение произошло в основном в нижней и средней частях трансекты. Последний пересчет лиственниц был произведен в 2014 г., т.е. через 10 лет. За небольшой промежуток времени (7 лет) появилось 220 молодых лиственниц (всходы возрастом 1–3 года не учитывали). В течение этого промежутка времени усохло 9 лиственниц, появившихся между 1983 и 2004 гг., что составляет 7% от их общего количества. В настоящее время на трансекте произрастает 359 лиственниц различного возраста и высоты. Их расселение сосредоточено преимущественно в нижней и средней частях трансекты. Плотность особей для всей трансекты составляет 415 шт/га, в нижней и средней частях трансекты плотность лиственниц достигает 750–900 шт/га, а на отдельных квадратах 2000–2200 шт/га. За весь рассматриваемый период хорошо просматривается увеличение интенсивности лесовозобновления лиственницы сибирской.

На ландшафтных фотоснимках, сделанных в средней части трансекты в разное время с одной и той же точки, хорошо видны основные этапы экспансии древесной растительности, начиная от безлесной тундры (1977 г.), одиночных деревьев в тундре (2004 г.) и заканчивая молодым редколесьем (2014 г.).

Обращает на себя внимание хорошее жизненное состояние лиственницы, произрастающей как на трансекте, так и на прилегающих участках склона. Преобладают деревья одноствольной формы роста. Флагообразность крон выражена слабо. Это свидетельствует о том, что на этом склоне в зимний период отсутствуют жесткие ветровые условия. Здесь отлагается снеговой покров мощностью не менее 50 см, который предохраняет почву и корневые системы древесных растений от низких температур. О благоприятности условий местообитания на трансекте свидетельствует и величина прироста лиственницы в высоту.

Площадь, занятая тундровым сообществом, уменьшилась до 15%, а площадь тундры с одиночными деревьями – до 8%. Перечеты живых лиственниц в различные временные отрезки позволили количественно оценить смещение верхней границы произрастания различных типов лесотундровых сообществ (тундра с одиночными деревьями, редина, редколесье) за последнее столетие. Скорость продвижения верхней границы одиночных деревьев по вертикали составила в среднем 2 м в год.

В течение последнего десятилетия произошло существенное увеличение площади, занятой лиственничным редколесьем в нижней половине трансекты, на высоте от 280 до 312 м над ур. м. Средняя скорость продвижения верхней границы лиственничных редколесий выше в горы за последние 25 лет составила 1.3 м в год.

С начала прошлого столетия по настоящее время происходила экспансия древесной растительности в горную тундру на участке склона, на котором произрастали продуктивные лиственничные редколесья во время Средневекового потепления климата (VIII–XIII вв.). На этом склоне все деревья усохли во время Малого ледникового периода (XIV–XIX вв.), при этом верхняя граница произрастания древесной растительности снизилась с 340 до 260 м над ур. м. В конце XIX в. на трансекте не осталось ни одного живого дерева. Процесс расселения лиственницы в горную тундру начался в первом десятилетии XX в. В нижних и средних участках трансекты появились одиночные деревья. В 1960–1980-х годах количество живых лиственниц заметно увеличилось. В этот период сформировались две лиственничные редины. Между 1983 и 2004 гг. интенсивность лесовозобновления резко возросла, молодые особи появились и в верхней части трансекты. Наиболее интенсивное возобновление лиственницы происходило в течение последних 10 лет, когда появилось свыше 219 молодых лиственниц и в нижней половине трансекты сформировалось лиственничное редколесье.

Экспансия лиственницы в горную тундру обусловлена улучшением лесорастительных условий в связи с потеплением и увлажнением климата как в летние, так и в зимние периоды. Подтверждает это анализ инструментальных данных за последние 130 лет по метеостанции г. Салехарда, расположенного в 55 км к востоку от трансекты. Согласно этим данным, в 1920-х годах произошло существенное потепление и увлажнение климата, которое продолжается до настоящего времени. Средняя температура летних месяцев (июня–августа) в 1883–1920 гг. составляла 10.6°C, в 1921–2004 гг. – 11.2°C, т.е. возросла на 0.6°C. Температура зимних месяцев (ноябрь–март) за те же периоды увеличилась на 1.1°C (с –20.6°C до –19.5°C). Среднее количество осадков в летние месяцы в 1891–1920 гг. составило 147 мм, в 1921–2004 гг. – 179 мм, т.е. увеличилось на 32 мм, а в зимние месяцы – с 67 до 114 мм, т.е. возросло на 47 мм. Последнее десятилетие было самым теплым за весь период метеорологических наблюдений. Температура летних месяцев увеличилась на 1.1°C по сравнению с периодом 1921–2004 гг., а зимних месяцев – на 0.8°C. Количество осадков в летние месяцы за 2005–2014 гг. не изменилось по сравнению с 1921–2004 гг., а зимних осадков возросло на 8 мм.

Как показало сравнение реконструированных летних температур по ширине годовых колец лиственницы в разных районах Сибирской Субарктики [10], на Полярном Урале в XX в. происходило наиболее значительное потепление климата по сравнению с севером Западной Сибири и Таймыром. Существенное значение для интенсивной экспансии древесной растительности имел более ранний срок начала вегетационного периода, о чем свидетельствует повышение температуры мая. В результате этого длительность вегетационного периода при круглосуточном солнечном освещении увеличилась на 5–7 дней.

Высотный градиент температуры летних месяцев на Полярном Урале составляет 0.7°C. Температурная граница, при которой в настоящее время возможно существование древесной растительности, поднялась выше в горы более чем на 100 м.

В действительности, верхняя граница на трансекте поднялась по вертикали лишь на 55–60 м. Таким образом, верхняя граница произрастания древесной растительности еще не достигла климатически обусловленного предела и высотного уровня, до которого она поднималась во время Средневекового потепления климата.

Анализ появления и роста лиственниц на трансекте, заложенной на юго-восточном склоне массива Рай\_Из, показал, что в течение последних 110 лет происходило непрерывное расселение лиственницы в горную тундру. Начальные этапы расселения были медленными. В первой половине XX в. появились одиночные деревья и небольшие участки редин. В течение последних двух десятилетий процесс формирования лесотундровых сообществ значительно ускорился. В настоящее время большая часть трансекты занята молодыми лиственничными редколесьями и редидами, а верхняя граница отдельных деревьев почти поднялась до высотного уровня, на котором они произрастали в XIII в. Современная экспансия древесной растительности в горную тундру обусловлена потеплением и увлажнением климата в летний и зимний периоды. Ускоренное облесение трансекты, которое происходило в течение последних 20 лет, обусловлено лучшей обеспеченностью семенами лиственницы. К настоящему времени верхняя граница произрастания древесной растительности на склоне, на котором заложена трансекта, еще не достигла тех высотных уровней, которых она достигала в XIII в. в связи с кратковременностью периода, благоприятного для произрастания древесной растительности.

Если современные климатические условия сохранятся, то самые верхние молодые лиственницы в течение ближайших 15–20 лет начнут плодоносить, и разрыв между фактической и климатически обусловленной верхней границей древесной растительности сократится.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шиятов С.Г. Динамика древесной и кустарниковой растительности в горах Полярного Урала под влиянием современных изменений климата. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 219 с.
2. Kullman L. Dynamics of altitudinal tree limits in Sweden: a review // *Nor. Geogr. Tidsskr.* 1990. № 44. P. 103–116.
3. Kürner Ch. *Alpine plant life*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 1999. 343 p.
4. Holtmeier F.ŠK. *Mountain Timberlines. Ecology, Patchiness, and Dynamics*: Dordrecht, Boston, London: Kluwer Acad. Publishers, 2003. 369 p.
5. Mazepa V.S. Stand density in the last millennium at the upper timberline ecotone in the Polar Ural Mountains // *Canad. Jour. of Forest Research*. 2005. V. 35. P. 2082–2091.
6. Hagedorn Frank, Shiyatov Stepan G., Mazepa Valeriy S., et al. Treeline advances along the Urals mountain range driven by improved winter conditions? // *Global Change Biology*. 2014. Doi: 10.1111/gsb.12613.
7. Frost G.V., Epstein H.E. Tall shrub and tree expansion in Siberian tundra ecotones since the 1960 s. // *Global Change Biology*, 2014. V. 20. P. 1264–1277.
8. Shiyatov S.G. The upper timberline dynamics during the last 1100 years in the Polar Urals Mountains. Oscillations of the alpine and polar tree limits in the Holocene. Stuttgart, Jena, New York: Gustav Fischer Verlag, 1993. P. 195–203.
9. Mazepa Valeriy, Shiyatov Stepan, Devi Nadezhda. Climate driven change of the stand age structure in the Polar Ural Mountains // *Climate Change – Geophysical Foundations and Ecological Effects*. Croatia: In Tech. September 2011. P. 377–402.
10. Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепа В.С. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука, 1996. 246 с.

## МИГРАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ЯКУТИИ

Макаров В.Н.

Институт мерзлотоведения СО РАН, г. Якутск, Россия; vnmakarov@mpi.ysn.ru

### Введение

Важнейшим показателем физико-химических и биогеохимических процессов, происходящих на отдельных участках земной поверхности, является величина выноса водой растворенных веществ. Количество и состав их характеризуют направление и интенсивность процессов взаимодействия воды с корой выветривания и биосферой, т.е. являются одним из геохимических критериев данного геохимического ландшафта.

Доказано, что показатели ионного стока могут характеризовать интенсивность химического выветривания [1]. На относительное постоянство химического состава природных вод, а, следовательно, и величины выноса растворенных веществ обратил внимание еще В.И. Вернадский [2]. Речной сток твердых продуктов отражает интенсивность физического выветривания [7].

Об интенсивности химического и физического выветривания на земном шаре принято судить по соотношению ионного и твердого стока. По данным, приведенным в работе В.В. Гордеева [3], средняя величина модуля твердого стока ( $M_T$ ) с поверхности суши  $180 \text{ т/км}^2 \cdot \text{год}$ , сток растворенных веществ ( $P_H$ ), или истинно модуль ионного стока –  $36 \text{ т/км}^2 \cdot \text{год}$ . В среднем соотношение  $P_H/M_T$  для рек суши составляет величину 0,2.

### Материалы и методы исследования

Для расчета количества продуктов твердого стока (физического выветривания) в Арктической зоне Якутии были использованы средние многолетние величины стока взвешенного обломочного материала ( $M_T$ ) северных рек, опубликованные в Гидрологических ежегодниках (1927-1985 гг.). В приведенных подсчетах материала твердого стока отсутствуют сведения по перемещению и выносу донных отложений (песок, галька, гравий). Количество влекомых по дну отложений составляет в среднем 1-2% от количества взвешенного терригенного материала, редко достигая 10%. По данным [4] в горных районах соотношение взвешенного и влекомого материала составляет 10:1. Такое соотношение было принято нами при расчетах.

Величина ионного стока ( $P_H$ ) рассчитывалась по методике, предложенной О.А. Алекиным и Л.В. Бражниковой [1].

Характеристика речного стока в Арктической зоне, в пределах разнообразных геологических формаций и различной мощности сплошных многолетнемерзлых пород (ММП) приведена в табл. 1.

### Результаты и выводы

Для территорий занятых криолитозоной соотношение  $P_H/M_T$  в речном стоке резко изменяется в зависимости от мощности и сплошности многолетнемерзлых пород и особенностей горных пород, распространенных в бассейне водотока. Так, в горно-складчатых областях Якутии соотношение растворенного и твердого стока  $P_H/M_T$  изменяется от 0,3 в терригенных формациях до 8-10 в карбонатных. Увеличение площади распространения и мощности ММП приводит к относительному уменьшению упомянутых соотношений, пропорции при этом практически сохраняются (см. табл. 1).

Отношение выноса реками растворенного и терригенного материала ( $P_H/M_T$ ) показывает соотношение физического и химического выветривания в современных климатических условиях криолитозоны. Судя по данным табл.1, химическое выветривание карбонатных пород происходит значительно интенсивнее, чем физическое (р. Оленек). Минерализация воды в р. Оленек (Куойка) составляет  $127 \text{ мг/л}$ , в 3-4 раза выше чем в северных реках.

Таблица 1 - Характеристика стока северных рек

Бассейн реки, № станции	$S_{\text{всб}}$ , тыс. км <sup>2</sup>	$M_{\text{ст}}$ , л/(с·км <sup>2</sup> )	$M_{\text{т}}$ , т/км <sup>2</sup> ·г.	$P_{\text{и}}$ , т/км <sup>2</sup> ·г.	$M$ , мг/л	$P_{\text{и}}/M_{\text{т}}$	Геологическая формация	Сплошность, и мощность ММП, м
Нера (Ала-Чубук), 422	22,3	5,3	25,5	7,6	45	0,29	Терригенная Гранитоидная	С, 200-400
Колыма (Среднеколымск), 11	361,0	6,26	19,4	10,1	52	0,52	Гранитоидная Карбонатная	С, 200-300
Яна (Джангкы), 316	217,0	4,27	13,6	4,4	30	0,3	Терригенная Гранитоидная Карбонатная	С, 200-300
Индигирка (Воронцово), 347	305,0	5,05	36,6	5,4	34	0,16	Терригенная Гранитоидная Карбонатная	С, 200-400
Адыча (Ойун-Хомото), 328	65,0	5,1	36,9	8,0	50	0,22	Терригенная Гранитоидная	С, 200-400
Алазея (устье), 480	74,7	2,04	20	6,8	35	0,34	Терригенная, карбонатная	С, 200-700
Оленек (Куойка), 9	166,0	5,18	5,0	20,7	127	4,14	Карбонатная, эффузивная	С, 350
Амгуэма (Шумный), 100	26,7	10,3	24,0	7,8	24	0,33	Вулканогенная терригенная	С, 500
Анабар (Саскылах), 3	78,8	5,9	14,0	3,2	17,3	0,23	Карбонатная, метаморфич., вулканогенная	С, 450

Примечание:  $S_{\text{всб}}$  – площадь водосборного бассейна реки;  $M_{\text{ст}}$  – модуль стока воды;  $M_{\text{т}}$  – терригенный сток;  $P_{\text{и}}$  – ионный сток;  $M$  – минерализация; толщина ММП: С – прерывистая, П – сплошная.

В тоже время для терригенно-гранитоидных формаций химическое выветривание составляет всего 0,2-0,5 объема дезинтеграции физическими процессами выветривания. Тем не менее, даже в условиях Арктической зоны весьма ощутима роль современного химического выветривания.

Изменение соотношения ионного и твердого стока рек в зависимости от мощности и сплошности ММП показано на рис. 1.

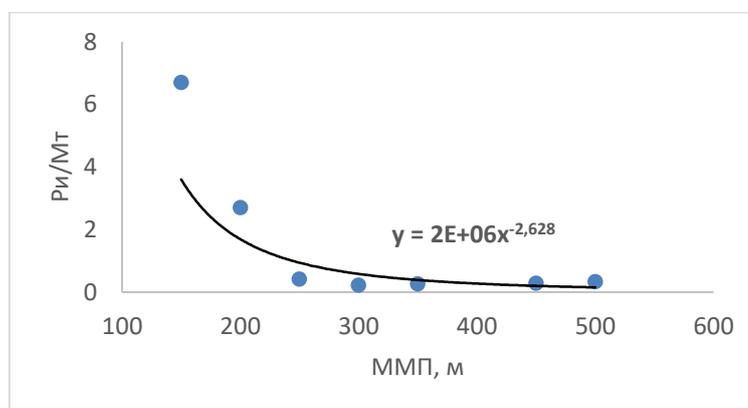


Рис. 1 - Соотношению ионного и твердого стока рек в зависимости от мощности и сплошности ММП

Аномально низкое соотношение  $P_{и}/M_T$  показывающее преобладание твердого стока в правой части рисунка, относится к районам Арктической зоны со сплошным распространением и значительной мощностью ММП - 200-700 м

По количеству выносимых растворимых веществ с единицы площади на первом месте находятся реки, водосборы которых сложены преимущественно карбонатными породами (Оленек). Менее интенсивный вынос отмечается для водотоков, расположенных среди гранитоидных, метаморфических и терригенно-карбонатных формаций (Колыма, Алазея). Реки, дренирующие в основном терригенно-гранитоидные формации, отличаются наименьшим модулем стока растворенных веществ (реки Индигирка, Яна).

Анализируя данные, представленные в табл. 1, следует отметить еще один весьма интересный факт. Для водосборных бассейнов с развитыми терригенными, гранитоидными и карбонатными формациями увеличение мощности ММП (бассейн р. Индигирки, мощность ММП 300 м) приводит к изменению соотношения  $P_{и}/M_T$  практически в два раза, в сравнении с территорией, где мощность криолитозоны меньше (бассейн р. Яны, мощность ММП 250 м). И составляет 0,15 и 0,32, соответственно. Можно предположить, что терригенные геологические формации, в силу неоднородности вещественного состава, строения и свойств, обладают более высокой удельной поверхностью, поэтому их химическое разрушение более интенсивно в сравнении с гранитоидными, преимущественно кварцсодержащими формациями.

Сведения о модулях твердого и ионного стока с учетом коэффициентов водной миграции элементов позволяют оценить сравнительную роль механических и солевых форм миграции для отдельных химических элементов.

Очевидно, что если количество химического элемента, ежегодно переходящего в раствор, не превышает его количества в слое денудации, система находится в равновесии. Следовательно, долю солевого стока ( $C$ ) этого элемента можно оценить из выражения:

$$C = \frac{M_T C_T}{M_T C_T + P_{и} C_{и}}$$

где  $M_T$  и  $P_{и}$  – соответственно модули твердого и солевого стока для данного бассейна денудации, т/км<sup>2</sup> год;  $C_T$  и  $C_{и}$  – средние содержания данного химического элемента в донных отложениях и водах бассейна реки, %. В основу расчетов легли анализы химического состава речных вод и донных отложений конкретных водотоков.

Горные породы, распространенные в пределах водосбора обычно характеризуются большим разнообразием химического состава. Состав донных отложений, связанных с геологическими формациями (от древнейших до новейших), зависит от природы подстилающих горных пород. Он отражает не только изменения литологии в определенной стратиграфической последовательности, но и различия между сходными литологическими типами внутри формаций и между ними. Следовательно, распределение химических элементов в горных породах и почвах отражается в составе донных осадков [6,8,9], и аллювиальные отложения представляют собой “природную среднюю пробу, характеризующую все разнообразие горных пород в бассейне денудации данного водотока” [6]. Поэтому при анализе составляющих стока предпочтительно пользоваться сведениями о распределении химических элементов в донных отложениях водотоков, дающими усредненную картину состава горных пород по площади водосбора.

Рассмотрим солевой вынос химических элементов на примере свинца в областях криолитозоны различных в геологическом и мерзлотном отношении: сплошного распространения мощной толщи мерзлоты в кайнозойских и мезозойских терригенных

формациях Арктической зоны Якутии и Верхояно-Чукотской складчатой области (Северо-Восток Якутии), а для сравнения в прерывистой мерзлой толще разновозрастных формаций Аданского щита (Южная Якутия). При расчетах использованы результаты геохимических исследований в различных районах Якутии [5], сгруппированные в табл. 2.

Таблица 2 - Солевой сток свинца в мерзлотных ландшафтах Якутии

Среднее содержание Pb		Коэффициент водной миграции, $K_x$	Солевой сток, % от общего стока
Природные воды, мкг/л	Донные отложения, мг/кг		
Горно-таежные гранитоидные и карбонатные формации Южной Якутии (ММП - П и С до 300 м)			
0,92 (n=515*)	17 (n=1820)	0,8	87
Горно-таежные терригенные формации Северо-Востока Якутии (ММП- С, 200-500 м)			
0,90 (n=2360)	18 (n=4930)	1,8	37
Терригенные формации Арктической тундры (ММП - С, 200-700 м)			
0,11 (n=650)	17 (n=970)	0,3	9,4

Примечание: толща ММП: С – прерывистая, П – сплошная, 300 м - мощность; n=515\* – кол-во проб.

Проведенные расчеты показали, что, несмотря на общее преобладание твердого стока Pb в горно-таежных и тундровых терригенных формациях районов мощной толщи ММП, от 9 до 37% металла переносится в растворенном виде (см. табл. 2). В горно-таежных гранитоидных и карбонатных формациях Южной Якутии и широким распространением прерывистой криолитозоны, доля Pb, переносимого в растворенной форме, резко преобладает. В Арктической зоне (терригенные формации Арктической тундры) доля солевого стока уменьшается до 9,4% от общего стока.

Следует подчеркнуть, что эти данные относятся к усредненному речному стоку. В конкретных условиях соотношение между растворенной и взвешенной формами может сильно отличаться от средних значений. Например, при низкой мутности доля солевого стока увеличивается для всех элементов без исключения. Однако при любой фиксированной мутности ряд подвижности элементов, т.е. порядок их расположения по возрастанию доли растворенной формы, остается неизменным [3]. Это означает, что на геохимическую подвижность Pb, как и других металлов, оказывают влияние, как физико-химические свойства элемента, так и физико-географические условия среды. Поскольку концентрация элементов в растворе и взвеси меняется в меньшей степени, чем водный и твердый сток, а, следовательно, и мутность, то природные условия (климат, рельеф, геологическое строение) оказываются более важными факторами, влияющими на подвижность Pb, чем его химические свойства. Изучение миграции Pb в природных водах основных геохимических ландшафтов криолитозоны Якутии показало, что увеличение водной подвижности элемента и увеличение солевого стока определяются в основном геохимическими особенностями геологических формаций – высокими региональными кларками химических элементов [5]. Масштабы солевого стока (химического выветривания) Pb, как и других металлов, в районах с мощной толщей ММП, даже в Арктической зоне, могут быть весьма значительны, а гидрогеохимические аномалии опасны с точки зрения токсичности и влияния на биоту.

*Исследования проведены в ходе выполнения комплексной программы фундаментальных научных исследований ИМЗ СО РАН (Проект СО РАН АААА-А20-120111690008-9).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алекин О. А., Бражникова Л. В. / Сток растворенных веществ с территории СССР. – М.: Наука, 1964. – 44 с.
2. Вернадский В. И. История минералов земной коры. Т. 2: История природных вод // Избранные произведения. – М.: Изд-во. АН СССР, 1960. Т. 4, кн. 2. 651 с.
3. Гордеев В. В. Речной сток в океаны и черты его геохимии / М.: Наука, 1983. 160 с.
4. Лопатин Г. Н. Наносы рек СССР / М.: Географгиз, 1952. 368 с.
5. Макаров В.Н. Свинец в биосфере Якутии / Якутск: Издательство Института мерзлотоведения СО РАН, 2002. 113 с.
6. Соловов А. П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых / М.: Недра, 1985. 294 с.
7. Страхов Н. М. Основы теории литогенеза / М.: Изд-во АН СССР, 1965. Том. 1. 212 с.; Том. 2. 574 с.
8. Hawkes H. E., Bloom H., Riddel I. E., Webb I. S. // Geochemical reconnaissance in eastern Canada // Intern. Geol. Congr. 20th, Mexico, 3, 1956. P. 607–621.
9. Hem J. D., Durum W. H. // Solubility and occurrence of lead in surface water // Journ. Amer. Water Works Assoc., 1973, 65, № 8. P.562–568.

## РЕПРЕЗЕНТАТИВНЫЕ МЕРЗЛОТНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ ЯКУТИИ В КОНТЕКСТЕ ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

*Максимов Т.Х., Максимов А.П., Петров Р.Е., Карсанаев С.В.*  
Якутский научный центр СО РАН, г. Якутск, tcmah@mail.ru

Мерзлотные экосистемы Якутии в настоящее время оцениваются по бюджету углерода как области значительного стока углерода, что очень важно для верификации и валидации бюджета углерода России в условиях декарбонизации и углеродной нейтральности стран. Однако при прогнозируемом потеплении климата их функции как поглотителей углерода будут существенно зависеть от результата взаимодействия ряда антагонистических процессов.

Будут представлены многолетние экспериментальные данные по балансу углерода арктических тундр и бореальных лесов Северо-востока России. Получен ряд конкретных результатов: 1) выявлены микрометеорологические оценки углеродного баланса; 2) показана количественная зависимость концентрации пяти видов парниковых газов (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, SF<sub>6</sub> и H<sub>2</sub>) и черного углерода от погодных условий и интенсивности лесных пожаров; 3) исследованы углеродные параметры лесных и тундровых экосистем; 4) обращено внимание на короткий вегетационный период развития растений. Эта особенность способствует обогащению атмосферы северных широт углекислотой; 5) установлена положительная зависимость выделений биогенных летучих органических соединений от площади ассимилирующей поверхности и потепления климата. Результаты исследований используются при эколого-биологической оценке мерзлотных экосистем на региональном и глобальном уровнях, а также при моделировании циклов углерода и воды.

Анализ данных метеорологических наблюдений за 100 лет показывает, что зимняя температура на Северо-Востоке России повысилась на 10°C, а годовая температура на 2,0–3,5°C.

По нашим оценкам, в первой декаде 21 века вся территория Российской Федерации была значительным стоком углерода, оцениваемым в 0,7 млрд. т С год<sup>-1</sup> из них 90-95% приходится на лесные экосистемы. В мерзлотных лесах криолитозоны

заметно преобладает сток углерода, по сравнению со всеми исследованными биомами России. Здесь он больше, чем в лугах и тундрах России в среднем в 1,5 и 4,5 раза, соответственно.

По результатам наших многолетних исследований, годовой сток углерода в лиственничном лесу Центральной Якутии составляет  $2,12 \pm 0,34$  т С га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup>, в лиственничных лесах Юго-Восточной Якутии –  $2,43 \pm 0,23$  т С га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup>, а в тундровой зоне –  $0,75 \pm 0,14$  т С га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup> (Maximov et al., 2019).

Большая межгодовая вариация чистого газообмена экосистемы (NEE) в зоне вечной мерзлоты составляет  $1,7-2,4$  т С га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup>, что выводит на верхний предел годовой депонирующей емкости в 450–617 млн. т С год<sup>-1</sup> при общей площади этих лесов в России, равной 257,1 млн. га. Чистая биомная продуктивность (NBP) лиственничных лесов Сибири оценена в пределах  $0,26-0,86$  млрд. т С год<sup>-1</sup>.

Высококочувствительные лесные и тундровые экосистемы криолитозоны могут быть не только значительными стоками углекислого газа атмосферы, предотвращающими глобальное потепление климата, но также источниками, в зависимости от климатических факторов, экстремальных погодных явлений, возраста и структуры фитоценоза и интенсивности лесных пожаров.

## ЗАПАСЫ И НАКОПЛЕНИЕ РТУТИ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

*Манасыпов Р.М.*

Томский государственный университет, г. Томск, rmanassypov@gmail.com

Термокарстовые озера Западной Сибири являются важнейшей составляющей ландшафтов криолитозоны Западной Сибири. Аккумулируя большие запасы органического углерода [1], они являются одним из основных источников эмиссии парниковых газов в атмосферу. При этом, в настоящее время уровни накопления токсичных элементов, таких как ртуть, в отложениях термокарстовых озер остаются недооцененными. Целью настоящей работы являлась количественная оценка общих запасов, а также скорости и объемов накопления ртути (ТНг) в отложениях термокарстовых озер Западной Сибири, расположенных вдоль градиента многолетней мерзлоты, от изолированной до сплошной зоны распространения ММП.

Отбор проб озерных отложений проводился по меридиональному профилю Западной Сибири, включающему зону северной тайги (спорадическая мерзлота, окр. г. Когалым и окр. пос. Ханымей), лесотундровую зону (прерывистая мерзлота, окр. пос. Пангоды) и тундровую зону (сплошная мерзлота, окр. пос. Тазовский). Термокарстовые озера представляют собой неглубокие (0,5–1,5 м) замкнутые котловины, площадь водосбора которых сравнима с площадью озера.

Были изучены керны донных отложений 11 репрезентативных термокарстовых озер из зоны спорадического (3 озера), прерывистого (5 озер) и сплошного распространения мерзлоты (3 озера). Данные озера были выбраны в соответствии с предыдущими биогеохимическими исследованиями на севере Западной Сибири [2, 3].

Из каждого озера был взят один керн отложений с использованием пробоотборника большого диаметра (Aquatic Research Instruments®), оснащенного поликарбонатной трубкой (длина 60 см, внутренний диаметр 10 см). Пробоотборник вручную вводили в ненарушенный осадок через органический детрит до песчано-глинистого горизонта. Длина ненарушенных кернов составляла от 20 до 50 см, в зависимости от глубины органического слоя и механического сопротивления нижележащего минерального слоя. Предварительные батиметрические исследования

каждого изученного озера позволили выбрать наиболее глубокие места отбора проб примерно на равном расстоянии от береговой линии. Все 11 кернов осадков были собраны незамерзшими в летний период, когда глубина деятельного слоя была максимальной. Отобранные керны осадков разрезали на слои с помощью пластикового резака. Пробы отложений запечатывали в чистые полиэтиленовые пакеты и хранили в морозильной камере при температуре  $-20^{\circ}\text{C}$ . В лаборатории срезы донных отложений сушили до воздушно-сухого состояния в чистом помещении при комнатной температуре. Сухие образцы измельчали (гомогенизировали) в агатовой ступке. Непосредственно перед анализом порошкообразные образцы сушили при температуре  $50^{\circ}\text{C}$  в течение 24 часов.

Концентрацию общей ртути (ТНг) определяли с помощью прямого ртутного анализатора (DMA-80, Milestone, Италия). Анализ проводился с использованием эталонного материала BCR-482 (лишайник,  $480 \pm 28 \text{ ng g}^{-1}$ ), MESS3 (донные отложения,  $91 \pm 9 \text{ ng g}^{-1}$ ) и NIST SRM 1632d (уголь,  $93 \pm 3 \text{ ng g}^{-1}$ ). Средняя погрешность анализа не превышала 5 % ( $1\sigma$ ).

Концентрации радионуклидов ( $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{137}\text{Cs}$ ) измеряли в трех репрезентативных термокарстовых озерах методом гамма-спектрометрии (Ortec, США). Для данного анализа были выбраны по одному озеру из каждой зоны многолетней мерзлоты. Скорость седиментации рассчитывалась на основе модели постоянной начальной концентрации (CIC).

Полученные результаты показывают, что наблюдается постепенное увеличение содержания ТНг в донных отложениях термокарстовых озер от южных районов спорадического распространения ММП ( $167 \pm 82 \text{ ng g}^{-1}$ ) до лесотундровой зоны прерывистого распространения ММП ( $377 \pm 131 \text{ ng g}^{-1}$ ) (рис 1 а-с). В зоне сплошного распространения ММП содержание ртути в донных отложениях резко снижается и составляет  $99 \pm 40 \text{ ng g}^{-1}$  (рис. 1 d).

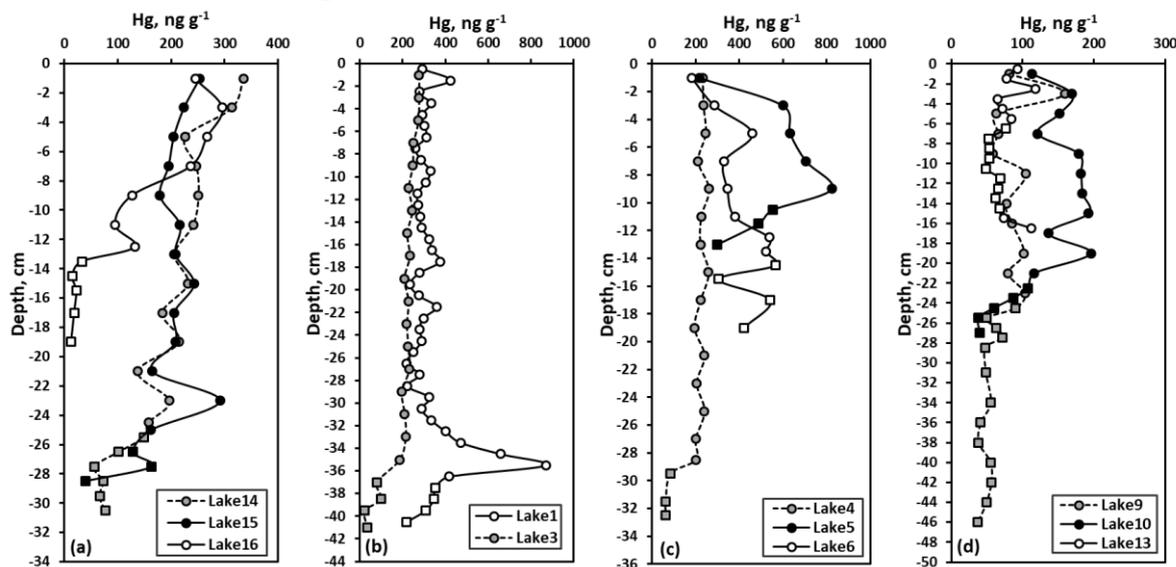


Рис. 1 – Содержание общей ртути в пробах донных отложений зоны спорадической мерзлоты (а), зоны северной тайги прерывистой мерзлоты (b), зоны лесотундры прерывистой мерзлоты (с) и зоны тундры сплошной мерзлоты (d). Круги и квадраты обозначают «органическую» и «минеральную» части, соответственно

Наблюдалось систематическое увеличение запасов ТНг с юга на север. Термокарстовые озера спорадической зоны распространения мерзлоты (Когалым) содержали в среднем  $7,6 \pm 0,19 \text{ mg Tg/m}^2$ . При продвижении на север выявлено увеличение запасов ртути в отложениях до  $20 \pm 0,3 \text{ mg Tg/m}^2$  в северо-таежной зоне

прерывистой мерзлоты и до  $32 \pm 1,7$  мг ТНг/м<sup>2</sup> в лесотундровой зоне прерывистой мерзлоты (Ханымей и Пангоды, соответственно). В зоне сплошной криолитозоны (Тазовский) запасы ртути уменьшаются и составляют  $17 \pm 0,4$  мг ТНг/м<sup>2</sup>.

Недавние оценки площади термокарстовых озер в Западной Сибири [4, 5] позволили нам количественно оценить общие запасы ртути в донных отложениях термокарстовых озер в различных зонах распространения многолетней мерзлоты. Отмечено систематическое увеличение запасов общей ртути от зоны спорадической мерзлоты ( $133 \pm 6,2$  Мг ТНг) к зоне сплошной мерзлоты ( $448 \pm 4,8$  Мг ТНг) с локальным пиком в зоне прерывистой мерзлоты ( $529 \pm 28$  Мг ТНг). Суммарный запас общей ртути в термокарстовых озерах криолитозоны Западной Сибири ( $1,05$  млн км<sup>2</sup>) составил  $\sim 1,1 \pm 0,13$  Гг Нг, что составляет более 10% от ранее оцененного общего объема запасов ртути в мерзлых торфяниках Западной Сибири [6].

Скорость накопления ТНг в осадках термокарстовых озер возрастает от 0,02 на юге до 0,1 мг Нг/м<sup>2</sup>/год на севере, а общее накопление ТНг в донных отложениях всех термокарстовых озер Западной Сибири составляет 3,4 Мг/год.

Необходимы дополнительные исследования термокарстовых озер других регионов, а также озер другого генезиса, чтобы уменьшить неопределенность этих оценок и определить объемы и сроки поступления ртути в атмосферу, а также речной вынос ртути в Северный Ледовитый океан.

*Исследования проведены при финансовой поддержке РНФ, проект № 21-77-10067 «Факторы контролирующие биогеохимические процессы и цикл углерода в экосистемах озер меридионального профиля Западной Сибири: построение концептуальной модели».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Manasypov R.M., Lim A.G., Krickov I.V., Shirokova L.S., Shevchenko V.P., Aliev R.A., Karlsson J., Pokrovsky O.S. Carbon storage and burial in thermokarst lakes of permafrost peatlands // *Biogeochemistry*. 2022. Vol. 159. P. 69–86.
2. Serikova S., Pokrovsky O.S., Laudon H., Krickov I.V., Lim A.G., Manasypov R.M., Karlsson J. High carbon emissions from thermokarst lakes of Western Siberia // *Nature Communications*. 2019. Vol. 10. Article number 1552.
3. Manasypov R.M., Lim A.G., Krickov I.V., Shirokova L.S., Vorobyev S.N., Kirpotin S.N., Pokrovsky O.S. Spatial and seasonal variations of C, nutrient, and metal concentration in thermokarst lakes of Western Siberia across a permafrost gradient // *Water*. 2020. Vol. 12. Article number 1830.
4. Polishchuk Y.M., Bogdanov A.N., Polishchuk V.Y., Manasypov R.M., Shirokova L.S., Kirpotin S.N., Pokrovsky O.S. Size distribution, surface coverage, water, carbon, and metal storage of thermokarst lakes in the permafrost zone of the Western Siberia Lowland // *Water*. 2017. Vol. 9. Article number 228.
5. Polishchuk Y.M., Bogdanov A.N., Muratov I.N., Polishchuk V.Y., Lim A., Manasypov R.M., Shirokova L.S., Pokrovsky O.S. () Minor contribution of small thaw ponds to the pools of carbon and methane in the inland waters of the permafrost-affected part of the Western Siberian Lowland // *Environmental Research Letters*. 2018. Vol. 13. Article number 045002.
6. Lim A.G., Jiskra M., Sonke J.E., Loiko S.V., Kosykh N., Pokrovsky O.S. A revised pan-Arctic permafrost soil Hg pool based on Western Siberian peat Hg and carbon observations // *Biogeosciences*. 2020. Vol. 17. P. 3083–3097

## БИОДЕГРАДАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОЛЛЮТАНТОВ: ВТОРОЕ ДЕСЯТИЛЕТИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

Миндубаев А.З.<sup>1</sup>, Бабынин Э.В.<sup>3</sup>, Минзанова С.Т.<sup>2</sup>, Миронова Л.Г.<sup>2</sup>, Бадеева Е.К.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, mindubaev-az@yandex.ru

<sup>2</sup>Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова КазНЦ РАН, г. Казань

<sup>3</sup>Татарский НИИАХП ФИЦ КазНЦ РАН420059, г. Казань

Биодеградация занимает почетное место среди методов обезвреживания токсичных загрязнений окружающей среды. В ее основе лежат происходящие в природе естественные процессы биологической детоксикации [2]. Одностадийный метаболизм сильно токсичного формальдегида в биологические молекулы - сахара и аминокислоты [1], указывает на совершенство биохимии микроорганизмов (рис. 1), позволяющее обезвреживать даже вещества первого, наивысшего класса опасности. Такие, как белый фосфор.

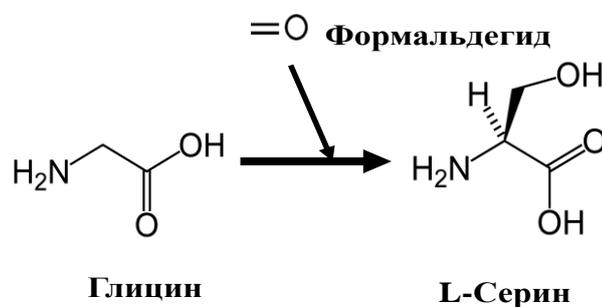


Рис.1. – Включение формальдегида в состав аминокислоты в одну стадию – убедительный пример биодеградации. Осуществляется метилотрофной бактерией *Methylobacterium extorquens*, по [2]

Белый фосфор Р<sub>4</sub> является одним из самых опасных загрязнителей окружающей среды. Хроническое отравление этим веществом приводит к глубокой инвалидности. Тем не менее, он широко применяется в промышленности как одно из наиболее востребованных соединений в производстве фосфорных удобрений, лекарств, полимеров и ряда других практически значимых веществ и материалов [3].

Химические свойства белого фосфора имеют специфику. На воздухе он быстро окисляется кислородом, но в водной среде устойчив – его хранят исключительно в толще воды. Именно по этой причине особенно опасны загрязнения белым фосфором водоемов. Чрезвычайно низкая растворимость белого фосфора в воде (0.0003 г / л при 15 °С) является препятствием на пути его эффективной детоксикации. В водной среде он образует суспензию, частицы которой взаимодействуют с окислителями только поверхностью, покрываясь пассивирующей пленкой из полифосфата [4, 5]. Согласно расчетам, период полураспада частиц белого фосфора в анаэробных условиях донных отложений может достигать 10 000 лет! [4]

Сточные воды с предприятий, производящих или потребляющих белый фосфор, в англоязычной литературе даже получили отдельное наименование – «фосфорные воды» («phossy water»), что свидетельствует о значении проблемы их обезвреживания. Содержание основного загрязнителя в «phossy water» не должно превышать двух частей на миллион [5], однако эта величина кажется исчезающе малой только на первый взгляд. Следует помнить о том, что белый фосфор относится к веществам самого высокого класса опасности.

Самые сильные загрязнения происходят в окрестностях военных полигонов США, где меры очистки не предпринимаются вообще [4]. Гидрофобность белого фосфора сочетается с высокой липофильностью. Это свойство делает его еще более опасным, поскольку белый фосфор легко накапливается в жировой ткани, богатых жиром органах и кожных покровах. Особенно страдают от загрязнения данным веществом водоплавающие птицы, поскольку белый фосфор проникает в их организм из водной среды во время кормежки. Кроме того, водоплавающие птицы накапливают в организме много жира. В организм хищных птиц белый фосфор также проникает с пищей, и зачастую накапливается в летальных концентрациях. Также белый фосфор обнаружен в организме пресноводных рыб [4], в желудочно-кишечном тракте овец и диких овцебыков, получивших серьезное отравление на пастбище вблизи военного объекта Hjerkinн (Норвегия) [6].

Необходимо вспомнить тяжелейшую экологическую ситуацию на обанкротившемся химическом заводе «Фосфор» в г. Шымкенте (бывший Чимкент, Казахстан), территория которого окружена шламовыми озерами площадью в 30 га и содержащими более 500000 тонн фосфорного шлама! Кроме того, фосфор содержится в донном песке реки Бадам, протекающей по территории предприятия. Эту местность уже прозвали казахским Чернобылем. Здесь неоднократно происходили несчастные случаи отравлений и ожогов. На территории Российской Федерации наиболее загрязненными белым фосфором территориями являются 30 га на территории обанкротившегося предприятия ОАО «Фосфор» (г. Тольятти, Самарская область); шламонакопители общей площадью 145 га ПАО Новочебоксарский Химпром (145 га); шламонакопитель вблизи г. Стерлитамак (26 га, 4 млн тонн химических отходов), ВОАО Волгоградский Химпром; огромный шламонакопитель (92 га, 7 млн тонн химических отходов) ООО Химпром Технология (г. Дзержинск, Нижегородская область). Следует иметь в виду, что все источники загрязнений белым фосфором в России соединены общей водной артерией – рекой Волга. Следовательно, в случае техногенных аварий и катастроф, связанных с белым фосфором, создается прямая угроза экологической обстановке во всем Поволжье [7].

Девять лет назад, в октябре 2014 года нами выделена экстремотолерантная культура гриба черного аспергилла, превращающая токсичные соединения фосфора в фосфат, который может служить подкормкой для растений [7]. Мы впервые в мире наблюдали биодegradацию аллотропных модификаций элементного фосфора, не только белого, но и красного (рис. 2).

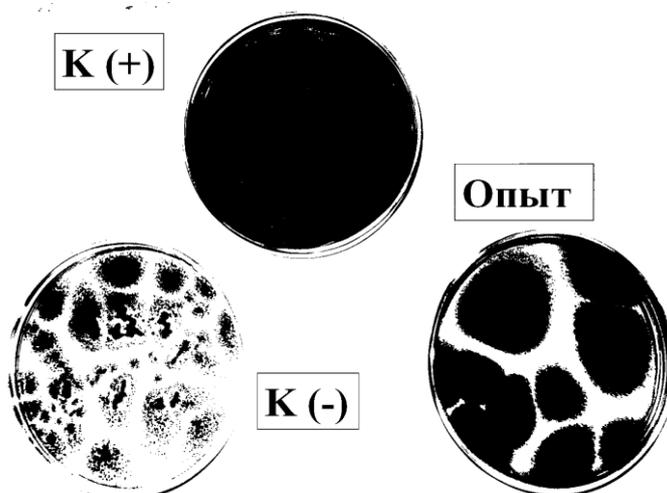


Рис. 2 – Колонии чёрных аспергиллов в среде, содержащей 0.05% белого фосфора. Эта концентрация соответствует 250 ПДК! Место съемки: виварий микробиологической лаборатории ИОФХ. Снимок на цифровой фотоаппарат Samsung, 13 10 2014 г.

Таблица 1 – Результаты проверки на нормальность по критерию Д'Агостино-Пирсона величин толщины клеточной стенки и размера митохондрий у *A. niger* в присутствии белого фосфора (опыт) и в контроле

<i>A. niger</i> AM1	Толщина клеточной стенки		Диаметр митохондрий	
	K2-значение	P-значение	K2-значение	P-значение
Опыт	1.21	0.1812	1.614	0.4461
Контроль	2.491	0.2877	4.464	0.1073

При воздействии белого фосфора наблюдается резкое изменение морфологии (табл. 1) и протеома исследуемых грибов, позволяющее им более эффективно защищаться от токсического воздействия, существовать в загрязненной среде и превращать токсичные загрязнители в компоненты фосфорных удобрений [8].

Происхождение штамма *Aspergillus niger*, выделенного из емкости с кусковым белым фосфором, воспроизведена с построением филогенетического дерева. Для сравнения использовались штаммы *A. niger*, выделенные в разных странах мира и представленные в базе National Center for Biotechnology Information (NCBI). Результат сравнения свидетельствует о следующем. В наибольшем родстве со штаммом AM1 состоят два штамма черного аспергилла из почвы с соевых полей в районе Нанкина (Китай), которые способны к растворению малорастворимых в воде почвенных фосфатных минералов при помощи органических кислот, которые они продуцируют. Указанные штаммы выделены из ризосферы растений сои (*Glycine max*) и, по всей видимости, повышают эффективность снабжения растений фосфором, вступая с ними в симбиотические отношения. Они имеют высокий процент сходства по гену ITS с объектом нашего исследования – *A. niger* AM1.

Роль контролей выполняют внешние группы - штаммы других видов: аспергилл атласный *A. bombycis* и аспергилл дымящийся *A. fumigatus*. Штаммы из одного кластера, состоящие в близком родстве друг с другом, должны быть сходны по характеристикам. Филогенетический анализ позволяет приблизительно оценивать потенциальную токсичность, патогенность и аллергенность штаммов, а также ряд параметров, интересных для биотехнологов.

Таким образом, AM1 относится к кластеру штаммов, распространенному в Южной Азии и адаптированному к существованию в условиях нехватки биодоступного фосфора. Китай производит свыше 70% белого фосфора в мире, поэтому вещество (а с ним и споры микроорганизмов) могли быть импортированы в Россию из этой страны.

Для того, чтобы подтвердить родство с известными солубилизаторами фосфатов, мы исследовали способность *Aspergillus niger* AM1 метаболизировать ортофосфат кальция  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  – наиболее распространенную форму фосфора в природе, но при этом малодоступную для живых организмов из-за практической нерастворимости в воде. Оказалось, что штамм потребляет нерастворимый фосфат так же легко, как растворимые фосфаты, входящие в состав культуральных сред. То есть, действительно является солубилизатором фосфата, как следует из теоретических результатов анализа базы NCBI. Интересно, что в декабре 2016 года мы получили дочерний штамм гриба *A. niger* AM2, еще более адаптированный к росту в среде с белым фосфором. Утолщенная клеточная стенка и увеличенные митохондрии у него наблюдаются и в контроле, в отсутствие этого токсичного вещества [8].

Для фосфорных соединений велики перспективы биodeградации по причине того, что опасность фосфатов для окружающей среды существенно ниже, чем восстановленных соединений фосфора. Элемент фосфор в виде простых веществ и восстановленных соединений является опаснейшим загрязнителем окружающей среды, поскольку эти вещества сильно ядовиты, а некоторые, к тому же, огнеопасны. Однако живые клетки всегда накапливают окисленную форму фосфора – фосфат, в составе самых разнообразных органических и неорганических молекул. Если доля фосфора в

земной коре составляет 0.12%, то в биомассе живых организмов концентрация этого элемента составляет уже 3%, т.е. в 25 раз выше! Для фосфорорганических соединений биodeградация уже применяется [9]. Но для элементного (белого и красного) фосфора она стала известна только из наших работ.

Нами создано ООО «Интехтокс», которое вошло в реестр участников проекта «Сколково». В нем ведутся прикладные научные исследования по созданию биопрепаратов, способных очищать почвы и сточные воды от фосфорсодержащих загрязнителей. В январе 2023 года наше ООО отметило круглую дату – пятилетний юбилей. В настоящее время мы исследуем биodeградацию при помощи AM1 и AM2 веществ, не содержащих фосфор – нефтей и нефтепродуктов, древесины и продуктов ее переработки. Также, планируем изучать переработку полимерных материалов данными штаммами, извлечение редких элементов из минералов.

Впоследствии мы предполагаем внедрить технологию на шламонакопителях ПАО Новочебоксарский Химпром, ВОАО Волгоградский Химпром, Камтэкс Химпром г. Пермь (Россия), ООО Химпром Технология (г. Дзержинск), Химическом арсенале (п. Марадыково, Кировская область).

Нашей разработкой уже заинтересовались партнеры из Самарского Политеха (СамГТУ), планирующие ликвидацию очагов загрязнения желтым фосфором территории бывшего ОАО "Фосфор" в рамках Стратегии социально-экономического развития Самарской области до 2030 года.

С одной стороны, проводимые исследования могут лечь в основу методов очистки природных сред, загрязненных веществами даже первого класса опасности. То есть, прикладной аспект работы очевиден. Но, с другой стороны, исследования интересны с позиций фундаментальной науки, поскольку впервые установлена способность живых организмов использовать простое вещество белый фосфор в качестве источника биогенного элемента фосфора. А также включение элементного фосфора в природный круговорот фосфора. Соответственно, есть возможность исследовать еще не описанные метаболические пути.

Очень интересным объектом исследований стали штаммы черного аспергилла, способные к биоразложению широкого спектра продуктов, а в первую очередь – элементного фосфора и фосфорных соединений. По мере изучения открываются все новые потенциальные сферы применения этих штаммов.

*Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ, проект № 14-08-31091 мол\_а, Фонда содействия инновациям, проект № 39113 (заявка № С1-34299) и Инвестиционно-Венчурного Фонда Республики Татарстан (заявка №4277-23092021, договор № 13/71/2022).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Meckenstock R.U., Elsner M., Griebler C., Lueders T., Stumpp C., Aamand J., Agathos S.N., Albrechtsen H.-J., Bastiaens L., Bjerg P.L., Boon N., Dejonghe W., Huang W.E., Schmidt S.I., Smolders E., Sørensen S.R., Springael D., van Breukelen B.M. Biodegradation: updating the concepts of control for microbial cleanup in contaminated aquifers // Environmental Science & Technology. 2015. Vol.49. Issue 12. P.7073-7081. DOI: 10.1021/acs.est.5b00715
2. Yurimoto H., Kato N., Sakai Y. Assimilation, Dissimilation, and Detoxification of Formaldehyde, a Central Metabolic Intermediate of Methylotrophic Metabolism // The Chemical Record. 2005. Vol. 5. No.6. P.367-375. DOI: 10.1002/tcr.20056
3. Geeson M.B., Cummins C.C. Let's Make White Phosphorus Obsolete // ACS Cent. Sci. 2020. Vol.6. No.6. P.848-860. DOI: 10.1021/acscentsci.0c00332
4. Walsh M.E., Collins C.M., Racine C. Persistence of White Phosphorus Particles in Sediment // Cold Regions Research and Engineering Lab Hanover NH. 1995. 51 p.

5. Barber J.C. Processes for the disposal and recovery of phosphy water // United States Patent 5549878, 1996.
6. Steinheim G., Voie Ø.A., Longva K.S., Ådnøy T., Holand Ø. Sheep show partial avoidance of water contaminated with white phosphorus // Acta Agriculturae Scand., Section. 2011. Vol.61. No.1. P.60-63. DOI: 10.1080/09064702.2011.556195
7. Mindubaev A.Z., Babynin E.V., Bedeeva E.K., Minzanova S.T., Mironova L.G., Akosah Y.A. Biological Degradation of Yellow (White) Phosphorus, a Compound of First Class Hazard // Russian Journal of Inorganic Chemistry. 2021. Volume 66. № 8. P. 1239-1244. DOI: 10.1134/S0036023621080155
8. Mindubaev A.Z., Kuznetsova S.V., Evtuyugin V.G., Daminova A.G., Grigoryeva T.V., Romanova Y.D., Romanova V.A., Babaev V.M., Buzyurova D.N., Babynin E.V., Badeeva E.K., Minzanova S.T., Mironova L.G. Effect of White Phosphorus on the Survival, Cellular Morphology, and Proteome of *Aspergillus niger* // Applied Biochemistry and Microbiology. 2020. Vol.56. No.2. P.194-201. DOI: 10.1134/S0003683820020118
9. Singh B.K., Walker A. Microbial degradation of organophosphorus compounds // FEMS Microbiology Reviews. 2006. Volume 30. № 3. P. 428-471. DOI: 10.1111/j.1574-6976.2006.00018.x

## СТРУКТУРА ЗАПАСОВ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ В ПОЧВЕ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЛЕСОТУНДРОВОЙ ЗОНЫ

*Мухортова Л.В., Кривобоков Л.В.*

Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск,  
l.mukhortova@gmail.com

Оценка биологического круговорота химических элементов в лесных экосистемах тесно связана с оценкой запасов органического вещества в почвах, поскольку органическое вещество лесных почв представляет собой тот резервуар, который контролирует деструкционное звено углеродного цикла, обеспечивающего возврат в атмосферу углерода, изъятого из нее в ходе фотосинтетической ассимиляции. В процессе разложения органического вещества почвы освобождаются и другие химические элементы, включенные в его состав во время роста и развития растений и животных. Благодаря этому они становятся доступны для использования растениями, наряду с подвижной формой этих соединений в почве.

Значительная часть органического вещества почвы представлена растительными остатками, находящимися на разных стадиях разложения. Эти растительные остатки распределены в почвенной системе в двух сферах: на поверхности минеральной толщи почвы в виде лесной подстилки как результат ежегодного поступления опада надземных частей растений; и в толще почвы, где основным источником поступления растительных остатков являются корневые системы растений. В северных экосистемах, помимо этого источника, заметное влияние на величину запасов растительных остатков в толще почвы могут оказывать криогенные явления, в результате которых растительный материал подстилки может попадать в минеральную толщу.

В подземной сфере, как и в составе лесной подстилки, одновременно присутствуют растительные остатки, находящиеся на разных стадиях разложения. Это обусловлено продолжительным временем их полного разложения и регулярным поступлением свежих порций растительного материала.

Скорость и направленность процессов разложения растительных остатков в толще почвы отличается от таковых в подстилке, что связано с различием гидро-

термических и окислительно-восстановительных условий в этих двух сферах. Информация о величине запасов растительных остатков на поверхности и в толще почвы позволяет более точно оценить запасы углерода в лесных экосистемах и прогнозировать последствия изменений климата и воздействия природных или антропогенных нарушений на бюджет углерода этих экосистем и их вклад в глобальные биогеохимические циклы.

Оценка запасов и структуры растительных остатков в толще почвы проводилась на примере пробных площадей, расположенных в лесотундровой зоне Средней Сибири (67-69° с.ш., 88-90° в.д.). Лесные экосистемы представлены, в основном, лиственничниками кустарничково-зеленомошного типа. Почвы представлены криоземами грубогумусовыми, торфяно-криоземами и подбурами.

Отбор образцов для определения запасов растительных остатков на поверхности и в толще почвы проводили с помощью шаблона размером 0.0314 м<sup>2</sup> в 10-кратной повторности. Сначала отбирали слой подстилки. Затем отбирали монолит почвы до глубины 20 см [1]. Корневой материал и подземные растительные остатки отмывали на ситах с размером ячейки 0,5 мм. Корневой материал затем разбирали на фракции: корни живые древесные, корни живые напочвенного покрова, корни мертвые древесные и напочвенного покрова, прочая мортмасса – растительные остатки не сохранившие своего анатомического строения.

Общие запасы растительных остатков в 20-ти см толще почвы в исследованных лесных экосистемах составляют от 8,16 до 41,23 т/га. Это в 1,2-8,0 раз ниже, чем запасы мертвого растительного вещества в лесной подстилке этих экосистем (рис.1).

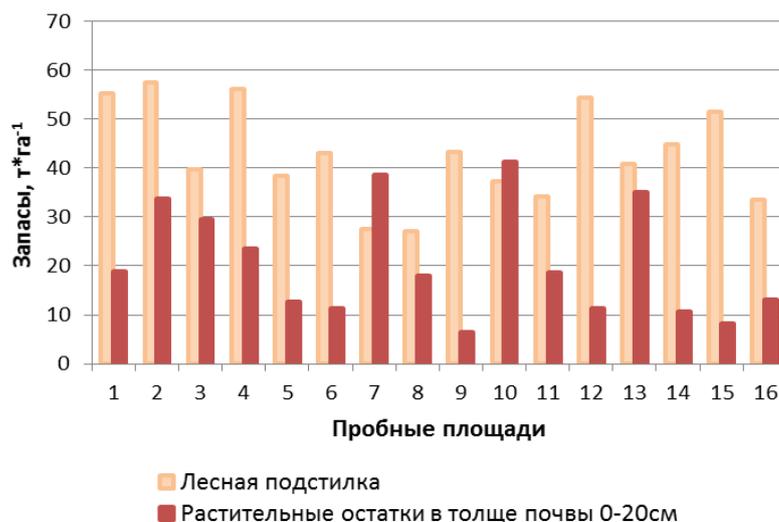


Рис.1 – Запасы растительных остатков на поверхности и в толще почвы:  
 1-2 – лиственничник голубично-зеленомошный с подлеском из ив и березки тощей; 3 – лиственничник с елью ерниковый осоково-кустарничково-зеленомошный; 4 – лиственничник с березой и елью вейниково-травяно-зеленомошный; 5 – лиственничник ерниковый кустарничково-зеленомошный; 6 – лиственничник ерниковый лишайниково-зеленомошный; 7 – лиственничник чернично-зеленомошный; 8 – лиственничник с березой и елью чернично-зеленомошный, 9 – лиственничник кустарничково-зеленомошный; 10 – березняк с елью хвощово-осоково-зеленомошный; 11 - лиственничник с березой разнотравно-зеленомошный; 12 – лиственничник чернично-разнотравный; 13 – елово-лиственничный кустарничково-лишайниковый лес; 14 – лиственнично-еловый разнотравно-вейниковый лес; 15 – лиственничник кустарничково-разнотравно-зеленомошный; 16 – лиственничник кустарничково-долгомошный

В составе растительных остатков в толще почвы преобладает фракция «прочей мортмассы», которая представляет собой растительные остатки различного происхождения в значительной степени подвергнувшиеся разложению. Доля этой фракции составляет от 70 до 94 % общих запасов растительных остатков в толще почвы (рис. 2).

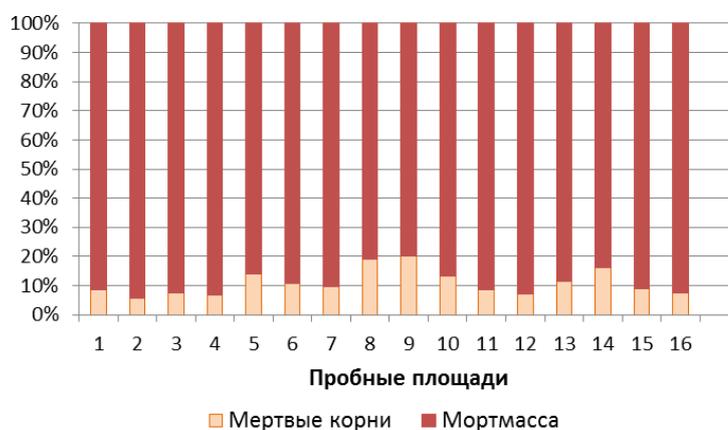


Рис. 2 – Соотношение запасов мертвых корней и прочей мортмассы в толще почвы. Тип леса на пробных площадях см. рис. 1

На долю мертвых корней еще не утративших своего строения приходится от 6 до 25 %. Другой фракцией, составляющей значительный запас в толще почвы, является полуразложившаяся древесина, доля которой в некоторых случаях может достигать 20 % общего запаса. Но распределение этой фракции в пространстве носит точечный характер и зависит от количества погибших деревьев в данном древостое.

Основным источником поступления растительных остатков в толщу почвы являются корневые системы наземной растительности. Запасы живых корней в почвенной системе исследованных биогеоценозов составляют от 6,55 до 31,61 т/га (суммарные запасы корней травяно-кустарничковой растительности, тонких и скелетных корней деревьев в подстилке и 20-ти см минеральной толще почвы). Эти запасы, как и запасы растительных остатков, распределены между лесной подстилкой и слоем минеральной почвы.

Для лесных экосистем Севера характерно присутствие значительного количества живых корней в слое подстилки. Это обусловлено большой мощностью этого слоя (до 15 см) и наиболее комфортными условиями в его толще для распространения и жизнедеятельности корневых систем. Запасы живых корней в подстилке составляют от 30 до 90 % общих запасов корней.

На долю корней древесных растений в подстилке приходится до 64 % общего запаса. В толще почвы их доля может достигать 95 % от общего запаса живых корней. Такое соотношение корней различного происхождения в подстилке и толще почвы объясняется тем, что травы и кустарнички имеют стелющиеся или поверхностные корневые системы, поскольку не нуждаются в прочном закреплении в почве, в отличие от древесных растений. Поэтому для них является достаточным распространение корней только в слое подстилки. Древесные же растения нуждаются как в прочном закреплении на субстрате, для того чтобы удерживать массу надземной части в вертикальном положении, так и в большей площади для поглощения воды и питательных веществ. Поэтому они вынуждены распространять свои корни и в минеральной толще почвы, несмотря на неблагоприятные термические условия. Это подтверждается тем, что до 80 % от общих запасов живых корней в толще почвы составляют толстые, скелетные корни деревьев.

Таким образом, в минеральной толще почвы лесных экосистем лесотундровой зоны сосредоточено от 13 до 64 % общего запаса мертвых растительных остатков в почвенной системе.

Запасы живых корней древесной и травяно-кустарничковой растительности неравномерно распределены между слоем подстилки и минеральной почвой. Основная доля корней трав и кустарничков (до 60-80 %) сосредоточена в лесной подстилке. В толще почвы преобладают корни деревьев. Общий запас живых древесных корней в почвенной системе составляет от 3,76 до 27,79 т/га. Запас живых корней трав и кустарничков составляет от 1,78 до 22,35 т/га в различных типах леса.

Запасы мертвых корней составляют до 12 % общего запаса растительных остатков в толще почвы, а это в 1,5-7,0 раз ниже запасов живых корней в этой сфере. Основная часть запасов растительных остатков в толще почвы представлена прочей мортмассой, источником которой могут быть как отмирающие части корневых систем растений так и растительный материал лесной подстилки.

Проведенные исследования позволяют говорить о значительном запасе органического вещества в виде растительных остатков разной степени разложения в толще почвы лесных экосистем Севера.

*Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения "Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орлов А.Я. Метод определения массы корней деревьев в лесу и возможность учета годичного прироста органической массы в толще лесной почвы.// Лесоведение. 1967. №1. С.64-70

### **АРКТИЧЕСКИЕ ЭКОСИСТЕМЫ: МИКРООРГАНИЗМЫ И ИХ ПРИСПОСОБЛЕНИЕ К ИЗМЕНЕНИЯМ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ПРОБЛЕМЫ БИОБЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ЧЕЛОВЕКА**

*Назаров П.А.*

Институт физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, nazarovpa@gmail.com

В последние несколько десятилетий интенсивное исследование биосферы привело к постоянным открытиям живых организмов в окружающей среде, которая ранее считалась непригодной для жизни. Это изменило наши представления об экосистемах и роли организмов в них.

Считается, что Арктика представляет собой некий природный «морозильник». Льды и снежные покровы Арктики благодаря своей белизне отражают солнечный свет, таким образом до 50–70% энергии падающих на него лучей рассеиваются и тем самым сохраняя простые живые формы в виде бактерий и вирусов.

Изменяющиеся условия окружающей среды и антропогенный фактор влияют на климатические изменения в арктической зоне. Наиболее активное таяние льда происходит в середине-конце арктического. После этого процесс формирования льда начинается снова. Из-за особенностей арктических течений паковые (многолетние)

льды дрейфуют к северу, по пути значительно наращивая массу и увеличиваясь в объеме. Благодаря своей толщине и низкой солености многолетний лед полностью не тает в летний период, что может создавать особые экосистемы, например сезонные пресные озера, образующиеся на поверхности льда под действием солнечного света в летний период [1].

Сменяющиеся циклы замораживания и оттаивания обуславливают попадание микроорганизмов «на хранение» в слой льда, таким образом, создавая коллекцию микроорганизмов внутри массы пакового льда. Однако из-за повышения температуры в Арктике дрейф льдов теперь начинается раньше, а цикл таяния и замерзания претерпел значительные изменения, так как теперь лед отступает быстрее и не успевает восстановиться зимой из-за изменений в температурных режимах Арктики. Согласно некоторым климатическим моделям, лед в Арктике полностью исчезнет в середине 21 века, и коллекция микроорганизмов окажется доступной для инкорпорирования в арктические экосистемы.

При этом, надо понимать, что «коллекция микроорганизмов Арктики» не обязательно будет безвредной для экосистем и особенно для человека. Одной из иллюстраций может быть распространение генов резистентности, например, гена bla<sub>NDM-1</sub>. В 2009 году ген был обнаружен на Индийском субконтиненте, а уже через несколько лет достиг отдаленного региона Арктики, Западного Шпицбергена. Так же на Шпицбергене ученые обнаружили бактерии, которые резистентны ко всем известным сейчас антибиотикам. То, что Арктика становится резервуаром генов резистентности, не может не настораживать, так как мы живем в конце «золотого века» антибиотиков и проблема бактериальной резистентности остро стоит над здравоохранением. Появление пула генов резистентности, который будет подпитывать другие экосистемы и в конце концов приведет к более частому возникновению госпитальных супербактерий, резистентных по отношению к широкому спектру антибиотиков, включая антибиотики последнего резерва наподобие колистина [3].

Таким образом, таяние арктических полярных льдов несет в себе угрозу как для арктических экосистем, с их хрупкостью и невероятной внутренней силой, так и для экосистем вне Арктики [4]. Это не только физическое устранение экосистем, например пресноводных озер паковых льдов, но возможное сокращение ареала таких редких животных как белый медведь и связанных с ним экосистем микроорганизмов.

Произойдет ли это «внезапно» для нас или будет в форме контролируемого процесса зависит исключительно от нашей готовности к встрече либо с новыми угрозами, либо с новыми возможностями.

*Работа была начата в рамках полярных экспедиций Арктического плавучего университета (2021 и 2022) и выполняется при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (грант 22-15-00099).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gradinger R, Bluhm B.A., Hopcroft R.R., Gebruk A.V., Kosobokova K., Sirenko B., Węślawski J.M. Chapter: 10. Marine Life in the Arctic. 2010. In Life in the World's Oceans, Blackwell Publishing Ltd. Pp.183-202.
2. Влад И.В., Шароватов А.А. Вопросы предотвращения последствий глобального изменения климата в Арктике // Инновации и инвестиции. 2023. №1. С.52-57.
3. Nazarov PA. MDR Pumps as Crossroads of Resistance: Antibiotics and Bacteriophages. Antibiotics (Basel). 2022 May 30;11(6):734.
4. Кашин А.С., Аксёнов А.С., Гончаров А.Е., Назаров П.А., Намсараев З.Б., Сабуров А.А. Арктический плавучий университет – новая площадка для мониторинга и комплексного изучения микробных сообществ. // Сборник тезисов IV Микробиологического Конгресса, Томск, 24-29 сентября 2023. С.58-59

## ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА РЕЗИСТОГРАММ ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ

Неверов Н.А.<sup>1</sup>, Тюкавина О.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, na-neverov@yandex.ru

<sup>2</sup> Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск

Неразрушающие методы диагностики внутреннего состояния и свойств древесины растущих деревьев позволяют перейти к дифференцированному подходу ее использования, обеспечивая рациональное природопользование. На данный момент активно развивается метод диагностики качества древесины, основанный на измерении сопротивления материала сверлению при помощи устройства Резистограф (Rinntech, Германия) [1, 2], которое применяется для оценки состояния стволовой древесины как растущих деревьев [3-7], так и древесного сырья [1, 8, 9]. Значения сопротивления сверлению зависят от плотности [1, 8-13] и влажности древесины [1]. По мере увеличения длины канала просверливания, значения сопротивления (Resi) возрастают. Для лиственницы данная погрешность представлена линейным уравнением связи [8]. Следовательно, для того чтобы интерпретировать результаты резистографа (резистограммы) путем сопоставления для соответствующих участков древесины плотности, влажности, прочности со значениями сопротивления сверлению необходимо выравнивание резистограмм посредством учета погрешности.

Цель исследования - оценка влияния длины канала просверливания ствола на величину систематической ошибки сопротивления сверлению древесины сосны.

Исследования проведены в Архангельском и Пинежском лесничестве (табл.1). Объектом исследования являлась сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.).

Таблица 1 – Таксационная характеристика исследуемых древостоев

Тип леса	Состав древостоя	Средние		Класс возраста	Класс бонитета	Относительная полнота
		высота, м	диаметр, см			
Архангельское лесничество						
Сосняк сфагновый	10 С	13	17	VI	Vб	0,3
Сосняк черничный	8С2Е+Б	21	23	VI	III	0,6
Ельник черничный	4С5Е1Ос+Б	22	24	V	III	0,6
Сосняк черничный	6С1Е2Б1Ос	21	24	V	III	0,6
Пинежское лесничество						
Сосняк черничный	2Лц5С2Е1Б	24	45	XI	III	0,6

Прибором Резистограф (Resistograph-44538) проводили сверление стволов на высоте 1,3 м сначала с северной стороны, повторно с южной насквозь, буровыми сверлами разной степени затупления (30-60 сверлений, 100-200 сверлений и более 200). Затем поблизости от отверстий возрастным буровом отбирали керн. Сопоставляли однородные участки древесины по уровню Resi при сверлении с северной и южной стороны. На каждой пробной площади исследовались по 15 здоровых деревьев.

Для выявления усиления сопротивления сверлению древесины с глубиной брали резистограммы с северной и южной сторон. Последовательно находили среднее значение Resi для каждого 5-миллиметрового отрезка керна при сверлении с севера и с

юга, далее сопоставляли их и усредняли значения, находили отклонения от среднего. На рисунке 1 представлен график увеличения Resi с глубиной сверления.

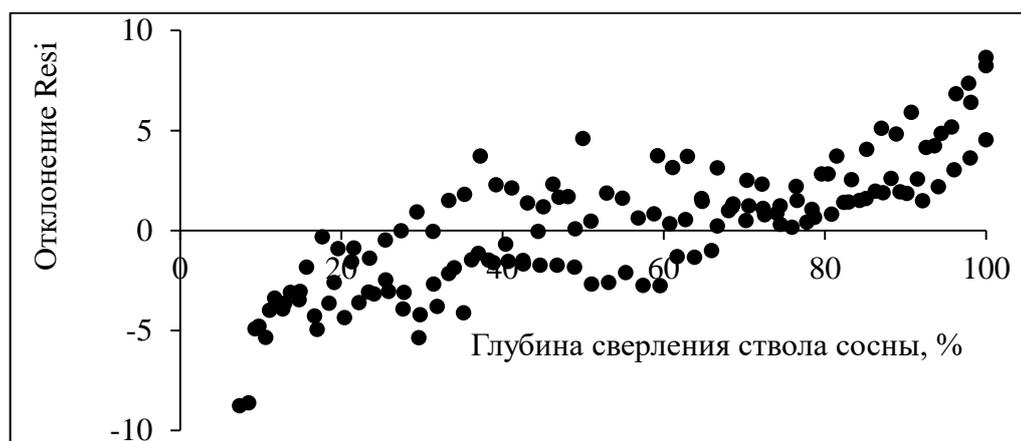


Рис. 1 – Отклонения значений сопротивления сверлению древесины от среднего при засверливании с северной и южной стороны

Для моделирования влияние длины канала просверливания на величину сопротивления сверлению ствольной древесины сосны на резистограмме взятой с севера на юг отступали расстояние равное 10 % диаметра ствола (кора, камбий) и сопоставляли значения Resi с соответствующим участком древесины на резистограмме взятой у этого же дерева в направлении с юга на север. Аналогично сопоставили начало резистограммы, взятой с южной стороны, с концом резистограммы, взятой с северной стороны дерева. Предположим, что в начале резистограммы с установившейся мощностью погрешность отсутствует и на противоположной резистограмме есть значения Resi с погрешностью для тех же самым годичных колец. В результате взяв деревья разного диаметра можно смоделировать влияние глубины сверления древесины сосны на значения Resi (рис. 2-4). При этом стоит учитывать количество рабочих циклов использования бурового сверла. Точность измерения сопротивления сверлению древесины зависит от состояния режущих кромок буровых сверл [2].

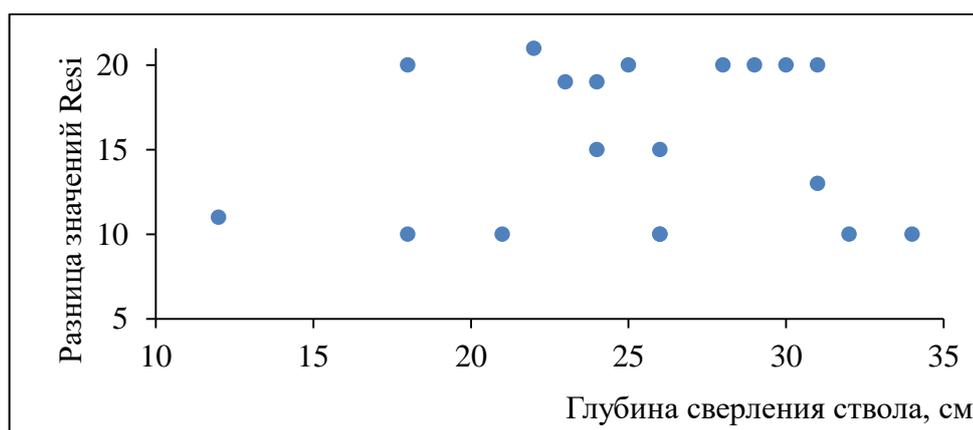


Рис. 2 – Погрешность значений Resi в зависимости от длины канала просверливания при предварительном использовании бурового сверла менее 100 раз.

При использовании бурового сверла до 100 раз погрешность значений Resi составляет от 10 до 20 (рис. 2). При этом погрешность измерений резистографа достаточно стабильна и не зависит от глубины сверления.

При использовании бурового сверла от 100 до 200 раз систематические ошибки значений Resi нарастают с увеличением глубины сверления и составляет от 20 до 54

(рис.3). При дальнейшем увеличении количества циклов работы буровой иглы погрешность возрастает в 3 раза по сравнению с предыдущей схемой работы (рис.4). Систематическая ошибка сопротивления сверлению древесины сосны в данном случае может возрастать в зависимости от глубины сверления от 75 до 200 Resi.

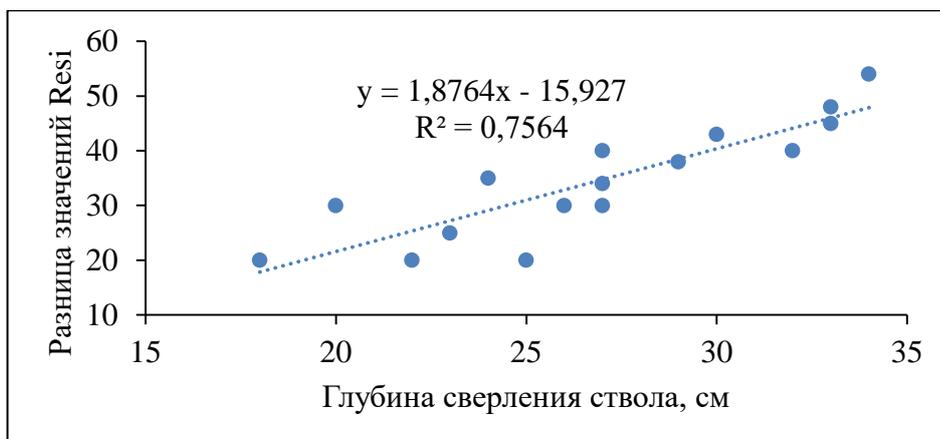


Рис. 3 – Погрешность значений Resi в зависимости от длины канала просверливания при предварительном использовании бурового сверла от 100 и до 200 раз.

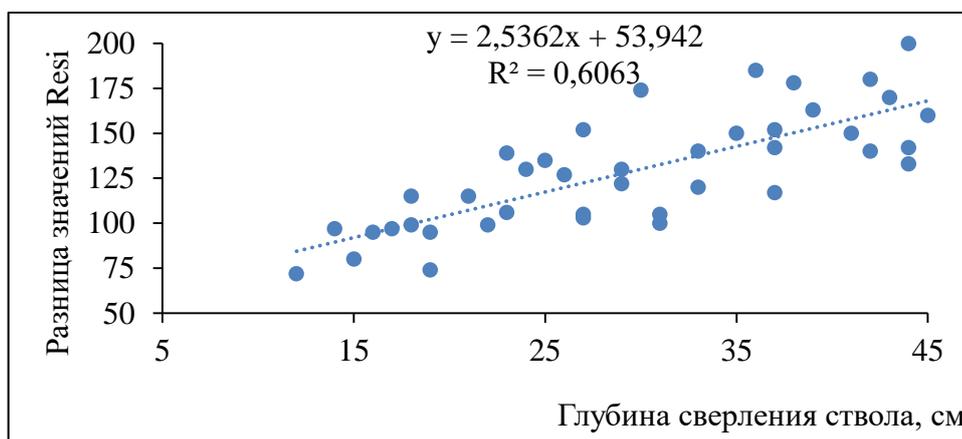


Рис. 4 – Погрешность значений Resi в зависимости от длины канала просверливания при предварительном использовании бурового сверла более 200 раз.

Таким образом, при использовании бурового сверла после 100 засверливаний отмечается линейная зависимость систематических ошибок сопротивления сверлению древесины сосны от длины канала сверления ствола. Глубина сверления оказывает влияние на значения сопротивления сверлению древесины, в связи с чем необходимо сглаживание рядов данных. Систематическая ошибка сопротивления сверлению древесины сосны зависит от количества предварительно проведенных рабочих циклов буровым сверлом. При количестве циклов работы до 100 систематическая ошибка составляет до 20 Resi; от 100 до 200 – от 20 до 60 Resi; более 200 – от 60 до 200 Resi.

*Исследования проведены в рамках государственного задания № 122011300380-5 Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шарапов Е.С. Влияние влажности на точность определения свойств древесины методом измерения сопротивления сверлению // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2016. № 2 (350). С. 103 - 113.

2. Шарапов Е.С. Совершенствование методов и средств квазинеразрушающего контроля физико-механических свойств древесины и древесных материалов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.05: защищена 08.04.2020 / Шарапов Евгений Сергеевич. - Архангельск, 2019. 340 с.
3. Авраменко А.А. Исследование внутреннего состояния и структуры древесины с использованием прибора Резистограф R650-SC // Вопросы криминологии, криминалистики и судебной экспертизы. 2021. № 1 (49). С. 177-180.
4. Кулакова С.А. Инструментальная диагностика деревьев уличного озеленения (на примере липы сердцелистной (*Tilia cordata*)) // Антропогенная трансформация природной среды. 2018. №4. С. 224 -227.
5. Осинцева Л.Ю. Инструментальная диагностика зеленых насаждений Дзержинского района г. Перми // Антропогенная трансформация природной среды. 2017. №3 (27). С. 136 – 142.
6. Позняк С.С. Диагностика внутреннего состояния деревьев на наличие скрытых гнилей с использованием показателей сопротивления при сверлении древесины / С.С. Позняк, А.Н. Хох // Сахаровские чтения 2020 года: экологические проблемы XXI века. Материалы 20-й международной научной конференции, в двух частях. Минск, 2020. С. 280–284.
7. Сиволапов В.А. Диагностика жизнеспособности регенерантов сорта тополя сереющего хоперский 1 и экотип лиственницы с помощью прибора RESISTOGRAPH / В.А. Сиволапов, Е.Е. Кулаков, А.И. Сиволапов // Цифровые технологии в лесной отрасли. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Воронеж, 2022. С. 86 -91.
8. Лавров М.Ф. Совершенствование метода оценки качества древесины лиственницы, произрастающей в климатических условиях Якутии: автореф. дис. ... к. техн. наук: 05.21.05: защищена 22.10.2015 / Лавров Михаил Фрументьевич. Якутск, 2022. 16 с.
9. Чахов Д.К. Определение качественных показателей древесины методом сверления / Д.К. Чахов, И.А. Докторов, М.Ф. Лавров // Вестник Московского государственного университета леса // Лесной вестник. 2014. Т. 18. № 5. С. 196 – 201.
10. Acuña L., Basterra L.A., Casado M., López G., Ramon-Cueto G., Relea E., Martínez C., González A. Application of resistograph to obtain the density and to differentiate wood species // Materiales de Construcción. 2011. №. 61(303). pp. 451–464.
11. Bouffier L., Charlot C., Raffin A., Rozenberg P., Kremer A. Can wood density be efficiently selected at early stage in maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.)? // Annals of Forest Science. 2008. №. 65(1). pp. 106–113.
12. Ceraldi C., Mormone V., Russo-Ermolli E. Resistographic inspection of ancient timber structures for the evaluation of mechanical characteristics // Materials and Structures. 2001. № 34. pp. 59–64.
13. Isik F., Li B.L. Rapid assessment of wood density of live trees using the Resistograph for selection in tree improvement programs // Canadian Journal of Forest Research Revue. 2003. № 33(12). pp. 2426–2435.

## НАЧАЛЬНЫЕ ЭТАПЫ ОНТОМОРФОГЕНЕЗА *S. VIMINALIS* L. НА ПОЙМЕННЫХ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ О. КРАСНОФЛОТСКИЙ

Пахов А.С.<sup>1</sup>, Браславская Т.Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, aleksander.pakhoff@yandex.ru

<sup>2</sup> Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, г. Москва, t-braslavskaya@yandex.ru

Изучение онтоморфогенеза древесных видов в различных условиях произрастания является актуальной задачей биоморфологии растений [1,2,3], и формирует основу для исследований популяционной организации лесных и кустарниковых растительных сообществ [4].

Ива корзиночная (*Salix viminalis* L.) – вид, заселяющий свежие наносы речного аллювия [5,6]. Она формирует обширный ареал, который на территории нашей страны включает в себя европейскую часть (от лесотундры на севере до степи в низовьях реки Кубани на юге), Урал, Западную и Восточную Сибирь, Алтай [5]. Проведенные ранее исследования ивы корзиночной показали, что для этого вида в процессе онтогенеза характерно формирование жизненных форм кустарника и многоствольного дерева [5-7]. Эти исследования проводились в южных и центральных частях ареала вида, тогда как в первой половине XX века, в ходе исследований на севере Республики Коми были описаны древовидные ивняки, занимающие большие площади в пойме Печоры и других рек Печорского бассейна. В древесном ярусе этих ивняков доминирует ива корзиночная, формирующая, как правило, биоморфу одноствольного дерева [8]. Но в ходе исследований этих ивовых лесов не применялись биоморфологические методы и не был охарактеризован полный онтогенез вида. В связи с этим, остается неясным, в результате чего онтогенез *S. viminalis* может приводить к формированию жизненной формы одноствольного дерева. Цель данного исследования – ответить на этот вопрос.

### Материалы и методы

Исследование проведено на территории Архангельской области, в подзоне северной тайги: в устьевом участке течения р. Северной Двины на пойменном острове Краснофлотский, ранее называемом Сурковской кошкой (64°29'59,9" с.ш., 40°36'57,65" в.д.) [9]. Для описания онтогенетических состояний *S. viminalis* были исследованы модельные растения в естественно сформировавшихся пионерных сообществах на пойменных островах. Признаки, изучаемые у модельных растений, были выбраны с учетом общих критериев выделения периодов и стадий в онтогенезе лиственных деревьев [10].

Сбор материала для описания начальных онтогенетических состояний (р – v<sub>2</sub>) *S. viminalis* проводился в августе 2014 г. на почти не посещаемой людьми отмели в северной оконечности о. Краснофлотский. Модельные растения этих состояний выкапывались полностью. В камеральных условиях проводился анализ строения побеговой системы каждого модельного растения: выявление границ между элементарными побегами и определение характера роста побегов из незимующих почек (при его наличии) – силлептические или пролептические, составление графической схемы соподчинения элементарных побегов и побеговых систем [11], определение календарного возраста каждой побеговой системы и всего растения на основе соподчинения элементарных побегов и побеговых систем разного возраста. У однолетних экземпляров проверялось наличие/отсутствие семядольных листьев. Для каждого элементарного побега определялся номер узла на родительском побеге, в котором он развился, измерялись общая длина, диаметр основания и угол отхождения от родительского побега, подсчитывалось число метамеров; у элементарных побегов,

развившихся в текущем сезоне, отмечалось состояние верхушечной почки. Двулетние побеговые системы классифицировали по функциональным типам: ростовые, заполняющие, осваивающие [11].

Онтогенетические состояния выделялись по критериям общего строения побеговых систем и структуры живой кроны, наличия генеративных органов. С учетом различных показателей размера растений и наличия патологий онтогенетические состояния подразделялись на уровни жизненности: нормальный, пониженный и низкий [12]. Расчет описательной статистики для разных признаков в выборках онтогенетических состояний и уровней жизненности, а также попарное сравнение выборок (по критерию Манна–Уитни) выполнены в программе Statistica 6.0.

### Результаты и обсуждение

Наши исследования начальных этапов онтогенеза *S. viminalis* показали, что проростки этого вида – одноосные растения с семядольными листьями, настоящие листья мелкие и на главном побеге не более 1-2 укороченных междоузлия. Ювенильные особи этого вида также одноосные растения, но уже утратившие семядольные листья с большим количеством настоящих листьев на главном побеге, по-прежнему однолетние (при нормальном уровне жизненности). В случае пониженной жизненности ювенильная стадия онтогенеза длится и второй год вегетации (рис. 1).

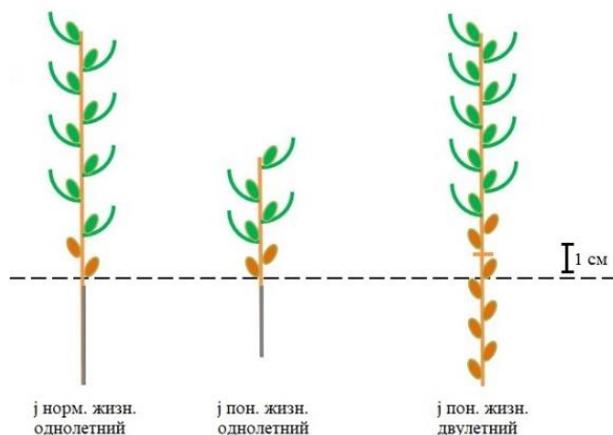


Рис. 1 – Схема строения *S. viminalis* в ювенильном возрастном состоянии

Имматурное онтогенетическое состояние – разветвленное двулетнее растение с одной двулетней побеговой системой ростового типа при нормальном уровне жизненности и осваивающего типа при пониженной жизненности [13] (рис. 2).

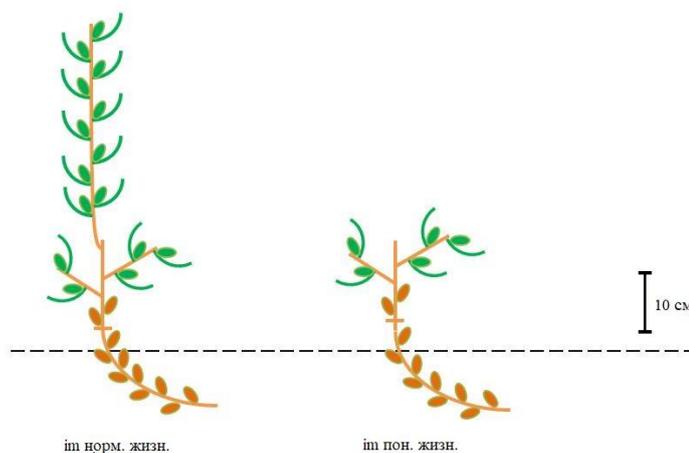


Рис. 2 – Схема строения *S. viminalis* в имматурном возрастном состоянии

На третий год жизни растения *S. viminalis* переходят в виргинильное возрастное состояние, которое целесообразно разделить на две стадии развития  $v_1$  и  $v_2$ . В онтогенетическом состоянии  $v_1$  молодые ивы начинают формировать два типа двулетних побеговых систем (ДПС) – одну ростовую и, как правило, несколько заполняющих. Это указывает на нормальный уровень жизненности. При наличии одной ростовой ДПС жизненность растения считаем пониженной. Если же растение имеет одну ДПС, но при этом ее нельзя считать ростовой, то такой экземпляр имеет низкую жизненность (рис. 3).

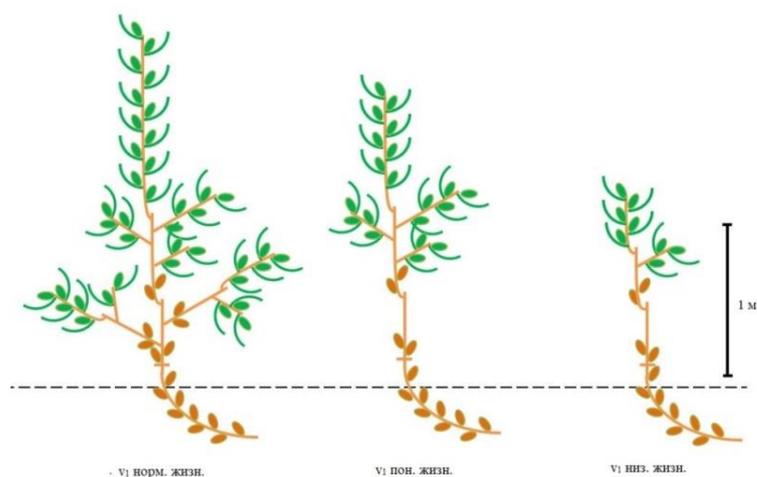


Рис. 3 – Схема строения *S. viminalis* в первом виргинильном возрастном состоянии

Переход у ивы корзиночной в онтогенетическое состояние  $v_2$  происходит в том случае, если растения  $v_1$  нормальной или пониженной жизненности через несколько лет не перешли в молодое генеративное состояние. Такие растения медленно растут испытывая как боковое, так и верхушечное затенение и переходят во второе виргинильное возрастное состояние, характеризующееся малым количеством ДПС заполняющего типа. Жизненность таких экземпляров может быть только низкой (рис. 4).

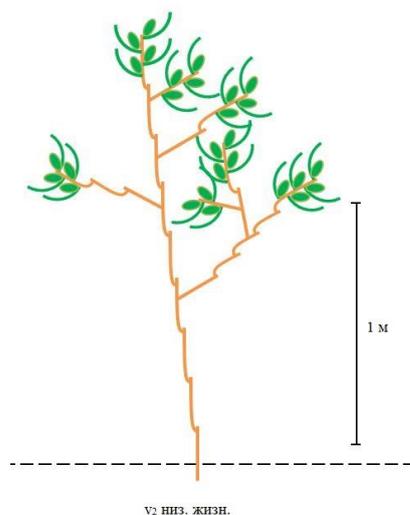


Рис. 4 – Схема строения *S. viminalis* во втором виргинильном возрастном состоянии

Таким образом, уже на начальном этапе онтогенеза в молодом ивняке ассоциации *Salicetum triandro-viminalis* Lohm. 1952 (Браславская, Пахов, 2016), у исследуемого вида ивы формируется жизненная форма «одноствольное дерево». По нашему мнению, это связано с высокой плотностью популяции ив при формировании молодого ивняка, а это приводит к тому, что боковые побеги не получают дальнейшего развития из-за бокового затенения и в дальнейшем отмирают и происходит очищение ствола от боковых ветвей. Вместе с тем, ежегодные паводковые воды приносят большое количество питательных веществ, что способствует быстрому росту ив. Растущий лидирующий побег вызывает сильное апикальное доминирование и приводит к торможению роста боковых почек. Наблюдения показывают, что биоморфа «одноствольное дерево» формируется у ивы корзиночной внутри растущего ивняка, а на открытых пространствах берегов и при механических повреждениях стволов формируются кустовидные формы роста.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Серебряков И.Г. Экологическая морфология растений. Жизненные формы покрытосеменных и хвойных. М.: Высшая школа, 1962. 380 с.
2. Barthelemy D., Caraglio Y. Plant Architecture: Dynamic, Multilevel and Comprehensive Approach to Plant form, Structure and Ontogeny // *Annals of Botany*, 2007. Vol. 99. P. 375-407.
3. Современные подходы к описанию структуры растений / Под ред. Н.П. Савиных. Киров: ООО Лобань, 2008. 355 с.
4. Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность: В 2 кн. М.: Наука, 2004. Кн. 1. Под. ред. О.В. Смирновой, 2004. 479 с.
5. Скворцов А.К. Ивы СССР. М.: Наука, 1968. 264 с.
6. Валягина-Малюткина Е.Т. Ивы европейской части России. Иллюстрированное пособие для работников лесного хозяйства. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2004. 217 с.
7. Гетманец И.А. Экологическое разнообразие и биоморфология рода *Salix* L. Южного Урала: Авт. реф. дис ... д-ра биол. наук. Омск, 2011. 36 с.
8. Самбук Ф.В. Ботанико-географический очерк долины реки Печоры // Труды Ботанического Музея АН СССР, 1930. Выпуск 22. С. 1-145.
9. Страхов В.Е. Двинские дали. Архангельск: Северо-Западное книжное издательство, 1972. 224 с.
10. Диагнозы и ключи возрастных состояний лесных растений. Деревья и кустарники Ч. 1. / Под. ред. О.В. Смирновой. М.: Прометей. Московский государственный педагогический институт им. В.И. Ленина, 1989. 102 с.
11. Антонова И.С., Фатьянова Е.В. О системе уровней строения кроны деревьев умеренной зоны // *Ботанический журнал*, 2016. Т. 101. № 6. С. 628-649.
12. Смирнова О.В., Заугольнова Л.Б., Ермакова И.М. и др. Ценопопуляции растений (основные понятия и структура) М.: Наука, 1976. 217 с.
13. Браславская Т.Ю., Пахов А.С. Формирование популяций ив на пойменном острове Краснофлотский // *Лесотехнический журнал*, 2016. Т. 6, № 4 (24). С. 29-37.

## ПРИМЕНЕНИЕ СТАДИИ ОБРАБОТКИ РЫБНОГО СЫРЬЯ ЛИПАЗОЙ ПРИ АНАЛИЗЕ СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

*Плахина Е.А., Вишневский В.В.*

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,  
г. Архангельск, vesyolkina.elena@yandex.ru

Жировая ткань гидробионтов представляет собой одновременно место хранения, мишень и источник для всего организма стойких органических загрязнений (СОЗ). Их особенностью является способность сохраняться в неизменном виде в окружающей среде десятки и даже сотни лет. Повышение внимания к загрязнителям с конца XX века характерно для арктического региона [1].

Загрязнение Арктики СОЗ является серьезной проблемой, так как их химические свойства обуславливают их накопление на крайнем Севере в организмах высших хищников: морских рыб, птиц и млекопитающих, которые используются в качестве традиционных продуктов питания коренных жителей северных регионов. Загрязняющие вещества трансгранично переносятся по воздуху, воде или с помощью мигрирующих видов животных, а устойчивость к деградации не дает распадаться в процессе перемещения. Некоторые из них аккумулируются в тканях живых организмов, причем концентрация их увеличивается по мере продвижения по пищевой цепи [2].

Вопросы мониторинга СОЗ в объектах окружающей среды и пищевой продукции вызывают все больший интерес. Среди инструментальных способов контроля широкого спектра анализируемых веществ наибольшее распространение находят различные хроматографические методы после тщательной пробоподготовки образцов с использованием агрессивных химических реагентов. Вместе с тем, для объектов с высоким содержанием липидов (жирные виды арктических рыб), указанные методы не всегда позволяют достигнуть высокой степени очистки образца. Например, очистку экстрактов от жиров осуществляют с помощью концентрированной серной кислоты. Недостатком этого способа является низкая эффективность, связанная с длительностью и условиями проведения анализа. В результате часть современных загрязнителей могут разрушаться в данных методах пробоподготовки [3].

Проблемы, связанные также с разрушением липидов, предлагается интенсифицировать стадиями биокатализа. Подбор и оптимизация липолитической стадии позволит совершенствовать подготовку проб к анализу следовых количеств загрязнений в рыбе. S.Kittlaus, J.Söhler и др. [3] первыми разработали ферментативный гидролиз с применением липазы из поджелудочной железы свиньи в физиологических условиях для отделения липофильных соединений при анализе следов СОЗ. Авторы отмечают, что данный способ позволяет исследовать большое количество образцов при низких затратах на оборудование и расходные материалы.

Липаза (К.Ф. 3.1.1.3) – фермент, гидролизующий триацилглицериновые субстраты, которые присутствуют в жирах и маслах, до более гидрофильных моно- и диглицеридов, свободных жирных кислот и глицерина. Данные биокатализаторы находят применение в пищевой и легкой промышленности, сельском хозяйстве, медицине, в бытовой химии, коммунальном хозяйстве и в аналитической практике. Наибольшие успехи достигнуты в применении липаз в составе биокатализаторов для переэтерификации жиров, получения биотоплива и в качестве добавок к поверхностно-активным веществам. Благодаря разной субстратной специфичности и широкому оптимуму липаз ферментативный способ разрушения липидов является крайне актуальным и в то же время малоизученным.

В последнее время появились новые подходы в пробоподготовке рыбного сырья (печень, мышечная ткань) к анализу СОЗ без применения концентрированных кислот,

основанные на твердофазной экстракции и других подходах, например, метод QuEChERS. В связи с этим была поставлена цель работы – оценка возможности использования стадии ферментативного гидролиза рыбного сырья липазой в сочетании методом пробоподготовки образцов для анализа СОЗ QuEChERS.

В работе были исследованы образцы мышечной ткани атлантического лосося (*Salmo salar*) с высоким содержанием липидов, отобранные в Ненецком автономном округе. Филейную часть семги измельчали погружным блендером Philips HR до гомогенного состояния. Анализ содержания жира осуществляли следующим образом. 40 г измельчённой мышечной ткани перетирали в ступке с 3-х кратным объемом безводного сульфата натрия для удаления влаги. Затем образец помещали в коническую колбу, наполненную 140-150 мл н-гексана, и экстрагировали не менее 20 мин. Полученный экстракт фильтровали через бумажный фильтр в грушевидную колбу в двух повторениях. Полученный фильтрат выпаривали при температуре 67-68 °С в сушильном шкафу «Loip LF-60/350-VS2» до постоянного веса.

Обработку условий ферментативного гидролиза проводили с использованием ферментных препаратов *Resinase HT* и *Resinase A2X* (компания Novozymes) в центрифужных пробирках объемом 1,5 мл со стеклянными шариками (d=1 мм, m=0,3 г) по следующим параметрам: объём фермента, рН, температура и время обработки. Для последующей работы были выбраны оптимальные условия ферментации: фермент *Resinase A2X*, время обработки 24 ч при температуре 30 °С в лабораторном шейкере при 210 об/мин в среде фосфатного буферного раствора, рН=6,8.

Пробоподготовку образцов перед анализом СОЗ проводили набором Agilent Bond Elut QuEChERS. Перед началом экстракции в образец вносили 20 мкл внутреннего стандарта, который представляет собой чистый аналит, внесенный в пробу с целью определения относительного содержания других аналитов и суррогатов, которые являются компонентами анализируемой пробы. 3 г лиофильно высушенной пробы ( $\pm 0,05$  г) поместили в центрифужную пробирку объемом 50 мл. Добавили к пробе 12 мл деионизированной воды и 2 керамических бруска из набора. Далее внесли 15 мл ацетонитрила и перемешивали в течение 1 мин.

Для проведения экстракции добавляли соли из набора QuEChERS. Тщательно взбалтывали в течение 1 мин. Далее центрифугировали в системе Eppendorf 5804R при 4200 об/мин в течение 5 мин. После переносили 8 мл слоя ацетонитрила в центрифужную пробирку объемом 15 мл и перемешивали 1 мин. Вновь помещали в центрифугу при 4200 об/мин в течение 5 мин при температуре 20 °С.

На заранее подготовленную колонку пипеточным дозатором наносили 1 мл супернатанта. Остатки СОЗ смывали, пропуская через колонку 20 мл н-гексана. Полученный элюат выпаривали при температуре 48 °С на роторном испарителе Lab Tech EV400 до объема 50 мкл.

Далее эти 50 мкл количественно переносили с помощью дозатора в микрофлаконы объемом 200 мкл и разбавляли до 100 мкл ацетоном. Анализ СОЗ проводили на газовом хроматографе Agilent 7890А по методике ГОСТ 31792-2012 [4]. После пробоподготовки осуществляли анализ СОЗ методом ГХ-МС по методике. Результаты по более, чем 10 СОЗ соответствуют ранее полученным данным [2].

В результате выполнения работы был отработан метод ферментативного гидролиза на образце рыбы *Salmo salar* ферментами серии *Resinase A2X*. Преимуществом является то, что методика не требует наличия сложного лабораторного оборудования и затрат. Предложено заменить классический метод очистки проб серной кислотой, поэтому на практике провели пробоподготовку образцов методом QuEChERS для последующего анализа загрязнителей на газовом хроматографе и методами масс-спектрометрии.

*Исследования проведены при финансовой поддержке Гранта по теме: «Исследование влияния ферментативной обработки рыбного сырья АЗРФ при анализе поллютантов» № Д-575/7.2023*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. The AMAP Assessment 2021: Human Health in the Arctic. Summary for policy-makers arctic monitoring and assessment programme.
2. Варакина Ю.И., Аксенов А.С., Лахманов Д.Е., Сорокина Т.Ю., Попова Л.Ф. Мониторинг стойких органических загрязнителей в промысловых рыбах Российской Арктики // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 2.С. 89-100
3. Enzymatic hydrolysis of fatty samples – a new smooth clean-up approach for the analysis of labile compounds [Electronic resource] / Kittlaus S., [et all.] // 8th International Symposium on Recent advances in food analysis, Prague, November 7–10, 2017. P. 97, access from Science Direct (23.04.2021). – Title from screen.
4. ГОСТ 31792–2012. Рыба, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Определение содержания диоксинов и диоксинподобных полихлорированных бифенилов хромато-масс-спектральным методом [Текст]. – Введ. 2014-09-15. – ФГУП «Атлант НИРО», 2014. – 39 с.

#### СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИЙ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ВО ВНУТРИБОЛОТНОМ ОЗЕРЕ СЕВЕРНОЕ

*Прасолов С.Д., Забелина С.А., Климов С.И., Чупаков А.В.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, sergeyprasolov1@gmail.com

Метан (CH<sub>4</sub>) и углекислый газ (CO<sub>2</sub>) – парниковые газы (ПГ), оказывающие большое влияние на тепловой баланс атмосферы земли. Болотные экосистемы играют важную роль в регуляции климата, выступая источниками и поглотителями парниковых газов. Наиболее исследованными в контексте изучения ПГ являются болота Западной Сибири [1], в то время как на Европейском Севере существуют лишь единичное исследование [2]. Недостаточно изученными также остаются количественные аспекты динамики газового режима внутриволотных озер, в частности сезонная изменчивость концентраций ПГ.

Целью данной работы было изучение сезонной изменчивости концентраций CH<sub>4</sub> и CO<sub>2</sub> во внутриволотных водоемах Иласского болотного массива, расположенного в 20 км южнее Архангельска, на примере небольшого озера. Озерные экосистемы считаются одним из важнейших звеньев геохимического цикла углерода, и вносят существенный вклад в эмиссию ПГ в атмосферу, при этом особую роль играют малые водоемы, где скорость протекания биогеохимических процессов непропорционально высока [3]. Объектом исследования являлось типичное внутриволотное оз. Северное – озерко, максимальной глубиной 2,2 м, размером 270\*70 м и площадью 0,013 км<sup>2</sup>, расположенное в грядово-озерковом комплексе Иласского болотного массива. Озеро характеризуется ультрапресной водой (удельная электропроводность 18-40 мкСм/см) с низкими значениями рН (3,9-4,8) и низкой прозрачностью (≤ 2 м).

Отбор проб воды проводился по профилю водной толщи в основные гидрологические сезоны 2022 года: зимняя стратификация (март), весенняя гомотермия (май), летняя стратификация (август), предзимье (ноябрь). Кроме того, проводился отбор проб в поверхностном слое воды (0,15 м) в июне и июле, а также в подледном горизонте (0,5 м) в апреле и декабре. Отбор проб в марте, апреле и декабре проводился

со льда, в ноябре пробоотбор совпал с началом установления устойчивого ледового покрова. Концентрации ПГ в пробах определялись в лабораторных условиях на газовом хроматографе "Хроматэк - Кристалл 5000". Также были рассчитаны равновесные с атмосферой концентрации [4; 5], для первичной оценки направления потока ПГ между озером и атмосферой.

Содержание ПГ в водной толще (рис.1 а, б) в марте составило 0,27-40 мкмоль/л  $\text{CH}_4$  и 283-434 мкмоль/л  $\text{CO}_2$ . Более высокие значения концентраций отмечены ниже 1 м, достигая максимума в придонном горизонте. Концентрации углекислого газа по всему профилю значительно превышают значения в остальные сезоны; концентрации метана в подледном горизонте, в свою очередь, мало отличаются от значений в период открытой воды. В мае произошло перемешивание вод до дна и установление гомотермии, которое привело к высвобождению запаса парниковых газов, накопленного в зимний период. В результате, весенние концентрации  $\text{CH}_4$  неизменны по всей глубине озера (0,37 мкмоль/л). Концентрации  $\text{CO}_2$  весной значительно снизились по сравнению с зимним периодом, до 97-104 мкмоль/л, но остаются более высокими, чем в остальные сезоны, при этом понижение концентраций отмечается в придонном горизонте. В августе содержание  $\text{CH}_4$  в целом совпадает с весенними значениями, лишь незначительно возрастая ниже 1 м до 0,5 мкмоль/л; содержание  $\text{CO}_2$  продолжает падать по сравнению с предыдущими сезонами, до 6,9 мкмоль/л, без заметных изменений в профиле концентраций. В период предзимья концентрации метана возрастают до 0,78-3,1 мкмоль/л, что особенно выражено в придонных горизонтах; содержание углекислого газа, в свою очередь, достигает 3,3-4,3 мкмоль/л, незначительно возрастая с глубиной.

Концентрации ПГ в поверхностном слое воды (рис.2 а, б), вблизи нижней кромки льда, резко возрастают к концу зимы, что может быть связано с истончением снежного и ледового покрова, проникновением солнечной радиации в толщу воды и, как следствие, началом прогрева воды и разрушения зимней стратификации, что приводит к подъему насыщенной газами воды из нижележащих слоев. После схода в первой декаде мая ледового покрова, и в результате высвобождения накопленного в течение зимы запаса, концентрации ПГ резко падают.

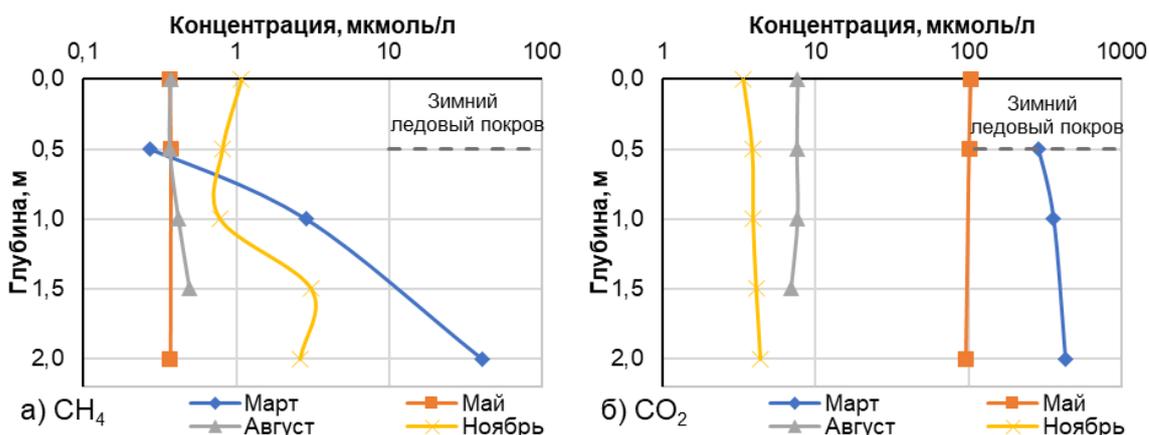


Рис. 1 – Сезонные профили концентраций ПГ:  
а) концентрации  $\text{CH}_4$ ; б) концентрации  $\text{CO}_2$

В период открытой воды оба газа ведут себя по-разному. Концентрации  $\text{CH}_4$  находятся на одном уровне в мае, июне и августе, возрастая в июле, во время периода обильных дождей, приводящих к поступлению в озеро органического вещества поверхностным стоком с окружающего ландшафта. В ноябре, во время установления ледового покрова, также наблюдается повышение содержания газа в поверхностном горизонте, однако к третьей декаде декабря оно резко снижается. В течение периода

открытой воды наблюдается более чем стократное превышение фактических концентраций  $\text{CH}_4$  (0,36-0,67 мкмоль/л) над равновесными с атмосферой значениями (0,002-0,003 мкмоль/л) (рис.2а), что указывает на активный поток метана в атмосферу.

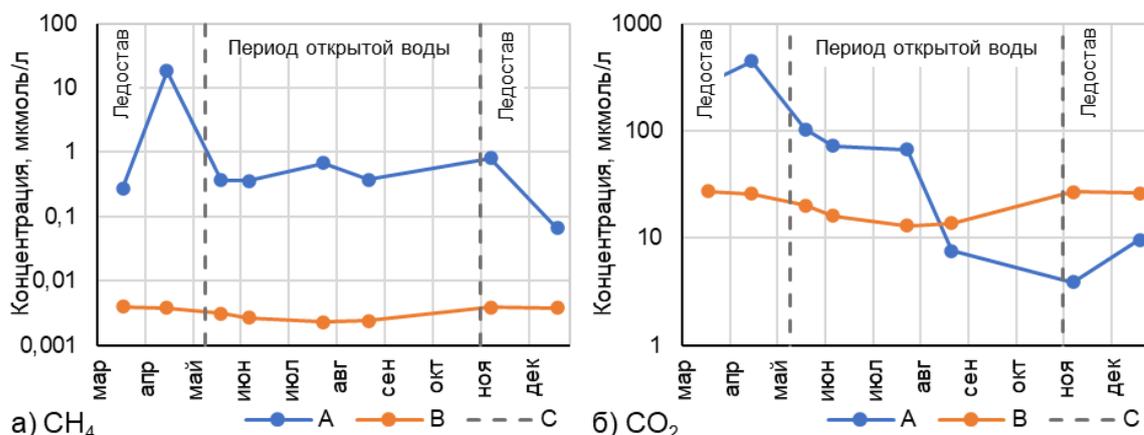


Рис. 2 – Поверхностные концентрации ПГ: а) концентрации  $\text{CH}_4$ ; б) концентрации  $\text{CO}_2$ .  
 А – фактические измеренные концентрации; В – равновесные с атмосферой; С – границы периодов открытой воды и устойчивого ледового покрова

Концентрации  $\text{CO}_2$ , в свою очередь, снижаются в течение всего периода открытой воды, однако в июле понижение менее выражено, чем в остальное время. Концентрации достигают минимума в ноябре, в начале установления ледового покрова, а в декабре, после ледостава, наблюдается их незначительное повышение. Вода весной и в начале лета перенасыщена  $\text{CO}_2$ , но концу августа наблюдаемые концентрации становятся ниже равновесных с атмосферой (рис.2б), что связано с развитием и активной жизнедеятельностью фитопланктона в вегетационный период и свидетельствует об изменении направления потока и поглощении  $\text{CO}_2$  из атмосферы.

Таким образом, на примере типичного внутриболотного озера Северное показано, что внутриболотное озеро является источником метана в течение всего периода открытой воды, а также источником углекислого газа с мая по июль. Однако, к концу вегетационного периода (с августа до установления ледового покрова), изменяется направление потока, что делает озеро поглотителем  $\text{CO}_2$ .

*Исследования проведены при финансовой поддержке РНФ, проект № 22 27 00828 «Оценка эмиссии углерода ( $\text{CH}_4+\text{CO}_2$ ) с поверхности внутренних водоемов Европейского Севера России», <http://rscf.ru/project/22-27-00828/>.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глаголев М. В. Аннотированный список литературных источников по результатам измерений потоков  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$  на болотах России // *Динамика Окружающей Среды И Глобальные Изменения Климата*. – 2010. – Т. 1. – № 2. – С. 1-53.
2. Федоров Ю. А., Гарькуша Д. И., Хромов М. И. Эмиссия метана с торфяных залежей Иласского болотного массива Архангельской области // *Известия Русского географического общества*. – 2008. – Т. 140. – № 5. – С. 40-47.
3. Downing J. A. Emerging global role of small lakes and ponds: little things mean a lot // *Limnetica*. 2010. Vol. 29. № 1. P. 9-24.
4. IUPAC-NIST Solubilities Database [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://srdata.nist.gov/solubility/sol\\_detail.aspx?sysID=62\\_68](https://srdata.nist.gov/solubility/sol_detail.aspx?sysID=62_68) (дата обращения: 21.02.2023).
5. Lammers S., Suess E. An improved head-space analysis method for methane in seawater // *Marine Chemistry*. 1994. Vol. 47. № 2. P. 115-125.

## БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ОЗЕРАХ ЗАПАДНОЙ КАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОСТРОВА БОЛЬШОГО СОЛОВЕЦКОГО

Прилуцкая Н.С., Чупакова А.А., Морева О.Ю., Воробьева Т.Я., Климов С.И.

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, priluckaya.fickia@mail.ru

Западная озерно-канальная система (ЗОКС) является одной из самых древних, а также самой крупной среди канальных систем острова, которых на архипелаге насчитывается около двадцати. Ее формирование началось в 1514 году и закончилось в 1918 году после присоединения к системе озера Большого Красного (1, 2, 3).

На данный момент основу системы составляет 6 озер: Большое Красное, Валдай, Щучье, Круглое Орлово, Средний Перт, Питьево. Все эти озера соединены друг с другом каналами с укрепленными стенками. Кроме того, эта система принимает в себя воды менее крупных подсистем и одиночных озер.

До недавнего времени исследованию озер на острове Большой Соловецкий уделялось незначительное внимание. Гидрохимические и гидробиологические показатели для некоторых из озер данной канальной системы определялись в 20-е годы XX века (1), а затем в 60-е годы XX века (2). В дальнейшем подобная работа проводилась комплексной экспедицией в 2007 году (3). С 2020 года при участии коллектива ФИЦКИА УрО РАН начался новый этап исследований озер Соловецкого архипелага с использованием современных методов исследования, новейшего экспедиционного (гидрозондов, эхолотов, GPS навигаторов и др.) и лабораторного оборудования (4, 5). До настоящего времени в литературе не представлена комплексная характеристика по гидрохимическим и гидробиологическим показателям озер канальной системы в зависимости от глубины, в том числе и биогенных элементов. В тоже время, вертикальное распределение биогенных элементов может рассказать о внутриводоемных процессах, в том числе, интенсивности вегетационных процессов, динамики вод.

Цель работы – на основе результатов, полученных в ходе летних полевых экспедиционных исследований 2021 – 2022 годов представить современную характеристику распределения биогенных элементов в озерах Западной канальной системы Большого Соловецкого острова (БСО)

В качестве объектов исследования были выбраны три озера ЗОКС: Большое Красное, Щучье и Питьево. Образцы проб воды отбирали горизонтальным поликарбонатным батометром на 5 л. с учетом особенностей рельефа дна (в самой глубокой точке). Отбор проб воды на гидрохимические анализы проводился послойно по водному столбу озер в соответствии с вертикальной стратификацией гидролого-гидрохимических показателей в июле-августе 2021 – 2022 годах. В 2021 году проводились рекогносцировочные работы (на каждом озере отбор проводили на одной станции), в 2022 году количество станций зависело от размера озера. Точки отбора проб изображены на рисунке 1.

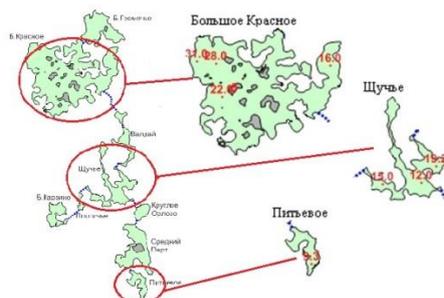
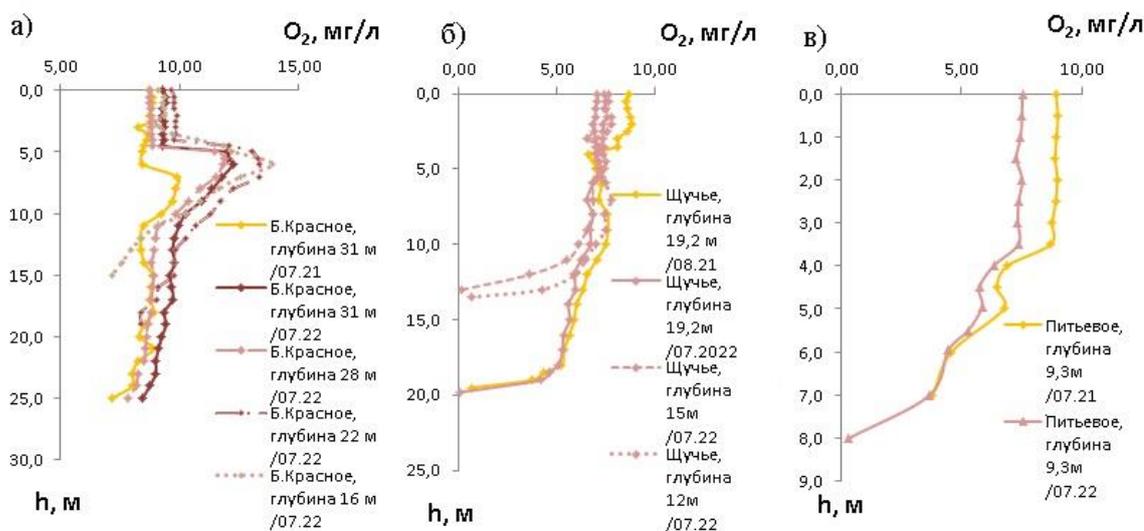


Рис. 1. – Точки отбора проб

Для определения содержания биогенных элементов в пробах воды (определение концентрации нитритного азота  $N-NO_2^-$ , аммонийного азота  $N-NH_4^+$ , нитратного азота  $N-NO_3^-$ , общего азота  $N_{tot}$ , фосфат-ионов  $P-PO_4^{3-}$ , общего фосфора  $P_{tot}$ , кремния  $Si$  использовались стандартные фотометрические методы (6).

Предварительные гидрологические работы (5) показали, что в озерах ЗОКС в период экспедиционных работ наблюдалась резкая стратификация температуры воды. По типу летней стратификации вод озера Большое Красное и Щучье можно отнести к гипотермическим, а Питьевое - к метатермическим. Данные озера имеют примерно одинаковые значения электропроводности (56,8-62,0 мкСм/см) и близкие значения pH (6,11-6,74). По классификации Баранова И.В. по минерализации вод озера можно отнести к ультрапресным (< 100 мг/л). Более подробное гидрологическое описание озер острова Большой Соловецкий приведено в статье (5).

Содержание растворенного кислорода в озерах ЗОКС различно (рис. 2).



а) озеро Большое Красное; б) озеро Щучье; в) озеро Питьевое  
Рис. 2. – Содержание растворенного кислорода в озерах ЗОКС, мг/л

В озере Большое Красное отмечено высокое содержание растворенного кислорода по всему водному столбу (до 7,00 мг/л) со скачком в металимнионе (до 13,36 мг/л). В озерах Щучье и Питьевое наблюдалось уменьшение содержания растворенного кислорода к придонному слою.

Прозрачность воды озер ЗОКС определяли по диску Секки. Наибольшей прозрачностью обладает озеро Большое Красное. По классификации Китаева (7) данное озеро можно отнести к озерам с высокой прозрачностью, Щучье и Питьевое – к озерам со средней прозрачностью.

Начальным водоемом основной западной канальной системы является озеро Большое Красное. Данное озеро также самое крупное озеро на архипелаге. Оно представляет собой набор относительно изолированных котловин. Озеро проточное: в него впадают три небольших ручья из озер Большое Гремячье, Коморье и озера без названия (2).

Содержание биогенных элементов (соединений азота, соединений фосфора, а также кремния) по водному столбу в озере Большое Красное (рис. 3, 4) меняется незначительно. Концентрация нитритного азота не превышает 1 мкгN/л на всех станциях по всей водной толще. Из соединений азота преобладающим является нитратный азот.

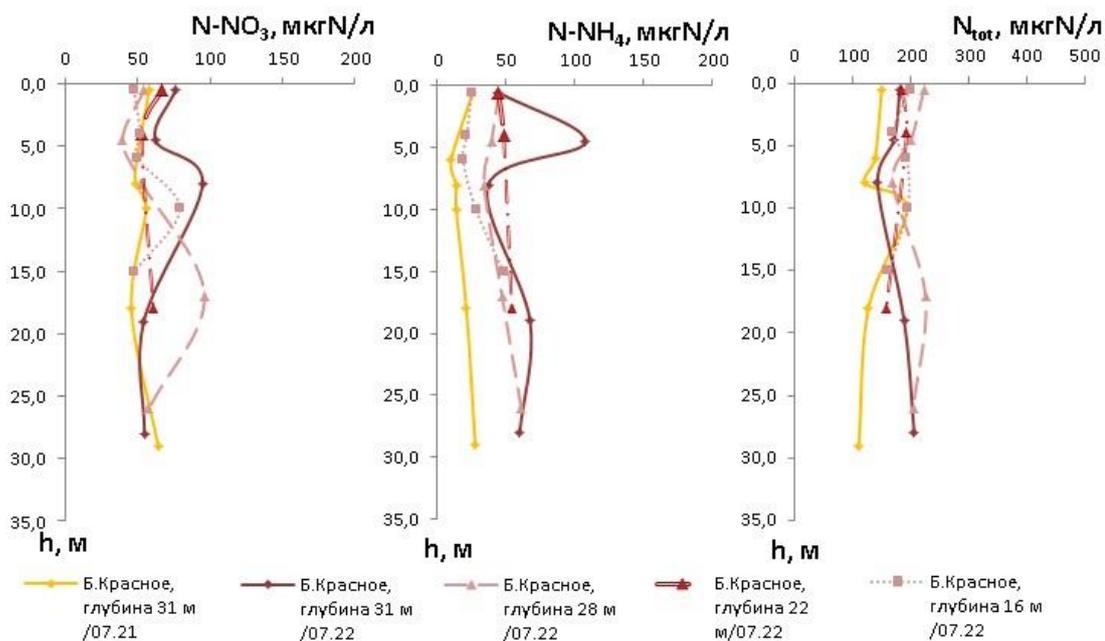


Рис. 3 – Содержание соединений азота в озере Большое Красное

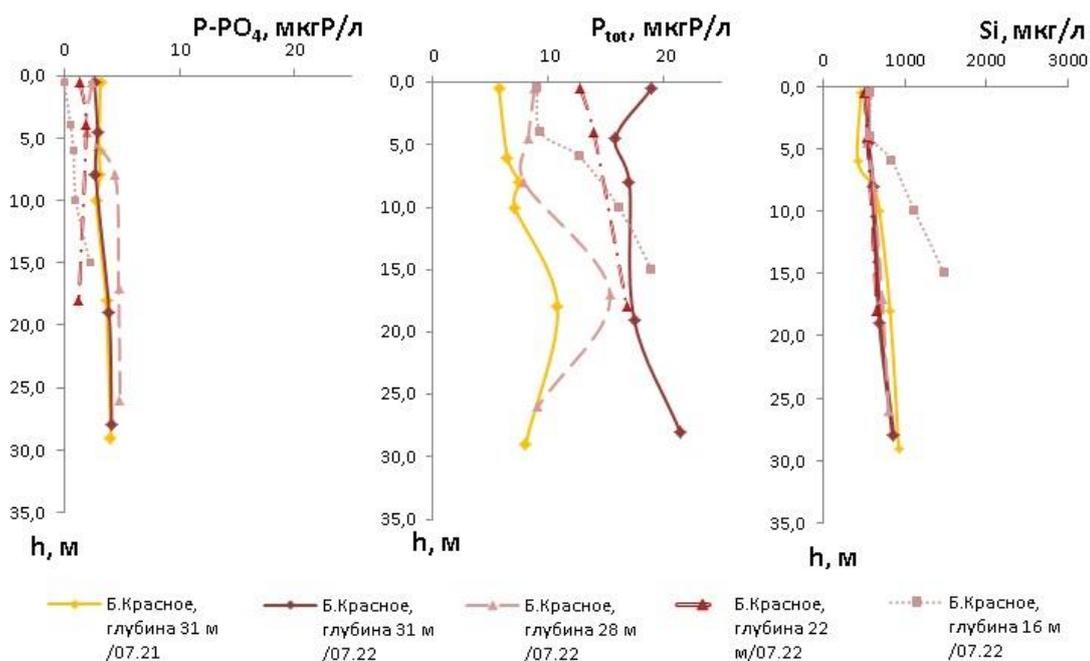


Рис. 4 – Содержание соединений фосфора и кремния в озере Большое Красное

Озеро Щучье в ЗОКС расположено между озерами Валдай и Круглое Орлово. В данное озеро по каналам втекает вода из озера Валдай и озера Плотичье.

Распределение содержания биогенных элементов в озере Щучье (рис. 5, 6), различно. Количество аммонийного азота и фосфатов по водному столбу меняется незначительно. Концентрация нитратного азота и кремния ко дну увеличивается. Содержание нитритного азота варьируется в пределах от 2 до 3 мкгN/л на всех станциях по всей водной толще. При этом, преобладающей формой азота также как и в озере Большое Красное, является нитратный азот.

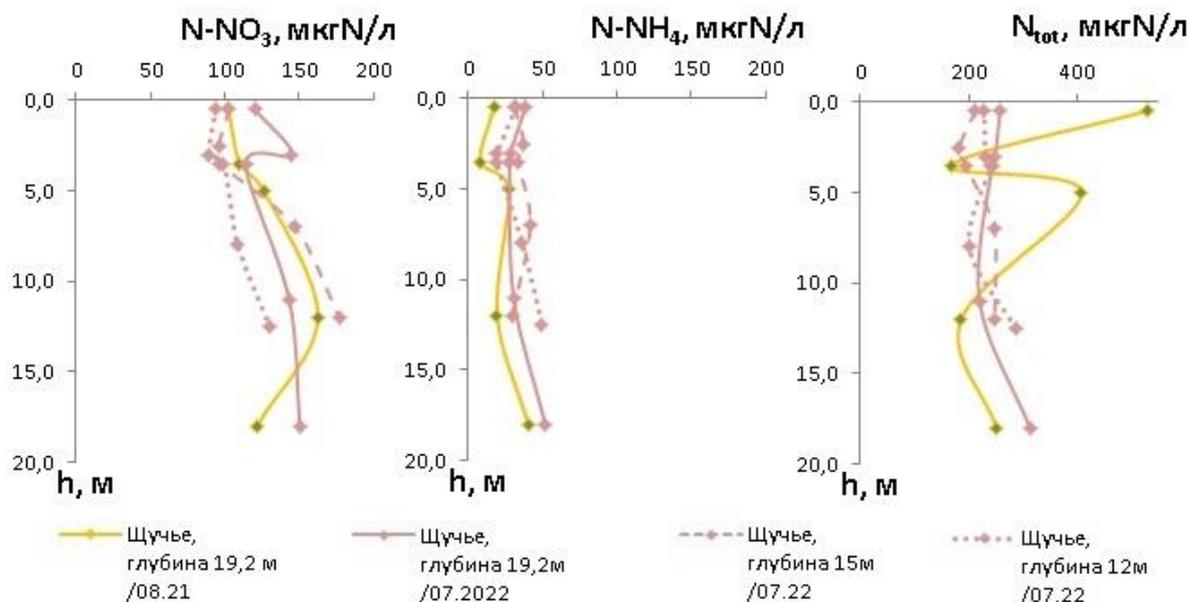


Рис.5 – Содержание соединений азота в озере Щучье

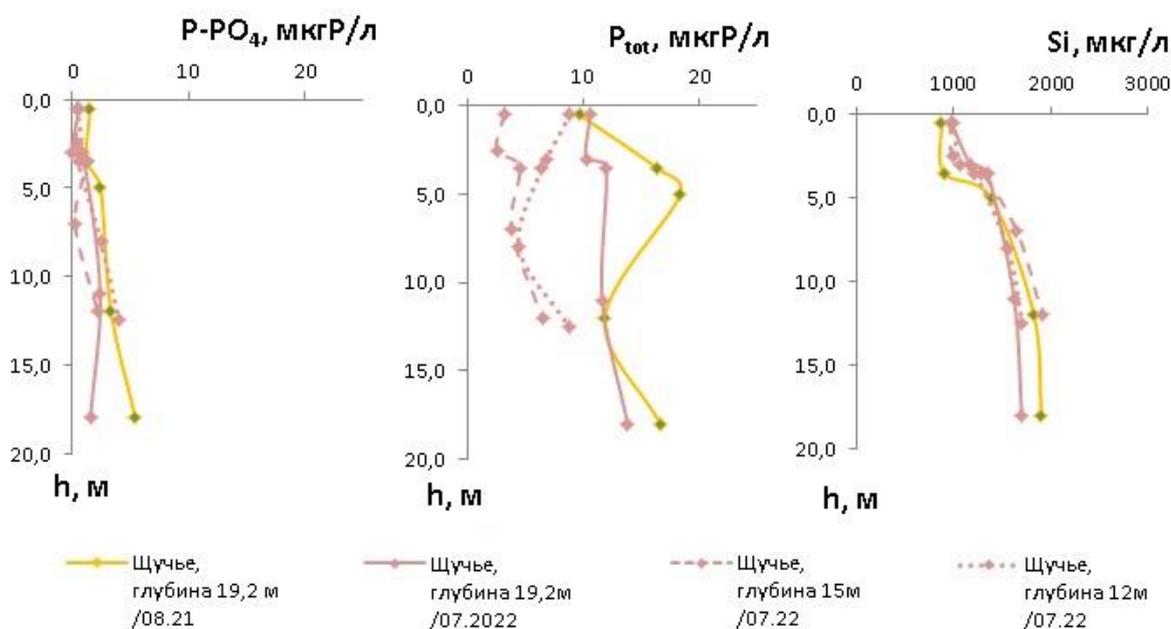


Рис.6 – Содержание соединений фосфора и кремния в озере Щучье

Озеро Питьево в ЗОКС находится между озером Средний Перт и озером Святое. Причем из озера Питьево проходит питьевой канал в озеро Святое длиной более 2 км.

Изменения концентраций неорганических форм биогенных элементов по водному столбу в озере Питьево (рис. 7, 8) незначительны.

Преобладающей формой азота в озере является нитратный азот, содержание же нитритного азота не превышает 4 мкгN/л. В распределении общего азота и общего фосфора в озере Питьево в июле 2022 года наблюдается увеличение их концентрации над термоклином, что может говорить о более интенсивном развитии фитопланктона на данном горизонте.

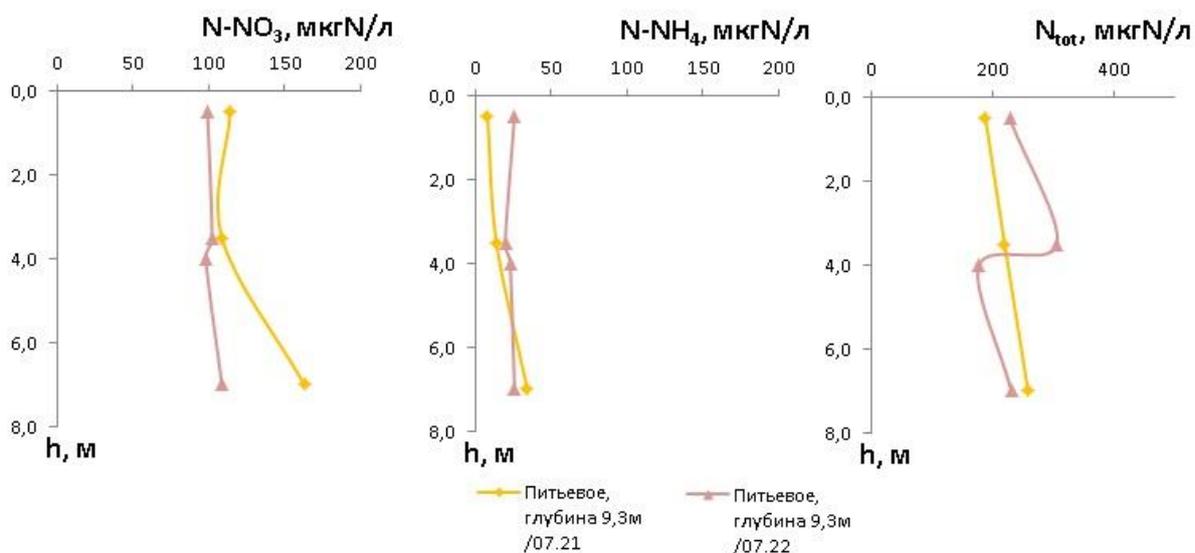


Рис. 7 – Содержание соединений азота в озере Питьевое

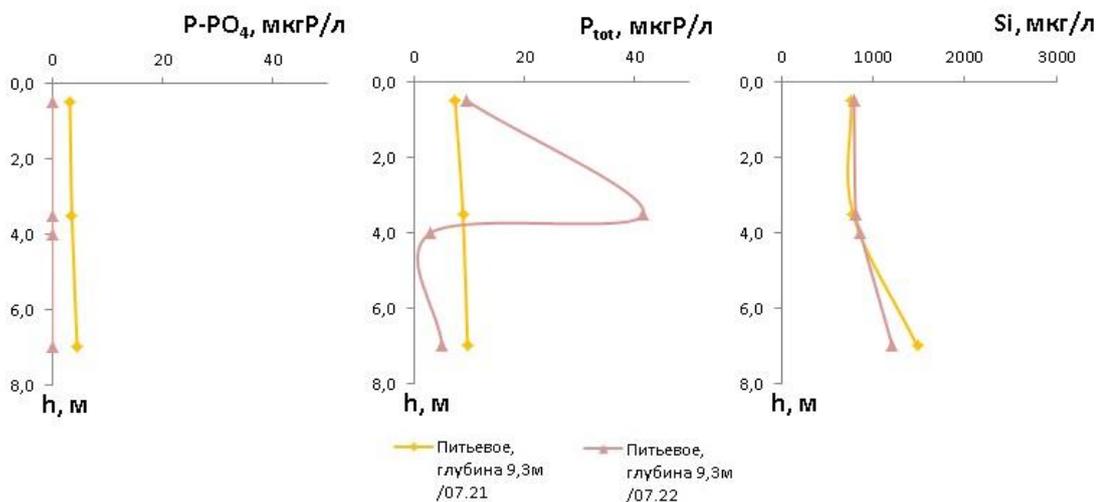


Рис. 8 – Содержание соединений фосфора и кремния в озере Питьевое

В исследуемых озерах ЗОКС отмечают не высокие концентрации основных биогенных элементов. Трофический статус исследуемых озер по содержанию основных биогенных элементов оценивается, как олиготрофный (7). Однако вследствие возрастающей антропогенной нагрузки на изучаемые водоемы, необходимо продолжать мониторинговые исследования озер ЗОКС Большого Соловецкого острова.

*Исследования проведены при финансовой поддержке ФНИР FUUW-2022-0065 (№ гос. регистрации 122011800149-3) и РНФ, проект № 22-14-20045.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соловецкие озера [Электронный ресурс] : краткий гидробиологический очерк / А. А. Захваткин. Соловки : Бюро печати УСЛОН, 1927 (2016). 142 с. (Материалы / Соловецкое Общество краеведения ; вып. 9).
2. Грицевская Г.Л., Кябелева Г.К., Николаева Л.А., Семенов В.Н. Гидрология и гидрохимия Соловецких озер // Соловецкие острова: материалы по комплексному изучению озер. Труды СевНИОРХ. Т. 6. Петрозаводск: Изд-во Карелия, 1972. С. 5–44.
3. Природная среда Соловецкого архипелага в условиях меняющегося климата / Под ред. Ю.Г. Шварцмана, И.Н. Болотова. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 184 с.

4. Титова К.В., Жибарева Т.А., Морева О.Ю., Собко Е.И., Слобода А.А., Попов С.С., Прилуцкая Н.С. Гидрохимические и гидробиологические исследования озер Большого Соловецкого острова // Успехи современного естествознания. 2020. № 11. С. 125–131.
5. Климов С.И., Быков В.М. Гидрологические особенности озер Соловецкого архипелага в летний период // Метеорология и гидрология. 2022. № 9. С. 53-64.
6. Аналитические, кинетические и расчетные методы в гидрохимической практике/Под ред. П.А.Лозовика, Н.А.Ефременко.-СПб.: Нестор-История,2017.-272 с.
7. Китаев, С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов / С. П. Китаев. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 2007. 395 с.

## СОЗДАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ МОДЕЛИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

*Раевский Б.В., Тарасенко В.В., Петров Н.В.*

Карельский научный центр РАН, г. Петрозаводск, borisraevsky@gmail.com

Принимая в внимание актуальность регионального и локального уровней картографирования растительности Арктической зоны РФ, целью настоящего исследования являлась картирование растительного покрова юго-восточной части Арктической зоны Мурманской области с использованием многозональных космических снимков среднего пространственного разрешения (30 м/пиксель.) программы Landsat. Общая площадь территории исследования составила 4273000 га (рис.1).



Рис. 1 – Дислокация исследуемой территории

Нашими предшествующими исследованиями [7, 8, 9] было показано, что при дешифрировании (ПО ENVI) территорий Онежского полуострова (Архангельская область) и государственного природного заповедника «Костомукшский» (Респ. Карелия) с использованием ряда классических методов управляемой классификации

(максимального правдоподобия; дистанции Махаланобиса и минимального расстояния), последний дал наиболее достоверные результаты. В настоящей работе с использованием космического снимка (КС) LC09\_183013\_20220720\_B654, занимавшего 96,45 % исследуемой территории кроме метода минимального расстояния также были протестированы следующие алгоритмы классификации: Random Forest Classification (ПО SAGA); Support Vector Machine Classification (ПО SAGA); K-nearest neighbors (ПО SIP); Normal Bayes (ПО SIP); Random Trees (ПО SIP). Для выделения хвойных насаждений на «зимних» КС использовался экспресс-метод неуправляемой классификации K-means (ПО SAGA, 6 кластеров).

После выполнения интегральной оценки тематического и пространственного аспектов достоверности дешифрирования «основного» КС (LC09\_183013\_20220720\_B654) был сделан вывод, что в отношении исследуемого объекта метод минимального расстояния дал лучшие результаты. Поэтому RGB-композиции других КС также были дешифрованы методом минимального расстояния по соответствующим наборам эталонов. Средневзвешенные оценки точности классификации в целом по объекту составили: общая точность (достоверность) – 87,6%, коэффициент Каппа – 0,74. Полученные показатели достоверности находятся на нижней границе «значительного» уровня согласованности значений [4] поэтому точность (достоверность) классификации исследуемой территории следует считать «хорошей». По результатам дешифрирования была проведена генерализация цифровых тематических данных и выполнено объединение в единое цифровое покрытие (ГИС-формат, ПО MapInfo) в границах исследуемой территории (рис. 2). Сводные данные по сумме площадей объектов, относящихся к категории «покрытые лесом земли», в границах Терского лесничества приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Оценка достоверности тематической классификации покрытых лесом земель Терского лесничества [5]

Порода	Площадь, га		Относительная разница, %	Δ, %
	данные лесного реестра	дешифри- рование		
Сосна	224339	199157	88,8	-11,2
Ель	491305	407404	82,9	-17,1
<b><i>Итого хвойных</i></b>	<b><i>715644</i></b>	<b><i>606561</i></b>	<b><i>84,8</i></b>	<b><i>-15,2</i></b>
Береза	147140	191132	129,9	29,9
Осина	143	0		
<b><i>Итого лиственных</i></b>	<b><i>147283</i></b>	<b><i>191132</i></b>	<b><i>129,8</i></b>	<b><i>29,8</i></b>
<b>ВСЕГО</b>	<b><i>862927</i></b>	<b><i>797693</i></b>	<b><i>92,4</i></b>	<b><i>-7,6</i></b>

Известно, что при лесоустройстве площадная структура насаждений определяется, прежде всего, по преобладающей по запасу породе, преимущественно при таксации глазомерно-измерительным способом. Данные дешифрирования возникают на принципиально иной методической основе (попиксельной классификации), что и определяет наблюдаемый дисбаланс в площадях хвойных и лиственных пород. Однако общее незначительное отклонение (-7,6%) в величине отдешифрированной покрытой лесом площади с учетом большой общей площади лесничества (2084874 га) подтверждает высокую достоверность выполненной классификации.

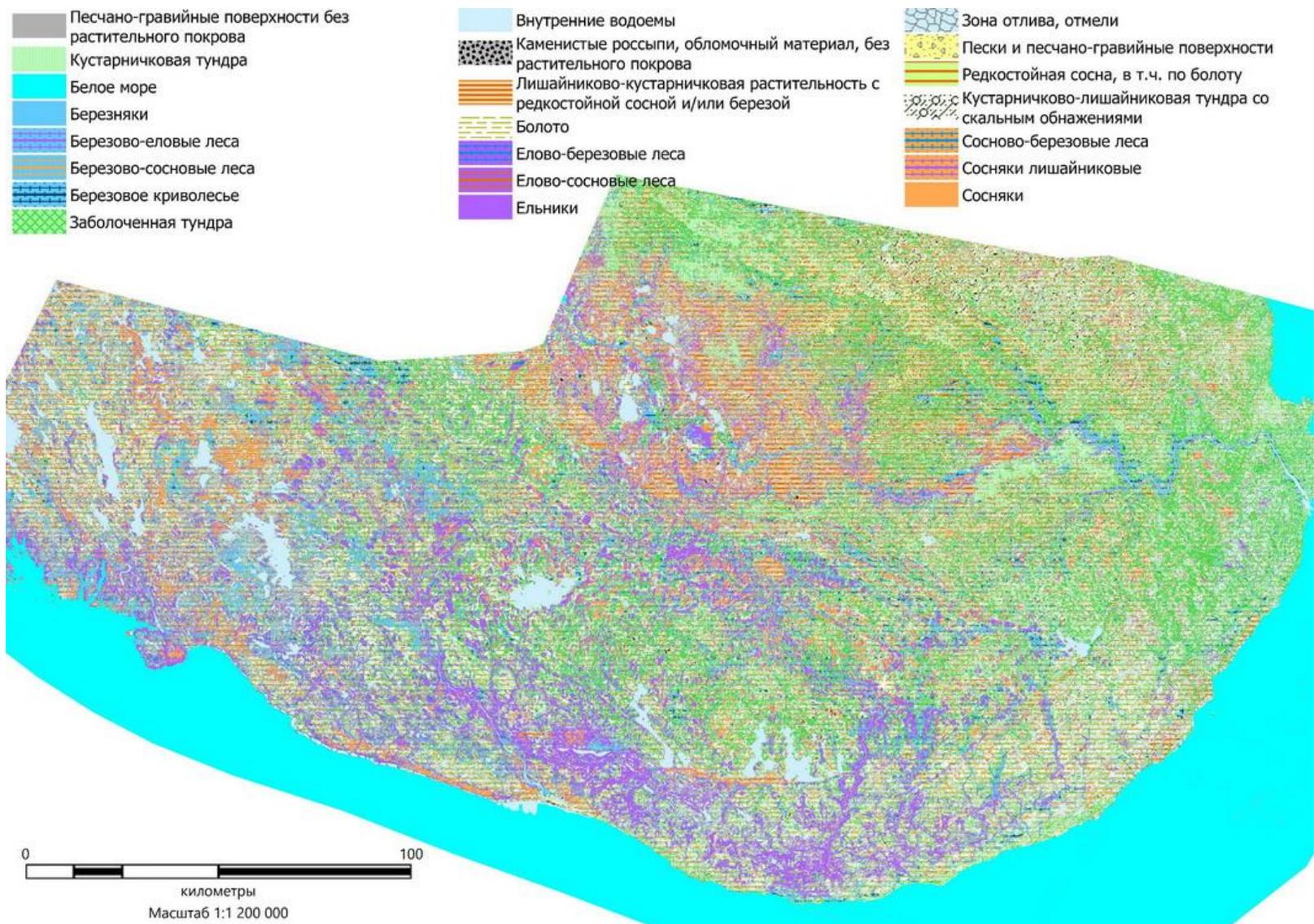


Рис.2 – Тематическая карта исследованной территории

Определенный научный интерес вызывает возможность создания тематической карты, отражающей пространственную структуру основных элементов (категорий экосистем) формирующих северотаежный, лесотундровый и тундровый ландшафты, а также информацию по распространению многолетнемерзлых пород в этом крайнем западном участке криолитозоны России [3] (рис. 3).

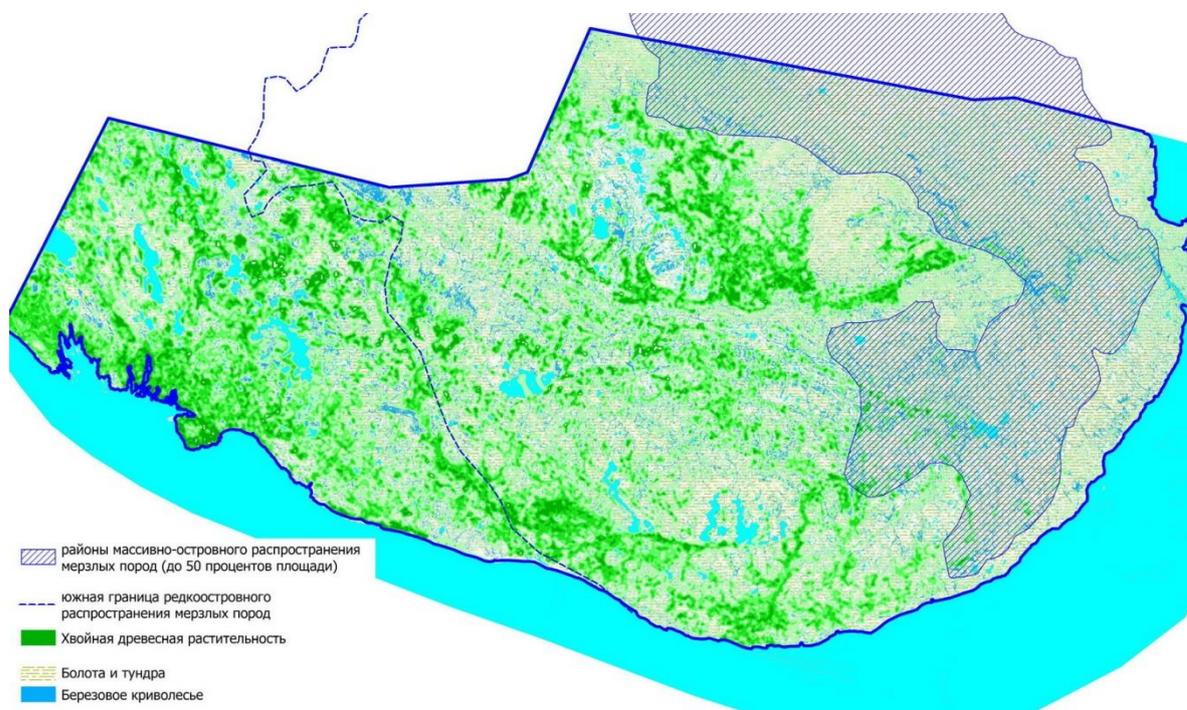


Рис. 3 – Структура растительного покрова и распространение многолетнемерзлых пород на исследуемой территории

Пространственная информация, приведенная на рисунке 3, наглядно свидетельствует, что юго-западнее границы редкоостровного распространения мерзлых пород представлены «обычные» средне и сильнозаболоченные северотаежные ландшафты. Восточнее данного рубежа древесная растительность существует в виде отдельных массивов предтундровых редкостойных лесов и вдоль водотоков. В районе же массивно-островного распространения мерзлоты ее практически нет или она обнаруживается только по долинам крупных рек, например р. Поной, где распространение мерзлоты прерывается. Логично предположить, что устойчивое потепление климата восточной части Кольского полуострова в перспективе ближайших столетий, по всей видимости, вызовет соответствующие сдвиги в положении границ мерзлых пород и изменения структуры растительного покрова в сторону увеличения площадной доли древесных сообществ.

*Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания Карельского научного центра РАН по теме «Разработка системы комплексного мониторинга окружающей среды Восточной Фенноскандии, входящей в Арктическую зону РФ, с использованием дистанционных и контактных средств наблюдения для прогнозирования изменений водных и наземных экосистем», номер государственной регистрации 122031000071-3.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балдина Е. А., Лабутина И. А. Дешифрирование аэрокосмических снимков. М.: КДУ, Добросвет, 2021. 269 с.

2. Барталев С. А., Егоров В. А., Жарко В. О., Лупян Е. А., Плотников Д. Е., Хвостиков С. А., Шабанов Н. В. Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016. 208 с.
3. Геокриологическая карта России. М-б 1:2 500 000 / Под ред. Э.Д. Ершова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1996.
4. Курбанов Э.А., Воробьев О.Н. Дистанционные методы в лесном хозяйстве. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2020. 266 с.
5. Лесохозяйственный регламент Терского лесничества. Мурманск. 2018. 158 с.
6. Малышева Н.В. Автоматизированное дешифрирование аэрокосмических изображений лесных насаждений. М.: Издательство МГУЛ, 2012. 154с.
7. Раевский Б.В., Тарасенко В.В., Петров Н.В. Оценка современного состояния и динамики растительных сообществ Онежского по разновременным спутниковым снимкам Landsat // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 5. С.145-155.
8. Раевский Б.В., Тарасенко В.В., Петров Н.В. Оценка современного состояния растительных сообществ заповедника «Костомукшский» по спутниковым снимкам системы Landsat // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 3 С. 47-61
9. Тарасенко В.В., Раевский Б.В. Отработка методики дешифрирования данных дистанционного зондирования для построения карт лесного покрова карельской части Прибеломорья // Труды Карельского научного центра РАН. № 1, 2020. С.87-99.
10. Bartalev S.A., Belward A.S., Ershov D.V., Isaev A.S. A New Spot4-Vegetation Derived Land Cover Map of Northern Eurasia. // International Journal of Remote Sensing. 2003. V. 24. No 9. P. 1977-1982

## **ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ СТРАТЕГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПРЕСНЫХ ВОДОЕМОВ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РФ**

*Румянцев В.А.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург,

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский Научный центр РАН, г. Санкт-Петербург

Обоснование необходимости создание системы контроля (ССК) пресных водоемов Арктической зоны РФ:

- Промышленное освоение АЗРФ.
- Негативные изменения будут иметь место в пресных водах, подавляющая часть которых сосредоточена в слабоустойчивых малых реках, озерах, болотах.
- Отсутствие наблюдений за пресными водами чревато образованием неконтролируемых локальных кризисных экологических ситуаций, которые по мере интенсификации промышленного освоения будут превращаться в региональные экологические катастрофы и постепенно могут перерасти в национальную проблему экологической безопасности.
- Построение системы стратегического контроля за пресными водами должно стать одной из первоочередных задач в реализации программ экологической направленности в АЗРФ.

Цель создания ССК:

- Обнаружение крупномасштабных хронических воздействий на пресные воды АЗРФ с высоким уровнем наносимого ими ущерба.

- Возможность осуществления превентивных природоохранных мер для обеспечения экологической безопасности пресных вод на длительную перспективу.
- Удовлетворение запросов управляющих органов на корректировку планов промышленного освоения арктических регионов и модернизацию водоочистных станций предприятий.

## **ДИНАМИКА БУГРИСТЫХ БОЛОТ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА КАК МАРКЕР КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В АРКТИКЕ**

*Рязанцев П.А.<sup>1</sup>, Кутенков С.А.<sup>2</sup>, Крутских Н.В.<sup>3</sup>, Кабонен А.В.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Карельский научный центр РАН, г. Петрозаводск, chthonian@yandex.ru

<sup>2</sup>Институт биологии КарНЦ РАН, г. Петрозаводск

<sup>3</sup>Институт геологии КарНЦ РАН, г. Петрозаводск

<sup>4</sup>Центр цифрового мониторинга северных и арктических экосистем ПетрГУ, г. Петрозаводск

На территории Фенноскандии, к которой относится и Кольский полуостров, многолетнемерзлые породы и сопутствующие термокарстовые ландшафты спорадические, и приурочены главным образом к водно-болотным угодьям [1]. При всем разнообразии таких природных объектов, особое место занимают бугристые болота (финн. *palsa* – пальза). Существует несколько точек зрения на формирование таких природных объектов, однако к общепринятым факторам относят влияние снежного покрова, гидрологии местности, а также гипотеза «плавучести» ядра пальзы [2,3]. Изучение внутренней структуры и оценка динамики трансформации бугристых болот имеет важное научное значение, так как подобные формы рельефа мерзлых торфяных массивов в значительной степени подвержены климатическим изменениям [4,5,6]. В простейшем виде, бугры пучения представляют собой льдистое ядро (или набор ледяных шлиров) расположенное в толще торфа [3]. Формирование миграционных бугров пучения на бугристых болотах является многофакторным процессом, который, как правило, протекают в сильно увлажненных понижениях торфяников, с подстилающими сильно пучинистыми озёрными суглинками и глинами. Регулярная нивелировка поверхности, сравнение дистанционных снимков разных лет, стратиграфия залежи показывают значительную динамичность бугристых комплексов, что отражается и в мозаичных сукцессиях растительности [2].

В работе канадских исследователей [7] указано, что скорость роста активного слоя может не согласовываться со скоростью потери площади мерзлоты в буграх. Там же отмечается, что быстрый и эпизодический характер коллапса некоторых бугристых болот подчеркивает необходимость учитывать гистерезис, гидрологию, растительный покров и морфологию в динамике пальза в контексте климатических изменений. При оценке будущих темпов деградации бугристых болот необходим детальный учет растительного покрова, так как доказано, что тип растительных сообществ по-разному влияет на тепловой режим бугров. Детальное изучение торфяных отложений в совокупности с анализом растительного покрова позволяет определить пути сукцессии торфяников, в зависимости от динамики деградации мерзлоты [8,9].

Для всей Фенноскандии отмечается сокращение площади бугристых болот в три раза, а также ставится вопрос о важности мониторинга таких процессов с точки зрения биологических последствий, в том числе снижения биоразнообразия [10]. Существующие климатические сценарии для северной Фенноскандии демонстрируют 90% вероятность сокращения общей площади бугристых болот и 66% вероятность их

полного исчезновения к 2030-м г. при среднем и высоком уровне антропогенных выбросов [11]. Как отмечается рядом исследователей, при решении задач мониторинга деградации вечной мерзлоты на сегодняшний день значительную роль играют неразрушающие методы контроля, включающие дистанционные зондирования, лазерную съемку, а также геофизические наблюдения [12]. Совокупность подобных методов обеспечивает получение изображения и модели высокого разрешения, отражающие поверхностную форму и внутреннюю структуру участков мерзлых грунтов.

Бугристые болота как специфические природные объекты Кольского полуострова привлекают внимание исследователей уже длительное время. Серия работ по детальному описанию этих природных объектов на Кольском полуострове была выполнена в период 30-е – 50-е годы XX века такими исследователями как М.И. Сумгин [13] и Н.И. Пьявченко [14]. Позже частично специфика бугристых болот Кольского полуострова была рассмотрена в работе Елиной и др. [15], а в обобщающей статье [16] показано обобщенные закономерности распространения мерзлых пород для указанной территории. В свою очередь анализ временной динамики мерзлоты на бугристых болотах в районе г. Мончегорск на Кольском полуострове показал сохранение за 80 лет (1920–2002 гг.) сезонно-талого слоя в интервале 44–64 см, на основе чего автором сделан вывод об их слабой изменчивости [17]. Подобное мнение об относительной стабильности мерзлоты в южной части Кольского и даже ее некоторой аградации, основанное на постоянстве глубины залегания кровли мерзлого торфа, приводится у Романенко и Гаранкиной [16]. Однако наблюдаемая трансформация растительного покрова и замещение маркерных видов свидетельствует о не способности климатических условий поддержать объем мерзлоты или формирование новой на бугристых болотах на Кольском полуострове [18].

В рамках представленных исследований были поставлены задачи по определению географии распространения бугристых болот в пределах Кольского полуострова; изучению степени деградации мерзлоты в буграх с учетом влияний природных и антропогенных факторов, а также на изучение внутренней структуры мерзлого ядра бугров и механизмов их таяния. Как уже отмечалось, бугры мерзлотного пучения обладают значительной динамикой, а их коллапс может протекать в короткие промежутки времени. Поэтому в ходе научных исследований были проведены опытно-методические работы по обследованию таких объектов при помощи дистанционных методов, включающих геофизическую съемку и аэросъемку. В перспективе, новые данные будут направлены на определение скорости деградации палыза Кольского полуострова и общее понимание их динамики, так как на сегодняшний день эти вопросы остаются дискуссионными.

Составленная авторами актуализированная база по бугристым болотам Кольского полуострова, включающая описание 52 отдельных объектов, продемонстрировала, что большая часть бугристых болот расположена в границах мерзлоты (рис.1). При этом выделяется ряд интересных объектов вне контуров криолитозоны. Совместное использование морфометрических и климатических признаков обеспечило изучение закономерности распределения бугристых болот на Кольском полуострове. Всего для Кольского полуострова было выделено и обосновано четыре пространственных кластера, для каждого из которого характерен особый набор признаков, влияющий на формирование бугристых болот. Также выявлен ряд бугристых болот на побережье Белого моря, где климатические условия не обеспечивают устойчивость мерзлоты.

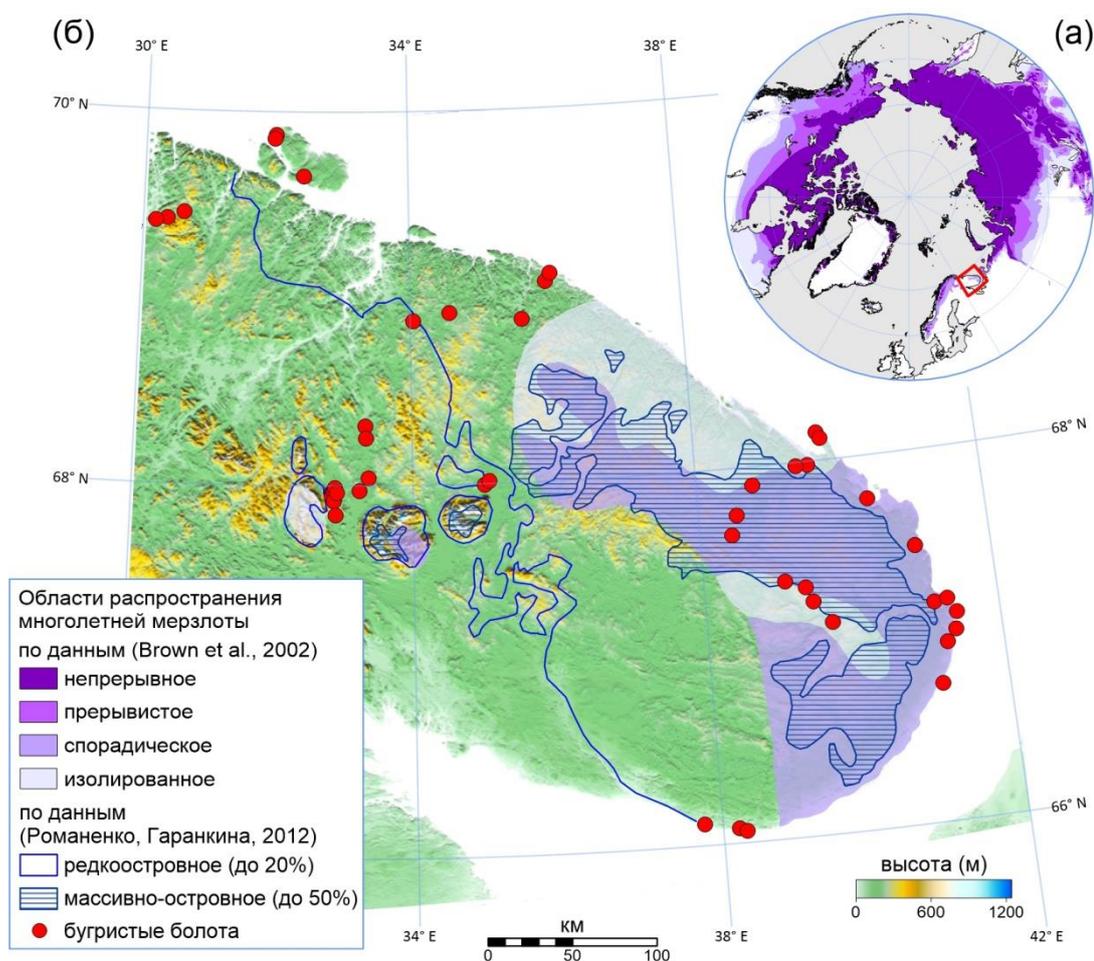


Рис. 1 – Исследуемый регион на циркумполярной карте многолетнемерзлых пород и грунтовых льдов Северного полушария (Brown et al., 2002) – (а) и локации изученных бугристых болот на Кольском полуострове, относительно известных границ распространения многолетней мерзлоты – (б)

Для изучения строения и оценки состояния бугристых болот было выполнено научное обоснование комплекса основных дистанционных методов. На примере бугристого болота в центральной части Кольского полуострова выполнены комплексные наблюдения, включающие наземные описания растительности, аэрофотосъемку, дополненные георадарной съемкой и методами машинного обучения с целью кластеризации поверхности и анализа закономерностей растительного покрова и морфоскульптуру бугров в зависимости от состояния мерзлоты. Для мониторинга бугристых болот привлекалась аэрофотосъемка с беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Создание ортофотопланов и цифровых моделей рельефа (ЦМР), полученных с БПЛА, позволяет с точностью 0.03–0.05 м очертить бугры пучения и оценить их атрибуты (рис.2). Полученные результаты показали важность морфометрических предикторов для машинного обучения при кластеризации поверхности, так как они повышают достоверность алгоритмов определения ландшафтных классов. При этом была обнаружена некоторая неоднозначность ландшафтных классов с точки зрения описания состояния мерзлоты в буграх пучения.

Привлеченные данные георадиолокации продемонстрировали не только высокую корреляцию со значениями индекса влажности и ландшафтными классами, но выделили ряд особенностей растительного покрова, обусловленных внутренним строением толщи торфа и расположением в ней мерзлоты. Установлено, что для идентификации состояния отдельных бугров можно выделить последовательности ландшафтных классов, которые сопряжены с определенными георадарными

паттернами. В итоге, полученные результаты подтвердили важность расширения номенклатуры методов для диагностики и мониторинга бугристых болот, так как использованный комплекс аэрофотограмметрии и георадиолокации обеспечил более точное определение участков деградации мерзлоты в буграх.

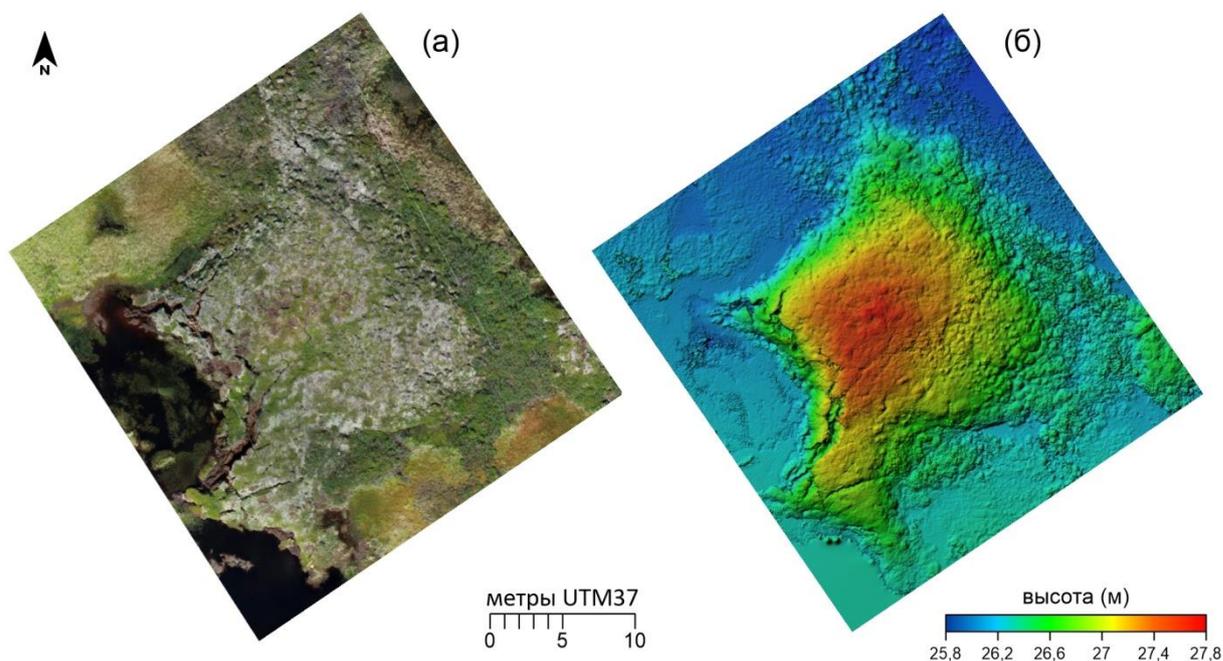


Рис. 2 – Пример детальных ортофотоплана (а) и ЦМР (б) для деградирующего бугра, полученные с БПЛА в районе р. Поной (восточная часть Кольского п-ва)

Также, в ходе исследований установлена корреляция между ландшафтными характеристиками и внутренним строением бугров морозного пучения. Исходя из анализа толщины активного слоя, было получено свидетельство неоднозначности его толщины как предиктора состояния мерзлоты. Следует отметить, что на сегодняшний день краевая деградация рассматривается как основной механизм сокращения площади мерзлоты в торфяниках. Полученные георадарные данные показали, что мерзлота внутри бугра не регулярна и не всегда повторяет внешний контур. Выявленное ассиметричное расположение мерзлоты в отдельных буграх коррелирует с участками повышенного накопления снега зимой на подветренной стороне. Это еще раз указывает на важность фактора толщины снежного покрова, отмеченного ранее. Таким образом, разработка сценариев деградации мерзлоты палса должна проводиться с учетом точной оценки текущих контуров мерзлоты в буграх, ее положения относительно морфологии поверхности, а также возможностью быстрого коллапса.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект № 22-77-10055 «Пространственно-временная динамика бугристых болот Кольского полуострова как маркер климатических изменений в Арктике» <https://rscf.ru/project/22-77-10055/>*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Olefeldt D., Goswami S., Grosse G. et al. Circumpolar distribution and carbon storage of thermokarst landscapes // Nature Communications. 2016. Vol. 7. 13043.
2. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Буданцева Н.А., Чижова Ю.Н. Выпуклые бугры пучения многолетнемерзлых торфяных массивов / Под ред. Ю.К. Васильчука. М.: Изд-во МГУ, 2008. 571 с.
3. Seppälä M. Synthesis of studies of palsa formation underlining the importance of local environmental and physical characteristics // Quaternary Research. 2011. Vol. 75. P. 366-370.

4. Kirpotin S., Polishchuk Y., Bryksina N. et al. West Siberian palsa peatlands: distribution, typology, cyclic development, present day climate-driven changes, seasonal hydrology and impact on CO<sub>2</sub> cycle // *International Journal of Environmental Studies*. 2011. Vol. 68. P. 603-623.
5. Каверин Д.А., Пастухов А.В., Новаковский А.Б. и др. Влияние ландшафтных и климатических факторов на глубину сезонного протаивания в почвах бугристых торфяников (на примере площадки CALM R52) // *Криосфера Земли*. 2019. Том. XXIII. № 2. С. 62-71.
6. Olvmo M., Holmer B., Thorsson S. et al. Sub-arctic palsa degradation and the role of climatic drivers in the largest coherent palsa mire complex in Sweden (Vissátvuopmi), 1955–2016 // *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. P. 8937.
7. Mamet S.D., Chun K.P., Kershaw G.G.L. et al. Recent increases in permafrost thaw rates and areal loss of palsas in the Western Northwest Territories, Canada // *Permafrost and Periglacial Process*. 2017. Vol. 28. P. 619-633.
8. Treat C.C., Jones M.C., Camill P. et al. Effects of permafrost aggradation on peat properties as determined from a pan-Arctic synthesis of plant macrofossils // *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*. 2016. Vol. 121. P. 78-94.
9. Пастухов А.В., Марченко-Вагапова Т.И., Каверин Д.А. и др. Динамика развития бугристых торфяников на южной границе восточно-европейской криолитозоны // *Почвоведение*. 2017. № 5. С. 544-557.
10. Luoto M., Heikkinen R.K., Carter T.R. Loss of palsa mires in Europe and biological consequences // *Environmental conservation*. 2004. V. 31. №. 1. P. 30-37.
11. Fronzek S., Carter T.R., Räisänen J., Ruokolainen L., Luoto M. Applying probabilistic projections of climate change with impact models: a case study for sub-arctic palsa mires in Fennoscandia // *Clim Change*. 2010. Vol. 99. P. 515-534.
12. Douglas T.A., Hiemstra C.A., Anderson J.E. et al. Recent degradation of Interior Alaska permafrost mapped with ground surveys, geophysics, deep drilling, and repeat airborne LiDAR // *The Cryosphere Discussions*. 2021. P. 1-39.
13. Сумгин М.И. К вопросу о вечной мерзлоте в торфяных буграх на Кольском полуострове // *Труды Комиссии по изучению вечной мерзлоты*. 1934. Том. II. С. 107-115.
14. Пьявченко Н.И. Бугристые торфяники. М: АН СССР, 1955. 280 с.
15. Елина Г.А., Лукашов А.Д., Юрковская Т.К. Позднеледниковье и голоцен восточной Фенноскандии (палеорастительность и палеогеография). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2000. 242 с.
16. Романенко Ф.А., Гаранкина Е.В. Формирование и строение многолетнемерзлых пород у южной границы криолитозоны на Кольском полуострове // *Криосфера Земли*. 2012. Том XVI. № 3. С. 72-80.
17. Barcan V.S. Stability of palsa at the southern margin of its distribution on the Kola Peninsula // *Polar Science*. 2010. Vol. 4. P. 489-495.
18. Копцева Е.М., Нацваладзе Н.Ю., Журавлева Е.Н. Трансформация растительности крупнобугристого болота на Кольском полуострове под влиянием климатических изменений // *Ботанический журнал*. 2016. Том. 101. №. 5. С. 537-547.

## ЦЕЛЛЮЛОЗНЫЕ АЭРОГЕЛИ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВОВ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

*Санджиева Д.А.<sup>1,2</sup>, Гайзуллин А.Д.<sup>1</sup>, Баскаков С.А.<sup>3</sup>, Ермаков Е.В.<sup>1</sup>, Убушаева Б.В.<sup>1,2</sup>, Бузник В.М.<sup>4</sup>, Дедов А.Г.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, г. Москва

<sup>2</sup>Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, г. Москва

<sup>3</sup>Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии РАН, г. Черноголовка

<sup>4</sup>Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук, г. Москва

Добыча, транспортировка и хранение нефти в Арктике имеют особые сложности в сравнении с другими климатическими зонами. Но наибольшие проблемы возникают при аварийных разливах нефти и нефтепродуктов. Можно вспомнить аварию 1989 г. танкера "Эксон Вальдес" (Exxon Valdez) у побережья Аляски, приведшая к крупнейшему в истории разливам нефти на море в регионе с арктическим климатом. Другой пример – утечка 20 тыс. т нефтепродуктов из хранилища в Норильске в 2020 г., создавшая угрозу для экосистемы Северного Ледовитого океана. Основные технологические проблемы возникают при ликвидации разливов на воде. Они трудоёмки, экономически затратны в силу низких температур, наличия льда, снега и ветровых нагрузок. Низкотемпературные условия зачастую снижают эффективность материалов для ликвидации разливов нефти(нефтепродуктов), ранее хорошо себя зарекомендовавших в умеренном климате. Другой важный фактор природы Арктики – чрезвычайная чувствительность к антропогенному воздействию и многолетний период ремедиации после экологической катастрофы.

Успешность освоения Арктики, как и устранение последствий антропогенных аварий, во многом определяется наличием материалов, способных эффективно и надёжно работать в экстремальных климатических условиях [1]. Для устранения аварийных разливов нефти(нефтепродуктов) на воде в арктических условиях требуется широкий набор новых сорбирующих материалов и реагентов, наряду с отработкой технологий их применения.

В связи с этим, создание и исследование новых материалов для предотвращения выбросов и сбросов в окружающую среду токсикантов и разработка методов их ликвидации являются актуальными задачами.

В настоящее время поиск новых сорбционных материалов ведется с учетом доступности сырья и возможности утилизации отработанных сорбентов. По этой причине целлюлоза и лигноцеллюлозные материалы активно рассматриваются как основа сравнительно недорогих и легко утилизируемых сорбентов для экологических применений. В качестве нефтесорбентов целлюлозные материалы не всегда эффективны вследствие недостаточной гидрофобности материалов. Ранее нами разработан новый подход по синтезу гидрофобного композитного аэрогеля на основе целлюлозы борщевика Сосновского и политетрафторэтилена (ПТФЭ) для сорбции нефти [2]. В развитие данного направления нами был предложен достаточно простой способ получения композитных аэрогелей с использованием в качестве источника целлюлозы – вторичного картона. Вторичный картон – доступное и дружественное окружающей среде сырье, способное сорбировать нефть, но в силу гидрофильности целлюлозы не может быть использован для эффективной очистки водных сред. В этой связи, целью настоящей работы явился синтез гидрофобного композитного целлюлозного аэрогеля для сорбционной очистки воды от нефти.

**Методика синтеза целлюлозных аэрогелей.** Навеску вторичного сырья помещали в стакан объемом 1000 мл, заливали 400 мл дистиллированной воды.

Суспензию перемешивали с помощью верхнеприводной мешалки при 1200-1500 об/мин до равномерного распределения волокон в воде (15-20 мин). Затем с помощью шприца-дозатора при перемешивании добавляли расчетное количество суспензии политетрафторэтилена Ф-4Д и перемешивали еще 15 мин. Полученную смесь переносили в полипропиленовые цилиндрические или прямоугольные формы объемом 50 мл и сушили в сушильном шкафу при 65°C в течение 24 ч. Полученные формованные образцы извлекали из форм и затем термически обрабатывали без доступа кислорода при 350°C. При этом происходит частичная термическая деструкция целлюлозного компонента, а также удаление поверхностно активных веществ, содержащихся в дисперсии Ф-4Д и спекание микросфер политетрафторэтилена с образованием пространственной сетки фторопласта в сорбенте. Синтезированные аэрогели содержали 30, 40 и 50 % мас., политетрафторэтилена (ПТФЭ) и были обозначены как К/ПТФЭ 1:1, К/ПТФЭ 3:2 и К/ПТФЭ 7:3, соответственно.

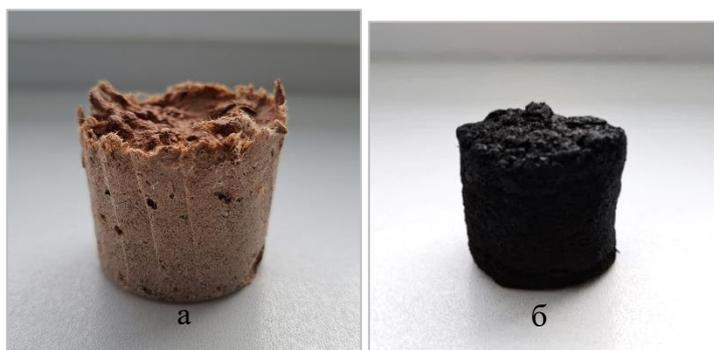


Рис. 1 – Аэрогель К/ПТФЭ 3:2 до (а) и после (б) термической обработки

Оценку гидрофильно-гидрофобных свойств сорбентов проводили путем исследования водопоглощения и сорбционной емкости в динамических условиях в соответствии со стандартом ГОСТ 33627-2015 [3]. Исследования выполняли при температуре  $22 \pm 2$  °С и относительной влажности воздуха 40-60%. Для исследований использовалась тяжелая нефть плотностью 890,5 кг/м<sup>3</sup>.

**Результаты и обсуждение.** Важным параметром, характеризующим свойства сорбентов для очистки воды от нефти, является их гидрофильно-гидрофобные свойства. Насколько сорбент гидрофобен или гидрофилен определяется по их водопоглощению по ГОСТ 33627-2015. Результаты исследования показали, что все образцы синтезированных аэрогелей в течение 15 мин испытания поглощали воду в небольшом количестве – 0,31 г и меньше (табл. 1). При увеличении времени контакта с водой до 60 мин все образцы гидрофобизированных ПТФЭ аэрогелей оставались на поверхности воды.

Таблица 1 – Водопоглощение аэрогелей на основе целлюлозы и ПТФЭ ( $t_{\text{воды}}=20 \pm 1$  °С)

№ п/п	Наименование сорбента	Водопоглощение $A_{\text{в}}$ , г/г
1	К/ПТФЭ 1:1	0,31
2	К/ПТФЭ 3:2	0,21
3	К/ПТФЭ 7:3	0,07

Исследование динамической нефтеемкости позволило оценить плавучесть и нефтеемкость сорбентов в системе «вода-нефть». Результаты исследования представлены в таблице 2 и на рис. 2.

Таблица 2 – Нефтеемкости аэрогелей в динамических условиях ( $t_{\text{воды}}=20\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

№ п/п	Наименование сорбента	Плавуемость	Динамическая нефтеемкость, баллы*
1	К/ПТФЭ 1:1	Образцы остаются на поверхности воды. Нефть сорбируется хорошо	4
2	К/ПТФЭ 3:2		4
3	К/ПТФЭ 7:3		4

\*Примечание. 1 балл – нефть не сорбируется; 2 балла – нефть сорбируется в малом количестве; 3 балла – остаются капельки нефти в воде; 4 балла – остается радужная оболочка нефти; 5 балла – радужная оболочка нефти отсутствует.

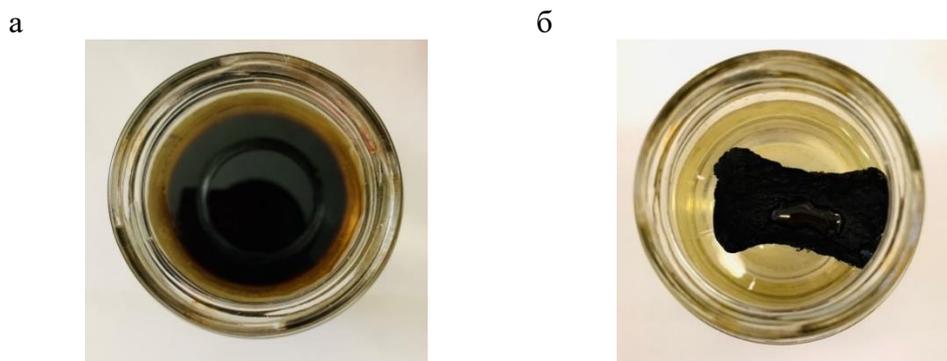


Рис. 2 – Результаты исследования нефтеемкости в динамических условиях: система «вода-нефть» до (а) и после (б) добавления аэрогеля К/ПТФЭ 7:3

Как видно из полученных результатов все образцы сорбентов в ходе проведения исследований по ГОСТ 33627-2015 показали хорошую плавуемость, и хорошо очищали воду от нефти. После завершения эксперимента на поверхности воды нефть практически полностью была поглощена сорбентами (рис. 2).

Таким образом, синтезированы новые композитные аэрогели на основе вторичного картона, гидрофобизированного ПТФЭ. Разработанные аэрогели можно использовать в качестве сорбента для сбора нефти на водных объектах благодаря их высокогидрофобным свойствам.

*Исследования проведены при финансовой поддержке РНФ, проект № 22-13-00410 «Создание и изучение новых материалов, эффективных для устранения разливов нефти и нефтепродуктов в Арктической зоне». Также авторы благодарят АО «ГАЗПРОМНЕФТЬ-МНПЗ» за техническую поддержку.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арктическое материаловедение: состояние и развитие / Под ред. Бузника В.М., Каблова Е.Н., Алдошина С.М. / М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2021. 414 с.
2. Sergey A. Baskakov, Yuliya V. Baskakova, Svetlana S. Krasnikova, Eugene N. Kabachkov, Maria A. Kapustyanskaya, Nadezhda N. Dremova, Filipp O. Milovich, Yury M. Shulga, Xiaowu Wang, Zhi Li. Sorption and other properties of polytetrafluoroethylene/cellulose composite aerogels, Polym Eng Sci. 2023, V.63. I.1. P. 305-313
3. ГОСТ 33627-2015. Межгосударственный стандарт. Уголь активированный. Стандартный метод определения сорбционных характеристик адсорбентов [Электронный ресурс]: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 27 октября 2015 г. № 81-П. Режим доступа: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения: 10.09.2022).

## ВЛИЯНИЕ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ СЕВЕРА КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ В УСЛОВИЯХ МОДЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

*Семина О.Ю.*

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, sem\_olga02@mail.ru

Значительная часть территории России лежит за полярным кругом, в зоне распространения многолетней мерзлоты. Значение арктических и субарктических территорий значительно в экологическом равновесии, так как именно они регулируют поступление кислорода и метана и относятся к районам с глобальными атмосферными процессами [10].

Север Красноярского края является одним из богатейших регионов Сибири по запасам полезных ископаемых, добыча и обработка которых неизбежно связана с нанесением ущерба объектам окружающей среды. Дополнительная проблема этих территорий – накопленный экологический ущерб, связанный с последствиями промышленного освоения территорий Севера в прошедшие периоды. Многие авторы отмечают, что арктическое побережье в настоящее время остается регионом с крайне неблагоприятной экологической обстановкой. Остро стоят вопросы рекультивации нарушенных территорий, климатических изменений и ликвидации накопленного в предыдущие периоды ущерба [10, 2, 8].

Антропогенное воздействие на типичные экосистемы криолитозоны может быть представлено техногенной трансформацией почвенного покрова при строительстве нефте- и газодобывающих площадок, нефте- и газохранилищ, а также прокладке трубопроводов. В результате подобного воздействия нарушаются химические, физические и биологические свойства почв.

Одним из примеров антропогенного воздействия является разлив дизельного топлива (ДТ) 29 мая 2020 года в районе Кайеркан города Норильска. Произошла разгерметизация бака резервного ДТ на теплоэлектроцентрали, после чего произошло возгорание. В результате разлива пострадали не только водные объекты, но и почвенный покров (порядка 180 тыс. м<sup>2</sup>) [7].

Важнейшим компонентом почвенных экосистем являются микроорганизмы, деятельность которых определяется способностью нефтезагрязненных почв к самоочищению. Углеводороды нефти оказывают прямое и косвенное токсическое воздействие на микроорганизмы. Косвенное проявляется в снижении доступности ЭМП, ухудшении воздушного и водного режимов почв, изменении структуры почв и реакции среды.

Основное воздействие нефти на почвенную микробиоту обусловлено разнообразным фракционным составом. Легкие фракции обладают высокой токсичностью, а тяжелые – ингибирующим эффектом, за счет которого увеличивается гидрофобность почвы и нарушается ее водно-воздушный режим.

В нефтезагрязненных почвах обнаруживается большее количество таксономических групп бактерий, чем в сообществе незагрязненной почвы. С одной стороны, нефтезагрязнение приводит к незначительному увеличению биоразнообразия почвенных бактерий, а с другой – усиливает доминирование меньшего количества таксонов [5].

**Цель работы** – изучение биологической активности по показателям базального дыхания (БД) и углерода микробной биомассы (Смик) в почвах при загрязнении их дизельным топливом.

**Объекты и методы**

Объектами исследования являлись почвы ненарушенного строения (монолиты), отобранные летом 2021 года рядом с городом Норильском. Почвы – подбур оподзоленный и аллювиальная дерновая глеевая типичная почва. Пробы были отобраны в колонки высотой 60 см и диаметром 12 см. Масса монолита составила 4500 г. В течение всего модельного эксперимента почвы поддерживались при естественной влажности гравиметрически и при необходимости с поверхности опрыскивались водой.

На поверхность монолитов было внесено по 100 г ДТ, после чего монолиты были помещены в климатическую камеру сроком на 1 месяц при температуре +15°C (средняя температура самого теплого месяца в г. Норильске). По окончании модельного эксперимента монолиты почв были разобраны на горизонты и высушены.

В пробах почв были определены следующие показатели:

- Содержание нефтепродуктов (НП) в почвах было определено по «Методике выполнения измерений массовой концентрации НП в пробах почв гравиметрическим методом» [6];

- Базальное (БД) и субстрат-индуцированное дыхание (СИД) были определены по Ананьевой Н.Д., Сусьян Е.А., Гавриленко Е.Г. [1];

- Углерод микробной биомассы (Смик) был рассчитан по Anderson Т.Н., Domsch К.Н. (1978) [11].

### Результаты и обсуждения

Распределение НП по профилям исследованных почв представлено в таблице 1.

Таблица 1 -Распределение нефтепродуктов (мг/кг) по профилям почв

Горизонт, глубина см	Содержание НП, мг/кг
Подбур оподзоленный (контроль)	
О (0-5)	380
АО1 (5-8)	338
АО2 (8-12)	589
ВНFe (12-32)	507
ВНF (32-41)	153
BC (41-...)	100
Подбур оподзоленный (ДТ)	
О (0-5)	106624
АО1 (5-8)	128448
АО2 (8-12)	100584
ВНFe (12-32)	1841
ВНF (32-41)	523
BC (41-...)	360
Аллювиальная дерновая глеевая (контроль)	
О (0-5)	1914
АО1 (5-10)	985
АО2 (10-20)	536
Ayg (20-27)	114
G (27-34)	330
CG (34-...)	286
Аллювиальная дерновая глеевая (ДТ)	
О (0-5)	215088
АО1 (5-10)	87185
АО2 (10-20)	3945
Ayg (20-27)	3722
G (27-34)	1866
CG (34-...)	1147

В аллювиальной дерновой глеевой почве мы наблюдали высокое содержание НП в верхнем горизонте и снижение содержания НП с глубиной, как в контрольном варианте, так и в загрязненном ДТ. Максимальное содержание НП в подбуре

оподзоленном (в контрольном варианте) приурочено к средним горизонтам (АО2, ВНFe), а при загрязнении ДТ максимумы содержания наблюдаются в трех верхних горизонтах (О, АО1, АО2). Исследования, проведенные С.Я. Трофимовым с соавторами [9], показали, что основная часть мигрирующих НП локализуется преимущественно в верхних 10-15 см почвенной толщи. Миграция НП оказывается незначительной, как по количеству, так и по длине пути.

На рисунках 1,2 представлено изменение БД в контроле и при загрязнении ДТ. В контрольном варианте профиля подбур оподзоленного БД увеличивается вниз по профилю, что может быть связано с большим содержанием водорастворимых соединений углерода и большим содержанием лабильных гумусовых веществ, чем в вышележащих горизонтах. В контрольном варианте подбур оподзоленный характеризуется более высокими значениями БД, чем при загрязнении ДТ. В случае аллювиальной дерновой глеевой почвы мы наблюдаем противоположный эффект. При загрязнении ДТ происходит увеличение БД в двух верхних горизонтах. О том, что эффект при загрязнении ДТ на БД может противоположно отличаться, отмечал Вершинин А.А. [3]. Им было отмечено, что в загрязненных НП почвах интенсивность дыхания может увеличиваться, что связано с повышением численности углеводородокисляющих микроорганизмов; в тоже время, может происходить снижение БД за счет интоксикации почвенной микрофлоры. Снижение БД может происходить из-за недостатка элементов питания для микроорганизмов, а также токсического воздействия НП на микроорганизмы [4].

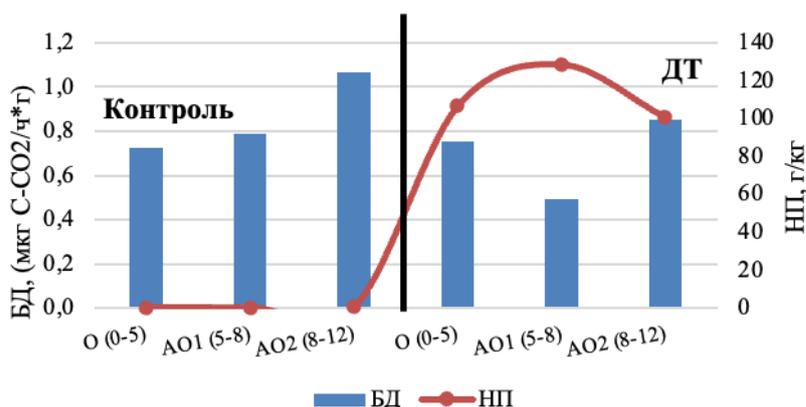


Рис. 1 - Изменение базального дыхания в подбуре оподзоленном в контрольном варианте и при загрязнении ДТ

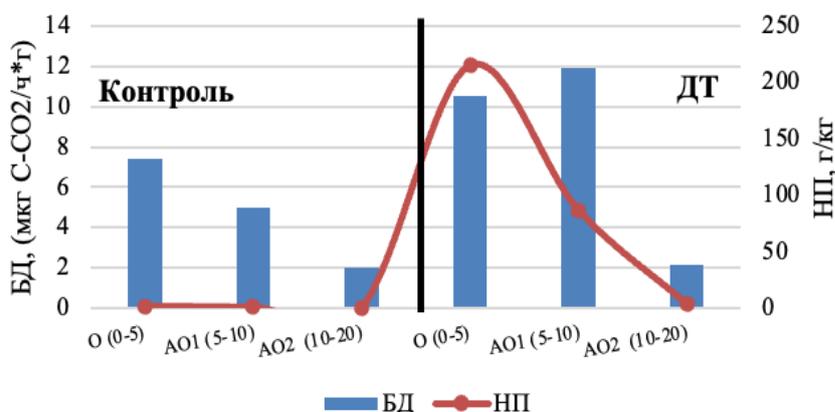


Рис.2 - Изменение базального дыхания в аллювиальной дерновой глеевой почве в контрольном варианте и при загрязнении ДТ

На рисунках 3,4 представлено изменение Смик в исследованных почвах в контрольном варианте и при загрязнении ДТ. В подбуре вниз по профилю в контроле Смик увеличивается, что связано с большим содержанием в этом горизонте доступного субстрата. Как и в случае БД, мы наблюдаем более низкие значения Смик в подбуре оподзоленном при загрязнении ДТ. В случае аллювиальной дерновой глеевой почвы мы наблюдаем увеличение Смик в АО1 горизонте. Высокие дозы ДТ первоначально приводят к снижению содержания Смик, однако спустя определенное время эта величина может увеличиваться и превышать Смик в контрольном варианте [3].

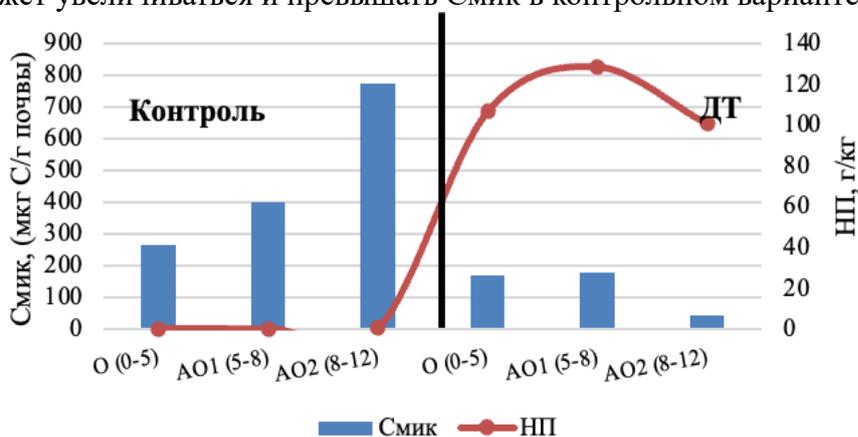


Рис.3 - Изменение Смик в подбуре оподзоленном в контрольном варианте и при загрязнении ДТ

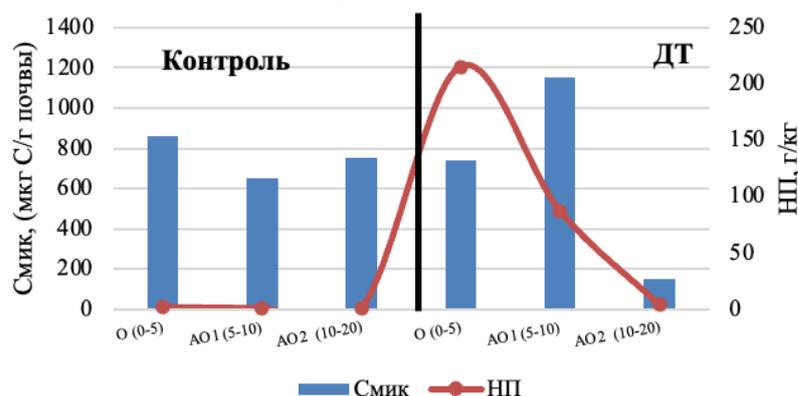


Рис.4 - Изменение Смик в аллювиальной дерновой глеевой почве в контрольном варианте и при загрязнении ДТ

### Выводы

1. Даже спустя год после разлива ДТ мы наблюдаем повышенное содержание НП в контрольном варианте аллювиальной дерновой глеевой почвы.
2. Загрязнение почв ДТ приводит к угнетению респираторных характеристик (БД и Смик) микробного сообщества в подбуре оподзоленном, а в аллювиальной дерновой глеевой – к увеличению БД, что связано с большим содержанием органического вещества, и большим содержанием доступного субстрата для биоты. В горизонте АО1 аллювиальной дерновой глеевой почвы возрастание содержания углерода микробной биомассы может быть обусловлено относительно высоким содержанием углерода водорастворимых соединений.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ананьева Н.Д., Сусьян Е.А., Гавриленко Е.Г. Особенности определения углерода микробной биомассы методом субстрат-индуцированного дыхания //Почвоведение, 2011, № 11 С. 1327-1333.

2. Бурцева Е.И., Петрова А.Н. Экологические проблемы северных территорий Якутии в условиях промышленного освоения и глобального потепления // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 5. – С. 83–88.
3. Вершинин А.А., Петров А.М., Игнатьев Ю.А., Шагидуллин Р.Р. Дыхательная активность дерново-карбонатной почвы, загрязнённой дизельным топливом // Биохимия и биотехнология – С. 168-174.
4. Денисова А.П., Архипова Н.С., Халилова А.Ф., Зарипова С.К., Бреус В.А., Бреус И.П. Влияние загрязнения дизельным топливом на устойчивость культур и биологическую активность выщелоченного чернозёма // Агрехимия, 2012, № 2. – С. 41-50.
5. Назаров А.В., Ананьина Л.Н., Ястребова О.В., Плотникова Е.Г. Влияние нефтяного загрязнения на бактерии дерново-подзолистой почвы // Почвоведение, № 12, 2010. – С. 1489-1493.
6. ПНД Ф 16.1:2.2.22-98. Методика выполнения измерений массовой доли НП в почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии, Москва, 1998. (Издание 2005 г). – 18 с.
7. Сазонов А.Д., Комаров Р.С., Передера О.С. Разлив нефтепродуктов в Норильске 29 мая 2020 года: предполагаемые причины и возможные экологические последствия // Экологические исследования и экологический мониторинг, 2020. – С. 173-177.
8. Соколов Ю.И. Арктика: к проблеме накопленного экологического ущерба // Арктика: экология и экономика. – 2013. – № 2. – С. 18–27.
9. Трофимов С.Я., Фокин А.Д., Купряшкин А.А., Дорофеева Е.И. Миграция нефти и её компонентов по профилю торфяной верховой почвы в условиях модельного эксперимента // Вест. Моск. Ун-та. Сер. 17. Почвоведение, 2008. № 1. – С. 25-28.
10. Юркевич Н.В., Ельцов И.Н., Гуреев В.Н., Мазов Н.А., Еделев А.В. Техногенное воздействие на окружающую среду в Российской Арктике на примере Норильского промышленного района // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, (Т. 332), № 12, 2021. - С. 230–249.
11. Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soil // Soil Biol. and Bioch., 1978, V. 10 P. 215-221.

## **ОРНИТОГЕННОЕ ВЛИЯНИЕ НА СОСТАВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР МАЛОЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ, РУССКАЯ АРКТИКА**

*Тацый Ю.Г.*

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, г. Москва,  
yutatsy@mail.ru

В арктических районах материковой тундры сосредоточено огромное количество небольших мелких озер. В российской части Арктики их насчитывается более 2,5 млн. Исследовать каждое практически невозможно, но для понимания процессов, происходящих в высоких широтах, связанных с трансграничным переносом загрязняющих веществ, изменением климата и оттаиванием вечно мерзлых пород, их изучение крайне важно.

Арктические озера являются чувствительными индикаторами глобальных изменений окружающей среды, а донные отложения являются палеоклиматическими и палеогеохимическими архивами, содержащими информацию об изменении биогеохимических циклов, глобальных и региональных потоках загрязняющих веществ в атмосфере, а также динамике климата и состоянии экосистем. В отсутствие данных

долгосрочного экологического мониторинга для отдаленных районов высокоширотной Арктики, озерные отложения являются неоценимым, но все еще недостаточно исследованным источником информации

В мелководных озерах из-за относительно небольших объемов воды донные отложения (ДО) могут быть более чувствительными к различным стрессовым факторам окружающей среды, чем в более глубоких озерах, скорость седиментации часто выше, а отбор ДО проще, чем из глубоководных озер [1]. Наконец, мелководные озера часто являются самыми многочисленными водоемами во многих ландшафтах [2].

Представление о том, что арктические озера из-за их удаленности и изоляции в значительной степени защищены от антропогенного воздействия не соответствует действительности. Атмосферный перенос загрязнителей на большие расстояния в сочетании с эффектом переноса загрязняющих веществ от биологических переносчиков к некоторым местным экосистемам (например, морских и перелетных пресноводных птиц) и биомагнизации в длинных пищевых цепях привели к повышению концентрации многих загрязнителей, как биогенных, так и техногенных (например, ртути) [3].

Поведение и миграционная способность элементов и соединений в высоких широтах специфичны в силу климатических и ландшафтно-географических особенностей, а их токсичные свойства проявляются более активно в низкоминерализованных и низкотемпературных водах вследствие низкой скорости массоэнергообмена и более бедного видового разнообразия водных экосистем Субарктики [4].

В последнее время привлекает внимание проблема орнитогенного воздействия на среду обитания. Такое влияние оказывают и одиночно гнездящиеся птицы, но гораздо более существенное и заметное влияние на среду оказывают массовые одновидовые или многовидовые скопления птиц.

Настоящее исследование основано на результатах анализа колонок донных отложений из трех мелких термокарстовых озер Малоземельской тундры, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга. Целью исследований являлась оценка динамики осадконакопления элементов и выявление возможного антропогенного вклада и орнитогенного влияния.

Исследуемые озера расположены в северо-восточной части Малоземельской тундры в границах заповедника «Ненецкий» в дельте реки Печора. Территория относится к подзоне арктической тундры. Много небольших озёр, основную часть которых представляют мелкие (не более 1,5 м) термокарстовые водоемы. Основным источником питания тундровых озер являются атмосферные осадки, сток с водосбора и вода, образующаяся при сезонном оттаивании многолетнемерзлых пород. Температурный режим характеризуется большими сезонными колебаниями.

Колонки (8-10 см) были отобраны из трех мелководных озер (максимальная глубина 0,6–1,1 м) в августе 2017 г. с помощью 50-сантиметрового гравитационного бура НОН-Каяк диаметром 70 мм. В полевых условиях колонки разрезали на слои толщиной 1 или 0.5 см и измеряли рН и электропроводность воды (табл. 1).

Таблица 1 – Основные характеристики исследуемых озер

Озеро	Широта	Долгота	Площадь озера, км <sup>2</sup>	Макс. глубина, м	рН	Электропроводность, мкСм/см	Длина колонки, см
NARY 1-2	68.53787	53.71337	0,3	0.6	5.9	31	8
NARY 4-2	68.35489	53.96419	0.08	0.7	7.3	16	9
NARY 9-1	68.3535	53.9571	0.04	1.1	8.6	219	10

Колонки послойно радиометрически датированы по активности изотопов  $^{210}\text{Pb}$  и  $^{137}\text{Cs}$ . Для каждого слоя определяли потери при прокаливании (п.п.п.), гранулометрический состав методом сухого ситования на три фракции –  $>0.1$ ,  $0.1-0.04$  и  $<0.04$  мм, а также элементный состав ДО (52 элемента): макрокомпоненты методом ИСП-АЭС, а микроэлементы – ИСП-МС. Для контроля правильности использовали стандартные образцы БИЛ-1 и БИЛ-2. Ртуть определяли пиролизом из твердой пробы с накоплением на золотом коллекторе и ААС регистрацией, калибровали по насыщенным парам ртути. Все анализы проводили в лабораториях ГЕОХИ РАН.

Изучаемые мелкие термокарстовые озера находятся в зоне сплошной вечной мерзлоты относительно близко друг от друга, вдали от источников загрязнения, фактически в фоновом районе. Озера NARY 4-2 и 9-1 находятся рядом на острове Ловецкий примерно в 1 км от берега, а NARY 1-2 в 20 км севернее на второй морской террасе в 5 км от береговой линии. Тем не менее, все озера разные. Уже полевые измерения показали повышенную электропроводность озера NARY 9-1 (табл. 1).

Проведенные анализы показали еще большее различие между озерами. Часть вопросов была снята после датировки колонок по  $^{210}\text{Pb}$  и  $^{137}\text{Cs}$ . Колонка из озера NARY 1-2 при средней скорости накопления  $0.055\pm 0.016$  см/год охватывает период с доиндустриальных времен (примерно 1870 г), в то время как колонки NARY 4-2 и 9-1 при средних скоростях накопления  $0.21\pm 0.06$  и  $0.2\pm 0.04$  см/год характеризуют лишь последние 43 года и 50 лет, соответственно. Это лишний раз подтверждает, что для корректных оценок необходимо работать с датированными колонками. Распределения концентраций по глубине в координатах возраста для некоторых элементов приведены на рис. 1.

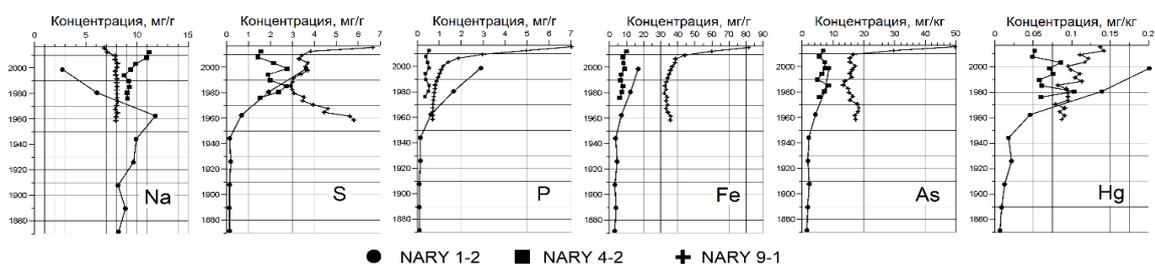


Рис. 1 - Распределения концентраций по глубине в координатах возраста

Верхняя часть (3 см) колонки NARY 1-2 представляет собой песчаный алеврит, но именно здесь наблюдается резкий рост п.п.п., достигая 80% в самом верхнем слое. Колонка NARY 4-2 практически по всей длине состоит в основном из алевритовых песков с п.п.п. около 20%. В колонке NARY 9-1 потери при прокаливании постепенно повышаются к верхним слоям, где достигают 35%. Величины п.п.п. для всех колонок существенно выше значений, характерных для термокарстовых арктических озера.

Концентрации в самом нижнем слое NARY 1-2, датированным 1870 г., можно принять за условный локальный фон, что позволяет определить коэффициенты обогащения (EF) (с нормированием по Al) практически для всех элементов. На общем фоне резко выделяется группа элементов – S, P, Hg (EF = 18-20), Bi (11) и Ni, Cu, Mo (6). Озеро NARY 1-2 является мелким озером с ограниченным водосбором, основными источниками поступления элементов являются атмосферные осадения и поверхностный смыв с почвы в период снеготаяния. Однако все это вряд ли могло привести к таким коэффициентам обогащения. С другой стороны, синхронное изменение п.п.п. и содержания S и P могут указывать на вклад продуктов естественного ферментативного метаболизма птиц. В орнитологических работах указывается на выведение ряда элементов с фекалиями, перьями и слюноотделением [5].

В ДО озера NARY 1-2 выделяются 7 элементов (Ca, K, Na, Rb, Sr, Ba, и Tl) у которых в верхних двух слоях (2 см) наблюдается резкое уменьшение концентрации

(до 77% для Na) до значений ниже условно фоновых. В качестве возможного объяснения стоит отметить биологическую значимость указанных элементов в ферментативном и белковом обмене и, соответственно, повышенное их потребление водорослями и рядом водных микроорганизмов [6].

Для колонок NARY 4-2 и 9-1 коэффициенты обогащения не рассчитывали, поскольку нижние слои не достигают доиндустриального уровня. Все рассматриваемые озера являются олиготрофными, но по pH, электропроводности воды и содержаниям в ДО органического вещества они различаются по уровню трофности. Озеро NARY 4-2 находится на самом низком уровне, а содержания элементов близки к концентрациям в нижнем слое колонки NARY 1-2, принятым за локальный фон. Колонка NARY 9-1 показала самые высокие концентрации для большинства элементов. Характерно, что снижение концентраций в верхних 2 см отложений имеет место для той же группы элементов, что и в NARY 1-2 – K, Na, Rb, Sr, и Tl. Резкое увеличение концентраций в верхнем 1.5 см слое показали также As, Ca, Fe, Mn, S и P

Резкие изменения в верхних слоях колонок предположительно связаны с происходящими там физико-химическими процессами. Например, редокс-цикл форм элементов в приближенных к анаэробным условиям, поглощение ряда биологически нужных компонентов анаэробными бактериями, а также биотурбация.

Концентрации Ca, S, P, As и Bi во всех озерах, а Mg, Fe, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni и Zn в NARY 9-1 существенно превышают уровни, характерные для термокарстовых озер. При этом в ДО NARY 9-1 концентрации Ni превысили уровень возможного воздействия (PEL) на биоту, а As и Cr – уровень токсического действия (TET) [7].

Различия в геологии, климате и атмосферных выпадениях изучаемых озер являются минимальными, а различия в составе ДО являются существенными. Причиной является ежегодное гнездование лебедей, гусей и других птиц. Это обусловлено внесением в почву и воду органических и неорганических веществ в виде погачок, экскрементов и другого орнитогенного материала. Кроме того, смена перьев в процессе линьки сопровождается и сменой рогового слоя эпидермиса, очищением верхнего слоя кожи. Основная причина – различия в питательной среде и количестве птиц.

Озеро NARY 9-1 находится всего в 300 м от NARY 4-2, но в него впадает небольшой ручей, который соединяет несколько небольших озер. Это существенно увеличивает площадь водосбора. Известно, что в озерах с впадающими водотоками повышена минерализация воды, а также концентрации биогенных элементов по сравнению с фоновыми значениями. Кроме того, озера, не имеющие оттока, с большей вероятностью будут демонстрировать сильную эвтрофикационную реакцию на птиц [3].

Количество птиц в районе озера NARY 1-2 значительно меньше, и является основным районом гнездования малого лебеда.

Химический состав воды, в значительной степени определяющий состав донных отложений, претерпевает резкое увеличение содержания нутриентов, определенных ионов и металлов в результате летнего орнитогенного поступления с фекалиями, а также взмучивания отложений при перемещении водоплавающих птиц в озерах [9].

Следует признать, что на накопление отложений существенное влияние оказывают поступления с водосбора, качество воды и биотурбация. Все это влияет на концентрации в отложениях. К сожалению, такая информация в данном случае отсутствовала и все выводы и предположения были сделаны только на основе анализа донных отложений.

В донных отложениях исследованных озер концентрации многих элементов превышают значения, характерные для термокарстовых арктических озер, а содержания Ni и Cr превышают уровень токсического воздействия на биоту.

Поступления элементов в донные отложения могут быть связаны с различными источниками: геохимическими, антропогенными и влиянием орнитогенного фактора, который представляет собой промежуточный вариант первых двух. Повышение содержания органических веществ в верхних слоях донных отложений совместно с концентрациями микроэлементов может указывать, в том числе, на вклад продуктов жизнедеятельности птиц. Опираясь на литературные данные можно утверждать, что ряд элементов различных геохимических групп (подгруппа мышьяка, подгруппа железа и т.д.) необходимы для ферментативных процессов птиц и поступают в окружающую среду с естественными выделениями, слюноотделением, перьями и скорлупой яиц.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РНФ 22-17-00061 «Факторы и механизмы развития биогеохимических процессов в водных экосистемах при снижении уровня загрязнения и потеплении климата»*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Smol, J.P. Arctic and Sub-Arctic shallow lakes in a multiple-stressor world: a paleoecological perspective // *Hydrobiologia*. 2016. Vol. 778, №1. P. 253-272.
2. Verpoorter C., Kutser T., Seekell D.A., Tranvik L.J. A global inventory of lakes based on high-resolution satellite imagery // *Geophys. Res. Lett.* 2014. Vol. 41. P. 6396–6402.
3. Schindler D.W., Smol J.P. Cumulative Effects of Climate Warming and Other Human Activities on Freshwaters of Arctic and Subarctic North America // *Ambio*. Vol. 35, №4. P. 160-168.
4. Моисеенко Т.И. Теоретические основы нормирования антропогенных нагрузок на водоемы Субарктики. Апатиты, КНЦ РАН, 1997. 261 с.
5. Friend M. Lead poisoning // In *Field Guide to Wildlife Diseases*. Vol. 1. General Field Procedures and Diseases of Migratory Birds. Resource publication 167. 1987. P. 175-189.
6. Silva J.J.R.F.D., Williams R.J.P. The biological chemistry of the elements: the inorganic chemistry of life / New York: Oxford University Press, 2001. 575 p.
7. Burton G.A., Jr. Sediment quality criteria in use around the world // *Limnology*. № 3. P. 65–75.
8. Harris H, Ladowski JA, Worden DJ. Water-quality problems and management of an urban waterfowl sanctuary // *J. Wildlife Manage.* Vol. 45. P. 501–507.
9. Mallory M.L., Fontaine A.J., Smith P.A., Wiebe Robertson M.O., Gilchrist H.G. Water chemistry of ponds on Southampton Island, Nunavut, Canada: effects of habitat and ornithogenic inputs // *Arch. Hydrobiol.* Vol. 166, № 3. P. 411–432.

#### **ФОРМИРОВАНИЕ ИОННОГО СОСТАВА ВОДЫ НА ПРИМЕРЕ МАЛОГО ОЗЕРА БОЛЬШОГО СОЛОВЕЦКОГО ОСТРОВА**

*Титова К.В., Жибарева Т.А., Слобода А.А., Попов С.С., Елисеева И.С.*  
Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лавёрова УрО РАН, г. Архангельск, ksyu\_sev@mail.ru

В соответствии с указом Президента РФ «Об Основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года» одним из основных направлений реализации государственной политики Российской Федерации в Арктике является охрана окружающей среды и обеспечение экологической безопасности. Согласно указу Президента РФ «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации» Соловецкий архипелаг относится к арктическим территориям.

Он расположен в Онежском заливе Белого моря, на 165 км (пос. Соловецкий) южнее Полярного круга. Остров Бол. Соловецкий по насыщенности территории озерами сходен с Карельским гидрографическим районом: его средняя озёрность равна 11 %. Общая их численность составляет по разным источникам от 350 до 1000, большая часть из которых классифицируется как малые. По происхождению водоёмы являются ледниково-тектоническими, ледниково-аккумулятивными, ледниково-эрозийными и реликтовыми. По типу питания озера делятся на три группы: озера атмосферного питания, поверхностно-грунтовые и смешанные. В целом, формирование химического состава вод соловецких озёр происходит в условиях малой мощности рыхлых отложений, слаборастворимых почвообразующих пород и сильно оподзоленных почв[1].

Химический состав вод малых озёр способен быстро реагировать на внешние воздействия, поэтому является весьма чувствительным индикатором любых изменений: климатических, антропогенных, природных и определяется генезисом водоёма и зависит от таких слагаемых, как водосбор и породы озёрного ложа, питание, климат, а также от ряда других факторов. Макрокомпонентный состав является одной из основных характеристик вод [2].

Целью данной работы являлось изучение пространственно-временного изменения минерализации воды и ее ионного состава на примере одного из малых озёр Большого Соловецкого острова.

Объектом исследования являлось оз. Святое, находящееся в черте пос. Соловецкий и под стенами монастыря (рис.1).

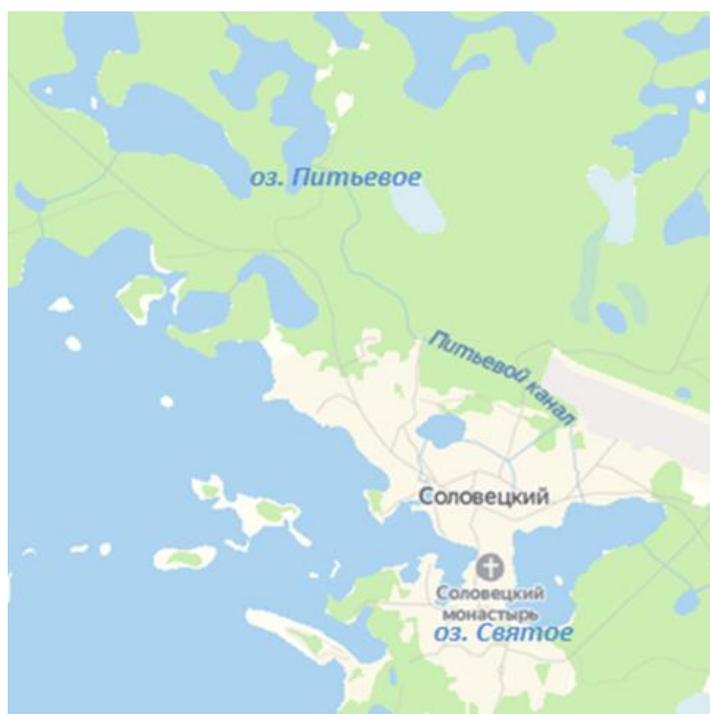


Рис. 1 – Карта-схема расположения оз. Святое

Длина водоёма – 880 м, ширина – 380 м, площадь – 0,230 км<sup>2</sup>. По происхождению оно ледниково-тектоническое с возможным антропогенным воздействием (углубление части водоема, примыкающей к монастырю – глубина у берега до 4 м). Ложе озера сложное, дно неровное: отмечено наличие двух глубоких (до 10 м) впадин, разделенных порогами, а также острова, за которым у восточного берега – мелководье. На формирование химического состава вод оз. Святое, сказываются как атмосферное и поверхностное питание, так и его притоки. Поступление и сток воды возможен благодаря расположению водоёмов на различных высотах над уровнем моря.

Исследуемый водоём принимает воды двух озёрно-канальных систем, приносящих ее с западной и восточной сторон острова. Сток воды происходит через канал в бухту Благополучия в юго-западной части озера. Помимо указанных факторов на формирование химического состава вод оз. Святое, могла оказывать влияние расположенная недалеко взлетно-посадочная полоса, при реконструкции которой земляные работы привели к поступлению в водоем грунта в осенне-весенний периоды.

Отбор проб воды осуществлялся горизонтальным поликарбонатным батометром на 5 л из поверхностного слоя вод (до 1,0 м): июль, октябрь 2020 г., июль 2021 г., июль, сентябрь, декабрь 2022 г., март, июль 2023 г. Определение ионов ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) в воде проводилось на жидкостном хроматографе LC-20 Prominence с кондуктометрическим детектором. Идентификацию ионов проводили по времени удерживания, количественное определение – по площадям пиков методом абсолютной калибровки. Обработка полученных результатов проводилась с помощью программы LC Solution. Щелочность (гидрокарбонаты) определялись потенциометрическим титрованием сразу после отбора. Минерализация воды рассчитана сложением концентраций главных ионов, произведен перерасчет концентраций ионов в мг-экв/л, определено их процентное соотношение.

Пространственное изменение показателей было изучено в июле 2020 г. (рис.2) (образцы отобраны во всех станциях, кроме 33 и 34 – октябрь 2020 г.). В остальные годы исследовался только глубоководный участок (Т16).

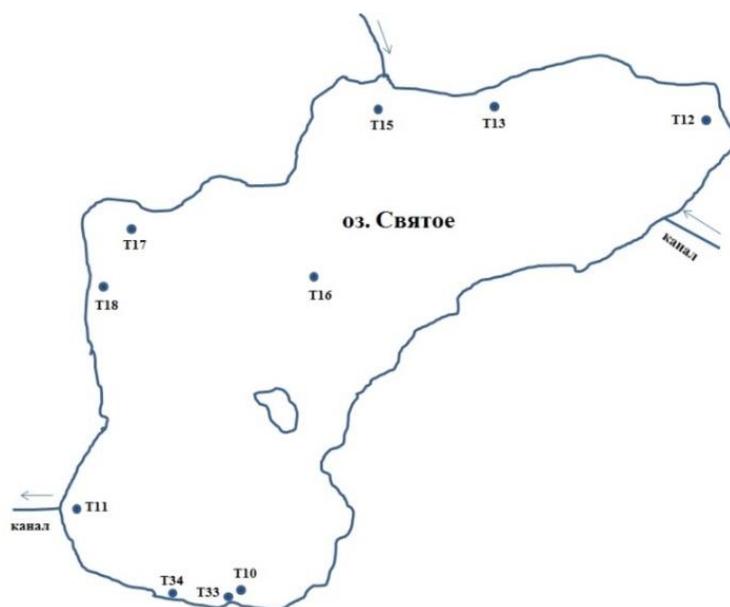


Рис. 2 – Расположение станций отбора проб воды в оз. Святое

Согласно данным рис. 3, минерализация воды по акватории оз. Святое изменялась от 37,72 до 49,82 мг/л, в среднем – 42,92 мг/л. В оз. Питьево – 34,08 мг/л, оз. Средний Перт – 33,37 мг/л. В целом, эти величины были заметно ниже таковых для ряда исследованных водоёмов в различных регионах страны [3,4, 5, 6].

Действительно, согласно классификации вод по минерализации оз. Святое было отнесено к категории ультрапресное. Минимальные значения этого показателя отмечены в южной (Т10) и северной (Т17) частях озера (рис.2), в которые нет притока вод из других водоёмов. Поступающие по каналам из западной (Т15) и восточной (Т12) систем немного увеличивают минерализацию воды, которая становилась близка по значению к средней для всей акватории озера. В месте стока воды из озера (Т11) минерализация так же была выше среднего. Максимальные значения отмечены под стенами монастыря (Т18), куда направлено течение вод к одному из подземных каналов и в воде северного глубоководного участка (Т16).

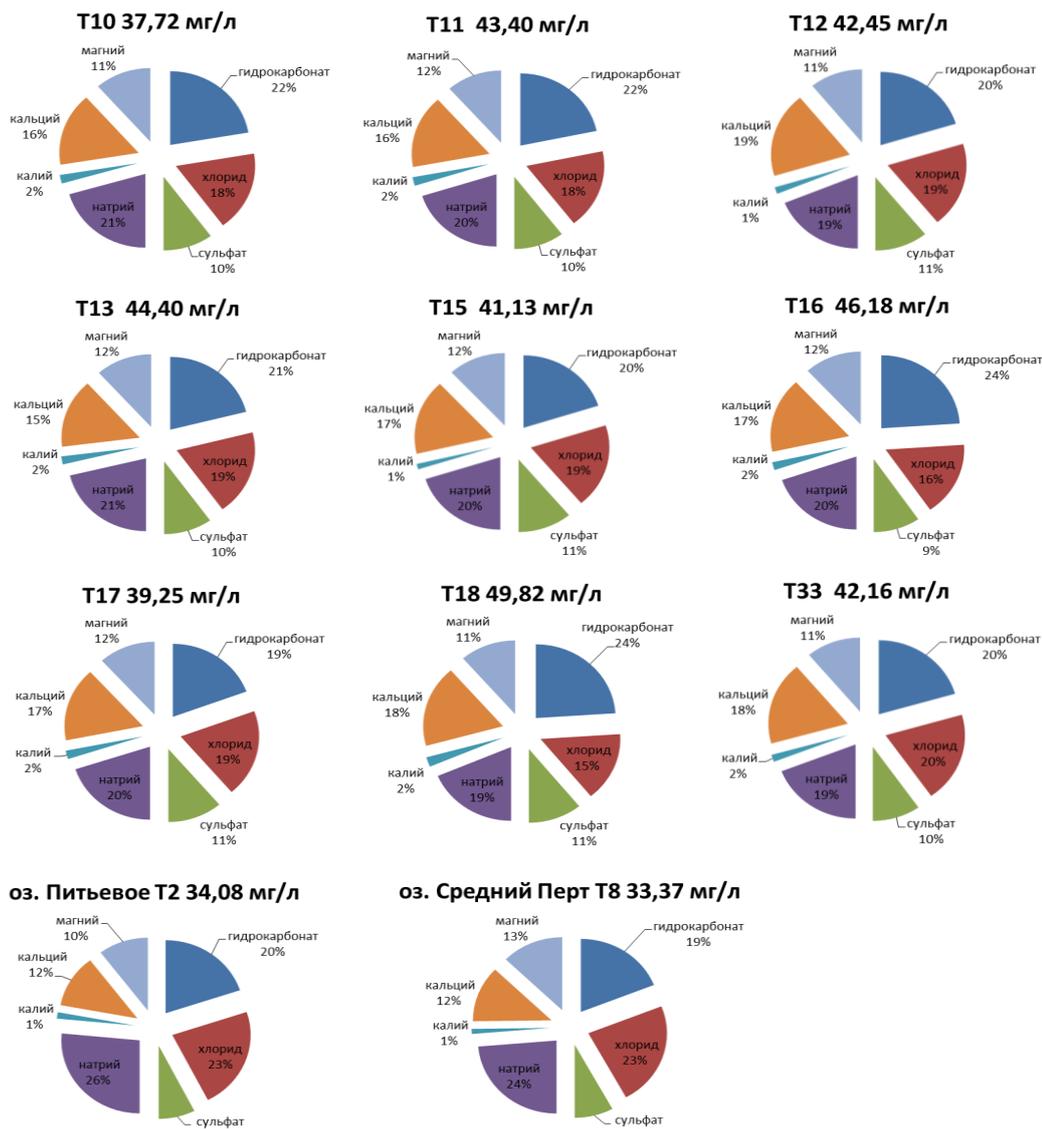


Рис. 3 – Значение минерализации (мг/л) и распределение главных ионов в воде оз. Святое в июле и октябре 2020 г.

В июле 2020 г. (период межени, теплое лето) среди преобладающих ионов в воде поверхностных слоёв по всей акватории озера были гидрокарбонат и натрий (рис.3), но хлорид и кальций по вкладу лишь немного уступали вышеуказанным. В октябре 2020 г. (в период охлаждения вод и обильных дождей) в оз. Святое были отобраны только две пробы в южной части водоёма недалеко друг от друга. По сравнению с летним периодом минерализация воды немного увеличилась (рис.3), что, предположительно, связано с питанием озера как атмосферными осадками, так и поверхностными стоками с берега. Не изменилось соотношение ионов: преобладающим среди анионов остался гидрокарбонат, среди катионов – натрий.

Была проанализирована водная вытяжка грунта, изъятая при реконструкции взлетно-посадочной полосы и лежащего рядом с ней. Следовательно, в грунте в больших количествах в водорастворимой форме до сих пор содержались сульфаты и кальций. Впоследствии грунт был убран. Для сравнения представлены данные по другим объектам в разные годы (табл.1).

Таблица 1 – Значение минерализации и распределение главных ионов в воде озёр и водных вытяжках почв (мг/л) в разные сезоны

Сезон отбора	Объект	Минерализация, мг/л	НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	Сl <sup>-</sup> , мг/л	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/л	Na <sup>+</sup> , мг/л	K <sup>+</sup> , мг/л	Ca <sup>2+</sup> , мг/л	Mg <sup>2+</sup> , мг/л
Июль 2020	оз. Святое Т16	46,18	19,28	7,71	6,08	5,97	0,91	4,37	1,86
	оз. Питьевое Т2	34,08	12,38	8,18	3,68	5,86	0,53	2,26	1,19
	оз. Ср. Перт Т8	33,37	10,92	7,72	3,60	6,12	0,49	2,80	1,72
Июль 2021	оз. Святое Т16	32,20	7,93	8,4	3,98	5,93	0,57	3,51	1,7
	оз. Питьевое Т2	31,79	7,32	8,82	3,7	6,64	0,83	2,79	1,69
	оз. Ср. Перт Т8	36,55	13,42	8,16	3,42	6,46	0,62	2,77	1,70
Октябрь 2020	Почвы ВПП песчаные (водная вытяжка)	-	-	0,2	34,15	1,85	3,23	9,18	2,46
Август 2017	Почвы около свалки ТКО лесная подстилка (водная вытяжка)	-	-	28	39	24	42	15	6

Таблица 2 – Значение минерализации (мг/л) и распределение главных ионов в воде (%) оз. Святое в разные сезоны на одной станции (Т16)

Сезон отбора	Минерализация, мг/л	% экв НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup>	% экв Сl <sup>-</sup>	% экв SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	% экв Na <sup>+</sup>	% экв K <sup>+</sup>	% экв Ca <sup>2+</sup>	% экв Mg <sup>2+</sup>
Июль 2020	46,18	<b>47,89</b>	32,91	19,20	<b>39,54</b>	3,55	33,29	23,61
июль 2021	32,02	28,92	<b>52,64</b>	18,44	<b>43,73</b>	2,48	29,77	24,03
июль 2022	32,65	24,33	<b>51,84</b>	23,83	<b>42,69</b>	3,34	30,50	23,47
сентябрь 2022	34,24	27,46	<b>51,11</b>	21,43	<b>43,23</b>	3,57	29,62	23,58
декабрь 2022	36,38	17,18	<b>55,38</b>	27,44	<b>37,30</b>	2,97	36,66	23,07
март 2023	31,53	27,24	<b>55,30</b>	17,46	<b>48,33</b>	1,04	26,39	24,24
июль 2023	27,45	30,88	<b>48,78</b>	20,34	<b>41,06</b>	3,46	31,71	23,77

Как видно из данных табл.2, во все сезоны 2021-2023 гг. минерализация воды оз. Святое изменялась незначительно и была меньше таковой по сравнению с 2020 г. Это уменьшение обусловлено снижением концентраций гидрокарбонатов почти в 2 раза (до 7-8 мг/л), сульфатов – на 1-3 мг/л, кальция – на 1-2 мг/л. Изменение суммарного содержания ионов в июле 2023 г. можно связать с прошедшими до отбора в течение нескольких дней дождями и повышением уровня воды в озере. Увеличение этого показателя в подледный период обусловлено концентрированием ионов, так, например, наблюдался рост содержания хлоридов на 1-2 мг/л по сравнению с летним периодом. Изменилось также распределение ионов в воде оз. Святое (рис.3 и табл.1) доминирующими ионами стали хлорид и натрий. Такие же тенденции отмечены и для других исследованных авторами водоёмов Большого Соловецкого острова [7].

В заключение отметим, что подтвердилось малое значение минерализации воды оз. Святое (как суммы главных ионов), что позволило отнести водоём к ультрапресным. Зафиксировано различие этого показателя по акватории озера, что связано с его проточностью (поступлением из других водных систем и отчасти глубиной места отбора), а также сезонными колебаниями, обусловленные изменением уровня воды в подледный период и во время обильного выпадения осадков, то есть с естественными факторами. В последующие годы по сравнению с 2020 г. произошло уменьшение минерализации. Это различие вызвано снижением концентрации гидрокарбонатов,

сульфатов и кальция, при практически постоянных – хлоридов, натрия и магния. Изменилось также и само распределение ионов с преобладающих гидрокарбонатов и натрия на хлоридно-натриевое, которое характерно для всех других исследованных авторами озёр Большого Соловецкого острова. Эти изменения связаны как с природными факторами, так и возможным антропогенным воздействием, более выраженным в 2020 г.

*Исследования проведены при финансовой поддержке РФФ, проект № 22-27-20144 «Сукцессионные процессы при переходе лимнической экосистемы от морской к континентальной с учетом воздействия природных и антропогенных факторов (на примере водоемов Большого Соловецкого острова)».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грицевская Г.Л., Кябелева Г.К., Николаева Л.А., Семенов В.Н. Гидрология и гидрохимия Соловецких озер // Соловецкие острова. Материалы по комплексному изучению озер. Труды СевНИОРХ. Петрозаводск: Изд-во Карелия, 1972. Т.6. С.5-44.
2. Кремлева Т.А., Южанина А.А., Печкин А.С., Агбалян Е.В. Экологическое состояние и основные факторы формирования химического состава малых озер Надымского района // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2018. Т.4. №4. С. 33-50.
3. Синюкович В.Н., Ширеторова В.Г., Томберг И.В., Сороковикова Л.М., Раднаева Л.Д., Тулохонов А.К. Формирование ионного состава вод р. Баргузин (бассейн оз. Байкал) в условиях засоленных ландшафтов // Доклады российской академии наук. Науки о Земле. 2020. Т.495. №1. С. 69-73.
4. Титова К.В., Кокрятская Н.М., Жибарева Т.А., Слобода А.А. Сезонное изменение физико-химических показателей воды оз. Нижнее (Коношский район, Архангельская область) // География: развитие науки и образования. Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции LXXIV Герценовские чтения. СПб.:Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2021. Том II. С. 116-120.
5. Пузанов А.В., Бабошкина С.В., Рождественская Т.А., Балыкин С.Н., Балыкин Д.Н., Салтыков А.В., Трошкова И.А., Двуреченская С.Я. Влияние биогеохимической обстановки водосборного бассейна озера Телецкое (северо-восточный Алтай) на содержание главных ионов и Fe в водах его притоков // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т.333. №2. С. 111-122.
6. Изиметова М. Ф., Шундеев А. Л. Гидрохимический режим и качество воды озера Смолино (Челябинская область) // Вестник рыбохозяйственной науки. 2019. Т. 6. № 1(21). С. 4-15.
7. Титова К.В., Кокрятская Н.М., Жибарева Т.А., Слобода А.А. Гидрохимические и геохимические исследования прибрежных водоемов Большого Соловецкого острова // XXIX Береговая конференция: Натурные и теоретические исследования – в практику берегопользования: сб. матер. Всерос. конф. с междунар. участием – Калининград: Издательство БФУ им. И. Канта, 2022. С. 447-449.

## ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ОСНОВНОГО ИОННОГО СОСТАВА ВОД В ОБЪЕКТАХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ ЗАПАДНОЙ ЯКУТИИ

ТулISOBA K.Ю.<sup>1</sup>, ЮРКЕВИЧ Н.В.<sup>1</sup>, ЯННИКОВ А.М.<sup>1,2</sup>, ГЛУХОВА Т.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, г. Новосибирск,

tulisovaky@ipgg.sbras.ru

<sup>2</sup> Институт «Якутнипроалмаз», г. Мирный

В районах сплошного и островного распространения многолетнемерзлых пород остро стоит проблема, связанная с трендами к повышению температуры воздуха, и как следствие увеличения накопленного тепла в прудках-отстойниках, водохранилищах, вызывающих сопутствующую интенсификацию оттаивания грунтов основания на гидротехнических сооружениях (ГТС), к числу которых относятся хвостохранилища продуктов и отходов горнорудного производства, за состоянием которых требуется постоянный мониторинг, необходимый для обеспечения безопасной эксплуатации и минимизации техногенной нагрузки на окружающую среду [1, 2].

Процессы гидрогенного растепления являются ведущими при формировании природно-техногенных таликов, в русловых и прибрежных частях ГТС. Форма, а также плановое распространение как правило контролируется литолого-фациальными и структурно-тектоническими факторами. При наличии развитых систем разрывных нарушений процесс формирования таликов многократно интенсифицируется, а также способствуют растеплению многолетнемерзлых грунтов, формированию техногенных таликов, утечкам техногенных вод, что в случае наличия разломных зон приводит к развитию фильтрационных каналов [3-7].

Объектом исследования является хвостохранилище (ХХ) обогатительной фабрики (ОФ) (рис. 1). Длина ограждающей намывной дамбы на конечной отметке заполнения до 2500 м, высота 105 м, ограждающая дамба фильтрующего типа. Хвостохранилище бессточное, полнооборотное, эксплуатируется с 1996 года.

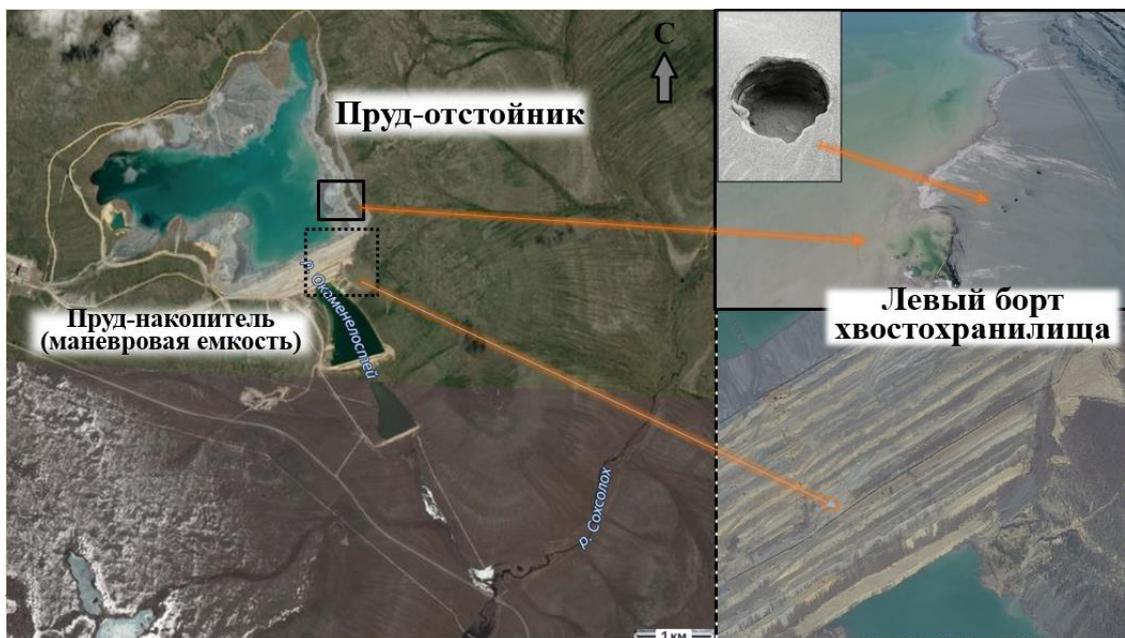


Рис. 1 – Хвостохранилище обогатительной фабрики

Последние 20 лет фиксируются процессы развития как в плане, так и в разрезе природно-техногенного талика, приводящему к формированию зон обходной фильтрации, сконцентрированных в левобережном примыкании, собираемых в расположенную ниже маневровую ёмкость. Процесс развития природно-техногенного

талика в левобережном примыкании сопряжён с карстовыми процессами и суффозионными воронками (рис. 1). Состав грунтов основания: известняк ( $\text{CaCO}_3$ ) с примесями песчано-глинистого материала.

Цель работы – определить фактический химический состав и исследовать динамику изменения основного ионного состава разных типов вод смешанного генезиса в объектах ГТС: «пруд-отстойник хвостохранилища – пруд-накопитель (маневровая емкость)».

Пробоотбор воды осуществляется с поверхности пруда-отстойника (20 проб в 20-ти точках), с придонного (глубина 2 м) и приповерхностного горизонта (глубина 0.2 м) пруда-накопителя (20 проб в 10 точках) в объеме 1 л.

Анализ на содержание катионов ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) и микроэлементов определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС). Массовая доля ионов в пробах определялась по методике выполнения измерений методом ионной хроматографии.

Основные катионы в составе воды пруда-отстойника – Mg, Ca, Na, K, вода солоноватая (общая минерализация 3300 мг/л), слабокислая, класс вод сульфатный, тип – кальций магниевый. Кроме сульфатных и хлоридных анионов в перечень основных анионов входят нитраты и нитриты.

Общий ионный состав воды в пруду-накопителе схож с составом воды из отстойника: общая минерализация 2517 мг/л, среда нейтральная, класс сульфатный, тип – кальций магниевый. Главное отличие - кроме  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Cl}^-$  в перечень основных анионов входят  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{NO}_3^-$ .

Общая минерализация, концентрации всех анионов в растворе пруда-накопителя снижены по сравнению с прудом-отстойником за счёт разбавления или очистки растворов в ходе фильтрации через породы дамбы. Однако, за счёт растворения карбонатных минералов в породах основания дамбы, концентрации  $\text{HCO}_3^-$  в растворе пруда-накопителя повышаются (рис. 2).

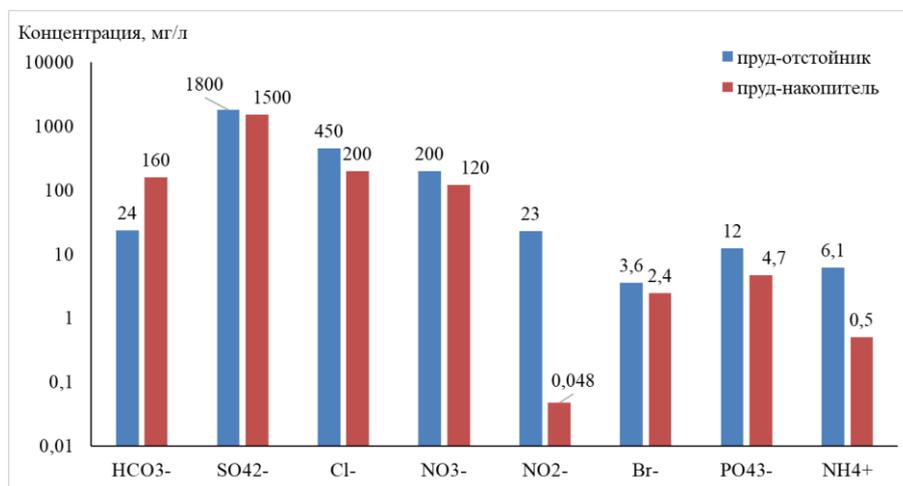


Рис. 2 – Концентрации анионов в воде пруда-отстойника и накопителя

И в накопителе, и в отстойнике высоки концентрации сульфатных анионов (1500 и 1800 мг/л соответственно), хлоридных анионов (200 и 450 мг/л соответственно), то есть несмотря на некоторое снижение концентраций химических элементов, не происходит их полного удаления в результате фильтрации через дамбу, а напротив, ожидается постепенное увеличение их концентраций с течением времени.

Вероятные источники сульфатных анионов в водных растворах системы ГТС: 1) вторичные сульфатные минералы, попадающие в материал хвостов обогащения из материнских пород (сульфидные линзы гидротермального генезиса, которые вскрываются при добыче кимберлитовых трубок); 2) растворы из криопэгов и жильных

льдов из зон формирования рассолов вымораживания, вскрываемых при добыче [6][7]. Увеличение глубины отработки месторождений, и как следствие вовлечение эксплуатационных блоков с увеличенным содержанием легкорастворимых минералов приведёт к увеличению минерализации оборотных вод до 10 г/л к 2031 г.

Сопоставление результатов химического анализа воды из пруда-отстойника в 2018, 2019 [8] гг. и 2020 г., и воды в пруду-накопителе позволили сделать вывод о том, что происходит рост минерализации воды в 1.7 раз за последние два года (с 1938 мг/л в 2018 г. до 3340 мг/л в 2020 г.) и практически всех компонентов основного ионного состава (табл. 1). Особо существенен рост концентраций хлоридных, нитратных и сульфатных анионов: с 2018 по 2020 гг. их концентрации увеличились в 1.5-2 раза. Значения рН в пруду-отстойнике, напротив, снизились на 1.5 единицы рН за период с 2018 по 2020 гг.

Таблица 1 – Сопоставление результатов химического анализа воды из пруда-отстойника ХХ (ПО) в 2018, 2019 гг. и 2020 г. и в пруду-накопителе (ПН)

Параметр	ПО <sup>1</sup> , 2018	ПО <sup>2</sup> , 2019	Пена <sup>3</sup> , 2019	ПО, 2020	ПН, 2020
				ПО	ПН
рН	8,07	8,50	7,80	6,1	7,6
УЭП, мкСм/см	н.д.	н.д.	н.д.	2600	1980
М, мг/л	1938	1829	5263	3340	2517
Ca	162	175	2345	368	218
Mg	205	256	292	364	273
Na	17	20	322	56	22
K	20	26	57	33	17
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	860	1000	1440	1800	1500
Cl <sup>-</sup>	304	276	709	450	200
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	91	42	99	24	160
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	87	100	н.д.	200	120
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	4,2	3	н.д.	23	0,048
Br <sup>-</sup>	н.д.	110	н.д.	3,6	2,4
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,47	0,05	н.д.	12	4,7
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	3,2	4,0	н.д.	6,1	0,5

При взаимодействии коренных пород с сульфатно-хлоридными оборотными водами происходит растворение карбонатно-силикатной матрицы, выщелачивается кальций с последующим осаждением гипса и ангидрита.

Повышенные содержания SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> приведут к увеличению агрессивности циркулирующих в системе ГТС вод (подразумеваются воды смешанного генезиса в отстойнике, накопителе и в трещиноватых коллекторах природно-техногенного талика) по отношению к грунтам.

Полученная информация позволит судить о вкладе химических реакций растворения карбонатных и сульфидных минералов в растепление горного массива и развитие природно-техногенного талика.

*Исследования проведены при финансовой поддержке государственной программы «Выполнение фундаментальных научных исследований» (проект FWZZ-2022-0029).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шерстюков А.Б. Многолетняя мерзлота России в условиях глобального потепления климата // Проблемы региональной экологии. 2007. №4. С. 6-10.
2. Гребенец В.И. Негативные последствия деградации мерзлоты // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2007. №3. С. 18-21.
3. Гребенец В.И., Толманов В.А., Хайрединова А.Г., Юров Ф.Д. Проблема размещения отходов в арктических регионах России // Проблемы региональной экологии. 2019. №5. С. 67-71.
4. Данилов П. П. Почвенный покров пригородной зоны г. Мирного и воздействие на него Объектов алмазодобывающей промышленности: дис. – Улан-Удэ : [Ин-т прикл. экологии Севера АН Респ. Саха (Якутия)], 2005.
5. Шевчук А. В. Вопросы развития Арктики и экологическая безопасность // Современные производительные силы. 2015. №3. С. 59-73.
6. Янников А.М. Гидрогеология Алакит-Мархинского кимберлитового поля. Мирный: Изд-во ЗЯНЦ/ЯНА, 2022. 132 с.
7. Янников А.М. Гидрогеология Далдынского кимберлитового поля. Мирный: Изд-во ЗЯНЦ/ЯНА, 2023. 301 с
8. Отчёт о НИР «Комплексное изучение целостности массива дамбы и ложа хвостохранилища геохимическими методами» (промежуточный, этапы 1 и 2). ИНГГ СО РАН. Новосибирск. 2020. 130 с.

#### ИССЛЕДОВАНИЯ СОЦИО-ЭКОНОМИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВОДОЕМ-ВОДОСБОР

*Филатов Н.Н.*

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, г. Петрозаводск,  
nfilatov@rambler.ru

#### **Системные исследования Белого моря и водосбора (Беломорье).**

Исследуется динамика не только экосистемы моря, но и процессов, происходящих на его водосборном бассейне в экономике, окружающей среде и социальной сфере. В работе ставится задача разработки подходов к оптимальному управлению сложной социо-эколого-экономической системой Белого моря и водосбора. Поскольку интересы России в Арктике – как и арктические проблемы – носят комплексный характер, и их решение требует значительных материальных ресурсов, целесообразно объединить средства и возможности организаций РФ для выполнения необходимых системных исследований на примере относительно небольшого, хорошо изученного региона Севера – Беломорья. Это достижимо, как отмечал академик Н.П. Лаверов [1], только с использованием программно-целевых методов, где можно выполнять полноценные междисциплинарные исследования, с привлечением необходимых средств и возможностей заинтересованных организаций, таких как РАН, Росгидромет, Минтранс, МЧС, Минобороны и др. Результаты анализа социально-экономического развития за период после 1991 г. показали, что к основным закономерностям относится общий спад в экономике региона, свертывание градообразующих производств, упадок социальной инфраструктуры. Для региона имеются возможности разработки системы принятия решений для научного

обеспечения социально-экономических проблем региона. Целевые установки должны быть направлены на возрождение такого важного региона

Для исследования сложной системы Беломорья разработаны когнитивные модели как инструмент синтеза разнородных сведений о сложной системе [2]. Применяется концептуальное моделирование и математический аппарат непрерывной или размытой логики. Создано необходимое информационное обеспечение: геоинформационные системы; базы данных; комплексный электронный и бумажный атласы Белого моря и его водосбора, оригинальные 3-D математические модели термогидродинамики и экосистемы моря. Созданные средства используются для оценки состояния и прогноза развития экономики региона, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря. Для оценки влияния развития экономики Беломорья на окружающую среду, экосистему Белого моря был использован сценарный подход, позволяющий просчитывать возможные ситуации и оценивать результаты различных воздействий. Каждый экономический сценарий дополнялся предположениями о соответствующей ему экологической политике, что позволяло задавать параметры уравнений, связывающих экономические параметры и показатели состояния окружающей среды. Предложенная разработка – единственная на сегодняшний день функционирующая система для Беломорья, которая может использоваться в качестве основы для создания поддержки принятия решений, научного обоснования реализации практических мер по сохранению качества вод моря.

**Разработка информационно-аналитической системы для оценки состояния озеро-водосбор для и прогнозирования динамики системы на примере Онежского озера.** Представлена разработка информационно-аналитической системы для оценки состояния и прогнозирования динамики системы озеро-водосбор. До сих пор состояние крупных озер Мира не только существенно не улучшается, а отмечается деградация их экосистем [3]. Продолжающееся ухудшение состояния крупных озер Мира вызвано активной эксплуатацией ресурсов многочисленными пользователями глобальными и региональными изменениями климата из-за слабого развития систем принятия решений, методов математического моделирования экосистем, недостатков систем мониторинга, и не совершенством законодательства в области охраны водных ресурсов. Поэтому одной из актуальных проблем современной гидрологии – создание интегрированных систем управления водопользованием, обеспечивающих информационную поддержку органов принимающих практические решения. Доказано, что влияние изменений климата на водные экосистемы крупнейших озер Европы за последние 10 лет существенно возросло по сравнению с предыдущим десятилетием. В последние 10 лет отмечается заметное влияние форелевых хозяйств, вселенцев и изменений климата на состояние Ладожского и Онежского озер.

Система основана на трехмерной математической модели экосистемы озера [4], сопряженной с моделью стока с водосбора, информационно-аналитической системой (ИАС) [5]. ИАС дает возможность прогнозировать состояние экосистемы озера в условиях глобальных изменений климата, и активной эксплуатации ресурсов. В качестве прототипа информационной системы для ИАС «Онежское озеро и водосбор» на первом этапе предполагается использование системы обработки и анализа данных для модели NEST, разработанной для Балтийского моря [6]. ИАС для Онежского озера и водосбора реализована как основной инструмент для широкого круга прогнозов, от прикладных задач влияния размещения аквакультурных хозяйств, водозаборов и сбросов сточных вод, до изучения долгосрочной крупномасштабной эволюции экосистем при различных сценариях изменения климата и социальной - экономическое развитие.

*Работы выполнены при поддержке РНФ, проект № 22-17-00193.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лаверов Н.П. Предисловие // В кн. Фундаментальные исследования океанов и морей. Кн. 1. - М.: Наука, 2006. с. 5-7.
2. Филатов Н.Н., Бахмет О.Н., Дружинин П. В., Меншуткин В.В., Назарова Л.Е. Оценка состояния и изменения эколого-социо-экономической системы Белого моря и водосбора / Вестник РФФИ. 2022. - № 2 (114), С. 109-118.
3. Jenny J-P, Anneville O, F. Baulaz Arnaud, Y. et al. Scientists' Warning to Humanity: Rapid degradation of the world's large lakes. // Journal of Great Lakes Research. Volume 46. Issue 4. 2020. P. 686-702. doi.org/10.1016/j.jglr.2020.05.006
4. Savchuk O.P., Isaev A.V., Filatov N.N. Three-Dimensional Hindcast of Nitrogen and Phosphorus Biogeochemical Dynamics in Lake Onego Ecosystem, 1985–2015 // Fundamental and Applied Hydrophysics. 2022. 15. 2. P. 98–109. doi:10.48612/fpg/9mg5-run6-4zr8
5. Филатов Н.Н., Баклагин В.Н., Исаев А.В., Кондратьев С.А., Савчук О.П. Разработка информационно-аналитической системы «озеро – водосбор» как метода фундаментальных исследований и инструмента обоснования управленческих решений (на примере Онежского озера) // Труды Карельского научного центра РАН. Лимнология & Океанология. 2022. № 6. doi: 10.17076/lim168
6. Wulff F., Sokolov A., Savchuk O.P. Nest – a decision support system for management of the Baltic Sea. A user manual // Baltic Nest Institute, Stockholm University Baltic Sea Centre, Technical Report No. 10. 2013.

## ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. ОБИ КАК ИНДИКАТОР КАЧЕСТВА ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

*Хорошавин В.Ю.*

Тюменский государственный университет, г. Тюмень, v.y.khoroshavin@utmn.ru

В августе 2020 г. начаты работы по исследованию водно-экологической ситуации в нижнем течении р. Обь, на дистанции от административной границы Ханты-Мансийского автономного округа-Югры и Ямало-Ненецкого автономного округа (560 км от устья р. Оби) до впадения реки в Обскую губу. Исследование проводится группой коллег из Тюменского государственного университета, Института водных и экологических проблем СО РАН и Научного центра изучения Арктики при поддержке Правительства Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО). Основная цель работ состоит в определении степени влияния на качество воды р. Оби регионов, расположенных выше по течению по отношению к ЯНАО и как трансформируется качество вод по мере движения р. Оби через территорию округа. При комплексной характеристике состояния речных экосистем важным показателем является эколого-геохимическое состояние донных отложений. Особенно ценна информация о химическом составе донных отложений в нижнем течении реки, на участках возможного накопления веществ, переносимых водами р. Оби.

Отбор проб донных отложений (ДО) велся на трёх речных створах, два из которых расположены на административной границе ХМАО-ЯНАО в Шурышкарском районе на р. Малая Обь и р. Большая Обь и считаются «входящими» створами, третий створ – «замыкающий» расположен в 8 км выше по течению р. Оби от с. Салемал Ямальского района. Отбор произведен стандартными методами [1]. В зависимости от глубины воды в месте отбора и гранулометрического состава отложений при пробоотборе использовались бентосный дночерпатель (ДЧ-0,025 или аналогичный),

либо пробоотборник для гетерогенных почв Eijkelkamp с поршневой насадкой. Отбирались пробы на 20 см вглубь от поверхности донных отложений на точке и на различных глубинах вод (от 50 до 300 см) в зависимости от удаления от уреза воды.

На всех створах отбор был организован таким образом, чтобы можно было сделать выводы об особенностях эколого-геохимической обстановки ДО на разных берегах (пойменный, коренной), в зависимости от глубины и удаления точки от берега и проследить изменения вниз по течению локального порядка (до 1000 м). Таким образом, на каждом створе формировались полигоны или трансекты, из которых отбирались по 4-9 проб ДО. При отборе проб обязательно учитывался расход воды в реке, отражающий фазу гидрологического режима. Наши измерения и последующие расчетные данные по расходам воды р. Обь сверялись с данными Росгидромета и Обсерватории наблюдения за великими арктическими реками (ArcticGRO) [2].

Количественный химический анализ образцов проведен по ряду показателей: рН водной и солевой вытяжек, нефтепродукты, хлориды (водорастворимая форма анионов). Методами атомной эмиссионной спектроскопии и масс-спектрометрии с индуцированной связанной плазмой (АЭС-ИСП, МС-ИСП) в лаборатории Института проблем микроэлектроники и особо чистых материалов РАН (г. Черноголовка, Московская обл.) определено валовое содержание более чем 60 элементов, относящихся к группам галогенов и металлов, девяти оксидов металлов. В частности, методом АЭС-ИСП (ICP-AES) определены содержания Li, B, Na, Mg, Al, P, S, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Sr, Ba. Методом МС-ИСП (ICP-MS) проведено определение Li, Be, B, Al, P, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Rb, Sr, Y, Zr, Mo, Nb, Rh, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Cs, Ba, Hf, Ta, W, Re, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Th и U. Отметим, что настолько детальное химическое обследование состава донных отложений в низовьях р. Оби проведено впервые. Ценность исследования связана с тем, что значительная часть перечисленных веществ и элементов выступают в качестве загрязняющих веществ и их накопление в ДО негативно сказывается на развитии бентосных экосистем и при определенных условиях вызывает вторичное загрязнение речных вод, часть загрязнений с твердым стоком выносятся в дельту р. Оби и Обскую губу.

Наиболее важным с экологической точки зрения было выявление содержания нефтепродуктов и тяжелых металлов, повышенные концентрации которых типичны для обских вод (Pb, Cu, Mo, V и др.)

Так как значения предельно-допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ для донных отложений на общегосударственном уровне не разработаны, сделать оценку эколого-геохимической обстановки по данным химического анализа донных отложений возможно только путем сопоставления содержания химических веществ (оксидов) и элементов в образцах с кларками элементов в земной коре или со значениями, закрепленными в документе [3], а также значениями, рассчитанными для Севера Западной Сибири при проведении масштабных работ по экологическому мониторингу на лицензионных участках недр [4].

Работа [4] данные о региональных фоновых концентрациях металлов получены в период с 1993 по 2017 гг. в рамках фоновой оценки территории и производственного экологического мониторинга. Авторами проведены комплексные геоэкологические исследования, в состав которых входил отбор проб почв и донных отложений на территории 30 лицензионных участков недр, равномерно распределенных по площади ЯНАО и охватывающих практически все разнообразие ландшафтных и геолого-геохимических условий. При установлении регионального геохимического фона авторы [4] использовали только результаты химического анализа образцов, выполненного методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (МС-ИСП) в Центральной лаборатории ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского [4]. Кроме того, в качестве базового материала для определения тенденций и динамики эколого-

геохимического состояния донных отложений взяты значения содержания химических соединений и элементов в ДО [5].



Рис. 1 – Схема местоположения наблюдательных створов нижнего течения р. Оби в пределах ЯНАО (с. Азовы, д. Казым-мыс, с. Салемал)

Осредненные из всего количества образцов за 2020-2023 гг. значения показателей, определенных в ходе нашего исследования, в разрезе наблюдательных створов, представлены в таблице 1. Более подробная информация представлена в фондовых материалах заказчика работ – Некоммерческого партнёрства «Российский Центр освоения Арктики» (г. Салехард) [6], часть данных опубликована [7], а так же по результатам исследования готовится серия публикаций в научных журналах.

Таблица 1 – Сопоставление осредненных данных о содержании химических веществ и элементов на наблюдательных створах (с. Азовы, д. Казым-мыс, с. Салемал) с фоновыми значениями соответствующих показателей для территории ЯНАО, Севера Западной Сибири

Элемент	Фоновые значения (Опекунова и др., 2019; Приказ..., 2017)		Средние значения по створам (2020-2023 г.г.), n=80		
	Пески	Илистые пески и алевриты	Азовы	Казым-мыс	Салемал
Нефтепродукты, мг/кг	7,96	9,70	45,10	10,49	34,90
Хлориды, мг/кг	10,00	30,15	13,45	10,60	21,41
Cu, мкг/кг	1,79±0,15	3,50 ± 0,36	20,67	14,70	12,32
Zn, мкг/кг	6,18±0,57	13,6±1,46	87,37	62,57	52,28
Ni, мкг/кг	1,83±0,25	4,60±0,58	37,93	26,57	28,96
Co, мкг/кг	1,44±0,22	2,88±0,46	16,68	12,01	14,84
Fe, мкг/кг	2670±330	7580±880	5900	4367	3673
Mn, мкг/кг	50±8	159±27	72,00	74,67	15,20
Cr, мкг/кг	7,66±1,25	17,8±2,2	79,78	60,37	53,31
Pb, мкг/кг	3,31±0,37	5,94±0,45	14,27	11,98	10,07
Hg, мкг/кг	<0,015	<0,015	0,022	0,022	0,023
Sr, мкг/кг	55±12	83,1±1,9	149,67	127,53	96,13
Sc, мкг/кг	1,45±0,41	2,45±0,58	4,23	2,99	7,47
Cd, мкг/кг	0,045±0,005	0,055±0,006	0,203	0,203	0,146
Ba, мкг/кг	178±23	339±27	475,67	420,44	365,15

В заключении отметим, что обработка результатов анализа показывает по всем рассмотренным элементам и веществам в донных отложениях р. Оби содержание выше

регионального фонового значения. Требуется внимания проблема аккумуляции нефтепродуктов в ДО. Местами накопление составляет в 6 раз выше фоновых показателей (табл.1). Вероятно, высокие концентрации нефтепродуктов в ДО на створе с. Азовы связаны с интенсивным судоходством на р. Малая Обь. На негативную экологическую ситуацию на створе с. Азовы указывает и низкий класс качества ДО и воды по биологическим показателям [7].

Повышенные по сравнению с региональными фоновыми значениями содержания большинства химических элементов в ДО нижнего течения р. Оби указывает на аккумуляцию вещества в данной части водных экосистем в сравнении с остальной (фоновой) частью ЯНАО и наличием источника поступления веществ с водным и твердым стоком с территорий, расположенных выше по течению р. Оби (Ханты-Мансийский автономный округ, Томская, Новосибирская области, Алтайский край и другие регионы). Хозяйственная деятельность на территории трансграничного Обь-Иртышского речного бассейна, площадь водосбора которого насчитывает почти 3 млн. км<sup>2</sup> с большой степенью влияет на эколого-геохимическую ситуацию в нижнем течении р. Оби и требует постоянного контроля и оценки.

*Исследования проведены в ходе выполнения научно-исследовательской работы по теме «Комплексные научные исследования реки Обь в рамках реализации в 2020, 2021, 2022, 2023 годах проекта «Экологическая безопасность Обь-Иртышского речного бассейна» № 3п/00069-22/5 от 25.03.2022 с Некоммерческим партнерством «Российский Центр освоения Арктики» при финансовой поддержке Правительства Ямало-Ненецкого автономного округа*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комплексное гидрохимическое и биологическое исследование качества вод и состояния водных и околоводных экосистем: методическое руководство. Часть 1. Полевые исследования/Под ред. Моисеенко Т.И. Тюмень: Издательство ТюмГУ, 2011. 128 с.
2. Датасеты с информацией о расходах воды р. Обь на гибропосту г. Салехард. Shiklomanov, A.I., R.M. Holmes, J.W. McClelland, S.E. Tank, and R.G.M. Spencer. 2021. Arctic Great Rivers Observatory. Discharge Dataset, Version 20220630. <https://www.arcticrivers.org/data> (дата обращения 01.11.2022)
3. Приказ Департамента природно-ресурсного регулирования, лесных отношений и развития нефтегазового комплекса Ямало-Ненецкого автономного округа от 27.03. 2017 г. N 348 «Об установлении нормативов качества окружающей среды «Фоновое содержание загрязняющих веществ в снежном покрове, в донных отложениях поверхностных водных объектов, в растительности на территории Ямало-Ненецкого автономного округа» (с изменениями на 8 сентября 2021 года).
4. Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Кукушкин С.Ю., Ганул А.Г. Фоновое содержание химических элементов в почвах и донных осадках Севера Западной Сибири. Почвоведение, 2019, №4. С. 422-439.
5. Темерев С.В. Эколого-химическая оценка состояния водных систем бассейна Оби // Диссер. доктора химических наук, Москва, 2008. 362 с.
6. Отчет по результатам выполнения научно-исследовательской работы по теме «Комплексные научные исследования реки Обь в рамках реализации в 2020 году проекта «Экологическая безопасность Обь-Иртышского речного бассейна» (заключительный)/Под рук. Соромотин А.В.. Тюмень-Салехард: ТюмГУ, 2022. 137 с.
7. Soromotin A., Moskovchenko D., Khoroshavin V., Prikhodko N., Puzanov A., Kirillov V., Kovesnikov M., Krylova E., Krasnenko A., Pechkin A. Major, Trace and Rare Earth Element Distribution in Water, Suspended Particulate Matter and Stream Sediments of the Ob River Mouth. Water 2022, 14, 2442. <https://doi.org/10.3390/w14152442>

## ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ У СФАГНОВЫХ МХОВ ЛЕСОБОЛОТНЫХ МЕСТООБИТАНИЙ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Штанг А.К., Пономарева Т.И.

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, a\_shtang@inbox.ru

В северных широтах фотосинтетическая активность у мохообразных характеризуется сезонностью с увеличением к концу вегетационного периода, а сезонные колебания содержания метаболитов носят видоспецифичный характер [1], поэтому есть основания полагать, что концентрация фотосинтетических пигментов (хлорофиллов и каротиноидов) у сфагновых мхов также изменяется в течение года и варьирует от вида к виду. Кроме того, сфагновые мхи различных местообитаний отличаются друг от друга по скорости роста и интенсивности фотосинтеза [2]. Вероятно, от характера местообитания зависят и особенности накопления пигментов в ходе вегетации.

Исследование проводили в Приморском районе Архангельской области в 2023 г. на Иласском болоте и в его окрестностях. Количественное содержание хлорофиллов и каротиноидов определяли в ацетоновой вытяжке с использованием спектрофотометра у четырех видов сфагновых мхов: *Sphagnum lindbergii* Schimp. (растет в мочажинах верховых болот), *Sphagnum fuscum* (Schimp.) Klinggr (формирует моховый покров на грядах верховых болот), *S. divinum* Flatberg & Hassel (был обнаружен в заболоченном сосняке), *S. squarrosum* Crome (произрастает на окраине травяного мезотрофного болота, покрытой древесной растительностью).

Сфагновые мхи являются растениями, произрастающими в довольно широком диапазоне условий, однако, являясь пойкилогидрическими растениями, эти бриофиты нуждаются в поддержании определенной влажности окружающей среды. Находясь постоянно в более или менее влажных условиях, сфагновые мхи верховых болот подвергаются воздействию высокоинтенсивного света в своих естественных местообитаниях, в то время как сфагны, растущие под пологом леса, притенены [3]. Тем не менее, в жаркие и сухие периоды вегетационного сезона любые пойкилогидрические растения могут сталкиваться с физиологическим стрессом из-за высоких температур и недостатка воды. Результаты, полученные в ходе исследования, показали незначительную изменчивость влажности мхов в течение лета, хотя снижение содержания воды в тканях *S. divinum* и *S. squarrosum* было сопряжено с пересыханием головок побегов (Таблица 1). *S. lindbergii* и *S. fuscum* в течение лета не пересыхали.

Таблица 1 – Содержание воды в тканях сфагновых мхов в период с мая по август 2023 г.

Вид	Содержание воды, %			
	май	июнь	июль	август
<i>S. lindbergii</i>	95	95,2	94,8	95,8
<i>S. fuscum</i>	90,7	91,2	91,3	89,5
<i>S. divinum</i>	92,6	91,6	84,5	92,6
<i>S. squarrosum</i>	94,8	95,6	92,3	88,0

Концентрация хлорофиллов и каротиноидов на протяжении летнего периода у *S. fuscum* была стабильной, но при этом наиболее низкой среди исследованных видов (Рис. 1). Для мхов секции *Acutifolia*, к которым относится и *S. fuscum*, характерны небольшие размеры, низкая продуктивность, и малая площадь, занимаемая на листе хлорофиллоносными клетками, что, по-видимому, и объясняет низкие значения

концентрации пигментов [4]. Стабильность пигментного комплекса может быть связана с тем, что скорость создания первичной продукции *S. fuscum* менее зависима от гидротермических условий, чем та же скорость у прочих олиготрофных видов сфагнома [5].

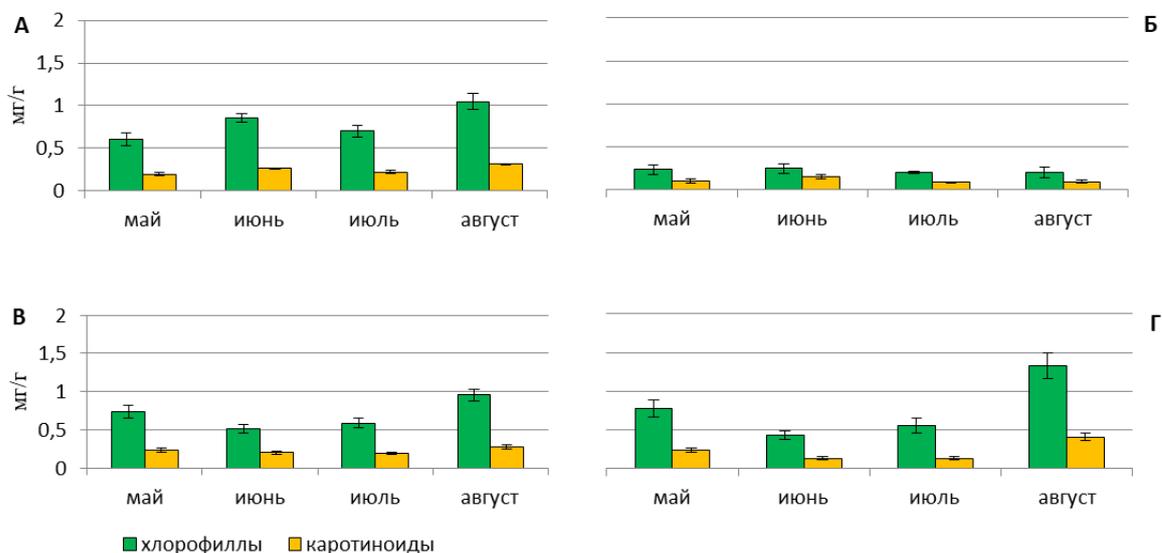


Рис. 1 – Содержание фотосинтетических пигментов в сфагновых мхах в период с мая по август 2023 г.: А - *S. lindbergii*, Б – *S. fuscum*, В – *S. divinum*, Г – *S. squarrosom*.

Содержание пигментов у *S. lindbergii* (Рис.1) также не подвергалось экстремальным колебаниям, хотя определенные изменения в содержании метаболитов в течение лета, по-видимому, являются обычными для мха, произрастающего в избыточно увлажненных местообитаниях [6].

*S. divinum* и *S. squarrosom*, растущие в сообществах с хорошо развитым древесным ярусом, несмотря на принадлежность к разным секциям, продемонстрировали схожий характер динамики содержания фотосинтетических пигментов (Рис. 1) с наименьшими концентрациями в середине лета (июнь-июль), вероятно, в связи с жаркой погодой и недостаточным количеством доступной влаги. Эти два вида, а также *S. lindbergii*, показали максимальные концентрации пигментов в августе, скорее всего, при формировании наиболее оптимальных условий для фотосинтеза.

Таким образом, виды, приуроченные к разным элементам микрорельефа верхового болота, имеют разный характер динамики пигментного комплекса в летнее время. Виды, растущие под пологом леса, несмотря на принадлежность к разным таксономическим группам показали сходство в изменениях, касающихся пигментного комплекса. Вероятно, динамика пигментного комплекса сфагновых мхов может иметь как видоспецифический характер, так и определяться особенностями экотопа. Для дополнительной проверки этого утверждения имеет смысл изучить другие виды сфагнов из тех же местообитаний.

*Исследования проведены при финансовой поддержке РНФ, проект № 23-24-10022 «Экофизиология мохообразных рода Sphagnum L.».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lappalainen N. M., Нуурыlainen A., Huttunen S. Seasonal and Interannual Variability of Light and UV Acclimation in Mosses // Bryophyte Ecology. Cambridge University Press. 2011. P 71-90.

2. Campbell C. 2019. Sphagnum limits. Physiology, morphology and climate. // Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology. Uppsala: Acta Universitatis Upsaliensis. 2019. 40 p.
3. Proctor M. C. F. Physiological ecology // Bryophyte biology. Cambridge: Cambridge University Press. 2000. P 225-247.
4. Игнатов М.С., Игнатова Е. А. Флора мхов средней части европейской России. Т. 1. Sphagnaceae-Hedwigiaceae // М.: КМК. 2003. 608 с.
5. Косых Н. П. Влияние температуры и осадков на линейный прирост *Sphagnum fuscum* и *S. magellanicum* на территории Западной Сибири // Экология. № 3. С. 161-170.
6. Шпак О. В. Эколого-физиологическая характеристика некоторых видов мхов в Хибинах: диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук // Место защиты: диссертационный совет при Ботаническом институте им. В. Л. Комарова РАН. СПб. 2008. 96 с.

**СОСТОЯНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ  
РЕСУРСОВ  
(ВОДНЫЕ, НАЗЕМНЫЕ, ЛЕСНЫЕ)  
В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ  
ИЗМЕНЕНИЙ И АНТРОПОГЕННОГО  
ПРЕССИНГА**

---

## НЕКОТОРЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ЯГОДНИКОВ В ОКРЕСТНОСТЯХ ПОСЕЛКА ТИКСИ

Адриан И.А.

Государственный природный заповедник «Усть-Ленский», п. Тикси,  
i\_yakshina@rambler.ru

Специальные исследования флоры окрестностей бухты Тикси (море Лаптевых) на сегодняшний день немногочисленны. В работе Б.А. Тихомирова, В.В. Петровского, Б.А. Юрцева [1] впервые приведен список сосудистых растений бухты Тикси, насчитывающий 281 вид и дана информация об их распространении. В статье Н.А. Секретаревой и А.К. Сытина [2] зафиксированы изменения состояния сосудистых растений этой территории за прошедший полувековой период. В работе указываются сведения о распространении 252 видов. С 2015 г. ведутся мониторинговые наблюдения видового состава сосудистых растений поселка Тикси [3]. Сведения о распространении видов можно почерпнуть также из [4], [5] и [6]. Обследования ягодников и определение их урожайности, насколько нам известно, не проводилось.

В п. Тикси и его окрестностях произрастает 9 видов растений, имеющих съедобные плоды – ягоды или многокостянки: *Ribes triste*, *Ribes nigrum* var. *kolymense*, *Rubus chamaemorus*, *Rubus arcticus*, *Empetrum subholarcticum*, *Arctous alpina*, *Vaccinium uliginosum* subsp. *microphyllum*, *V. vitis-idaea* subsp. *minus*. В 2023 г. М.Ю. Гладышева обнаружила куст *Rubus sachalinensis* Levl. Сообщение об этой находке включено в настоящий сборник.

В августе–сентябре 2022 г. проведены пробные (по одной площадке для 4 видов) исследования по оценке продуктивности ягодных кустарничков в тундровых сообществах окрестностей поселка Тикси. Учетные площадки закладывались в местах более или менее массового произрастания данных видов. Здесь выбирались фоновые поверхности с относительно равномерным распределением растений исследуемой популяции, на которых отграничивалась площадка 1x1 м. На этой площадке полностью выбирались все ягоды (или многокостянки), их количество подсчитывалось. Собранный образец взвешивался на бытовых весах с точностью до 1 г.

*Ribes triste* Pall. – Смородина печальная. Для пос. Тикси является заносным. Отдельные кустики растут в нескольких местах у обочин улиц и в защищенных местах у стен домов и коробов (рис. 1). Количество находок с каждым годом возрастает. Есть цветущие экземпляры, но ягоды (в количестве нескольких штук) вызревают только в годы с теплым летом. В 2022 и 2023 гг. ягод не найдено.

*Ribes nigrum* var. *kolymense*. – Смородина колымская. Упомянутая в [3] куртинка уничтожена при строительстве склада и гаражей, однако обнаружены еще несколько кустиков по обочинам окраинных дорог.

*Rubus chamaemorus* L. – Морошка. Растет в кочкарных кустарничково-моховых тундрах, в низинных осоково-моховых болотистых тундрах; обычно по «подушкам» гипновых или сфагновых мхов. Исследователи прежних лет [1, 2] пишут о редкости или сравнительной редкости вида в окрестностях Тикси. Однако за последние 12–15 лет ситуация резко изменилась. Жители п. Тикси, ранее собиравшие морошку в виде отдельных ягод, теперь имеют возможность заготавливать ее на зиму в большом количестве. Однако в ближайших окрестностях поселка морошка все-таки не образует обильных ягодников. Основные места сбора находятся на перешейке Колычева, соединяющем п-ов Быковский с материком, и в заболоченной тундре в 10–13 км от поселка на север и на юг. Хорошие ягодники есть на островах к востоку от Тикси: о. Бруснева в 7 км от поселка и о. Муостах – в 40 км, где во время нашей работы в августе 2012 г. был обильный урожай морошки (рис. 2). По субъективным оценкам, 2022 и 2023 годы в окрестностях Тикси были чуть менее урожайными, чем 2021-й.

Пробная площадка заложена на перешейке Колычева 26 августа 2022 г. Данная территория представляет собой тундроболото, разбитое на неправильные полигоны различной степени обводненности, чаще средней влажности. Морошка распределена пятнами. По трещинам полигонов *Eriophorum scheuchzeri*. Полигоны мелкобугорковатые. ОПП 90-95, Мхи, Лишайники, *Rubus chamaemorus*, *Vaccinium vitis-idaea*, мелкие злаки. На площадке 1x1 м собрано 92 штуки плодов морошки общей массой 62 г.



Рис. 1 – *Ribes triste* Pall. – Смородина печальная у заброшенного дома в п. Тикси. 03 августа 2012 г. Автор фото Е.М. Палева



Рис. 2 – *Rubus chamaemorus* L. – Морошка на о. Муостах. 15 августа 2012 г.

*Rubus arcticus* L. – Княженика. Тихомиров и др. [1] указывают на наличие данного вида в долинах рек — в сочетании с ивками и злаками, редко. В [5] этот вид не приводится. Мы также не встречали княженику в природных локациях. На окраинах поселка найдены две куртинки: в районе свалки и на заброшенной улице Новой (рис. 3). Плодоношение не наблюдалось.

*Arctous alpina* (L.) Niedenzu. – Арктоус альпийский. Вид обычен в щебнистых тундрах, реже в кассиопово-дриадовых. Хорошо заметен осенью, после покраснения листьев. Ягодников, пригодных для массового сбора, не образует. В благоприятные годы при удаче можно найти площадки 1x1 м, с которых удалось бы собрать 30–50 ягод (рис. 4). В 2022 г. на такой же площадке можно было найти 5–10 ягод, в 2023 г. еще меньше.



Рис. 3 – *Rubus arcticus* L. – Княженика на ул. Новая в п. Тикси. 22 июля 2013 г.



Рис. 4 – *Arctous alpina* (L.) Niedenzu. – Арктоус альпийский в окрестностях п. Тикси. 9 сентября 2012 г.

*Empetrum subholarcticum* V. Vassil. – Водяника почти-голарктическая. Нередко, обычно в примеси, в группировках с участием других гипоарктических кустарничков (обычно кассиоповые и кустарничково-моховые тундры нижних частей склонов). Однако тундры с доминированием *Empetrum* встречаются редко [1]. Нами такая популяция найдена в сырой части перегиба склона на торфянисто-глеевой почве на границе с вышележащими щебнистыми почвами (рис. 5). Площадка 1x1 м заложена 04 сентября на наиболее продуктивной части популяции. ОПП 98, Мхи, Лишайники, *Empetrum*, *Vaccinium vitis-idaea* subsp. *minus*, *Ledum decumbens*. На площадке 1x1 м собрано 1023 штуки плодов водяники общей массой 146 г.

*Vaccinium uliginosum* L. subsp. *microphyllum* Lange – Голубика. Обычно; чаще растет с другими гипоарктическими кустарничками. Кассиоповые тундры (в нижних частях склонов), пятнистые кустарничково-моховые тундры, кустарничково-лишайниковые тундры щебнистых северных склонов невысоких пригорков вблизи снежников; в местах контакта долинных выходов сланцев с осоково-пушицевой

тундрой [5]. В этом же источнике указывается, что вид «плодоносит в редкие годы» [5]. Однако в последние 12-15 лет голубика плодоносит ежегодно, что позволяет местным жителям делать хотя бы небольшие запасы даже в не особенно благоприятные годы, как, например, 2022 и 2023 гг.

Образцы отобраны 29 августа на сухом полигоне в окружении кочковатой ивково-пушицевой сырой тундры. ОПП 80, Мхи, Лишайники, *Vaccinium uliginosum* subsp. *microphyllum*, *Salix polaris*, *V. vitis-idaea* subsp. *minus*, *Cassiope tetragona*, *Dryas punctata*, бобовые. Почва щебнистая. На площадке 1x1 м собрано 413 штук ягод общей массой 82 г (рис. 6).



Рис. 5 – *Empetrum subholarcticum* V. Vassil. – Водяника почти-голарктическая на учетной площадке. 04 сентября 2022 г.



Рис. 6 – *Vaccinium uliginosum* L. subsp. *microphyllum* Lange – Голубика в окрестностях п. Тикси 02 сентября 2011 г. Автор фото Е.М. Палеева

*V. vitis-idaea* L. subsp. *minus* (Lodd.) Hult. – Брусника. Встречается часто, осваивая как торфянистые сырые, так и дренированные щебнистые экотопы [1]. Несмотря на очень широкое распространение, вид практически нигде не образует сплошных высокопродуктивных ягодников. На сырых экотопах ягоды в основном средние по размерам, на сухих щебнистых – более мелкие. Однако необходимо отметить, что, так же как морошка и голубика, сбор ягод стал возможен только в последние 12–15 лет. Образцы отобраны 04 сентября 2022 г. рядом с учетной площадкой водяники (рис. 7), площадки расположены в 1 м друг от друга. Выпуклое щебнистое пятно в нижней части пологого горного склона. ОПП 90, Мохово-лишайниково-кустарничковая тундра. Почва примитивная щебнистая. На площадке 1х1 м собрано 785 штук ягод общей массой 64 г.



Рис. 7 – *V. vitis-idaea* L. subsp. *minus* (Lodd.) Hult. – Брусника на учетной площадке. 04 сентября 2022 г.

Мы попытались дать общее представление о состоянии ягодников в окрестностях поселка Тикси и – шире – в окрестностях бухты Тикси. Отмечено, что за последние 12–15 лет произошли очень заметные изменения во флоре и растительности исследуемого района. Появилось много новых видов, а виды, ранее практически не плодоносившие, приносят урожай, достаточный для сбора местными жителями.

Автор благодарит сотрудников заповедника Е.М. Палееву и И.Н. Леонтьева, а также И.В. Палеева за помощь и содействие в сборе образцов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихомиров Б.А., Петровский В.В., Юрцев Б.А. Флора окрестностей бухты Тикси (Арктическая Якутия) // Растительность Крайнего Севера СССР и ее освоение. Вып. 6. М.–Л.: Наука, 1966. С. 7–39.
2. Секретарева Н.А., Сытин А.К. Мониторинг флоры окрестностей бухты Тикси (Арктическая Якутия) // Бот. журн., 2006. Т.91, №1. С. 3–22.
3. Николин Е.Г., Якшина И.А. Инвазия чужеродных видов растений в арктические экосистемы пос. Тикси (Якутия) // Изучение адвентивной и синантропной флор России и стран ближнего зарубежья: итоги, проблемы, перспективы: материалы V международной научной конференции (Ижевск, 6–8 сентября 2017 г.) / Под ред. О.Г. Барановой и А.Н. Пузырева. М.; Ижевск: АНО «Ижевский институт компьютерных исследований», 2017. 146 с.
4. Арктическая флора СССР / Под ред. А.И. Толмачева, Б.А. Юрцева. Вып. 1–10. М.–Л.: Наука, 1960–1987.
5. Определитель высших растений Якутии / Отв. ред. Е.Г. Николин. — 2-е изд., перераб. и доп. — Новосибирск: Наука, 2020. — 896 с.
6. Флора Сибири. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1987–2003. Т. 1-14.

## РЕДКИЕ И ОХРАНЯЕМЫЕ ВИДЫ РАСТЕНИЙ И ЛИШАЙНИКОВ НА ПОСТАГРОГЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ПЛЕСЕЦКОГО СЕКТОРА КЕНОЗЕРСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА

Амосова И.Б.<sup>1</sup>, Пыстина Т.Н.<sup>2</sup>, Паринова Т.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск, i.amosova@narfu.ru

<sup>2</sup>Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

Территория Кенозерского национального парка одна из немногих на Европейском Севере сохранившая традиционные культурные ландшафты – луговые экосистемы и комплексы деревянного зодчества. Однако часть традиционных агроландшафтов безвозвратно утеряна, бывшие пашни, луга и пастбища заняли лесные экосистемы. История сокращения площади агроландшафтов имеет три основных периода. Первый приходится на Великую Отечественную войну и послевоенные годы, в связи с потерей мужского населения. Второй – 60-е годы 20 века, связан с укрупнением колхозов и принудительным переселением. Третий – 90-е годы 20 века, в связи с общим упадком экономики в стране и как следствие переселением людей в города. В настоящее время процесс постепенной утраты культурных агроландшафтов продолжается, что влечет за собой изменения в видовом разнообразии.

Одной из целей исследований мы ставили выявление редких и находящихся под угрозой исчезновения видов растений и лишайников на постагrogenных территориях Кенозерского национального парка.

Полевые изыскания проводили в июле месяце 2022-23 гг. на территории Плесецкого сектора парка в окрестностях д. Горбачиха и Порженского погоста. Согласно лесохозяйственному делению обследованные участки относятся к Кенозерскому участковому лесничеству Плесецкого сектора Кенозерского национального парка и расположены в 227 и 288 квартале соответственно. Исследования проводили в пределах постагrogenных территорий – залежах, в настоящее время занятых молодым лесом или луговыми фитоценозами. Луговая стадия сообществ поддерживается агротехническими мероприятиями (сведением деревьев и кустарников, сенокошением) усилиями сотрудников и волонтеров парка. Территория исследования согласно плану межевания 1861 года использовалась в качестве пашни (Архив Кенозерского национального парка, Ф. 1, оп. 8, д. 402), с середины 20-го века происходило постепенное забрасывание территории, значительная часть заброшена в 70-е годы 20 века. Часть территории в настоящее время занятая луговыми экосистемами, до начала двухтысячных годов использовалась как сенокос.

Всего выявили 15 редких и охраняемых видов растений и лишайников. Из них шесть видов подлежат охране на федеральном и региональном уровне, три вида включены в список бионадзора. Шесть видов являются редкими для флоры области (табл. 1). Для каждого выявленного вида представлена характеристика экотопической приуроченности и состояния обнаруженной ценопопуляции.

Гербарные образцы зафиксированных редких видов сосудистых растений хранятся в научном гербарии САФУ, лишайники – в гербарии Института биологии КНЦ УрО РАН (SYKO). Фотографии охраняемых растений лихенизированные грибы с федеральным статусом находятся в коллекции авторов.

Все обнаруженные виды разбили на три категории, в зависимости от обнаруженного места произрастания: виды лесных фитоценозов на месте заброшенных пашен и лугов; виды на сохраняемых луговых фитоценозах; виды, произрастающие в пределах деревянных построек Порженского погоста.

Таблица 1 – Редкие и охраняемые виды растений и лишайников

№	Виды	Места произрастания	Категория статуса редкости
<b>Лихенизированные грибы</b>			
1	<i>Lobaria pulmonaria</i> – Лобария легочная	Ствол тополя, в пределах деревни Ведягино	КК РФ 2, КК АО 3
2	<i>Chaenotheca phaeocephala</i> – Хенотека темноголовая	Стенки старого деревянного сарая (склада)	КК АО 4
3	<i>Sphinctrina anglica</i> – Сфинктрина сдавленная	Стенки старого деревянного сарая (склада)	новый вид для области
4	<i>Pseudevernia furfuracea</i> – Псевдеверния зернистая	Крупные стволы сосен, в пределах сосняков на месте заброшенных пашен и лугов	КК АО 3
5	<i>Rostania occultata</i> – Ростания скрытая	Березняк высокотравный, пойменный, на месте пашни	КК АО Б
<b>Сосудистые растения</b>			
6	<i>Botrychium boreale</i> – Гроздовник северный	Пойменный луговой фитоценоз с доминирование горца змеиноного	КК АО 2
7	<i>Dryopteris cristata</i> – Щитовник гребенчатый	Березняк разнотравный, пойменный, на месте пашни	КК АО Б
8	<i>Neottianidus-avis</i> – Гнездовка обыкновенная	Высокотравный перелесок снытево-аконитово-таволговый (между заброшенными пашнями)	КК АО 3
9	<i>Viola selkirkii</i> – Фиалка Селькирка	Осиново-березовой лес, кисличного типа, на месте пашни	КК АО 3
10	<i>Viola riviniana</i> – Фиалка Ривинуса	Осиново-березовой лес, кисличного типа, на месте пашни	КК АО Б
<b>Виды, редкие для флоры области</b>			
11	<i>Botrychium lunaria</i> – Гроздовник полулунный	Пойменный луговой фитоценоз с доминирование горца змеиноного	довольно редко по всей области
12	<i>Botrychium multifidum</i> – Гроздовник многораздельный	Ивняк мелкотравный, образовавшийся по краю заброшенной пашни. Сосняк мелкотравный, на месте заброшенного луга	
13	<i>Corallorhiza trifida</i> – Ладьян трехраздельный	Березняк высокотравный, пойменный, на месте пашни	очень редко
14	<i>Malaxis monophyllos</i> – Мякотница однолистная	Ольховник мелкотравный, ивняк мелкотравный	довольно редко
15	<i>Jovibarba globifera</i> – Бородник (молодило) шароносное	Естественные осыпи на склоне мелкотравного участка лугового фитоценоза	новый вид для области
<p>КК РФ – Красная книга Российской Федерации (Перечень редких и находящихся под угрозой исчезновения видов от 23.05.23)</p> <p>КК АО – Красная книга Архангельской области (Перечень редких и находящихся под угрозой исчезновения видов от 18.06.21);</p> <p>2 – вид с сокращающейся численностью;</p> <p>3 – редкий вид;</p> <p>4 – неопределенный по современному состоянию и категории вид;</p> <p>Б – вид, внесенный в Перечень таксонов и популяций Архангельской области, нуждающихся в особом внимании к их состоянию в природной среде и рекомендуемых для бионадзора</p>			

**Виды, лесных фитоценозов на месте заброшенных пашен и сенокосов.**  
Редкие и охраняемые виды обнаружены в пределах лесных фитоценозов на месте

заброшенных пашен, часть из которых затем использовалась для сенокосения. Возраст лесных фитоценозов от 50 до 100 лет. Нами зафиксированы места произрастания 9 редких видов.

*Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf. Встречается единично в сосновых древостоях, возникших на месте заброшенных пашен и лугов, на крупных старых деревьях сосны.

*Rostania occultata* (Bagl.) Otáloraetal. Влаголюбивый цианобионтный лишайник, найден на коре в нижней части ствола ивы в пойменном березняке высокотравном на берегу оз. Порженское (рядом с избой инспектора).

*Dryopteris cristata* (L.) A. Gray. Обнаружено две розетки в пределах березняка разнотравного, по краю оз. Порженского. Розетки расположены довольно близко друг к другу, в каждой по две вегетативных вайи.

*Neottia nidus-avis* (L.) Rich. Популяция обнаружена в высокотравном перелеске снытево-аконитово-таволговом. Рядом располагались смешанные мелколиственные леса кисличного типа. Данная территория относится к заброшенным пашням. Период забрасывания более 50 лет. Отмечено пять генеративных растений, высотой до 35-40 см. Все растения находились в фазе полного цветения.

*Viola selkirkii* Purshex Goldie. и *V. riviniana* Rchb. отмечены в пределах осиново-березового леса, кисличного типа. В напочвенном покрове в разных участках леса доминировали такие виды, как голокучник обыкновенный, кислица, грушанка круглолистная, борец высокий. Ценопопуляция *V. selkirkii* малочисленная, не более 20 растений, высотой до 10 см. Все генеративные особи с плодами на 1-2-х генеративных побегах. Розетки *V. riviniana* значительно варьировали по высоте. В более затененных участках отмечены особи до 20 см высотой, на открытых – до 30 см. Популяция представлена вегетативными и генеративными растениями.

*Botrychium multifidum* (S.G. Gmel.) Rupr. На территории исследования обнаружено несколько популяций вида, в пределах лесных фитоценозов разного возраста. В окрестностях д. Горбачиха в ивняке мелкотравном, образовавшемся по краю заброшенной пашни, более 100 лет назад, отмечена ценопопуляция из семи спороносных и вегетативных растений. Спороносная часть вайи съедена. Листья до 15 см высотой, у некоторых растений черешки значительно покрыты волосками. В окрестностях Порженского погоста три вегетативные особи отмечены в пределах сосновой редины, на месте бывшей пашни.

*Malaxis monophyllos* (L.) Sw. Вид, не имеет строгой приуроченности к определенным местообитаниям. В период маршрутных исследований встретился в лесах разного возраста, в зарослях кустарника примыкающего к ключевому болоту, по обочине дороги. Во всех случаях отмечены единичные растения. В окрестностях д. Горбачиха на залежах, занятых лесными фитоценозами, вид зафиксирован дважды. Три цветущих растения обнаружено в пределах молодого ольхового мелкотравного леса (около 50 лет). Во второй раз ценопопуляция обнаружена в ивняке мелкотравном (более 100 лет) – три растения – два вегетативных, одно генеративное.

*Corallorhiza trifida* Chatel. Вид, предпочитающий полутеневые, хорошо увлажненные участки, зафиксирован в оптимальных для него условиях – березняк высокотравный, пойменный, на берегу оз. Порженское. В зарослях лобазника вязолистного обнаружено 10 генеративных особей ладьяна, с плодами.

**Виды, на сохраняемых луговых фитоценозах.** На луговых фитоценозах в окрестностях Порженского погоста нами отмечены единичные вегетативные и генеративные особи трех видов гроздовников. Генеративные растения *Botrychium boreale* Milde совместно с *Botrychium lunaria* (L.) Sw. обнаружены в пойменном луговом фитоценозе, с доминированием горца

змеиногo. *Botrychium multifidum* встречается спорадически единичными особями в пределах суходольных луговых фитоценозов.

*Jovibarba globifera* (L.) J. Parnell. Отмечены две небольшие группы вегетативных розеток, на участке мелкотравного суходольного лугового фитоценоза, рядом с единично стоящими соснами. Крупные розетки имеют многочисленные мелкие пазушные розетки. Цветущие особи отсутствуют. Вид впервые отмечен на территории парка и в пределах Архангельской области. Ареал распространения приурочен к более южным регионам, где немногочисленные спорадические популяции отмечаются в южной подзоне тайги и на границе со средней подзоной. Подлежит охране на территории Вологодской и Ленинградской областей.

**Виды, произрастающие в пределах деревянных построек Порженского погоста.** Особую ценность, как места с богатым и специфичным видовым составом лишайников и таксономически близких к ним грибов, представляют собой старые деревянные постройки. Были обнаружены два редких для области вида. Калициоидный лишайник *Chaenotheca phaeocephala* (Turner) Th.Fr. был найден на стенках старого сарая, на лугу. Здесь же сделана еще одна интересная находка – впервые для Архангельской области отмечен редкий вид *Sphinctrina anglica* Nyl. Он был обнаружен на талломе накипного лишайника *Protoparelia* sp., растущего на деревянной стене сарая. Нелихенизированный гриб *S. anglica* – паразит или парасимбионт на лишайниках, обитающий обычно на коре и древесине хвойных и лиственных деревьев, часто на обработанной древесине. Встречается в Европе, Азии (Индия), Северной Америке. В России известен из Вологодской области и Республики Коми. В Республике Коми был известен из одного местообитания на окраине г. Сыктывкар, в настоящее время популяция вида утрачена (Красная Книга Республики Коми, 2019). Редкий вид, исчезающий в мире.

*Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. Согласно литературным источникам вид встречается на всей территории парка. Талломы лобарии обнаружены на тополе в деревне Ведягино, куда, скорее всего, были занесены с ближайшей стены леса. Вокруг заброшенной деревни преимущественно леса смешанного типа. Высота расположения талломов на форофите 0,5-1 м. Талломы многочисленные, вегетативные, размером от 1-2 см до 10-12 см. Жизненное состояние всех талломов хорошее. Можно предположить, что заселение форофита произошло относительно недавно.

Изучение разнообразия лишайников в пределах священной рощи Порженского погоста показало богатство их видового состава. Несмотря на то, что лишайников, охраняемых в Архангельской области, не найдено, однако установлены местообитания видов, отсутствующих или единично встречающихся в других растительных сообществах окрестностей погоста: *Evernia prunastri* (L.) Ach., *Melanelixia subaurifera* (Nyl.) O. Blanco et al., *Melanohalea exasperatula* (Nyl.) O. Blanco et al., *Physcia tenella* (Scop.) DC., *Physconia detersa* (Nyl.) Poelt, *Ramalina farinacea* (L.) Ach. Указанные виды в роще обильны, заселяют различные форофиты (лиственница, ель, рябина, осина). Обычно они приурочены к открытым экотопам: встречаются на отдельно стоящих деревьях на лугах, в населенных пунктах, по лесным опушкам и берегам рек, характерны для более южных регионов.

**Заключение.** В таежной зоне редкие и охраняемые виды растений и лишайников приурочены в основном к старовозрастным малонарушенным лесам, на постагrogenных территориях не встречаются или крайне редки. Охраняемые виды обнаружены нами преимущественно в лесных фитоценозах, образованных на залежах. Этому способствует широкая экологическая валентность большинства этих видов, а так же отсутствие или крайне низкая рекреационная нагрузка. Особый интерес

представляют дальнейшие исследования редких и охраняемых видов лишайников на старых деревянных постройках и в священных рощах на территории парка. Проведенные исследования в окрестностях Порженского погоста показали наличие в пределах таких объектов очень редких и ценных видов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Межевые планы съёмки 1861 г. Кенозерской дачи Вершининской волости Каргопольского уезда Олонецкой губернии / Архив Кенозерского национального парка, Ф.1, оп. 8, д. 401, 402.
2. Красная книга Архангельской области / О.В. Аксенова [и др.]; Правительство Арханг. обл. [и др.]; редкол.: В.В. Ануфриев [и др.]. Архангельск: Сев. (Арктич.) федер. ун-т, 2020. 478 с.
3. Красная книга Республики Коми. / под общ. ред. С. В. Дёгтевой. Сыктывкар: ООО «Коми республиканская типография». 2019. 768 с.
4. Плантариум. Открытый атлас растений и лишайников России и сопредельных стран. URL: <http://www.plantarium.ru/>
5. Постановление правительства Архангельской области от 24.10.2019 №587-пп «О внесении изменений в Перечень редких и находящихся под угрозой исчезновения животных, растений и других организмов, включаемых в Красную книгу Архангельской области» (с изменениями от 18.06.21 №313-пп).
6. Приказ министерства природных ресурсов и экологии РФ от 23.05.23 №320 «Об утверждении Перечня объектов растительного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации»
7. Шмидт В.М. Флора Архангельской области. СПб.: Изд-во С.-Петербургского университета, 2005. 346с.

#### ЗООПЛАНКТОН РЕКИ БЕЕНЧИМЕ

Андреева Л.В., Бурмистров Е.В.

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск, [au\\_196@mail.ru](mailto:au_196@mail.ru)

За последние десятилетия в результате многочисленных морфологических и генетических исследований, происходит постоянное изменение систематики зоопланктона, появляются новые виды, а также уходят старые. В связи с этим фаунистические работы по зоопланктону крайне важны, а особенно важны по ранее не изученным регионам и водоемам Арктики.

К таким водоемам можно отнести реку Беенчима, левый приток реки Оленёк, расположенный в Оленекском районе Республики Саха (Якутия) (рис. 1). Длина реки — 311 км, площадь бассейна — 4080 км<sup>2</sup>. Питание снеговое и дождевое. Половодье в июне, летом отдельные паводки. По результатам наших исследований, проведенных в 2022 и 2023 гг., в реке Беенчима обитают 14 видов рыб: сибирский голец-усач *Barbatula toni*, обыкновенный голянь *Phoxinus phoxinus*, сибирская щиповка *Cobitis melanoleuca*, обыкновенная щука *Esox lucius*, обыкновенный сиг *Coregonus lavaretus*, тугун *Coregonus tugun*, сибирский хариус *Thymallus arcticus*, ленок *Brachymystax lenok*, обыкновенный таймень *Hucho taimen*, налим *Lota lota*, пестроногий бычок *Cottus poecilopus*, сибирский подкаменщик *Cottus sibiricus*, обыкновенный ерш *Gymnocephalus cernuus*, речной окунь *Perca fluviatilis*. Зоопланктон служит для этих видов кормом на разных этапах развития.

Согласно литературным данным, зоопланктон реки Беенчима не исследован. Зоопланктон реки Оленёк изучен слабо, первые сведения о наличии 14 видов

свободноживущих ракообразных в нижнем течении поучены Русской полярной экспедицией (1901-1903 гг.) [1]. Позднее получены данные об обитании в реке Оленёк 62 форм и разновидностей водных беспозвоночных [2].

Цель работы – исследование таксономического состава, численности и биомассы зоопланктона реки Беенчиме.

Материал и методика. В 2022 и 2023 гг. из 10 точек были отобраны 20 количественных и качественных проб в вегетационный период. В августе 2022 г. отобраны 12 проб из 6 точек, в июле 2023 г. – 8 проб из 4 точек (рис. 1). Пробы отобраны и обработаны по общепринятым гидробиологическим методикам [3].

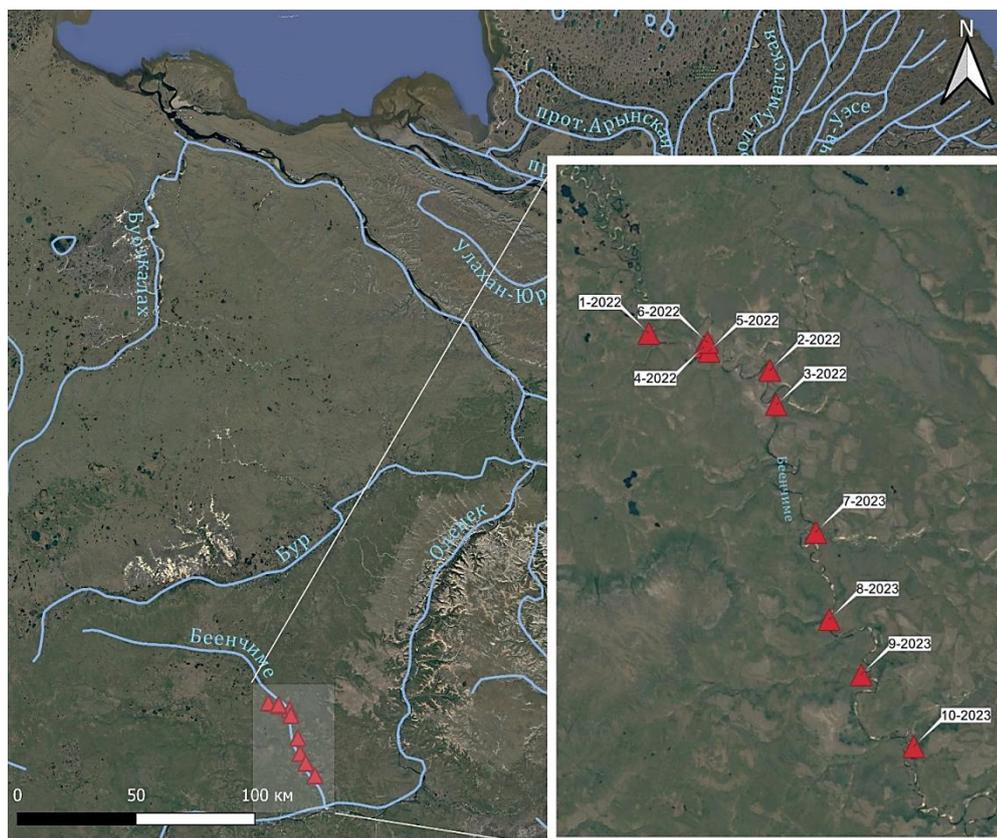


Рис. 1 - Участок проведения исследований и точки забора проб на р. Беенчиме в 2022 и 2023 гг.

В августе 2022 г. в видовом составе зоопланктона реки Беенчиме обнаружено 14 видов, принадлежащих к 2 классам, 3 отрядам, 9 семействам, 3 подсемействам и 12 родам. Основу видового разнообразия составляли ветвистоусые ракообразные (85,3%), субдоминантами являются веслоногие ракообразные (12,1%) и коловратки (2,4%). Наиболее широко по числу видов представлено семейство Chydoridae (87,5% видового богатства из всего зоопланктона). Семейства Sididae, Eurycercidae, Polyphemidae, Temoridae, Notommatidae, Bosminidae представлены единственными видами. Среди ветвистоусых ракообразных был отмечен *Pleuroxus yakutensis*, относящийся к группе восточносибирских-дальневосточных эндемиков [Коровчинский и др., 2021].

По данным исследований в июле 2023 года обнаружено 6 видов, принадлежащих к 2 классам, 3 отрядам, 8 семействам и 9 родам. Основу составляли ветвистоусые ракообразные (59,09%), субдоминантами являлись веслоногие ракообразные (22,72%) и коловратки (18,18%). По видовому составу доминировало семейство Chydoridae (37,5% видового богатства всего зоопланктона). Семейства Bosminidae, Daphniidae, Cyclopidae, Eucyclopiinae, Synchaetidae, Brachionidae, Notommatidae представлены единственными видами. В некоторых пробах у

зоопланктеров отсутствовали характерные морфологические признаки, определяющие принадлежность особей к определенному виду, из-за чего они определены до родов.

Максимальные показатели видового разнообразия зафиксированы в точке № 5 за счет разнообразия ветвистоусых ракообразных, минимальные – в №1. Почти во всех точках встречались *Sida crystallina*, *Chydorus cf. sphaericus*, *Acroperus harpae*, *Bosmina cf. longirostris*, *Chydorus cf. shpearicus* и Соперода науплиальной и копеподидной стадии развития (рис. 2). Большинство определенных видов имеют область распространения Северную Евразию или шире [4] и один вид эндемиком восточной Сибири.

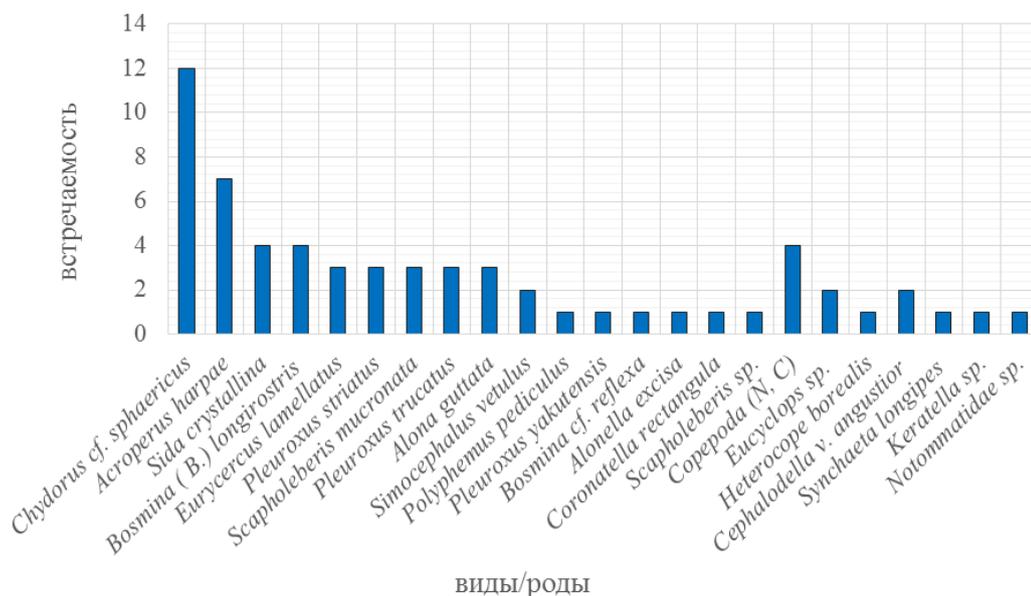


Рис. 2 - Встречаемость видов/родов в пробах (2022-2023 гг.)

Количественные показатели численности и биомассы колебались в широких пределах от 130 до 2830 экз./м<sup>3</sup> и от 44,6 до 3461 мг/м<sup>3</sup>, за счет видов *Sida crystallina*, *Eurycercus lamellatus*, *Chydorus cf. shpearicus*, *Eucyclops sp.* Наибольший показатель численности и биомассы зоопланктона определен в точке № 4, за счет преобладания веслоногих ракообразных, минимальное - в точке № 1 (рис 3). Колебание численности и биомассы в широких пределах, думаю связано с природно-погодными условиями.

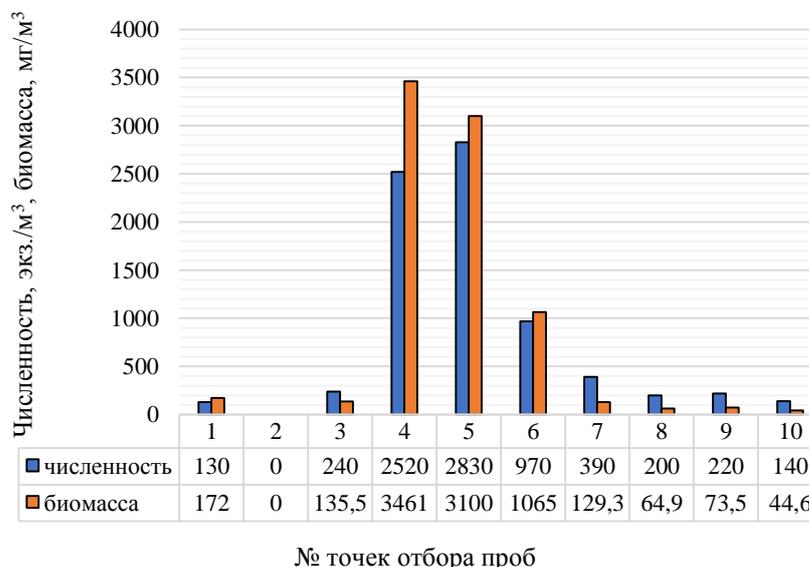


Рис.3 - Количественные показатели численности и биомассы в отобранных точках

Таким образом, нами получены первые сведения о составе зоопланктона реки Беенчима. Всего определено 18 видов зоопланктеров, 4 вида определены до рода и Copepoda науплиальной и копеподидной стадии развития. Среднее значение численности и биомассы в августе 2022 г. составляет 1115 экз./м<sup>3</sup> и 1322 мг/м<sup>3</sup>, в июле 2023 г. – 237 экз./м<sup>3</sup> и 78 мг/м<sup>3</sup> соответственно. Обилие видов, а также высокая численность в августе 2022 г. связаны с отбором проб в период межени, благоприятный для развития зоопланктеров. Так как река Беенчима является труднодоступной, антропогенное влияние на неё сведено к минимуму. Дальнейшие исследования позволят отслеживать изменения в Арктических водных экосистемах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рылов В. М. Материалы к фауне пресноводных свободноживущих веслоногих ракообразных Северной Сибири // Труды Комиссии по изуч. Якутской АССР, XI, Ленинград, 1928.
2. Комаренко Л. Е. Гидробиологическая изученность пресных водоемов Якутии // Основные итоги биологических исследований в Якутской АССР. – Якутск. Академия наук СССР ЯФСОИБ, 1969. - С. 65 – 70.
3. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. – Л., 1982. – 35 с.
4. Коровчинский Н. М., Котов А. А., Бойкова О. С. и др. Ветвистоусые ракообразные (Crustacea:Cladocera) Северной Евразии. Т. I. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2021. – С. 418.

#### ФАУНА И ЭКОЛОГИЯ ШМЕЛЕЙ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

*Беляков И.О., Потапов Г.С.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, belyakovio97@gmail.com, grigorij-potapov@yandex.ru

Шмели – перспективный объект для изучения на Европейском Севере России, в связи с этим изучение региональных фаун важно в контексте будущих изменений ареалов видов под влиянием глобальных климатических трендов. В нашей работе была изучена и проанализирована фауна и особенности экологии шмелей на территории Мурманской области.

За долгие годы были получены обширные данные о фауне в различных регионах Европейского Севера. Однако материалов по Кольскому полуострову и прилегающим территориям по-прежнему недостаточно. Вся доступная информация до 2015 года была представлена в сводке данных о Hymenoptera в Мурманской области [1]. Однако после этого, практически не появлялось новых сведений. Несмотря на это, стоит упомянуть про первую находку *Bombus wurflenii* Radoszkowski, 1860, которая была сделана в 2016 году на юге региона, в окрестностях города Кандалакша [2, 3]. Анализ группировок шмелей в Мурманской области был проведен на основе исследований рудеральных типов сообществ в регионе [4].

Проведённые исследования основаны на изучении материалов, собранных за полевые сезоны 2020–2022 гг. в различных географических пунктах Мурманской области. Материал хранится в коллекциях Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН

(Российский музей центров биологического разнообразия) и Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова.

Установлено, что в региональной фауне насчитывается 22 вида шмелей: *B. (Subterraneobombus) distinguendus* Mor., *B. (Megabombus) hortorum* (L.), *B. (Mg.) consobrinus* Dahlb., *B. (Thoracobombus) veteranus* (F.), *B. (Th.) pascuorum* (Scop.), *B. (Psithyrus) bohemicus* Seidl, *B. (Ps.) flavidus* Eversm., *B. (Ps.) norvegicus* (Sp.-Schn.), *B. (Ps.) sylvestris* (Lep.), *B. (Pyrobombus) lapponicus* (F.), *B. (Pr.) monticola* Smith, *B. (Pr.) hypnorum* (L.), *B. (Pr.) pratorum* (L.), *B. (Pr.) jonellus* (Kirby), *B. (Pr.) cingulatus* Wahl., *B. (Alpinobombus) pyrrhopygus* Friese, *B. (Al.) alpinus* (L.), *B. (Al.) balteatus* Dahlb., *B. (Al.) hyperboreus* Schönherr, *B. (Bombus) sporadicus* Nyl., *B. (Bo.) lucorum* (L.), *B. (Bo.) cryptarum* F., *B. (Alpigenobombus) wurflenii* Rad. Номенклатура приведена по Williams [5]. С помощью методов молекулярно-генетического анализа, из видов *B. lucorum*-complex было подтверждено наличие в региональной фауне *B. cryptarum* и *B. lucorum*. Причем *B. lucorum* отмечен только на юге Мурманской области. На севере региона зарегистрирован только *B. cryptarum*.

В целом, состав региональной фауны шмелей схож с фаунами севера Финляндии и Норвегии. Наиболее распространены виды с широкими ареалами, т.е. с транспалеарктическим и голарктическим типом широтного ареала. Это объясняется закономерностями фауногенеза в Северной Европе, где основным фактором стало наличие Скандинавского покровного ледника [6].

Различия в видовом составе шмелей вдоль зонального градиента на территории Мурманской области проявляются в изменении соотношения между тундровыми и таежными видами в различных локальных фаунах. Кроме того, на юге Мурманской области наблюдается обогащение группировок шмелей за счет наличия луговых видов.

На юге региона можно наблюдать широкое разнообразие вторичных луговых сообществ, что создает благоприятные условия для освоения этой местности шмелями, прежде всего, таким видами как *B. distinguendus* и *B. veteranus*. Такие закономерности хорошо изучены в Европейском Севере России [6].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Paukkunen J. Stinging wasps, ants and bees (Hymenoptera: Aculeata) of the Murmansk region, Northwest Russia / J. Paukkunen, M.V. Kozlov // *Entomologica Fennica*. 2015. V. 26. P. 53-73.
2. Potapov G.S., Kolosova Yu.S., Vlasova A.A. First record of *Bombus (Alpigenobombus) wurflenii* Radoszkowski, 1860 in the Kola Peninsula, NW Russia // *Fauna norvegica*. 2018. Vol. 38. P. 9-12.
3. Potapov G.S., Kolosova Yu.S., Vlasova A.A. Local fauna of bumblebees (Hymenoptera: Apidae: *Bombus* Latr.) in the outskirts of the town of Kandalaksha, southwest Kola Peninsula // *Arctic Environmental Research*. 2018. V.18. No. 2. P. 62–65.
4. Potapov G.S., Kolosova Y.S., Kondakov A.V. Bumblebee assemblages (Hymenoptera, Apidae) of ruderal habitats in the Kola Peninsula, NW Russia // *Fauna norvegica*. 2015. V. 35. P. 3–8.
5. Williams P.H. An annotated checklist of bumble bees with an analysis of patterns of description (Hymenoptera: Apidae, Bombini) // *Bulletin of the Natural History Museum, Entomology Series*. 1998. V. 67. P. 79-152 [updated at <https://www.nhm.ac.uk/research-curation/research/projects/bombus/>].
6. Шварцман Ю.Г., Болотов И.Н. Пространственно-временная неоднородность таежного биома в области плейстоценовых материковых оледенений. Екатеринбург: Изд-во Уральского отделения РАН, 2008. 302 с.

## ТАКСОНОМИЯ, ФИЛОГЕНИЯ И ФИЛОГЕОГРАФИЯ SPHAERIINAE (BIVALVIA: SPHAERIIDAE) МИРА

Беспалая Ю.В.<sup>1,2</sup>, Винарский М.В.<sup>2</sup>, Аксенова О.В.<sup>1</sup>, Бабушкин Е.С.<sup>2,3</sup>, Гофаров М.Ю.<sup>1</sup>,  
Кондаков А.В.<sup>1</sup>, Коноплева Е.С.<sup>1</sup>, Кропотин А.В.<sup>1</sup>, Овчанкова Н.Б.<sup>2,4</sup>, Палатов Д.М.<sup>2,5</sup>,  
Соколова С.Е.<sup>1</sup>, Шевченко А.Р.<sup>1</sup>, Травина О.В.<sup>1</sup>, Соболева А.А.<sup>1</sup>, Зубрий Н.А.<sup>1</sup>,  
Болотов И.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, jbespalaja@yandex.ru

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

<sup>3</sup>Сургутский государственный университет, г. Сургут

<sup>4</sup>Зоологический институт Российской академии наук, Санкт-Петербург

<sup>5</sup>Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва

Представители подсемейства Sphaeriinae (Bivalvia: Sphaeriidae) являются разнообразной и экологически значимой группой пресноводных беспозвоночных, играющей ключевую роль в потоке энергии и круговороте питательных веществ в водных экосистемах [1,2]. Несмотря на долгую историю ее изучения, таксономическая структура и видовой состав Sphaeriinae являются предметом дискуссии между малакологами [1,2,3,4,5]. Настоятельная необходимость комплексного пересмотра таксономической структуры и видового состава этой группы явилась основным стимулом настоящего исследования. В данной работе мы уточняем таксономию, распространение и эволюционную биогеографию Sphaeriinae, основываясь на самом большом наборе расшифрованных последовательностей ДНК этих моллюсков, собранных из различных локалитетов по всему земному шару. В ходе исследования проанализированы 1032 последовательности 16S рРНК и 191 последовательность 28S рРНК, включая последовательности, полученные из GenBank. Методики выделения ДНК, наборы праймеров и условия ПЦР, секвенирования, обработки первичных сиквенсов, их выравнивания филогенетических и филогеографических исследований детально, изложены в наших предыдущих работах [6,7,8].

Анализ полученных филогенетических данных показывает, что Sphaeriinae является монофилетической группой, содержащей, по меньшей мере, семь клад родового ранга: *Sphaerium* Scopoli, 1777, *Pisidium* C. Pfeiffer, 1821 (s. str.), *Euglesa* Jenyns, 1832, *Odhneripisidium* Kuiper, 1962, *Conventus* Pirogov & Starobogatov, 1974 **stat. nov.**, группа *Pisidium sterkianum* и *Hindupisidium* Vinarski & Bespalaya, **gen. nov.** На филогенетическом дереве, построенном на основе 16S рРНК, можно выделить 80 клад с высокой поддержкой, предположительно соответствующих таксонам видового ранга. В ходе работы описаны четыре новых для науки вида. Откалиброванная по ископаемым филогения, и обобщенная биогеографическая модель указывают на то, что ближайший во времени общий предок Sphaeriidae мог возникнуть на обширной территории, охватывающей Китай, вблизи границы нижнего мела.

Результаты настоящего исследования дают новое и важное представление о филогении, таксономии, распространении и эволюционной биогеографии Sphaeriinae в мировом масштабе. Будущие исследования должны быть сосредоточены на филогении, биогеографии и таксономической ревизии Sphaeriinae в слабоизученных регионах Восточной и Юго-Восточной Азии, Южной Америки и Африки.

*Исследование проведено при финансовой поддержке грантов Российского научного фонда № 19-14-00066-Р (биогеографические реконструкции и изучение коллекций ЗИН РАН), № 21-74-10155 (морфологические и анатомические исследования), полевые работы были частично профинансированы Департаментом*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корнюшин А.В. Двустворчатые моллюски надсемейства Pisidioidea Палеарктики. Фауна, систематика, филогения. Киев. 1996. 165 с.
2. Korniushev AV, Glaubrecht M. 2002. Phylogenetic analysis based on the morphology of viviparous freshwater clams of the family Sphaeriidae (Mollusca, Bivalvia, Veneroidea) // Zoologica Scripta. № 31. P. 415–459.
3. Lee T, Ó Foighil D. 2003. Phylogenetic structure of the Sphaeriinae, a global clade of freshwater bivalve molluscs, inferred from nuclear (ITS-1) and mitochondrial (16S) ribosomal gene sequences // Zoological Journal of the Linnean Society №137. P. 245–260.
4. Старобогатов Я.И., Стрелецкая Э.А. Состав и зоогеографическая характеристика пресноводной малакофауны восточной Сибири и Дальнего Востока моллюски и их роль в биоценозах и формировании фаун // Труды Зоологического института АН СССР. 1967. № 42, С. 221-268.
5. Shikov EV, Zatravkin MN. 1991. The comparative method of taxonomic studies of Bivalvia used by Soviet malacologists. Malakologische Abhandlungen // Staatliche Museum für Tierkunde Dresden, 15: 149-159
6. Bespalaya Y.V, Bolotov I.N., Aksenova O.V., Kondakov A.V., Spitsyn V.M., Kogut Y.E., Sokolova S.E. Two Pisidium species inhabit freshwater lakes of Novaya Zemlya Archipelago: the first molecular evidence // Polar Biology. 2017. V. 40. P. 2119–2126.
7. Bolotov I.N., Kondakov A.V., Vikhrev I.V. et al. Ancient River Inference Explains Exceptional Oriental Freshwater Mussel Radiations // Scientific Reports. 2017. V. 7. №2135.
8. Konopleva E.S., I.N. Bolotov I.V. Vikhrev K. Inkhavilay M.Yu. Gofarov et al. A freshwater mussel species reflects a Miocene stream capture between the Mekong Basin and East Asian rivers // Zoosystematics and Evolution. 2023. V.99. №1. P. 29-43.

#### РАСПРОСТРАНЕНИЕ КРИПТИЧЕСКИХ ВИДОВ *BOMBUS LUCORUM*-COMPLEX (HYMENOPTERA: APIDAE) В МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ И КАРЕЛИИ

Бовыкина Г.В., Потапов Г.С.

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова РАН, г. Архангельск, galka.bovickina@gmail.com

Шмели (род *Bombus* Latreille, 1802) на севере Евразии являются одними из основных опылителей как дикорастущих энтомофильных растений, так и культурных, поскольку исследуемая группа насекомых хорошо приспособлена к экстремальным климатическим условиям. Данная особенность шмелей позволяет их использовать в качестве удобного объекта в сельскохозяйственной практике [1]. Относительно недавно энтомологи стали обращать внимание на криптические виды шмелей комплекса *Bombus lucorum* [2]. Многие авторы при изучении различных аспектов населения шмелей не делают различия между этими видами из-за сложности или невозможности их идентификации только по морфологическим признакам. По этой причине все чаще используются молекулярные методы для надежной идентификации криптических видов. Проблема изучения распространения и экологии криптических видов актуальна, прежде всего, в контексте мероприятий по сохранению регионального биоразнообразия.

В представленной нами работе изучено распространение криптических видов шмелей *Bombus lucorum*-complex, т.е. *B. lucorum* (Linnaeus, 1761) и *B. cryptarum*

(Fabricius, 1775) на территории Мурманской области и Республики Карелии. Виды *Bombus lucorum*-complex относятся к наиболее широко распространённым на Европейском Севере России. Существуют некоторые данные для Кольского п-ова [3], где ДНК-баркодингом определили наличие из комплекса только вид *B. cryptarum*. Из ближайших регионов также исследована Финляндия [4]. В целом, сведения о распространении видов *Bombus lucorum*-complex на территории Европейского Севера России практически отсутствуют.

Экземпляры шмелей хранятся в Российском музее центров биологического разнообразия Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН (Архангельск, Россия).

Для первичной идентификации видов использовали морфологические признаки [5]. Затем применяли метод анализа полиморфизма длины рестрикционных фрагментов (ПДРФ) ПЦР-продуктов [6, 7], который позволил относительно дешево, быстро и точно провести идентификацию видов комплекса *B. lucorum*. Использование ПДРФ-анализа ампликонов [8] позволяет дифференцировать виды на генетическом уровне. Для видов *B. lucorum* и *B. cryptarum* нами была разработана собственная схема молекулярной идентификации на основе метода ПЦР-ПДРФ. Диагностический фермент рестрикции *AhlI*, позволяет разделить короткий митохондриальный фрагмент COI (460 п.н.), идентифицируя виды *B. lucorum* и *B. cryptarum*. Для подтверждения работы метода проводили ДНК-баркодинг в Межинститутском Центре коллективного пользования «Геном» ИМБ РАН, при помощи набора реактивов ABI PRISM® BigDye™ Terminator v. 3.1 с последующим анализом продуктов реакции на автоматическом секвенаторе ДНК ABI PRISM 3730 (Applied Biosystems). Последовательности продуктов ПЦР в прямом и обратном направлении расшифровывали и анализировали с использованием программы BioEdit 7.2.5 [9]. Полученные последовательности COI сравнивали с данными, представленными в базе NCBI GenBank при помощи сервиса BLAST, что позволило определить видовую принадлежность образцов.

Установлено, что морфологические признаки в большинстве случаев не дают возможность достоверно идентифицировать криптические виды шмелей комплекса *Bombus lucorum*. Молекулярно-генетический анализ показал, на территории Мурманской области доминирует вид *B. cryptarum*, а *B. lucorum* составляет лишь 8 % от общего числа изученных экземпляров. *B. lucorum* в Мурманской области отмечен только на юге региона. В Карелии наблюдается следующая закономерность: чем южнее, тем выше доля *B. lucorum* в выборках.

Выявленные нами закономерности, в целом, соответствуют тому, что ранее было установлено для территории Финляндии (Pamilo et al. 1997), т.е. *B. cryptarum* доминирует среди видов *Bombus lucorum*-complex в группировках шмелей севера Фенноскандии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Winter, K., Adams, L., Thorp, R., Inouye, D., Day, L., Ascher, J., Buchmann, S. Importation of Non-Native Bumble Bees into North America: Potential Consequences of Using *Bombus terrestris* and Other Non-Native Bumble Bees for Greenhouse Crop Pollination in Canada, Mexico, and the United States // San Francisco, 2006. 33 p
2. Bossert S. Recognition and identification of species in the *Bombus lucorum*-complex – a review and outlook // Deutsche Entomologische Zeitschrift. 2015. Vol. 62(2). P. 19–28.
3. Potapov G.S., Kolosova Y.S., Kondakov A.V. Bumblebee assemblages (Hymenoptera, Apidae) of ruderal habitats in the Kola Peninsula, NW Russia // Fauna norvegica. 2015. Vol. 35. P. 3–8.
4. Pamilo P., Tengö J., Rasmont P., Pirhonen K., Pekkarinen A., Kaarnama E. Pheromonal and enzyme genetic characteristics of the *Bombus lucorum* species complex in Northern Europe // Entomologica Fennica. 1997. Vol. 7. P. 187–194.

5. Rasmont P., Terzo M. Catalogue et clé des sous-genres et espèces du genre *Bombus* de Belgique et du nord de la France (Hymenoptera, Apoidea). 2e édition. Mons: University of Mons, 2017. 28 p.
6. Murray T.E., Fitzpatrick Ú., Brown M.J.F., Paxton R.J. Cryptic species diversity in a widespread bumble bee complex revealed using mitochondrial DNA RFLPs // *Conservation Genetics*. 2008. Vol. 9. P. 653–666.
7. Vesterlund S.-R., Sorvari J., Vasemägi A. Molecular identification of cryptic bumblebee species from degraded samples using PCR-RFLP approach // *Molecular Ecology Resources*. 2013. Vol. 14(1). P. 122–126.
8. Jarcho J. Restriction fragment length polymorphism analysis // *Current Protocols in Human Genetics*. 2001. Chapter 2. Unit 2.7. doi: 10.1002/ 0471142905.hg0207s01.
9. Hall T.A. BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT // *Nucleic Acids Symposium*. 1999. Vol. 41. P. 95–98.

### **РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ ПРОГРАММЫ ВОСПРОИЗВОДСТВА ЦЕННЫХ ВИДОВ СИГОВЫХ РЫБ В ОБЬ-ИРТЫШСКОМ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОМ РАЙОНЕ**

*Богданов В.Д.*

Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург, vdb53@mail.ru

Президент страны Владимир Владимирович Путин после встречи с молодыми учеными на Форуме молодежи в Сочи в конце 2022 г. поручил правительствам РФ, ХМАО, ЯНАО и РАН разработать комплексную программу по восстановлению популяций муксуна, нельмы и чира в Обь-Иртышском бассейне. Инициаторами выступления на Форуме молодежи был Институт экологии растений и животных УрО РАН и Администрация Ямало-Ненецкого автономного округа. Ихтиологи ИЭРиЖ УрО РАН более 40 лет занимаются изучением воспроизводства сиговых рыб Оби и Таза. Изучены такие вопросы как: внутривидовая структура; генетические особенности популяций; современное экологическое состояние среды обитания; влияние естественных и антропогенных факторов на воспроизводство; состояние естественного воспроизводства. Оценены угрозы существованию популяций при освоении нефтегазовых месторождений. Рассмотрено законодательство, регламентирующее восстановление сиговых рыб и предложены изменения Правил рыболовства в Западно-сибирском рыбохозяйственном бассейне и Методики оценки вреда водным биоресурсам.

В настоящее время запасы муксуна, нельмы и в меньшей степени чира в Оби и р. Таз, подорваны. Популяции ценных сиговых рыб находились под сильным антропогенным прессом: в силу коммерческой ценности они являются наиболее предпочтительным объектом промысла; усиливается влияние добычи и транспорта углеводородов в Обской губе. В сложившихся условиях актуальным является восстановление запасов ценных видов сиговых, в том числе посредством их искусственного воспроизводства.

Исторически значительная часть населения Крайнего Севера тесно связана с рыболовством и благополучие жителей, особенно коренных малочисленных народов, зависит от состояния водных биологических ресурсов. Еще в 80-ых годах прошлого столетия добыча сиговых в Обь-Тазовском бассейне превышала 15 тыс. тонн, а современный вылов снизился 5- 7 раз. Причем численность наиболее ценных видов таких, как муксун и нельма стремится к нулю. Поэтому восстановление запасов

сиговых имеет важнейшее экосистемное (для сохранения биоразнообразия), экономическое и социальное значение.

Институт экологии растений и животных работает над Программой совместно с Администрацией ЯНАО и ХМАО-Югра, ВНИРО, Главрыбводом и Нижнеобским территориальным управлением Росрыболовства. Наши рекомендации учитываются при разработке долгосрочных мер охраны экосистем и нерестовых стад, а также мер искусственного воспроизводства.

Стратегия восстановления чира, муксуна и нельмы должна основываться на признании единства популяций. Результаты генетических исследований муксуна и чира, проведенных нами, подтверждают их генетическую близость из маточных стад рыбозаводов, планируемых для использования в искусственном воспроизводстве, и из природных популяций Обь-Тазовского бассейна. Установлено, что маточные стада рыбозаводов в ЯНАО и ХМАО могут быть использованы в качестве донорских в ходе проведения мероприятий по восстановлению численности популяций Оби и Таза.

Успех мероприятий по восстановлению ценных сиговых рыб, зависит в определенной мере от водности Оби. В годы с невысокими и непродолжительными половодьями резко ухудшаются условия обитания обских рыб, нарушаются их воспроизводственные циклы, приводящие к снижению запасов. Значительное увеличение численности генераций сиговых рыб происходило только в периоды повторяющихся высоких паводков на протяжении 5-6 лет (70-е годы и 2014-2019 годы). Возможные изменения стока Оби, наряду с увеличением влияния промысла сиговых в годы низкой водности, могут стать причиной снижения воспроизводства этих видов. Прогноз по водности предполагает именно такую ситуацию, когда с 2023 по 2026 годы возможна пониженная водность Оби. В указанный период будет заполняться Омское водохранилище на р. Иртыш и усилится потребление воды в Казахстане и Китае. Весна 2023 года подтвердила прогноз на маловодье. Таким образом, гидрологическую ситуацию нужно учитывать при проведении мероприятий по искусственному воспроизводству. Даже при одинаковой величине ежегодно выпускаемой молоди неизбежно будет формироваться цикличная динамика численности, обусловленная циклами водности.

Низкая водность Оби, например такая как в 2012 г, может существенно повлиять на результативность работы прудов и питомников, поэтому они должны быть только управляемые (дамбы, шлюзы, глубокие ямы).

Мы должны понимать в какую среду будем выпускать молодь. Установлено, что по гидробиологическим показателям воды низовья Оби и р. Таз характеризуются как умеренно загрязненные водоемы. Типичная структура бентоса, планктона, высокие индексы видового разнообразия, сезонные изменения сапробного состояния водных масс свидетельствуют о том, что Обь и р. Таз не потеряли способность к самоочищению. Состояние нерестилищ в уральских притоках нижней Оби и р. Таз не лимитирует воспроизводство сиговых рыб. Нерестилища в основном сохраняют свои природные качества. Тогда как нерестилища муксуна и нельмы, находящиеся в районе верхней Оби (ниже плотины ГЭС), частично нарушены. Однако можно уверенно говорить, что нынешнее состояние среды обитания в Оби и в р.Таз, ещё оставляет возможность естественного прироста популяций муксуна, нельмы и чира при качественной организации компенсационных мероприятий.

В Проекте Программы должны быть оценены угрозы популяциям сиговых рыб Обь-Тазовского бассейна при промышленном освоении. Сделан вывод, что в настоящее время, несмотря на интенсивное освоение нефтегазовых месторождений, нерестовые притоки нижней Оби и Таза пока могут обеспечивать нормальное воспроизводство, поймы – нагул, губы - зимовку. Пока специфическое влияние нефтегазового комплекса в Арктической зоне УрФО сыграло второстепенную роль в сокращении рыбных запасов. Снижение численности некоторых видов сиговых рыб и даже уничтожение

осетра и муксуна произошло не из-за изменения среды обитания в Обской губе, а из-за перепромысла, в котором определенная роль ТЭК все же присутствовала (неспецифическая в основном). Однако освоение месторождений в акватории Обской и Тазовской губах может создать угрозу не только кормовой базе, но и существованию полупроходных рыб вообще. Экосистемам уральских нерестовых притоков и притоков Таза пока ничего не угрожает, так как сейчас не планируется строительство дорог и освоение месторождений вдоль восточного склона Полярного и Приполярного Урала и в верхнем течении р. Таз. Тогда как ситуация в районе Верхнеобских нерестилищ в Новосибирской области (последних оставшихся нерестилищ муксуна и осетра) сильно обострилась из-за наступившего маловодья. Увеличивается добыча ПГС и углубление русла для прохода судов. При этом перекаты уничтожаются, а это нерестилища.

Осуществляемое и планируемое в ближайшее десятилетие строительство магистральных трубопроводов и трубопроводов, соединяющих буровые платформы с берегом в Обской губе, окажет значительное негативное влияние на экосистему губы. Учитывая длительный период воздействия и большую площадь месторождений (Обское, Каменомысское море, Северо-Каменомысское, Чугорьяхинское, Семаковское, Тото-Яхинское, Антипаютинское) будет нанесен значительный ущерб кормовой базе рыб и ее восстановление растянется на большой срок. Кроме того, будут периодически нарушаться миграции полупроходных рыб.

Об очень сильном влиянии промысла свидетельствуют следующие факты:

- на нижней Оби снизили численность только ликвидные виды ценных рыб: осетр, стерлядь, муксун, чир, нельма. Ресурс таких видов как налим, корюшка, ряпушка, карповые, окуневые, щука позволяет долгие годы при нормальном водности поймы Оби осуществлять в стабильном режиме промысел, несмотря на развитие промышленности. Ихтиомасса этих видов на Оби в настоящее время рекордная, благодаря предыдущему длительному периоду многоводья;

- в нерестовых стадах сиговых рыб крайне мало повторно созревающих производителей, так как после нереста они почти все вылавливаются;

Институтом экологии Растений и животных УрО РАН выполнена оценка состояние естественного воспроизводства чира, муксуна и нельмы. В результате проведенных учетов численности пократных личинок на основных нерестовых притоках Нижней Оби установлено, что численность генераций чира крайне изменчива. Так, минимальные по численности генерации отличаются от максимальных в 150 раз. За период с 1981 по 2000 годы средняя численность генераций чира составляла 230 млн., за последующие годы – 82 млн. Появление относительно многочисленных генераций в 2015–2016 годах позволяет надеяться на восстановление его запасов.

Почти полное уничтожение муксуна Оби, Таза определяют необходимость срочного внедрения рыбоводных мероприятий. Однако восстановление муксуна стало очень проблематичным, так как очень трудно отловить необходимое количество производителей для заготовки рыбоводной икры. Можно констатировать, что в Тазу такую работу провести в настоящее время уже невозможно, так как в даже исконно муксуных нерестовых притоках Ратта и Печалька муксун уже не встречается. Необходимо существенно расширять численность маточных стад на рыбоводных заводах.

Помимо потери части основных нерестилищ, на состояние популяции муксуна негативно сказалась возросшая во второй половине XX в. интенсивность промысла, в том числе интенсивный браконьерский лов в Обской губе и на путях нерестовых миграций. В результате нерестовое стадо обского муксуна не может обеспечить естественное восстановление промыслового запаса вида на уровне 1970–1980 гг. Ввиду ухудшения качества и снижения площади нерестилищ искусственное воспроизводство муксуна нужно проводить на постоянной основе.

Принятые меры охраны муксуна: 1) с 2015 года промысел муксуна запрещен (исключение – для рыболовных целей); 2) муксун полуострова Ямал включен в Красную книгу РФ (2021).

Нельма – самый широко распространенный вид из сиговых рыб в Обь-Иртышском бассейне. Она единственный вид среди сиговых рыб, ведущий исключительно хищный образ жизни. В настоящее время нельма занесена в Красные книги Тюменской, Свердловской, Омской, Новосибирской, Кемеровской областей, Алтайского края как вид с неуклонно снижающейся численностью.

Антропогенная трансформация речных экосистем, поступление загрязненных стоков, браконьерство привели к снижению её численности в Обь-Иртышском бассейне. Если в 30-ых годах прошлого века уловы достигали 585 т, то в начале нашего столетия составляли около 100 т. В 2015 г. вступил в действие запрет на промысел нельмы.

Готовые к размножению особи после нагула поднимаются к местам нереста, расположенным в Верхней Оби – в настоящее время у плотины Новосибирской ГЭС и в р. Чулым, на Иртыше - ниже Иртышского каскада ГЭС и в уральских притоках – р. Северной Сосьве и р. Лозьве.

Среди покатных личинок сиговых рыб в р. Северной Сосьве нельма встречается единично и не каждый год. Ежегодно сеголетки нельмы единично встречаются в неводных уловах при промысле тугуна.

В настоящее время муксун не заходит на нерест в притоки Таза, а чир и нельма стали настолько малочисленным, что их личинки среди скатывающей молоди встречаются единично. На местах нагула в пойме Таза личинки ценных видов сиговых рыб не встречаются.

Исследования раннего онтогенеза сиговых рыб в естественной среде, проведенные нами, позволяют сделать выводы, важные для успешного искусственного воспроизводства: основная смертность личинок наблюдается в первые десять дней нагула в сорах – отход составляет от 65 до 98%; смертность личинок снижается, если они попадают в сор спустя 20 и более суток после их заполнения водой; молодь начинает выходить из соров при прогреве воды 18°C - 20°C задолго до их обсыхания; массовая миграция не связана с достижением определенных размеров тела. Наиболее значимые абиотические факторы смертности – сильное ветровое волнение и недостаток корма в период нагула ранних личинок. Отсюда важный вывод – нельзя зарыблять любые рыболовные объекты (соры, пруды и садки) ранними личинками.

Основой для решения проблем восстановления водных биоресурсов могло бы стать нормативное закрепление исключительного приоритета искусственного воспроизводства особо ценных и ценных видов рыб при осуществлении компенсационных выпусков водных биоресурсов в Обь-Иртышский бассейн (реки Обь и Таз).

Институтом экологии растений и животных УрО РАН приведено экспертное заключение на Методику оценки вреда водным биоресурсам. Расчет по коэффициентам промыслового возврата, приведенным в старой Методике оценки вреда (2011 г.) не требует такого огромного количества заявленной молоди рыб для компенсации ущерба, которая по ряду видов превышает приемную емкость экосистемы Оби и Таза. Сопоставление численности генераций, коэффициентов промыслового возврата и уловов показывает, что коэффициенты, приведенные в старой Методике (2011) адекватные, в отличие от коэффициентов, указанных в новой Методике (2021). После ее принятия накопился огромный некомпенсированный ущерб водным биоресурсам для Оби. Методика оценки вреда ... (2021) имеет ряд существенных недостатков, которые привели к резкому увеличению (в 10-20 раз) расчетной молоди, необходимой для компенсации нанесенного ущерба. Тогда как необходимого количества молоди ценных видов рыб пока нет.

Таким образом, начата работа по созданию Программы восстановления исчезающих ценных рыб Обь-Иртышского бассейна, в которой задействованы научные силы РАН, отраслевых институтов ВНИРО, Западно-Сибирского отделения Главрыбвод и Нижнеобского территориального управления Росрыболовства. Цель может быть достигнута при сохранении среды обитания и адекватных усилий по охране и искусственному воспроизводству.

## К ВОПРОСУ О МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПЫЖЬЯНОВИДНЫХ СИГОВ (*C. LAVARETUS*) ВОДОЁМОВ СИБИРИ

Бочкарев Н.А.<sup>1</sup>, Милянчук Н.П.<sup>2</sup>, Распутина Е.Н.<sup>2</sup>, Савосин Д.С.<sup>2</sup>, Ильмаст Н.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт систематики и экологии животных СО РАН, г. Новосибирск,  
nikson\_1960@mail.ru

<sup>2</sup>Институт биологии КарНЦ РАН, г. Петрозаводск

Сиги комплекса видов *Coregonus lavaretus* sensu lato в водоёмах Сибири представлены многочисленными экологически и морфологически дистантными формами/видами. Среди них есть формы/виды сигов, обособленность которых уже доказана на генетическом уровне [1, 2]. Другие имеют неопределенный таксономический статус и, как правило, это морфологически и экологически однообразные формы пыжьяновидных сигов, обитающие в арктической части бассейнов крупных сибирских рек [3]. Чаще всего формы/виды сигов вида *C. lavaretus* дифференцируют на основе экологических характеристик. По образу питания их делят на планктофагов и бентофагов, по местам обитания на речные, озерно-речные, озерные популяции/формы [3-5]. Считается, что многочисленные популяции/формы сигов хорошо различаются по морфологическим признакам. При их дифференциации специалисты, в большинстве случаев, обращают внимание на размер головы, высоту тела, длину и высоту хвостового стебля. И общепризнанная точка зрения, согласно которой хорошие пловцы в текучей воде имеют более высокий и короткий хвостовой стебель и сильное вальковатое тело [6]. Соответственно, рыбы, обитающие в водах с медленным течением, имеют более высокое и уплощенное тело. Так, например хариус (*Thymallus*) из Байкала имеет высокое тело и длинный хвостовой стебель, в то время как представители того же вида из р. Ангара более низкотелы и короткохвосты, что свойственно хорошим пловцам [6 стр.80]. Однако данное правило, похоже, не распространяется на сигов рода *Coregonus*. Было показано, что в отличие от байкальских хариусов, озерная форма пеляди (*C. peled*) имеет более высокое тело и крупную голову, чем озерно-речная [7, 8]. Анализируя морфологическую изменчивость пыжьяновидных сигов Сибири, мы обратили внимание, что постулируемые закономерности относительно различий озерных и речных популяций/форм не всегда соответствуют результатам наших исследований.

Морфологический анализ выполняли на основе цифровых фотографий согласно описанной ранее методике [9]. Измерение рыб проводили в лаборатории по стандартной схеме Правдина [10] в программе AxioVision 3.1 (Carl Zeiss Vision GmbH). Оценивали 32 пластических признака. Поскольку рыбы имеют аллометрический рост и форма тела зависит от размера, то перед проведением многомерного анализа все морфометрические данные были скорректированы с учетом размеров особей.

Анализ методом главных компонент сибирских пыжьяновидных сигов показал, что наибольший положительный вклад в первую главную компоненту (55.14%) внесли признаки, характеризующие форму тела (*H, h, ID*). Признаки головы (*ao, o, C, Ch1, lm, lmd*) интересующие нас в меньшей степени по причине их малой размерности и трудности восприятия для человеческого глаза, внесли отрицательный вклад (табл. 1). Все

проанализированные признаки тесно (как положительно, так и отрицательно) скоррелированы.

Вклады признаков во вторую главную компоненту (10.5 %) в данной работе мы не рассматриваем. Очевидно, что данная компонента интересна для анализа узкоспециализированных групп (например, сигов планктофагов).

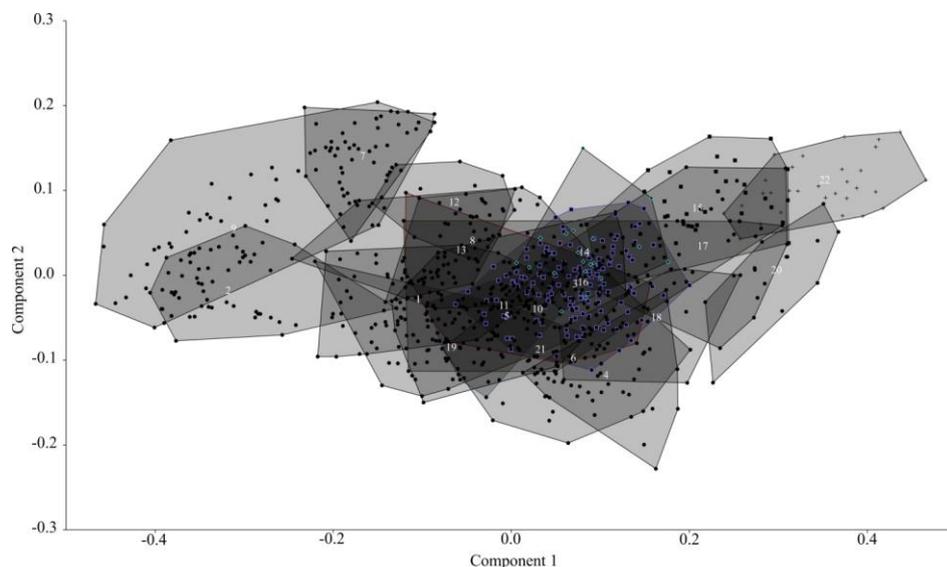


Рис.1 - Распределение выборок сигов из водоемов Сибири в пространстве двух первых главных компонент по пластическим признакам: 1 – сиг телецкий, 2 – сиг Правдина, 3 – сиг оз. Каракуль, 4 – сиг р. Абакан, 5 – сиг оз. Тоджа (озерный), 6 – сиг оз. Тоджа (речной), 7 – *C. baunti* (оз. Капылюши), 8 – озерно-речной сиг оз. Капылюши, 9 – ряпушковидный сиг оз. Баунт, 10 – озерно-речной сиг оз. Доронг, 11 – озерно-речной сиг оз. Баунт, 12 – среднетычинковый сиг оз. Доронг, 13 – среднетычинковый сиг оз. Баунт, 14 – речной сиг р. Анабар, 15 – озерный (лиманный) сиг р. Анабар, 16 – речной сиг р. Кутарамакан, 17 – озерный сиг оз. Кутарамакан, 18 – озерный (лиманный) сиг Быковская протока р. Лена, 19 – речной сиг р. Лена (устье р. Буотама), 20 – озерный (лиманный) сиг р. Яна, 21 – речной сиг р. Витим, 22 – озерный сиг (*C. jucagiricus*) оз. Илирней.

Среднепопуляционные величины (в % от длины тела по Сметту) в анализируемых популяциях сигов сортировали относительно максимальной высоты тела ( $H$ ). Самая меньшая высота тела ( $H$ ), хвостового стебля ( $h$ ) и наибольшая длина хвостового стебля ( $pA$ ) обнаружена у среднетычинковых озерных южно-сибирских сигов планктофагов. Южно-сибирские речные сииги, наоборот, обладают максимально высоким телом, коротким и высоким хвостовым стеблем. Тогда как арктические речные сииги низкотелы и имеют низкий хвостовой стебель. Озерные арктические сииги более высокотелы с более короткой головой (табл. 2).

Кластерный анализ по средним величинам этих популяций, проведенный методом UPGMA сформировал два кластера с высокой степенью поддержки (рис. 2). В первый кластер (I) вошли сииги планктофаги из водоемов Южной Сибири (Баунтовские озера Забайкалья и Телецкого озера). Данные формы/виды имеют самую меньшую максимальную высоту тела ( $H$ ), длинный ( $pA$ ) и низкий ( $h$ ) хвостовой стебель. Второму кластеру (II) состоит из трех субклад. В субкладу (a) вошли популяции/формы/виды высокотелых **озерных** арктических сигов из р. Анабар, оз. Кутарамакан, Быковской протоки рек Лена и Яна, а также выборка юкагирского сига из оз. Илирней. Субклада (b) включает в себя выборки как **озерных** низкотелых (озера Каракуль, Доронг, Баунт) так **речных** высокотелых (реки Абакан, Тоджа, Витим) сигов из водоемов Южной Сибири, а также **речных** низкотелых сигов из арктических водоемов – р. Анабар и оз. Кутарамакан. Субклада c состоит из популяций

низкотельных *озерных* сигов из водоемов Южной Сибири (озера Тоджа, Телецкое, Капылюши, среднетычинковые сиги из озер Доронг и Баунт). К этим сигам примыкает низкотельный *речной* сиг из р. Лена (Буотама).

Таблица 1 - Вклады пластических форм/популяций/видов пыжьяновидных сигов водоемов Сибири в первую и вторую главные компоненты

Признак	ГК 1	ГК 2
<i>Sm</i>	0.046	0.094
<i>L</i>	0.050	0.103
<i>CC</i>	0.108	0.134
<i>H</i>	<b>0.245</b>	<b>-0.203</b>
<i>pA</i>	-0.032	<b>0.344</b>
<i>h</i>	<b>0.186</b>	-0.120
<i>aA</i>	0.062	0.041
<i>aV</i>	0.003	0.013
<i>aD</i>	-0.020	0.014
<i>aP</i>	-0.169	-0.021
<i>DC</i>	0.122	0.154
<i>VC</i>	0.104	0.162
<i>AC</i>	0.031	<b>0.256</b>
<i>PA</i>	0.147	0.052
<i>PV</i>	0.115	0.028
<i>VA</i>	0.190	0.068
<i>pD</i>	0.104	<b>0.257</b>
<i>ID</i>	<b>0.192</b>	-0.094
<i>hD</i>	0.097	-0.248
<i>IA</i>	0.089	0.156
<i>hA</i>	0.176	<b>-0.248</b>
<i>IP</i>	0.060	-0.004
<i>IV</i>	0.138	-0.153
<i>ao</i>	<b>-0.240</b>	<b>-0.256</b>
<i>o</i>	<b>-0.421</b>	0.100
<i>pO</i>	-0.070	0.000
<i>c</i>	<b>-0.201</b>	-0.021
<i>Ch1</i>	<b>-0.222</b>	-0.113
<i>Ch2</i>	-0.073	-0.089
<i>lm</i>	<b>-0.383</b>	<b>-0.224</b>
<i>m</i>	-0.037	-0.447
<i>l.md</i>	<b>-0.395</b>	<b>0.265</b>

Таким образом, очевидно, что речные пыжьяновидные сиги из водоемов Сибири генетически неоднородны. Если арктические речные сиги соответствуют описанию Г.В. Никольского и, соответственно, имеют относительно низкое тело и низкий и длинный хвостовой стебель, то южно-сибирские речные формы сигов максимально высокотелы, и имеют короткий и высокий хвостовой стебель. Данные противоречия наталкивают на мысль о существовании нескольких древних филогенетических линий, сформировавших современное разнообразие форм/видов сигов.

Таблица 2 - Среднепопуляционные относительные величины некоторых признаков сигов из сибирских водоемов

Форма/место лова	$n$	$H$	$\sigma$	$aA$	$\sigma$	$h$	$\sigma$
Ряпушковидный сиг *L	67	17.78	1.23	13.97	0.91	6.32	0.31
<i>C. baunti</i> L	45	18.35	0.97	14.15	0.93	6.50	0.27
Сиг Правдина L	46	18.36	0.95	12.80	1.17	6.04	0.27
оз. Доронг L	12	19.91	0.97	13.46	1.27	6.74	0.25
оз. Кутарамакан R	20	20.27	0.92	12.76	0.73	6.86	0.31
Сиг телецкий R	49	20.38	1.16	12.76	0.78	6.96	0.31
оз. Илirianей	30	21.36	1.18	12.24	0.63	7.27	0.28
оз. Каракуль L	141	21.43	0.86	12.45	0.77	6.73	0.26
р. Анабар R	58	21.68	1.77	12.65	0.84	7.34	0.34
оз. Баунт L	9	21.84	1.39	12.90	1.22	7.19	0.35
оз. Тоджа L	30	22.61	0.96	12.66	0.62	7.08	0.20
р. Витим R	25	22.62	1.44	12.43	0.81	8.01	0.38
оз. Кутарамакан L	40	22.68	1.32	12.77	0.71	7.26	0.28
оз. Капылюши L	44	22.71	1.54	13.64	1.12	7.03	0.35
р. Лена Быковская прот. L	10	22.85	0.87	11.66	0.44	8.03	0.37
р. Яна L	16	22.99	1.08	12.14	0.75	8.26	0.30
р. Лена Буотама R	26	23.37	1.54	12.94	0.65	7.74	0.37
оз. Баунт R	59	23.44	1.46	12.92	0.92	7.65	0.38
р. Анабар L	22	23.92	1.99	12.80	0.79	7.89	0.39
оз. Доронг R	26	23.99	2.07	12.40	0.88	7.61	0.45
оз. Тоджа R	40	25.64	2.00	12.31	0.98	8.05	0.46
р. Абакан R	26	25.72	1.40	11.09	0.90	7.90	0.38

Арктические группировки (реки Анабар, Лена, Яна): L-пойманы в лимане; R-пойманы в реке. Южно-сибирские группировки: R-речные, озерно-речные; L- чисто озерные группировки; 12, 13 среднетычинковые озерные сиги из Баунтовской системы озер.  
\*Неописанный многотычинковый ряпушковидный сиг из оз. Баунт.

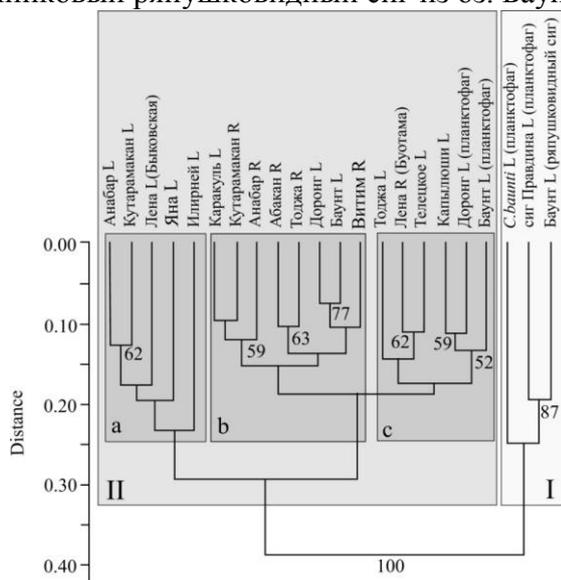


Рис. 2 - UPGMA-дендрограмма популяций сигов Сибири по 30 пластическим признакам (За исключением *Sm*, *L*)

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов В.В., Смирнова-Залуми Н.С., Суханова Л.С. Микроэволюция байкальского омуля *Coregonus autumnalis migratorius* (Georgi). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 246 с.
2. Бочкарев, Н.А. Таксономический статус и происхождение некоторых экологических форм сига вида *Coregonus lavaretus* (L.) из водоемов Сибири // Генетика. – 2017. – Т. 53. – № 8. – С. 922–932.
3. Шапошникова, Г.Х. Сиг–пыжьян *Coregonus lavaretus pidschian* (Gmelin) водоемов Советского Союза // Вопр. ихтиологии. – 1974. – Т. 14. – Вып. 5 (88). – С. 749–768.
4. Правдин, И.Ф. Сиги водоемов Карело–Финской ССР – М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1954. – 324 с.
5. Скрыбин, А.Г. Сиговые рыбы юга Сибири. Новосибирск: Наука, 1979. – 229 с.
6. Никольский, Г.В. Экология рыб. М: Высшая школа, 1961. – 334с.
7. Канеп С.В. Некоторые вопросы функциональной морфологии озерной пеляди *Coregonus peled* (Gmelin) // Вопросы ихтиологии. 1971. Т. 11. Вып. 6. С. 975-986.
8. Канеп С.В. Анализ изменчивости пластических, меристических интерьерных признаков сиговых рыб (сем. *Coregonidae*) // Вопросы ихтиологии. 1976. Т. 16. Вып. 4. С. 610-623.
9. Бочкарев Н.А., Зуйкова Е.И., Политов Д.В. Дополнительные возможности сбора и регистрации морфологических данных у рыб // Биология, биотехника разведения и состояние запасов сиговых рыб: Матер. междунар. конф. / Под ред. Литвиненко А.И., Решетникова Ю.С. Тюмень: Госрыбцентр, 2013. С. 32–36.
10. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищепромиздат, 1966. 376 с.

## ДИНАМИКА КАЧЕСТВЕННЫХ И КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗООБЕНТОСА В ТЕЧЕНИЕ ЛЕТНЕГО ПЕРИОДА 2023 Г. В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ Р. СЕВЕРНАЯ ДВИНА

Бурмагин М.В., Матвеев Н.Ю.

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, 98maxbur12@gmail.com

Северная Двина является одной из крупнейших рек Российской Федерации, образуется посредством слияния рек Сухона и Юг, впадает в Двинскую губу Белого моря, образуя обширную дельту, состоящую из более чем 150 протоков, площадью 900 км<sup>2</sup>. На площадь ее водосбора оказывают влияние множество антропогенных факторов, что приводит к изменению структуры водных биоценозов. Происходят изменениям качественных (видовое разнообразие) и количественных (численность и биомасса организмов) характеристик сообществ беспозвоночных, в частности макрозообентоса [1, 2].

Зообентос используется при оценке качества природных вод в ходе антропогенной трансформации пресноводных экосистем. В то же время, бентосные организмы являются кормовой базой для многих промысловых видов рыб. Первые датированные данные о донных беспозвоночных (моллюски) устьевой части р. Северная Двина, были зарегистрированы в 1927 г. В 1960–1980-х гг. были проведены исследования по изучению таксономического состава донных сообществ с целью оценки влияния деятельности промышленных предприятий (целлюлознобумажных комбинатов (ЦБК), на экосистему р. Северная Двина. В 2012 г. было проведено исследование зообентоса дельты р. Северная Двина с целью получения наиболее полных сведений об его таксономическом составе, количестве и частоте встречаемости

таксонов по разным участкам дельты, а также численности и биомассе каждого из таксонов [3].

Во временном аспекте наши исследования проводились в начале летнего сезона 2023 г. (начало июня) и в конце его (конец августа). В ходе работ осуществлен сбор, фиксация и проведена последующая камеральная обработка 19 проб зообентоса на 9 станциях, расположенных в нижнем течении р. Северная Двина. Эти участки входят в перечень участков ежегодного мониторинга, проводимого лабораторией в рамках Государственного задания (рис. 1):

- 1) Д. Гневашево – 3 станции;
- 2) В черте г. Новодвинск – 3 станции;
- 3) У приустьевоего взморья – 2 станции;
- 4) У железнодорожного моста – 1 станция.

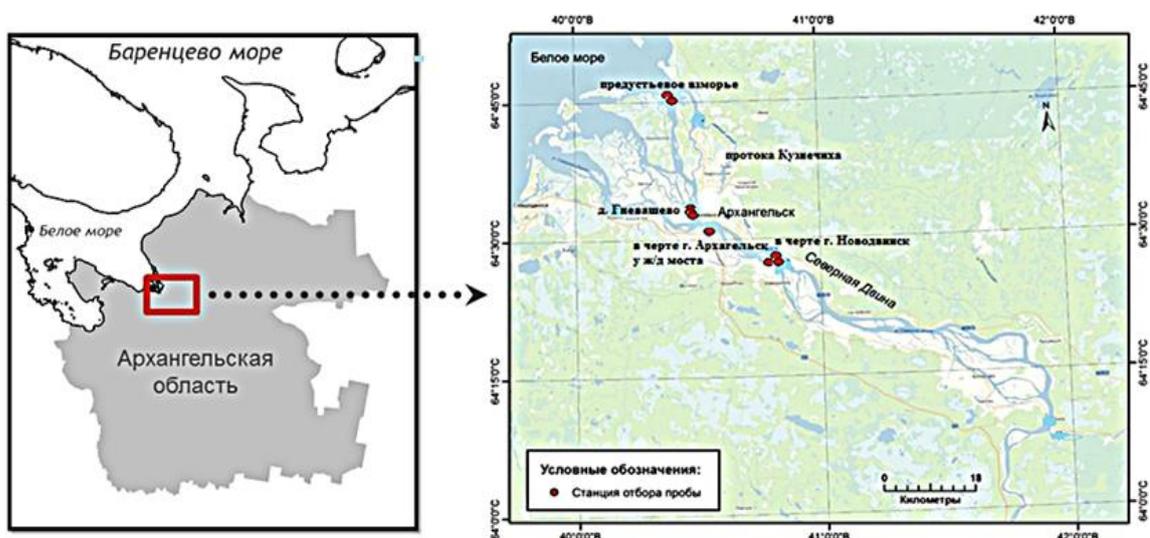


Рис. 1 – Район исследований: Нижнее течение р. Северная Двина

#### Качественный состав донных сообществ.

Всего в бентофауне низовья р. Северная Двина в период отбора было отмечено 15 таксонов донных беспозвоночных, которые подразделяются на 3 типа: представители 1) **Кольчатых червей (Annelida)**: *Oligochaeta* gen. sp, *Nereis* sp., *Hirudo* sp. 2) **Членистоногих (Arthropoda)**: *Sericostoma personatum*, Chironomidae gen. sp. lv, Ceratopogonidae gen. sp. lv, *Gammarus* sp., *Isopoda* sp. 3) **Моллюсков (Mollusca)**: *Valvata* sp., *Sphaerium rivicola*, *Unio pictorum*, *Dreissena polymorpha*, *Viviparus* sp., *Bithynia tentaculata*, *Pisidium amnicum* (табл. 1).

Таблица 1 — Таксономический состав зообентоса и его количественные показатели в нижнем течении р. Северная Двина в летний период 2023 г.

Таксономический состав	Начало лета (июнь)				Конец лета (август)			
	Численность		Биомасса		Численность		Биомасса	
	экз./м <sup>2</sup>	%	г/м <sup>2</sup>	%	экз./м <sup>2</sup>	%	г/м <sup>2</sup>	%
<b>Annelida</b>								
1. <i>Oligochaeta</i> gen. sp.	4290,0	66,8	27,6	23,3	4006,0	29,3	28,7	0,4
2. <i>Hirudo</i> sp.	-	-	-	-	227,0	1,7	7,0	0,1
3. <i>Nereis</i> sp.	-	-	-	-	199,0	1,5	0,4	0,1
<i>Всего:</i>	4290,0	66,8	27,6	23,3	4432,0	32,4	36,1	0,6
<b>Arthropoda</b>								
1. Chironomidae gen. sp. lv	284,0	4,4	2,9	2,4	2215,0	16,2	7,9	0,1
2. <i>Gammarus</i> sp.	57,0	0,9	2,2	1,7	142,0	1,0	0,4	0,1

3. <i>Sericostoma personatum</i>	57,0	0,9	0,3	0,2	284,0	2,1	5,4	0,1
4. <i>Isopoda</i> sp.	28,0	0,4	0,1	0,1	-	-	-	-
5. Ceratopogonidae gen. sp.lv	-	-	-	-	85,0	0,6	0,1	0,1
<b>Всего:</b>	<b>426,0</b>	<b>6,6</b>	<b>5,5</b>	<b>4,5</b>	<b>2726,0</b>	<b>20,0</b>	<b>13,7</b>	<b>0,4</b>
<b>Mollusca</b>								
1. <i>Sphaerium rivicola</i>	653,0	10,2	1,5	1,2	57,0	0,4	5,6	0,1
2. <i>Valvata</i> sp.	369,0	5,8	8,6	7,3	540,0	4,0	5,5	0,1
3. <i>Unio pictorum</i>	28,0	0,4	10,8	9,1	141,0	1,0	551,8	10,5
4. <i>Pisidium amnicum</i>	313,0	4,9	8,9	7,6	596,0	4,4	9,3	0,2
5. <i>Bithynia tentaculata</i>	227,0	3,5	25,2	21,2	426,0	3,1	62,3	1,2
6. <i>Dreissena polymorpha</i>	114,0	1,8	30,7	25,8	4289,0	31,4	3938,9	75,2
7. <i>Viviparus</i> sp.	-	-	-	-	455,0	3,3	621,5	11,7
<b>Всего:</b>	<b>1704,0</b>	<b>26,6</b>	<b>85,8</b>	<b>72,3</b>	<b>6504,0</b>	<b>47,6</b>	<b>5195,0</b>	<b>99,0</b>
<b>Итого:</b>	<b>6420,0</b>	<b>100,0</b>	<b>118,9</b>	<b>100,0</b>	<b>13662,0</b>	<b>100,0</b>	<b>5244,8</b>	<b>100,0</b>

Следует отметить, что такие организмы, как *Oligochaeta* gen. sp., *Sphaerium rivicola*, *Valvata* sp., *Pisidium amnicum*, Chironomidae gen. sp. lv, *Bithynia tentaculata*, *Dreissena polymorpha*, *Gammarus* sp., *Sericostoma personatum*, *Unio pictorum*, *Isopoda* sp. были обнаружены в пробах на протяжении всего летнего периода. В то же время, *Isopoda* sp. были отмечены только в пробах в начале лета, а *Hirudo* sp., Ceratopogonidae gen. sp. lv, *Viviparus* sp. и *Nereis* sp. только в конце.

#### **Количественный состав донных биоценозов.**

Количественные показатели (численность и биомасса) зообентоса за исследованный летний период 2023 г. в низовье р. Северная Двина изменялись в широком диапазоне. Минимальные средние значения по численности были отмечены **в начале лета** у железнодорожного моста (104,0 экз./м<sup>2</sup>), а по биомассе в черте г. Новодвинск (3,4 г/м<sup>2</sup>). Максимальные значения зообентоса как по численности, так и по биомассе были отмечены **в конце лета** в черте г. Новодвинск (459,0 экз./м<sup>2</sup> и 359,3 г/м<sup>2</sup>). Средние значения зообентоса по всем исследованным станциям в начале лета составляли: 240,3 экз./м<sup>2</sup> и 5,5 г/м<sup>2</sup> и в конце лета: 336,3 экз./м<sup>2</sup> и 121,5 г/м<sup>2</sup> (табл.2).

Таблица 2 — Осреднённые качественные и количественные показатели (численность и биомасса) зообентоса в низовье р. Северная Двина по станциям за летний период

Станция	Начало лета (июнь)		Конец лета (август)	
	Количественные показатели		Количественные показатели	
	Средняя численность, экз./м <sup>2</sup>	Средняя биомасса, г/м <sup>2</sup>	Средняя численность, экз./м <sup>2</sup>	Средняя биомасса, г/м <sup>2</sup>
Г. Новодвинск	156,0	3,4	459,0	359,3
Д. Гневашево	414,0	4,6	406,0	5,4
Приустьевое взморье	287,0	9,6	366,0	15,2
Железнодорожный мост (левый берег)	104,0	4,6	114,0	106,1
Среднее	240,3	5,5	336,3	121,5

В низовье р. Северная Двина по численности в начале лета доминировали личинки *Oligochaeta* gen. sp. (66,8% от выборки), однако по биомассе они занимали

лишь второе место (23,3%), уступая *Dreissena polymorpha* (25,8%). Значительную биомассу также имели моллюски: *Bithynia tentaculata* (21,2%), *Unio pictorum* (9,1%), *Pisidium amnicum* (7,5%) и *Valvata* sp. (7,3%).

В конце лета *Dreissena polymorpha* полностью доминировала как по численности (31,4%), так и по биомассе (75,2%). Второе и третье место по численности занимали *Oligochaeta* gen. sp. (29,32%) и *Chironomidae* gen. sp. lv (16,2%), а по биомассе моллюски: *Viviparus* sp. (11,7%) и *Unio pictorum* (10,5%). То, что данные донные организмы имеют меньшую численность, но при этом обладают большой биомассой, обуславливается их относительно крупными размерами.

Среди **Annelida**, (самая большая численность в начале лета составляла 66,8% от всей выборки, биомасса – 23,3%; в конце лета численность – 32,4%, биомасса – 0,6%) на протяжении всего периода исследований *Oligochaeta* gen. sp. доминировали как по численности, так и по биомассе. В группе **Arthropoda** (численность в начале лета – 6,6% от всей выборки, биомасса – 4,5%; в конце лета численность – 20,0%, биомасса – 0,4%) в начале и в конце лета *Chironomidae* gen. sp. lv имели наибольшую численность и биомассу, причём в конце лета их численность по процентам выросла в 3,5 раза (4,4% → 16,2%), *Gammarus* sp. и *Sericostoma personatum* в начале лета имели практически одинаковые показатели, однако в конце лета численность *Sericostoma personatum* была в два раза больше (2,1%), чем у *Gammarus* sp. (1,0%), но значения биомассы в процентном соотношении были такими же. У **Mollusca** численность в начале лета – 26,6%, далее идут самые большие значения показателей от всей выборки среди групп гидробионтов, биомасса – 72,3%, в конце лета численность составила – 47,6%, биомасса – 99,0%). В начале лета по численности доминировали *Sphaerium rivicola* (10,2%), но по биомассе (30,7%), а также в конце лета как по численности (75,2%), так и по биомассе (31,4%) доминировали *Dreissena polymorpha*.

Группы гидробионтов, такие как: *Gammarus* sp., *Sericostoma personatum*, *Isopoda* sp., *Hirudo* sp., *Ceratopogonidae* gen. sp. lv, *Nereis* sp., *Viviparus* sp. не показали значений больше 3% как по численности, так и по биомассе.

В целом показатели развития донной фауны на начало лета составляли: численность – 6420,0 экз./м<sup>2</sup>, биомасса – 118,9 г/м<sup>2</sup>, в конце лета: численность – 13662,0 экз./м<sup>2</sup>, биомасса – 5244,8 г/м<sup>2</sup>.

Таким образом, донная фауна низовья Северной Двины в период отбора включала представителей 15 таксонов донных беспозвоночных, объединенных в 3 систематических группы зообентоса. Моллюски характеризовались самым большим количеством видов из всей выборки – 7 видов. Далее шли членистоногие – 5 видов и кольчатые черви – 3 вида. Доминирующими организмами за исследованный период являлись олигохеты (по численности в начале лета) и моллюски *Dreissena polymorpha* (по численности в конце лета и по биомассе за весь период исследований).

*Исследования проведены в ходе выполнения работ по теме Государственного задания лаборатории «Изучение изменений в экосистеме р. Северная Двина и в водоемах особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Европейского северо-востока России в условиях климатических сукцессий и воздействия антропогенных факторов» № гос. регистрации – 122011800593-4.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новосёлов А.П. Видовое и экологическое разнообразие рыб бассейна реки Северная Двина // Экология. Архангельск, 2018. №2. С. 127-136.
2. Гидрологическая изученность. Ресурсы поверхностных вод СССР. Северный край. Л.: Гидрометеиздат, 1972. Т. 3. С.612.
3. Студёнова М.А., Студёнов И.И., Чупов Д.В. Зообентос русла реки Северная Двина // Теоретическая и прикладная экология. Архангельск, 2023. №1. С. 147-154.

## СОХРАНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ ВИДА С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ БУДУЩИХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА: ВЫБОР ЕДИНИЦ ОХРАНЫ (CONSERVATION UNITS) НА ПРИМЕРЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЖЕМЧУЖНИЦЫ

Вихрев И.В.<sup>1</sup>, Кондаков А.В.<sup>1</sup>, Иешко Е.П.<sup>2</sup>, Челпановская О.А.<sup>1</sup>, Болотов И.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, vikhrevilja@gmail.com

<sup>2</sup>Карельский научный центр РАН, г. Петрозаводск

Влияние глобального изменения климата на пресноводные экосистемы хорошо задокументировано [1]. Пресноводные моллюски, населяющие олиготрофные холодноводные водотоки, являются ключевым элементом таких водных экосистем и зависят от постоянства условий окружающей среды, таких как низкие температуры, подходящий субстрат и течение [2]. Узкая экологическая ниша способствует тому, что в итоге такие виды-специалисты столкнутся с многочисленными негативными факторами, вызванными глобальным изменением климата гораздо раньше, чем виды-генералисты [3, 4].

Цель настоящего исследования заключается в том, чтобы выделить популяции европейской жемчужницы *Margaritifera margaritifera* (Linnaeus, 1758), которые подлежат приоритетному сохранению (conservation units), а также изучить потенциальное влияние будущих климатических сценариев на популяционно-генетическую структуру вида. С этой целью мы исследовали популяционно-генетическую дифференциацию и разнообразие *M. margaritifera* в популяциях бассейнов Баренцева, Белого и Балтийского морей на северо-восточной окраине ареала вида и выявили как генетическое разнообразие и популяционная структура будут трансформироваться в условиях различных сценариев изменения климата.

Образцы генетического материала были отобраны у 357 особей пресноводных жемчужниц из 17 популяций, обитающих от Новгородской области на юге до Мурманской области на севере (рис. 1А). Образцы мягких тканей *M. margaritifera* были отобраны нелетальным методом [5]. Все моллюски были возвращены в среду обитания.

Чтобы оценить генетическое разнообразие в популяциях, мы рассчитали ожидаемую и наблюдаемую гетерозиготности (HE, HO), среднее число аллелей на локус (A), аллельное богатство (AR) и значение коэффициента инбридинга (FIS) с помощью программы FSTAT v. 2.9.3 [6]. Распределение мультилокусных генотипов внутри популяций было проверено на отклонение от равновесия Хэди-Вейнберга (HW) с помощью GENEPOP v. 4.7.3 [7]. Вклад каждой популяции в общее разнообразие был рассчитан с помощью программы CONTRIB [8]. Глобальная генетическая дифференциация среди популяций была оценена с помощью индекса фиксации FST [9] в FSTAT v. 2.9.3 и с помощью показателя аллельной дифференциации Йоста (Jost's D) [10] с использованием R-пакета mmod v. 1.3.3 [11].

Алгоритм пространственной байесовской кластеризации, реализованный в POPS [12], был использован для выявления популяционной структуры при текущих и будущих климатических условиях. Экологические и географические переменные были включены в расчеты коэффициента адмиксии на основе корреляции между этими переменными и расчетным происхождением каждой особи [12]. Мы использовали средне-летние температуры (MST) в качестве переменной окружающей среды в POPS. Кроме того, наиболее вероятное количество генетических кластеров было также оценено с помощью дискриминантного анализа главных компонент (DAPC), реализованного в пакете R ADEGENET [13,14].

Влияние будущего изменения климата на генетическую структуру в нашем наборе данных было смоделировано для предполагаемых климатических обстановок в будущем (2081–2100 гг.) в рамках двух репрезентативных сценариев концентрации

углекислого газа в атмосфере (RCP): умеренного RCP 4.5 и экстремального RCP 8.5, смоделированных глобальной климатической моделью HadGEM2-AO [15].

Мы обнаружили, что индексы генетического разнообразия, наблюдаемые в популяциях *M. margaritifera* на северо-востоке Европы, широко варьируют. Наибольшее ожидаемое аллельное богатство и наблюдаемая гетерозиготность были зарегистрированы в популяции Наутсйоки, принадлежащей бассейну Баренцева моря (AR=2,71, HE=0,71, HO=0,63) и расположенной на северном краю глобального распространения вида. Наименьшие значения этих же показателей выявлены в популяции реки Тавайоки (AR=1,77, HE=0,38, HO=0,27), притока Кумского озера, бассейн реки Ковда, Северная Карелия. Все изученные популяции достоверно отклонялись от равновесия Хэйди-Вейнберга. Уникальные аллели были обнаружены в двух разных локусах в самой южной и самой северной популяциях и имели очень низкую частоту (Хоринка: 5,77 и Машйоки: 6,67 соответственно).

Вклады каждой популяции в общую гетерозиготность были проанализированы отдельно, как вклад в генетическое разнообразие, и как вклад в генетическую дифференциацию (рис. 1Г). Самый высокий уровень вклада наблюдался в трех популяциях из бассейна Баренцева моря и в двух популяциях из бассейна Белого моря (Вожма и Лопшеньга). Самый высокий уровень дифференциации наблюдался в популяции Тавайоки, однако очень низкое генетическое разнообразие привело к отрицательному уровню вклада в общую гетерозиготность.

Текущая структура популяции в исследуемом регионе наилучшим образом описывается тремя генетическими кластерами (рис. 1А). Метод байесовской кластеризации выявил четкую генетическую дифференциацию популяций, принадлежащих к бассейну Балтийского моря. Особи, отнесенные к кластеру 3, преобладают исключительно в этих трех популяциях.

Три географически удаленные популяции бассейна Баренцева моря также связаны с одним и тем же, но наиболее широко распространенным кластером 1. Особи из популяций Северной Карелии и южной части бассейна Белого моря представляют собой значительное смешение выявленных генетических кластеров, однако соотношение этих кластеров в этих двух регионах разные. Большинство популяций Карелии принадлежит к кластеру 1 и кластеру 2, тогда как в популяциях бассейна Белого моря кластер 1 представлен совместно с кластером 3. Дифференциация популяций, выявленная по результатам расчетов POPS между бассейном Балтийского моря и остальными популяциями, не подтверждается результатами DAPC (рис. 1Д). Дискриминантный анализ показывает, что генетический состав популяций бассейна Балтийского моря очень близок к таковому в популяциях бассейна Баренцева моря и южной части бассейна Белого моря. Средняя генетическая дифференциация по индексу  $F_{ST}$  во всех изученных популяциях составляет 0,126. Популяция Тавайоки наиболее дивергентна с наибольшим значением по матрице (0,33) от соседней популяции Нурис. Популяции Нуриса, Вожмы и Лопшенги также сильно генетически дифференцированы от других популяций, но генетически очень сходны между собой со значениями от 0,03 между Вожмой и Лопшенгой до 0,08 между Вожмой и Нурисом, несмотря на то что каждая из этих популяций принадлежит к отдельному речному бассейну, впадающему в Белое море. Матрица генетических Jost's D дистанций показывает аналогичную картину генетической дифференциации, но самое высокое значение (0,46) наблюдается между популяциями Нурис и Машйоки. Наблюдаемый характер генетической дифференциации соответствует результатам DAPC, а наибольшая дивергенция популяции Тавайоки согласуется с вкладом этой популяции в общую генетическую дифференциацию по выборке.

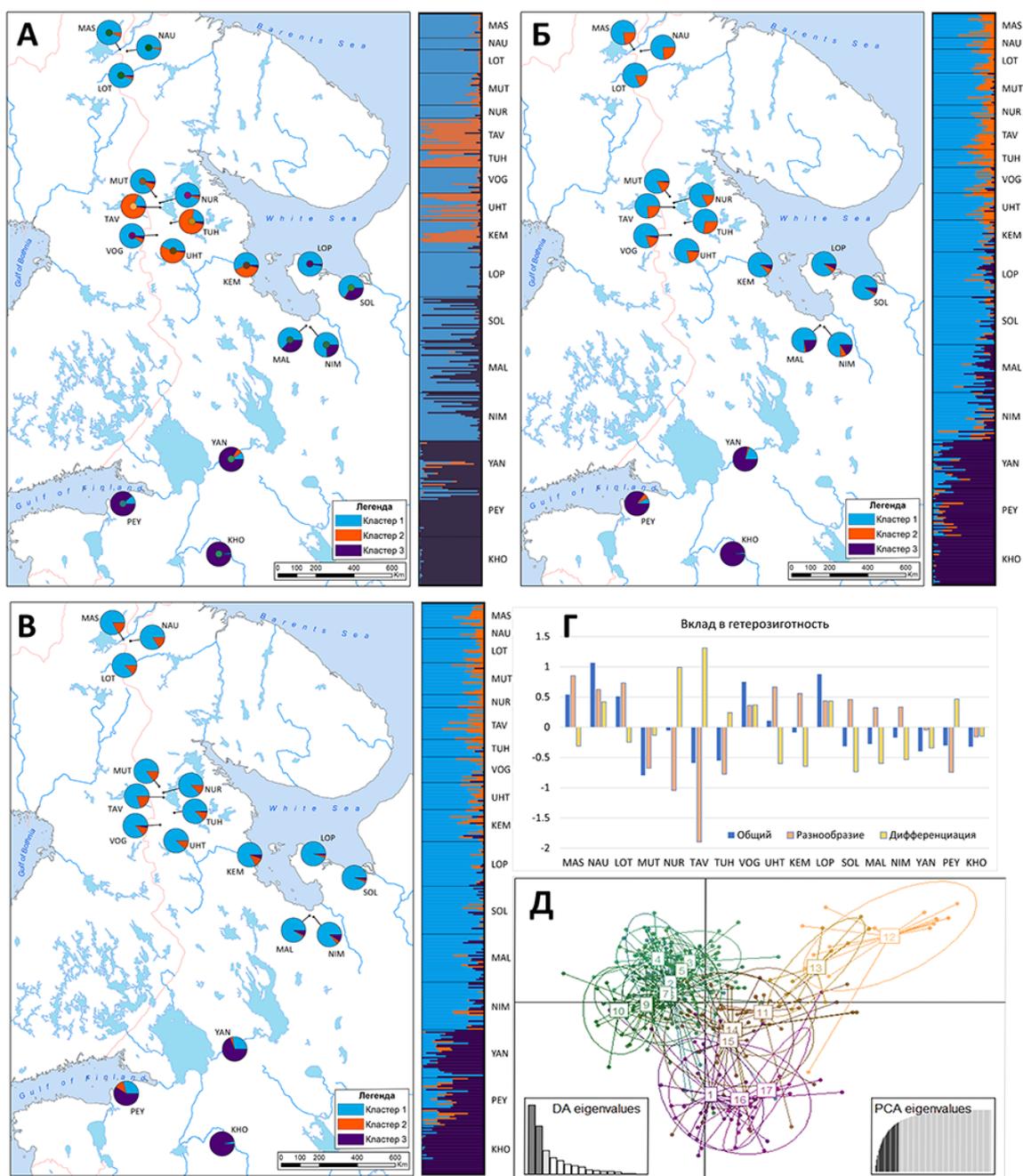


Рис. 1 – Популяционно-генетическая структура европейской жемчужницы на северо-восточном краю ареала по результатам расчетов POPS (А – современное распределение генетических кластеров, цвета точек внутри круговых диаграмм иллюстрируют результаты дискриминантного анализа главных компонент (DAPC); Б – будущее распределение генетических кластеров для сценария RCP 4.5; В – будущее распределение генетических кластеров для сценария RCP 8.5); результаты байесовой кластеризации особей жемчужниц представлены вертикальными диаграммами, средние доли генетических кластеров в каждой популяции представлены круговыми диаграммами) и DAPC (Д); а также вклад каждой популяции в общую гетерозиготность (Г) по результатам расчета CONTRIB. Коды популяций: 1. LOP - Лопшеньга, 2. PEY - Пейпия, 3. YAN - Янега, 4. KHO - Хоринка, 5. SOL - Солза, 6. NIM - Нименьга, 7. MAL - Малошуйка, 8. LOT - Лотга, 9. MAS - Машйоки, 10. NAU - Наутсйоки, 11. MUT - Муткайоки, 12. TAV - Тавайоки, 13. TUH - Тухка, 14. UHT - Ухта, 15. KEM - Кемь, 16. VOG - Вожма, 17. NUR - Нурис.

Текущая популяционная структура европейской жемчужницы в изучаемом регионе, представленная тремя генетическими кластерами, была спрогнозирована в будущее для двух сценариев глобального изменения климата RCP 4.5 (рис. 1Б) и RCP 8.5 (рис. 1В). Сценарий RCP 4.5 предполагает повышение средней летней температуры в районе наших исследований на 2,3 °С в 2081-2100 гг., а RCP 8.5 на 5 °С за тот же период [15]. При обоих сценариях Кластер 1 будет доминировать в большинстве популяций, за исключением популяций из бассейна Балтийского моря, где кластер 3 останется основным. Бассейны рек Кемь и Ковда потеряют значительную часть своего генетического разнообразия. В обоих сценариях популяции бассейна Балтийского моря станут основным рефугиумом, в котором будут сохраняться особи, отнесенные к Кластеру 3.

Учитывая нынешнее генетическое разнообразие и диверсификацию, а также прогноз их динамики в рамках двух сценариев изменения климата в будущем, мы выделили три единицы для сохранения генетического разнообразия (conservation genetic units) вида в пределах изучаемой части ареала: 1) популяции из бассейна Баренцева моря, поскольку они вносят наибольший вклад в генетическое разнообразие вида; 2) популяции бассейнов рек Ковда и Кемь, характеризующиеся уникальной внутриводоемной генетической диверсификацией с дивергентными популяциями в соседних притоках (отдельно следует отметить, что в этой группе популяция реки Тавайоки имеет самый низкий уровень генетического разнообразия среди изученных популяций, и для выяснения причин этого необходимы дальнейшие исследования); 3) популяции бассейна Балтийского моря, представляющие собой уникальный генетический пул, который может исчезнуть из-за воздействия изменения климата.

*Исследования проведены при финансовой поддержке РФФ, проект № 21-74-10130. Мы благодарим наших коллег Ralph Kuehn и Juergen Geist из Мюнхенского Технического университета за неоценимую помощь в получении микросателлитных последовательностей европейской жемчужницы, а также за обсуждение и участие в разработке концепции данного исследования.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Capon S.J., Stewart-Koster B., Bunn S.E. Future of Freshwater Ecosystems in a 1.5°C Warmer World // *Frontiers in Environmental Science*. 2021. Vol. 9. doi:10.3389/fenvs.2021.784642.
2. Geist J. Integrative Freshwater Ecology and Biodiversity Conservation // *Ecological Indicators*. 2011. Vol. 11. P. 1507–1516, doi:10.1016/J.ECOLIND.2011.04.002.
3. Lopes-Lima M., Sousa R., Geist J., et al. Conservation Status of Freshwater Mussels in Europe: State of the Art and Future Challenges // *Biological Reviews*. 2017. Vol. 92. P. 572–607. doi:10.1111/brv.12244.
4. Inoue K., Berg D.J. Predicting the Effects of Climate Change on Population Connectivity and Genetic Diversity of an Imperiled Freshwater Mussel, *Cumberlandia Monodonta* (Bivalvia: Margaritiferidae), in Riverine Systems // *Global Change Biology*. 2017. Vol. 23. P. 94–107. doi:10.1111/gcb.13369.
5. Karlsson S., Larsen B.M., Eriksen L., Hagen M. Four Methods of Nondestructive DNA Sampling from Freshwater Pearl Mussels *Margaritifera margaritifera* L. (Bivalvia:Unionoida) // *Freshwater Science*. 2013. Vol. 32. P. 525–530. doi:10.1899/12-079.1.
6. Goudet, J. FSTAT (Version 1.2): A Computer Program to Calculate F-Statistics // *Journal of Heredity*. 1995. Vol. 86. P. 485–486. doi:10.1093/OXFORDJOURNALS.JHERED.A111627/2/86-6-485.PDF.GIF.
7. Raymond, M., Rousset, F. GENEPOP (Version 1.2): Population Genetics Software for Exact Tests and Ecumenicism // *Journal of Heredity*. 1995. Vol. 86. P. 248–249. doi:10.1093/OXFORDJOURNALS.JHERED.A111573.

8. Petit, R.J., El Mousadik, A., Pons, O. Identifying Populations for Conservation on the Basis of Genetic Markers // *Conservation Biology*. 2008. Vol. 12. P. 844–855. doi:10.1111/j.1523-1739.1998.96489.x.
9. Weir, B.S., Cockerham, C.C. Estimating F-statistics for the Analysis of Population Structure // *Evolution* (NY). 1984. Vol. 38. P. 1358–1370. doi:10.1111/J.1558-5646.1984.TB05657.X.
10. Jost, L. GST and Its Relatives Do Not Measure Differentiation // *Molecular Ecology*. 2008. Vol. 17. P. 4015–4026, doi:10.1111/J.1365-294X.2008.03887.X.
11. Winter, D.J. Mmod: An R Library for the Calculation of Population Differentiation Statistics // *Molecular Ecology Resources*. 2012. Vol. 12. P. 1158–1160. doi:10.1111/J.1755-0998.2012.03174.X.
12. Jay, F., François, O., Durand, E.Y., Blum, M.G.B. POPS: A Software for Prediction of Population Genetic Structure Using Latent Regression Models // *Journal of Statistical Software*. 2015. Vol. 68. P. 1–19. doi:10.18637/JSS.V068.I09.
13. Jombart, T., Bateman, A. Adegnet: A R Package for the Multivariate Analysis of Genetic Markers // *Bioinformatics*. 2008. Vol. 24. P. 1403–1405. doi:10.1093/BIOINFORMATICS/BTN129.
14. Jombart, T., Devillard, S., Balloux, F. Discriminant Analysis of Principal Components: A New Method for the Analysis of Genetically Structured Populations // *BMC Genetics*. 2010. doi:10.1186/1471-2156-11-94.
15. Baek, H.J., Lee, J., Lee, H.S. et al. Climate Change in the 21st Century Simulated by HadGEM2-AO under Representative Concentration Pathways // *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*. 2013. Vol. 49. P. 603–618. doi:10.1007/S13143-013-0053-7/METRICS.

## **МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ПОПУЛЯЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЫБ ВОЛЖСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И УСИЛЕНИЯ ПРОМЫСЛОВОЙ НАГРУЗКИ В ПЕРИОД С 1980-Х ПО 2020-Е ГГ.**

*Герасимов Ю.В., Соломатин Ю.И., Базаров М.И., Цветков А.И.*

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, пос. Борок, Некоузский р-он, Ярославская обл., gu@ibiw.ru

Регистрируемое в настоящее время потепление климата совпало по времени со значительными социальными преобразованиями в РФ. Это в значительной степени осложнило разделение влияния антропогенных и естественных факторов ставших причиной заметных изменений в рыбных сообществах промысловых водоемов, в том числе и водохранилищ волжского каскада. Потепление привело к трансформации циклов биогенных элементов (С, N, P), увеличению концентрации растворенного в воде органического вещества, снижению прозрачности и содержания кислорода. Это привело к существенным изменениям в структуре и динамике планктона и бентоса: сместились ключевые даты развития доминантных популяций в сезонном цикле, возросла “пиковая” численность главных доминантов [4]. Все это в значительной мере повлияли на качество среды обитания рыб. Социальные преобразования привели к снижению контроля над рыбным промыслом, что стало следствием увеличения интенсивности нелегального изъятия рыбы [1-7], повлиявшего на структуру и обилие рыбного населения волжских водохранилищ.

Результаты проведенного исследования показали, что общей для волжских водохранилищ тенденцией в рыбном промысле является снижение годового вылова за счет уменьшения уловов осетровых, крупного частика и хищников, входящих в эту

категорию. Но, при этом, возросли объемы добычи мелкого частика. Там, где уловы мелкого частика компенсируют снижение вылова крупного частика, наблюдается увеличение или относительное постоянство общих уловов, в остальных случаях они имеют тенденцию к снижению. Эти изменения определяют снижение и качественных, с коммерческой точки зрения, показателей промысла, что обусловлено исчезновением из уловов осетровых и замещением в них более ценных видов из категории крупного частика видами мелкого частика.

Сходные тенденции наблюдаются и в структуре научно-исследовательских траловых уловов. В них наблюдаются сходные тенденции снижения общего вылова за счет снижения доли осетровых, крупного частика и уловов хищников, входящих в эту категорию. Однако, не все так однозначно с траловыми уловами мелкого частика. Обусловлено это тем, что практически все массовые виды из этой категории предпочитают пойменные участки водохранилищ, где траления донным тралом имеют определённые ограничения из-за малых глубин и остатков древесной растительности.

Факт увеличения в рыбном населении водохранилищ доли видов из категории мелкого частика более очевиден при анализе промысловых уловов, поскольку основным в настоящее время видом промысла является лов ставными сетями. Сетной лов приурочен в основном к пойменным участкам водохранилищ, которые и предпочитают видами из мелкого частика. Еще одной причиной этого может быть переориентация промысла на эти виды в связи со снижением запасов видов из категории крупного частика.

Совпадение данных промысловой статистики и научно-исследовательских траловых уловов указывает на объективность полученных данных.

Сравнение видового состава научно-исследовательских уловов пелагического трала на Волжских водохранилищах в 1980-е и 2010-е гг. показали, что их возрастание в пелагиали произошло только за счет вселения в волжские водохранилища черноморско-каспийской тюльки, ставшей доминантным видом в пелагических скоплениях рыб. На её долю в настоящее время приходится 95–100% от общего числа рыб в пелагиали. Доля в уловах пелагического трала рыб других видов, как крупного, так и мелкого частика в 2010-е гг. значительно снизилась. Основной причиной этого является высокая конкурентная способность тюльки, позволяющая ей лимитировать численность других видов, представленных в основном молодью карповых и окуневых рыб, и не связано со снижением естественного воспроизводства популяций этих видов.

Гидроакустические исследования показали, что ихтиомасса в пелагиали всех волжских водохранилищ в 2010-е гг. снизилась многократно. Различия с данными съемки пелагическим тралом обусловлены тем, что тралом облавливается определенный горизонт, где наблюдаются повышенные концентрации рыбы, тогда как эхолот регистрирует рыбу во всей толще. Это позволяет сделать вывод о том, что в 2010-е гг. средние показатели ихтиомассы в расчете на всю водную толщу снизились в несколько раз.

Гидроакустические исследования в слое распространения бати-пелагических рыб показали сходство с результатами уловов научно-исследовательским донным тралом. Только в Угличском и Ивановском водохранилищах, где в 2000-е гг. был запрещен рыбный промысел, наблюдается повышение численности придонных рыб. В открытых плесах остальных водохранилищ ихтиомасса бати-пелагических рыб снизилась многократно.

На фоне снижения общей ихтиомассы в период 1980-х и 2010-х гг. произошли изменения и в пространственном распределении рыб. В настоящее время на всех Волжских водохранилищах минимальные ихтиомассы наблюдаются в приплотинных участках и верховьях речных участков, где условия для озерных и озерно-речных теплолюбивых видов рыб, составляющих основу рыбного населения волжских водохранилищ, менее благоприятные. В 1980-е гг., при высоких ихтиомассах, часть

рыб в результате конкурентных отношений вынуждена была осваивать и эти участки. В 2010-е гг., в результате многократного снижения ихтиомассы, ёмкость участков в средней части водохранилищ с более благоприятными условиями позволят основной массе рыб концентрироваться на них.

Естественные причины, основной из которых в исследуемый период стало потепление климата, оказали менее значимое воздействие на состояния рыбного населения Волжских водохранилищ. Негативное воздействие потепления климата критически сказалось только на численности холодноводных и оксифильных видов, что особенно заметно в Верхневолжских водохранилищах, где доля таких видов рыб значительно выше, чем в водохранилищах Средней и Нижней Волги. Потепление способствовало быстрому расселению в 1990-е и 2000-е гг. в водохранилищах Средней и Верхней Волги южных видов. Например, черноморско-каспийской тюльки, её вселение и последующее доминирование способствовало существенному изменению структуры и трофических связей в пелагических скоплениях рыб волжских водохранилищ.

*Работа проведена в рамках государственного задания Рег. № НИОКТР 121051100104-6 «Биоразнообразие, структура и функционирование пресноводных рыб континентальных водоемов и водотоков».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барабанов В.В., Ткач В.Н., Шипулин С.В. Опыт оценки неучтенного изъятия полупроходных и речных видов рыб в Астраханской области // Вестник АГТУ. Сер.: Рыбное хозяйство. 2017. № 2. С. 18–25.
2. Герасимов Ю.В., Бражник С.Ю., Стрельников А.С. Динамика структурных показателей популяции леща *Abramis brama* (Cyprinidae) Рыбинского водохранилища за период 1954–2007 гг. // Вопросы ихтиологии. 2010. Т. 50. № 4. С. 515–525.
3. Герасимов Ю.В., А.С. Стрельников, С.Ю. Бражник. Динамика и состояние запасов рыб Рыбинского водохранилища за период 1950–2010 гг. // Вопросы ихтиологии. 2013. Т. 53. № 4. С. 465–478.
4. Лазарева В.И., Минеева Н.М. Жданова С.М. Пространственное распределение планктона в водохранилищах Верхней и Средней Волги в годы с различными термическими условиями // Поволжский экологический журнал. 2012. № 4. С. 394–407.
5. Левашина Н.В. Состояние запасов судака в дельте Волги // Волга и ее жизнь: сборник тезисов докладов Всероссийской конференции. Ин-т биологии внутр. вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок, 22–26 октября 2018 г. Ярославль: Филигрань. 2018. С. 86–87.
6. Левашина Н.В., Иванов В.П. Промысловое использование популяции леща (*Abramis brama* Linnaeus, 1758) в Волго-Каспийском районе // Вестник АГТУ. Сер.: Рыбное хозяйство. 2014. № 2. С. 37–49.
7. Шашуловский В.А., Мосияш С.С. Опыт оценки неучтенного промыслового вылова рыбы (на примере Волгоградского водохранилища) // Рыбное хозяйство. 2003. № 4. С. 44–46.

## ПЕРВОНАХОДКА МАЛИНЫ САХАЛИНСКОЙ (*RUBUS SACHALINENSIS* LEVL) В ПОСЁЛКЕ ТИКСИ (АРКТИЧЕСКАЯ ЯКУТИЯ)

Гладышева М.Ю.

ФГБУ Государственный природный заповедник «Усть-Ленский», пос. Тикси,  
vetiksi887@yandex.ru

В августе 2023 г. в пос. Тикси была впервые обнаружена малина сахалинская (*Rubus sachalinensis* Levl). Ранее северная граница распространения проходила по югу Хараулахского хребта и кряжу Чекановского [1]. В работах по флоре пос. Тикси и его окрестностей данный вид не упоминается [2–5].

Кустарник до 1,2 м высотой, побеги густо покрыты шипами и стебельчатыми железками. Листья тройчатые, сверху рассеяно-волосистые, железистые или почти голые, снизу беловойлочные. Листочки продолговато-яйцевидные или широколанцетные, заостренные, неравнопильчатые. Соцветия пазушные или верхушечные, немногочетковые. Лепестки белые, короче чашелистиков. Плод – сложная красная костянка. Произрастает в хвойных лесах, на закустаренных каменисто-щебнистых склонах, по берегам рек. Малина сахалинская является лекарственным растением, плоды съедобные [6, 7].



Рис. 1– Замеры высоты кустарника

Кустарник найден на участке с рудеральной растительностью на щебнисто-мелкоземистом субстрате между двумя заброшенными домами по улице 50 лет СМП в точке с координатами N 71°38,345' E 128°51,767' (рис. 1). Стены домов способствуют созданию благоприятного гидротермического режима, прикрывая от господствующих зимой ветров западных румбов и задерживая снег.

Произведены замеры куста, выполнены фотографии и отобран материал для гербария. Видовую принадлежность растения определил д.б.н. Е.Г.Николин.

Высота прямостоячего кустарника 58 см, наибольший диаметр куста 110 см (рис.1, 2). Имеются многочисленные мелкие шипы на побегах, цветоносах, черешках и жилках листьев с нижней стороны. Цветы с белыми лепестками собраны в малоцветковые кисти, цветоносы, цветоножки и чашелистики густо покрыты иглами и волосками. Плоды отсутствуют. Листья тройчатые, сверху голые, снизу беловойлочные, заостренные, по краю неравнопильчатые (рис. 3, 4).



Рис. 2 – Замеры диаметра кустарника



Рис. 3 – Вид листьев сверху



Рис. 4 – Вид листьев с нижней стороны, цветы, малоцветковые кисти

Предположительно семена *Rubus sachalinensis* Levl занесены человеком, животными или естественными агентами (водными потоками или ветрами).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Растительный и животный мир дельты реки Лены / Ю.В. Лабутин, В.И. Перфильева, Ю.В. Ревин и др./ Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1985.С. 39.
2. Секретарева Н.А., Сытин А.К. Мониторинг флоры окрестностей бухты Тикси (Арктическая Якутия) // Бот. журн., 2006. Т. 91, № 1. С. 3-22.
3. Николин Е.Г., Якшина И.А. Инвазия чужеродных видов растений в арктические экосистемы пос. Тикси (Якутия) // Изучение адвентивной и синантропной флор России и стран ближнего зарубежья: итоги, проблемы, перспективы. Материалы V международной научной конференции. 6-8 сентября 2017, Ижевск / Под ред. О.Г. Барановой и А.Н. Пузырева. М.; Ижевск: АНО «Ижевский институт компьютерных исследований», 2017. С. 141-144.
4. Николин Е.Г., Якшина И.А. Внедрение бореальных элементов флоры в Арктическую Якутию (пос. Тикси) // Экологический вестник Северного Кавказа, 2017. Т. 13, № 3. С. 36-37.
5. Николин Е.Г., Якшина И.А. Находки новых видов сосудистых растений в пос. Тикси (Арктическая Якутия) // Проблемы изучения растительного покрова Сибири. Тр. VII Международной научной конф., посвященной 135-летию Гербария им. П.Н. Крылова Томского государственного университета и 170-летию со дня рождения П.Н. Крылова. Томск: Изд-во Национальный исследовательский Томский государственный университет. Томск, 2020. С. 88-90.
6. Определитель высших растений Якутии / Е.А. Афанасьева, К.С. Бойков, А.А. Бобров и др. / 2-е изд., перераб. и доп. М.: Товарищество научных изданий КМК Новосибирск: Наука, 2020. С. 525.
7. Флора Сибири. Rosaceae / Под ред. А.В. Положий, Л.И. Малышева / Новосибирск: Наука, Сиб.отд-ние, 1988. С. 33.

#### **ФАУНА БУЛАВОУСЫХ ЧЕШУЕКРЫЛЫХ (LEPIDOPTERA: RHOPALOCERA) НЕКОТОРЫХ РАЙОНОВ ЧУКОТСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА**

*Желудкова А. А.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова РАН, г. Архангельск, vlasowaalisa@yandex.ru

Практически все районы РФ полноценно исследованы в фаунистическом плане по дневным чешуекрылым. Первые очерки и путевые заметки по Чукотке появились в начале 20 века. Современные исследования Rhopalocera продолжают накапливать информацию по фауне булавоусых чешуекрылых в Чукотском Автономном округе.

Сбор насекомых проводился в летние периоды 2013г. Макаровой О. и Бабенко А., Рыбалкиным С. (в окрестностях с. Лорино, с. Лаврентия, с. Яндагай); в 2017г. Болотовым И.Н., Гофаровым М.Ю., Вихревым И.В. (в окрестностях пос. Угольные Копи и пос. Анадырь) и в 2019 г. Кондаковым А.В., Аксеновой О.В., Вихревым И.В. и Новоселовым А.П. (в окрестностях пос. Амгуэма - оз. Чировое и оз. Тишина). Почти по всей территории преобладает горный рельеф, в приморской части и по долинам рек находятся низменности, крупнейшая из которых – Анадырская. На территории населённых пунктов отмечаются рудеральные типы местообитаний.

Материал хранится в коллекциях Российского музея центров биологического разнообразия Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова РАН (г. Архангельск).

Села Лорино, Яндагай и Лаврентия расположены на берегу Берингова моря Тихого океана (Мечигменский залив) в восточной части Чукотского полуострова. Территория исследования представляет собой низкое нагорье с узкими участками приморских равнин в зоне субарктического и арктического морского климата [1,2,3]. По долинам рек распространены типичные тундры, на склонах и вершинах гор – лишайниковые тундры и гольцы [3,4]. В силу благоприятных климатических факторов Чукотка неоднократно подвергалась оледенению [5,6].

Фауна востока Чукотки представлена семействами Nymphalidae и Satyridae (суммарно 69% от общего числа видов). К семейству Nymphalidae принадлежит самый насыщенный видами род *Clossiana* – 5 видов, род *Voloria* – 1 вид, род *Erebia* включает 5 видов. У семейств Pieridae и Papilionidae одинаковое процентное соотношение (12,5% соответственно от общего числа видов) и включают в себя по два вида для каждого семейства. На долю семейства Lycaenidae приходится всего 6% и род представлен всего одним видом булавоусых чешуекрылых. На востоке Чукотского Автономного округа нами было зарегистрировано 16 видов дневных бабочек. Доминирующим по численности являются виды *Clossiana freija* (11 экз.) и *Clossiana butleri* (8 экз.), что связано типичным местообитанием этих бабочек. Обилие в сборах *Pieris bryoniae* связано скорее всего с тем, что отлов насекомых проводился в окрестностях населенных пунктов. «Нимфалоидные» черты Субарктики являются закономерностью для фауны булавоусых чешуекрылых, что находит отражение во многих фаунистических списках [7,8,9]. Представители семейства Hesperidae отсутствуют.

Ареалографическую структуру фауны булавоусых чешуекрылых полевых сборов Чукотки рассматриваем в долготном и широтном комплексах. Долготная составляющая характеризует расположение границ распространения видов по отношению к меридиональным рубежам. По долготной характеристике ареала основу изучаемой фауны составляют виды трансголарктической группы (12 видов, 75% от всей фауны). Вторую часть фауны составляют широко распространенные транспалеарктические виды (4 вида, 25%).

Ареал трансголарктической группы протягивается от запада Евразии и Северной Африки до восточного побережья Северной Америки. К ней относятся *Parnassius phoebus*, *Colias palaeno*, *Vacciniina optilete*, *Oeneis melissa*, *O. polixenes*, *Erebia rossi*, *E. disa*, *Clossiana improba*, *C. frigga*, *C. butleri*, *C. polaris*, *C. freija*.

Транспалеарктические *Parnassius evermanni*, *Pieris bryoniae*, *Erebia dabanensis* и *Voloria aquilonaris* распространены на большой территории с запада на восток от Британских островов и Северной Африки до Сахалина, Японии, Курил, Камчатки и Чукотки.

В широтные ареальные группы объединяют виды со сходным расположением границ распространения относительно климатических поясов, зон, растительности. Главным фактором здесь является теплообеспеченность территории [10,11]. Дневных чешуекрылых фауны Чукотки разделили на 3 широтных комплекса: арктический, гипоарктический и бореальный. В процентном соотношении существенно доминирует гипоарктическая группа 62%, менее – арктическая группа 25% и бореальная группа 13%.

Представители арктического комплекса *Clossiana polaris*, *C. improba*, *C. butleri* и *Oeneis polixenes* наиболее успешно освоили суровые северные территории, заселяя зональные травяно–кустарничково–моховые сообщества, низкогорные ерниковые и ивняковые тундры, а так же горные вершины с мохово–кустарничковыми и мохово–травяными сообществами в северной части типичных тундр [12]. Особенность арктической фауны дневных бабочек в том, что число видов в ней примерно вдвое ниже, чем в

расположенной южнее гипоарктической фауны при наличии в типичных и северных тундрах *C. chariclea*, *C. improbe*, *O. poluxene*, не заходящих в лесотундру.

Гипоарктический комплекс включает в себя 10 видов булавоусых чешуекрылых: *Parnassius phoebus*, *Clossiana frigga*, *C. freija*, *Boloria aquilonaris*, *Colias palaeno*, *Vacciniina optilete*, *Erebia rossi*, *E. disa*, *E. dabanensis* оптимум распространения которых наблюдается в пределах подзоны южной тундры, полосы лесотундры и крайнесеверной тайги, приурочены к мохово–кустарничковым и мохово–лишайниковым тундрам на горных склонах [13]. *Oeneis melissa* является высокогорным видом, обитающий на лишайниково–каменистых тундрах.

Бабочки бореальной группы *Pieris bryoniae* и *Parnassius evermanni* имеют тундрово–лесной (мезогигрофильный) тип предпочтения и экологически связаны со мохово–лишайниковыми и ерниковыми тундрами (табл. 1).

Таблица 1 – Ареалографическая структура фауны булавоусых чешуекрылых некоторых районов Чукотского автономного округа

№	Вид	Число экз.	Долготный комплекс	Ландшафтно–зональная группа
<b>Papilionidae</b>				
1	<i>Parnassius phoebus</i> (Fabricius, 1793)	2	Трансголарктический	Гипоарктическая группа
2	<i>Parnassius evermanni</i> (Menetries, 1850)	1	Транспалеарктический	Бореальная группа
<b>Pieridae</b>				
3	<i>Colias palaeno</i> (Linnaeus, 1761)	1	Трансголарктический	Гипоарктическая группа
4	<i>Pieris bryoniae</i> (Hübner, 1806)	7	Транспалеарктический	Бореальная группа
<b>Lycaenidae</b>				
5	<i>Vacciniina optilete</i> (Knoch, 1781)	1	Трансголарктический	Гипоарктическая группа
<b>Nymphalidae</b>				
6	<i>Oeneis melissa</i> (Fabricius, 1775)	3	Трансголарктический	Гипоарктическая группа
7	<i>Oeneis polixenes</i> (Fabricius, 1775)	2	Трансголарктический	Арктическая группа
8	<i>Erebia rossi</i> (Curtis, 1834)	4	Трансголарктический	Гипоарктическая группа
9	<i>Erebia dabanensis</i> (Erschoff, 1871)	3	Транспалеарктический	Гипоарктическая группа
10	<i>Erebia disa</i> (Thunberg, 1791)	3	Трансголарктический	Гипоарктическая группа
11	<i>Clossiana improba</i> (Butler, 1877)	2	Трансголарктический	Арктическая группа
12	<i>Clossiana frigga</i> (Thunberg, 1791)	5	Трансголарктический	Гипоарктическая группа
13	<i>Clossiana butleri</i> (Edwards, 1883)	8	Трансголарктический	Арктическая группа
14	<i>Clossiana polaris</i> (Boisduval, 1829)	1	Трансголарктический	Арктическая группа
15	<i>Clossiana freija</i> (Thunberg, 1791)	11	Трансголарктический	Гипоарктическая группа
16	<i>Boloria aquilonaris</i> (Stichel, 1908)	2	Транспалеарктический	Гипоарктическая группа

На территории некоторых населенных пунктов Чукотского Автономного округа выявлено 16 видов дневных чешуекрылых. Основу населения *Rhopalocera* исследованных локалитетов составляют широко распространенные виды, относящиеся к арктическому, гипоарктическому и бореальному комплексу, населяющие подзоны южной тундры, полосы лесотундры и крайнесеверной тайги. В целом фауна булавоусых является типичной для подзоны северных гипоарктических тундр, видовое разнообразие которых сформировано комплексом природных, климатических и антропогенных факторов на востоке Чукотки.

*Исследования проведены при финансовой поддержке программы Министерства науки и высшего образования РФ (№ гос. регистрации АААА–А17–117033010132–2).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Пармузин С.Ю. Дальний Северо–Восток // Физико–географическое районирование СССР / Под ред. Н.А. Гвоздецкого. М., Наука, 1968, С. 481–503.
2. Кобышева Н.В. Климат России. СПб., Гидрометеиздат, 2001, 654 с.
3. Маслаков А.А. Динамика берегов Берингова моря в районе поселка Лорино (Чукотский Автономный округ). Криосфера Земли, т. XXIII, № 1, 2019. С. 28–39.
4. Исаченко А.Г. Ландшафты СССР. Л., Изд–во Ленингр. ун–та, 1985, 320 с.
5. Ананичева М.Д., Маслаков А.А., Антонов Е.В. Деградация объектов криосферы в районе залива Лаврентия, Восточная Чукотка // Арктика и Антарктика. № 3. 2017. С. 17 – 29.
6. Иванов В. Ф. Четвертичные отложения побережья Восточной Чукотки. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1986. 140 с.
7. Татаринов А.Г., Кулакова О.И. Локальные фауны булавоусых чешуекрылых (Lepidoptera: Papilionoidea, Hesperioidea) Европейского Севера России: Падимейские озера, верхнее течение р. Большая Роговая // Вестн. Помор. ун–та. Сер.: Естеств. науки. № 1. 2010. С. 72–80.
8. Татаринов А.Г., Кулакова О.И. Структура и пространственная дифференциация фауны дневных чешуекрылых (Lepidoptera: Rhopalocera) Европейского Северо–Востока России // Вестник ИБ Коми НЦ УрО РАН. № 3. 2016. С.2–11.
9. Власова А.А., Потапов Г.С. Предварительное сообщение о булавоусых чешуекрылых (Lepidoptera: Rhopalocera) рудеральных местообитаний в низовьях р. Оби // Евразийский энтомол. журнал 17(5). 2018. С. 357–361.
10. Городков К.Б. Типы ареалов насекомых тундры и лесных зон европейской части СССР// Ареалы насекомых европейской части СССР. Л., 1984. С. 3–20.
11. Чернов Ю. И. Природная зональность и животный мир суши. – М.: Мысль, 1975. 222 с.
12. Чернов Ю.И., Татаринов А.Г. Дневные бабочки в фауне Арктики // Зоол. журн. Т. 85. № 10. 2006. С. 1205–1229.
13. Коршунов Ю.П. Булавоусые чешуекрылые Урала, Сибири и Дальнего Востока. Определитель и аннотации. Новосибирск. 2000. 218 с.

## СВЕДЕНИЯ ОБ ИХТИОФАУНЕ РЕКИ УУЛААХ-МУНА (СЕВЕРО-ЗАПАДНАЯ ЯКУТИЯ) НА НАЧАЛЬНЫХ ЭТАПАХ ОСВОЕНИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ

*Иванов Е.В.*

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск, xdiev@yandex.ru

Горнодобывающая промышленность активно развивается на территории Якутии и имеет большое значение для экономики страны. С каждым годом вовлекаются новые территории, поэтому все большую актуальность представляют сведения об исходном природном состоянии всех ее компонентов, в том числе и рыб. Одной из таких вновь осваиваемых территорий является бассейн р. Уулаах-Муна, притока р. Муна и далее р. Лена.

Для изучения видового состава рыб данной реки были проведены ихтиологические съемки в районе впадения правого притока р. Онгхой с 13 по 23 июля 2018 г. Материал собирался из сетных орудий лова с ячеей 10-45мм, мальковой волокушей, также отбирался сачком из газа. Обработка материала осуществлялись по общепринятым в ихтиологии методикам [1, 2]. Для идентификации гольянов применялся метод просчета жаберных тычинок на двух сторонах первой жаберной дуги (Sp.br.ext, Sp.br.int.), позвонков (Vert.), куда были включены позвонки Веберова аппарата (Vweb.), количество позвонков в туловищном (Va), переходном (Vi) – все они отнесены нами к туловищному отделу и в хвостовом (Vc) отделах позвоночного столба [3].

В верховьях реки Муна и его притоков, таких как Уулаах-Муна, обитают преимущественно реофильные рыбы бореально-предгорного фаунистического комплекса. Ранее (2007-2008 г.г.) было установлено обитание 11 видов рыб [4]. Из них нами в р. Уулаах-Муна в 2018 г. было поймано и исследовано 4 вида, а также был обнаружен новый вид - гольян Чекановского

*Гольян Чекановского* встречался на участке реки Уулаах-Муна в районе впадение р. Онгхой. В устьевой части р. Уулаах-Муна встречаемость его визуально была ниже. Разновозрастные рыбы (табл. 1) образовывали совместные стайки с речным гольяном. В наших уловах присутствовали гольяны длиной (SL) 4,60-8,42 см в среднем – 6,60±0,27 см. Из 25 промеренных рыб отмечен только 1 самец: SL – 5,44 см, масса - 1,45 г, возраст – 3+ года. Все самки в возрасте 3+ и старше были с частично выметанными половыми продуктами (стадия VI-III).

Отмечается, что по биологии близок к обыкновенному гольяну, обитающему в речках и ручьях. Например, в бассейне Амура - типичный реофил, обитает в небольших реках. В других местах живет как в речках, так и в пойменных озерах. Нерестится в начале июня в речках, в протоках и в озерах. Самцы становятся половозрелыми при длине 5,2-5,8 см, самки - 7,1 см [5, 6]. В условиях верхнего течения реки Муны, как показывают наши данные, самки становятся половозрелыми при достижении длины (SL) 5,11 см.

Специфической чертой гольяна Чекановского, по сведениям И.В. Зуева [7], является не характерное для других видов различие в продолжительности жизни самцов и самок. Поэтому максимального для популяции возраста достигали только самки, самцы старше пяти (4+) лет в уловах им не отмечены. Этим можно объяснить значительное преобладание самок в половой структуре гольяна Чекановского в р. Уулаах-Муна. Линейные размеры гольяна Чекановского в бассейне р. Енисей варьируют в пределах 2,12-13,09 см, масса – от 1,1 до 21,4 г. Гольян верхнего течения р. Муна не достигает предельных для вида размеров и становится половозрелым при меньшей длине. На рассматриваемых биотопах является вторым по численности видом рыб.

Таблица 1 - Размерно-возрастная характеристика голяна Чекановского р. Уулаах-Муна

Возраст, год	N, экз.	FL, см	SL, см	Масса, г
2+	4	$\frac{5,16-5,77}{5,60\pm 0,15}$	$\frac{4,60-5,09}{4,95\pm 0,12}$	$\frac{1,63-2,16}{1,92\pm 0,11}$
3+	6	$\frac{5,72-6,40}{5,96\pm 0,10}$	$\frac{5,11-5,65}{5,27\pm 0,09}$	$\frac{1,45-2,71}{2,11\pm 0,17}$
4+	2	$\frac{6,76-6,86}{6,81\pm 0,05}$	$\frac{6,04-6,06}{6,05\pm 0,01}$	$\frac{3,48-3,54}{3,51\pm 0,03}$
5+	13	$\frac{8,13-9,58}{8,88\pm 0,14}$	$\frac{7,18-8,42}{7,80\pm 0,11}$	$\frac{6,28-10,9}{7,88\pm 0,37}$
Общее	25	$\frac{5,16-9,58}{7,49\pm 0,31}$	$\frac{4,60-8,42}{6,60\pm 0,27}$	$\frac{1,45-10,9}{5,19\pm 0,61}$

Примечание: здесь и далее FL – длина по Смитту, SL – длина до конца чешуйного покрова, над чертой колебание признака, под чертой среднее значение  $\pm$  ошибка средней

*Речной голян* в июле является основной по встречаемости рыбой на данном участке. Визуально отмечались скопления речного голяна на перекатах, где он находит убежища среди валунов. Известно, что вид предпочитает участки реки с быстрым течением, где концентрируется чаще в прибрежных участках и в устьях впадающих речек и ручьев. В наших уловах отмечены рыбы в возрасте от 2+ до 5+ лет (табл. 2). Соотношение полов практически одинаковое (20 самок:17 самцов). 4 экземпляра были неполовозрелыми.

Состояние половых продуктов рыб варьировало от ювенальной (неполовозрелой) стадии до стадии выметанных половых продуктов. Наиболее часто встречаются рыбы в III стадии зрелости гонад (50%).

Таблица 2 - Размерно-возрастная характеристика речного голяна р. Уулаах-Муна

Возраст, год	N, экз.	FL, см	SL, см	Масса, г
2+	3	$\frac{5,27-5,70}{5,54\pm 0,14}$	$\frac{4,70-5,28}{5,08\pm 0,19}$	$\frac{1,48-2,16}{1,74\pm 0,21}$
3+	18	$\frac{5,80-6,60}{6,24\pm 0,06}$	$\frac{5,28-6,00}{5,73\pm 0,05}$	$\frac{1,92-2,67}{2,26\pm 0,06}$
4+	13	$\frac{6,56-6,86}{6,73\pm 0,03}$	$\frac{6,02-6,32}{6,18\pm 0,03}$	$\frac{2,59-3,92}{3,43\pm 0,12}$
5+	7	$\frac{7,08-7,63}{7,26\pm 0,07}$	$\frac{6,46-7,04}{6,66\pm 0,07}$	$\frac{2,86-5,03}{4,24\pm 0,19}$
Общее	41	$\frac{5,27-7,63}{6,52\pm 0,08}$	$\frac{4,70-7,04}{5,98\pm 0,07}$	$\frac{1,48-4,07}{2,58\pm 0,09}$

*Сибирский усатый голец* предпочитает быстротекучие воды, поэтому населяет, главным образом, небольшие речки с быстрым течением и песчано-галечниковым дном, в которых он доходит до истоков. Так и в р. Уулаах-Муна обычный, но немногочисленный вид. На данном участке реки держится разрозненно. Всего нами отмечено только 2 экз.

*Острорылый ленок* встречается в реке Муна от низовьев до самых верховьев, включая притоки [4]. Нами в июле в районе впадения р. Онгхой в Уулаах-Муна были пойманы 1 отнерестившаяся самка ленка и несколько сеголетков (табл. 3). Сеголетки ленка также были отмечены нами в р. Муна после слияния Уулаах-Муна и Улахан-Муна.

После нереста ленок на некоторое время остается вблизи нерестилища и только при резком снижении уровня воды покидает притоки и выходит в основные реки. Из мелководных притоков ленок выходит в первой декаде июля. В 2018 г. в середине июля был уже низкий уровень воды и данный участок реки взрослые ленки уже частично покинули.

Таблица 3 - Размерно-весовые показатели сеголетков ленка в р. Уулаах-Муна

N, экз.	FL, см	SL, см	Масса, г
17	$\frac{13,0-16,4}{14,89\pm 0,22}$	$\frac{12,1-15,5}{1,85\pm 0,22}$	$\frac{22,0-50,0}{35,65\pm 1,78}$

В наших пробах молодь ленка питалась личинками амфибиотических насекомых, среди которых преобладали веснянки, имаго насекомых, моллюсками, мальками гольяна. В части желудков был детрит. Пищевая активность сеголетков довольно высокая – из 17 просмотренных желудков только 1 был пустой. Взрослая самка ленка на данном участке питалась преимущественно личинками ручейников и моллюсками.

*Восточно-сибирский хариус* широко распространен в верхнем течении реки Муна и в его притоках [4]. В период нагула хариус активно использует заливаемую часть поймы. Во время паводка поднимается в притоки для нереста и нагула. В наших уловах в р. Уулаах-Муна крупных особей не было (табл. 4), сеголетков тоже не отмечено. Были представлены рыбы в возрасте 1+ и 2+ с преобладанием самцов в соотношении 1:4. Все рыбы активно питались - в пищевом комке по встречаемости доминировали личинки двукрылых (мошки, комары), имаго насекомых, детрит. Темп роста сравнительно медленный. Масса годовиков хариуса в среднем составляла  $29,7\pm 2,33$  г, трехлеток –  $87,9\pm 4,51$  г.

Таблица 4 - Размерно-возрастная характеристика хариуса реки Уулаах-Муна

Возраст, год	N, экз.	FL, см	SL, см	Масса, г
1+	3	$\frac{13,6-15,0}{14,3\pm 0,41}$	$\frac{12,8-14,2}{13,5\pm 0,41}$	$\frac{26-34}{29,7\pm 2,33}$
2+	8	$\frac{18,6-21,1}{19,8\pm 0,29}$	$\frac{17,6-20,0}{18,7\pm 0,28}$	$\frac{72-110}{87,9\pm 4,51}$
Общее	11	$\frac{13,6-21,1}{18,3\pm 0,81}$	$\frac{12,8-20,0}{17,3\pm 0,77}$	$\frac{26-110}{72\pm 8,82}$

Численность хариуса в р. Уулаах-Муна низкая. Годовики преимущественно разрозненно держались на перекатах, а двухгодовики – на плесовых участках. Река Уулаах-Муна, судя по результатам контрольного лова, служит местом нагула неполовозрелых рыб. Половые продукты рыб были во II и III стадии.

Таким образом, исследованный участок реки в летний период представляет собой чередующиеся мелководные перекаты и неглубокие плесы (до 1,5 м). Эти биотопы охотно населяют два вида гольянов - речной и Чекановского, которые здесь доминируют в количественном отношении. Кроме того данный участок реки представляет интерес как места нереста и последующего откорма острорылого ленка, и нагула восточносибирского хариуса. Заполненность нерестилищ и нагульных площадей ежегодно варьирует и сильно зависит от уровня режима реки. По нашим наблюдениям, гидрологический режим в верховьях малых рек, существенно влияет на межгодовую динамику видового состава, соотношений рыб в уловах и их биологических показателей. Соответственно изменение объемов и сроков

поверхностного стока реки отражается на численности и видовом составе рыб. В настоящее время, на начальных этапах горнодобывающей деятельности, техногенное загрязнение водной экосистемы не выявлено. Сообщество рыб типичное для сходных водных объектов региона. Однако отмечаются факты незаконного лова рыбы - в доступных для автотехники участках реки Уулаах-Муна и Муна нами отмечены стоянки рыбаков с оставленными в реке и на берегу сетными орудиями лова (сети, якоря, поплавки). Судя по размерам ячеи, основным объектом незаконного лова служит ленок. Интенсивный лов идущего на нерест ленка будет негативно отражаться на его воспроизводительной способности и может привести к уменьшению численности пополнения и местной популяции в целом.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищевая промышленность, 1966. 376 с.
2. Чугунова Н.И. Руководство по изучению возраста и роста рыб. М.: АН СССР, 1959. 164 с.
3. Яковлев В.Н., Изюмов Ю.Г., Касьянов А.Н. Фенетический метод исследования популяций карповых рыб // Биологические Науки. №2. 1981. С.38-101.
4. Соломонов Н.М., Собакина И.Г., Ксенофонтова М.И. Состояние компонентов водной экосистемы верховьев реки Муна до начала промышленного освоения месторождения алмазов // Проблемы региональной экологии. 2018. №5. С.106-110
5. Никольский Г.В. 1956. Рыбы бассейна Амура. М.: АН СССР. 551 с.
6. Черешнев И.А. 1996. Круглоротые и рыбы // В Кн. Позвоночные животные Северо-Востока России. Владивосток: Дальнаука. С. 23-61.
7. Зуев И. В. Гольяны рода *Rhoxinus* (сем. *CYPRINIDA*) бассейнов рек Енисея и Пясины // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Томск, 2007.

#### **ЦЕНОТИЧЕСКАЯ РОЛЬ И СОСТОЯНИЕ МНОГОЛЕТНИХ ЗЛАКОВ В ТРАВЯНИСТЫХ СООБЩЕСТВАХ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ТЕРРИТОРИЯХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ**

*Казнина Н.М., Батова Ю.В.*

Институт биологии – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр РАН», г. Петрозаводск, kaznina@krc.karelia.ru

Известно, что на территориях, находящихся в арктической зоне, из-за низких температур самовосстановление компонентов природной среды идет крайне медленно. Вследствие этого Арктика является особо уязвимой экосистемой, которая сильно подвержена любым антропогенным воздействиям [1]. Тяжелые металлы (ТМ) –одни из наиболее опасных загрязнителей окружающей среды, которые способны накапливаться в живых организмах и оказывать негативное воздействие на их жизнедеятельность. Источниками загрязнения окружающей среды арктической зоны ТМ являются предприятия топливно-энергетического комплекса, металлургии, предприятия по добыче и переработке полезных ископаемых, химическая, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленности, а также автомобильный, железнодорожный и морской транспорт [2]. Помимо этого, крайне острой для арктических территорий является проблема утилизации промышленных отходов, накапливающихся вокруг промышленных предприятий. Нельзя не учитывать и тот факт, что ТМ могут

переноситься на большие расстояния с воздушными массами, что увеличивает загрязнение ими окружающей среды [3]. Дальнейшее освоение арктической зоны предполагает появление новых источников техногенного загрязнения. В этой связи любые исследования, направленные на изучение возможных последствий увеличения содержания ТМ в окружающей среде, связанных с нарушением экосистем, а также разработка новых технологий, обеспечивающих их восстановление, крайне необходимы и актуальны.

Высшие наземные растения довольно чутко реагируют на загрязнение почвы ТМ, в результате изменяется видовой состав и структура фитоценозов, снижается их продуктивность, что в целом негативно отражается на состоянии растительных сообществ, а иногда приводит к их полному разрушению [4]. Однако некоторые виды растений, в том числе многолетних злаков, обладают высокой устойчивостью к ТМ. Они способны произрастать на почвах с высоким уровнем загрязнения этими элементами и при этом накапливать их в подземных органах в относительно высоких концентрациях [5]. Учитывая, что аборигенные виды арктической флоры из семейства *Poaceae* устойчивы и к низким температурам вегетационного сезона, можно предположить возможность их использования в фитостабилизации загрязненных ТМ почв на арктических территориях.

В этой связи задачей настоящего исследования явилось изучение ценотической роли и оценка состояния многолетних злаков в травянистых сообществах, сформированных на техногенно загрязненных ТМ почвах в условиях арктической зоны (вблизи Костомукшского горно-обогатительного комбината).

Костомукшский горно-обогатительный комбинат (ГОК) АО «Карельский окатыш» расположен на территории Республики Карелия в Костомукшском городском округе, входящим в арктическую зону Российской Федерации. Согласно литературным данным основным загрязняющим почву компонентом выбросов этого предприятия является полиметаллическая пыль с повышенным содержанием в ней железа, кобальта, меди, никеля, хрома и цинка [6]. Исследования проводили на участках, расположенных в 0,5, 4 и 8 км от предприятия. Все изученные участки имеют вторичный растительный покров, представляющий собой луговидные сообщества, сформировавшиеся на месте вырубок северотаежных хвойных лесов. В ходе работы определяли ценотическую роль многолетних злаков в сообществах (по их проективному покрытию), а также проводили оценку состояния присутствующего на всех участках в качестве содоминирующего вида – *Phleum pratense* L.

Для выявления ценотической роли злаков на пробных площадях (10 x 10 м) проводили геоботанические описания фитоценозов (Шенников, 1964). Проективное покрытие видов растений определяли по шкале Браун-Бланке. Латинские названия растений даны в соответствии со сводкой С.К. Черепанова. Содержание ТМ в почве определяли атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре АА-6800 (Shimadzu, Япония). Для этого на всех участках проводили отбор почвенных образцов. Глубина изъятия – 0-20 см. Каждый образец состоял из 5 точечных проб, отобранных методом «конверта» (ГОСТ 17.4.3.01-83). Оценка состояния растений *P. pratense* выполняли на основании показателей роста генеративного побега (высота побега, размеры листовой пластинки подфлагового листа и длина соцветия).

Проведенный химический анализ почвы обследованных участков показал, что содержание ТМ в образцах превышает средний уровень, характерных для почв данного района Карелии [7]. При этом оно возрастает по мере приближения к предприятию, достигая наибольших значений на участках, расположенных в 0,5 км от источника загрязнения (табл. 1).

Таблица 1 – Валовое содержание (мг/кг сухого веса) тяжелых металлов в почвах участков, расположенных на разном расстоянии от Костомукшского ГОКа

Металл	Фоновые значения, мг/кг сухого веса почвы*	Расстояние от ГОКа		
		0.5 км	4 км	8 км
Ni <sup>2+</sup>	3.6	17.8± 4.7	12.8±3.2	9.0±2.3
Cu <sup>2+</sup>	9.1	25.2±3.8	15.2±1.6	9.1±0.9
Pb <sup>2+</sup>	5.9	15.8 ± 1.6	9.6±1.0	7.4±0.8
Zn <sup>2+</sup>	19.2	43.7 ± 7.0	42.1±6.8	22.7±3.7

Примечание. \*Региональный фон для иллювиально-гумусово-железистых подзолистых песчаных почв (горизонт А2 (Е)), характерных для района исследований (по: [7]).

При изучении видового разнообразия было обнаружено, что число видов растений менялось в зависимости от местоположения участков: в непосредственной близости от предприятия количество видов в сообществах оказалось заметно меньшим (14–16 видов), чем на участках, удаленных от него на 4 км (20–28 видов) и 8 км (21–26 видов). Одновременно с этим при приближении к предприятию увеличивалось проективное покрытие многолетних злаков, в частности, *P. pratense*, *Calamagrostis epigeos* (L.) Roth., *Poa pratensis* L. тогда как проективное покрытие представителей других семейств, наоборот, уменьшалось (табл. 2).

Таблица 2 – Проективное покрытие (в баллах по шкале Браун-Бланке) видов растений с высокой (> 50%) встречаемостью в травянистых сообществах, расположенных в районе Костомукшского ГОКа

Вид растения	Встречаемость, %	Проективное покрытие		
		расстояние от предприятия, км		
		0.5	4.0	8.0
<i>Poaceae</i>				
<i>Agrostis tenuis</i> Sibth.	100	1	1	1
<i>Calamagrostis epigeos</i> (L.) Roth.	67	2	1	1
<i>Dactylis glomerata</i> L.	50	1	1	1
<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) Beauv.	100	2	2	2
<i>Phleum pratense</i> L.	100	3	2	2
<i>Poa pratensis</i> L.	67	2	1	1
<i>Fabaceae</i>				
<i>Lathyrus pratensis</i> L.	83	–	2	2
<i>Trifolium pratense</i> L.	83	1	1	1
<i>Trifolium repens</i> (L.) C. Presl.	100	1	1	2
<i>Vicia cracca</i> L.	100	1	1	1
<i>Asteraceae</i>				
<i>Achillea millefolium</i> L.	100	1	1	2
<i>Taraxacum officinale</i> Wigg. s. l.	100	1	1	1
<i>Tussilago farfara</i> L.	67	1	1	1
<i>Caryophyllaceae</i>				
<i>Stellaria graminea</i> L.	100	1	1	1
<i>Onagraceae</i>				
<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.	83	1	1	2

Примечание. “–” вид отсутствует.

Изучение состояния растений *P. pratense* показало, что на участках, расположенных в 0.5 км от предприятия, высота побега у растений оказалась меньше, чем на более удаленных участках (табл. 3). Вместе с тем площадь листовой пластинки подфлагового листа, обеспечивающего колос ассимилятами, не изменялась, а длина соцветия даже возрастала при приближении к источнику загрязнения. Последнее можно рассматривать в качестве компенсаторной реакции растений, способствующей сохранению их семенной продуктивности.

Таблица 3 – Влияние загрязнения почвы тяжелыми металлами на морфологические признаки генеративного побега растений *Phleum pratense*

Расстояние от источника загрязнения, км	Морфологические признаки		
	высота побега, см	площадь листа, см <sup>2</sup>	длина соцветия, см
0.5	77.3±3.2*	7.7±0.6	6.16±0.31*
4.0	87.6±1.9*	8.2±0.6	4.73±0.32
8.0	111.4±3.1	7.9±0.7	4.62±0.30

Примечание. \* Различия по отношению к показателям у растений, произрастающих в 8 км от источника загрязнения, достоверны при  $P \leq 0.05$ .

В целом, проведенные исследования выявили увеличение ценотической роли многолетних злаков в сообществах, с повышением степени загрязнения ТМ территорий, расположенных в арктической зоне. Это свидетельствует об устойчивости представителей семейства *Poaceae* к загрязнению почв ТМ. Содоминирующим видом в фитоценозах, расположенных на всех изученных участках, является *P. pratense*. У растений этого вида даже на сильно загрязненной территории, расположенной в непосредственной близости от источника загрязнения, не было обнаружено признаков угнетения. Несмотря на некоторое уменьшение высоты побега, у них сохранялись размеры листовой пластинки подфлагового листа, и увеличивалась длина соцветия, способствуя поддержанию в этих условиях высокой семенной продуктивности. Полученные результаты свидетельствуют о возможности и перспективности использования многолетних злаков местной флоры, в частности, *P. pratense*, для стабилизации загрязненных ТМ почв арктической зоны.

Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания по теме «Механизмы устойчивости и адаптации растений к неблагоприятным факторам внешней среды» № г.р.122031100063-7 (FMEN-2022-0004).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лянгузова И.В. Тяжелые металлы в северотаежных экосистемах России. Пространственно-временная динамика при аэротехногенном загрязнении. Saarbrücken, Германия, 2016. 264 с.
2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году». Глава 12. Арктическая зона Российской Федерации. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gosdoklad-ecology.ru/2017/> (дата обращения 12.09.2023).
3. Zhulidov A.V., Robarts R.D., Pavlov D.F., Kämäri J., Gurtovaya T.Y., Meriläinen J. J., Pospelov I.N. Long-term changes of heavy metal and sulphur concentrations in ecosystems of the Taymyr Peninsula (Russian Federation) North of the Norilsk Industrial Complex // Environmental Monitoring and Assessment. 2011. V. 181(1-4). С. 539-553.
4. Laidinen G.F., Kaznina N.M., Batova Yu.V., Titov A.F. The resistance of *Phleum pratense* and *Elytrigia repens* to high concentrations of zinc // Biology Bulletin. 2018. Vol. 45, No. 5. P. 454-460.

5. Безель В.С., Жуйкова Т.В. Химическое загрязнение среды: вынос химических элементов надземной фитомассой травянистой растительности // Экология. 2007. №4. С. 259-267.
6. Федорец Н.Г., Солодовников А.Н. 2013. Воздействие эмиссий Костомукшского горно-обогатительного комбината на лесные подстилки сосняков в северотаежной подзоне Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. Серия Экологические исследования. №6. С. 143-152.
7. Федорец Н.Г., Бахмет О.Н., Солодовников А.Н., Морозов А.К. Почвы Карелии: геохимический атлас. М.: Наука, 2008. 47 с.

## **ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ НА ТЕРРИТОРИЯХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РФ**

*Кондратов Н.А.*

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,  
г. Архангельск, n.kondratov@narfu.ru

Арктика находится в центре мирового внимания уже не одно десятилетие. Одна из причин – происходящие в этом регионе стремительные и необратимые изменения в природной, социально-экономической, геополитической сферах. Они оказывают влияние на природопользование, а также содержание и выбор инструментов государственной политики в арктическом регионе в сфере обеспечения экологической безопасности и адаптации к изменениям климата.

Площадь Арктической зоны РФ (далее – АЗРФ, Арктическая зона) превышает 9 млн км<sup>2</sup>, это самый большой показатель среди стран, имеющих выход к Северному Ледовитому океану и второй после Канады показатель протяженности арктического побережья. Состав сухопутных территорий АЗРФ определен Указами Президента РФ от 2 мая 2014 г. № 296, с изменениями и дополнениями в Указах Президента РФ от 27 июня 2017 г. № 287 и 13 мая 2019 г., а также Федеральным законом от 13 июля 2020 г. № 193 – ФЗ «О государственной поддержке предпринимательской деятельности в Арктической зоне Российской Федерации».

Территории российского сектора Арктики характеризуются чертами, отличающими их от других районов РФ. Значительные размеры и протяжённость Арктической зоны обуславливают регионально-климатическое, ландшафтное, почвенное и растительное разнообразие. Для АЗРФ характерны экстремально суровые природно-климатические условия: низкие температуры воздуха, скудные осадки, длительная полярная ночь, континентальность климата увеличивается с запада на восток. Континентальная часть АЗРФ, от западной границы с Норвегией и Финляндией на крайнем севере Мурманской области до мыса Дежнева в Чукотском автономном округе (далее – ЧАО), расположена преимущественно в арктическом и субарктическом климатических поясах. Здесь широко распространены многолетнемерзлые горные породы (далее – ММП). Части Архангельской и Мурманской областей, Республики Коми, Республики Карелия, Красноярского края, расположены в умеренном климатическом поясе. Экстремальные климатические условия обуславливают высокую уязвимость местных экосистем, и их зависимость даже от незначительных антропогенных воздействий.

Основная часть Арктической зоны занята заболоченными тундрами с малыми реками и многочисленными озерами ледникового происхождения. Большая часть почв представлена торфяно-глеевыми, оподзоленными типами. В тундре наблюдается низкорослая кустарничковая растительность и мхи. В лесотундре в Европейской части

АЗРФ (до 62<sup>0</sup> в.д.) представлена береза, ель, сосна обыкновенная. В сибирской части (до 125<sup>0</sup> в.д.) – низкорослый кедр и лиственница.

Арктика – регион особых интересов России. Субъекты АЗРФ производят продукцию, обеспечивающую около 11% ВВП и около 22% общероссийского экспорта. К числу приоритетных интересов России в Арктике является развитие АЗРФ в качестве стратегической ресурсной базы и ее рациональное использование в целях ускорения экономического роста. В XXI в. от общероссийских показателей в АЗРФ добывается около 100% алмазов, 90% никеля, кобальта, меди, платиноидов и других металлов. Западная Сибирь и континентальный шельф морей Северного Ледовитого океана, прежде всего Баренцева и Карского, богаты углеводородами [1].

В субъектах АЗРФ проживает более 2,4 млн чел., это менее 1% населения страны (2022 г.), но больше, чем где-либо ещё в мировой Арктике. Обеспечение высокого качества жизни населения – одно из приоритетных направлений арктической политики РФ [2,3]. Для арктических территорий России характерны специфическая система расселения населения. В России, за Северным Полярным кругом, построены самые большие в Арктике города. В Арктической зоне проживает 19 коренных малочисленных народов Крайнего Севера и Арктики (далее - малочисленные народы), располагаются объекты их историко-культурного наследия, имеющие историческую и культурную ценность общемирового значения. Субъекты АЗРФ имеют низкий уровень транспортной освоенности, самый мощный по сравнению с зарубежными северными районами индустриальный слой сырьевого направления, который соседствует с районами традиционного природопользования коренных малочисленных народов.

Продолжительная эксплуатация природных ресурсов и индустриализация региона в течение советского периода обусловили неблагоприятный характер экологической обстановки во многих районах АЗРФ. Антропогенный пресс на арктические экосистемы как сухопутные, так и морские не ослабевает. Основными источниками загрязнения окружающей среды являются предприятия добычи полезных ископаемых, черной и цветной металлургии, топливно-энергетического комплекса, химической промышленности, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности. При этом источники загрязнения расположены локально, находятся на значительном удалении друг от друга. Остро стоит задача ликвидации накопленного экологического ущерба, причиненного в результате хозяйственной деятельности по освоению арктического региона, утилизации потенциальных источников радиоактивного загрязнения. Как следствие, экологическая ситуация в отдельных районах АЗРФ остается неблагоприятной, местами – критической [1].

Арктика – один из регионов мира, отнесенных Межправительственной группой по изменению климата (далее – МГЭИК) к наиболее уязвимым регионам (наряду с островными государствами, Африкой, дельтами африканских и азиатских рек) [4].

В Шестом оценочном докладе МГЭИК (2021 г.) отмечается: в атмосфере, Мировом океане, криосфере и биосфере продолжаются широкомасштабные и быстрые изменения; масштабы изменений в климатической системе в целом и нынешнее ее состояние беспрецедентны на протяжении периодов от столетий до тысячелетий; разогрев атмосферы, океана и суши происходит преимущественно под влиянием человека [5].

Согласно докладам Росгидромета, потепление в Арктике происходит вдвое быстрее, чем в мире в целом. На территории АЗРФ отмечается снижение числа и продолжительности экстремально холодных периодов и повышение экстремально высоких температур. Растет частота и интенсивность событий, связанных с сильными осадками, затоплением внутренних водоемов, абразией морских побережий [6,7].

Период 2015 – 2020 гг. был самым теплым шестилетием, а 2011 – 2020 гг. – самым теплым десятилетием за всю историю наблюдений. Начиная с 1980-х гг. каждое последующее десятилетие было теплее, чем любое предыдущее после 1850 г.

Современная средняя глобальная температура приземного воздуха составила примерно  $14,9^{\circ}\text{C}$ , что на  $1,2^{\circ}\text{C}$  выше, чем в доиндустриальную эпоху. Темпы потепления приземного воздуха в 1976 – 2020 гг. составили  $0,18^{\circ}\text{C}$  за десятилетие в глобальном масштабе, за этот период глобальная температура выросла на  $0,8^{\circ}\text{C}$ . Особенно быстро температура повышалась в Северной полярной области, где за последние 30 лет линейный рост среднегодовой температуры составил около  $2,64^{\circ}\text{C}$  [8].

С 1950 г. наблюдается сокращение весеннего снежного покрова в Северном полушарии. Сократились периоды замерзания северных рек и озер, возрос сток рек в Северный Ледовитый океан и приток теплых вод из Тихого океана. С высокой степенью достоверности температура верхнего слоя ММП с начала 1980 – х гг. в большинстве регионов повысилась, хотя темпы потепления варьировались в зависимости от региона, что связано с повышением температуры воздуха и изменениями в снежном покрове.

Трансформации климата в Арктике развиваются на фоне нехватки знаний об их причинах и последствиях, они меняют природопользование, способствуют возникновению как экономических возможностей, так и рисков для хозяйственной деятельности и состояния окружающей среды в районах Крайнего Севера. Количественные оценки Арктического усиления глобального потепления затруднены в связи с высокой собственной изменчивостью климата Арктики. При этом в литературе зачастую различаются и рассматриваемые в этих оценках периоды времени, а также географические области в высоких широтах, для которых эти оценки получены.

Северные территории характеризуются насыщенностью водными ресурсами. Исследования последних лет показали, что глобальные изменения метеорологических параметров, таких как температура воздуха, слабо сказываются на изменении температуры воды арктических рек. Наиболее подвержены таким этим изменениям реки Европейской части АЗРФ, для которых повышение декадных температур может оказать влияние на гидролого-гидрохимический режим рек. Сложное взаимодействие многих процессов на водосборах арктических рек может маскировать многолетнюю динамику температуры воды.

Несмотря на расположение арктических речных экосистем на территории единой географической зоны тундры и лесотундры, их водная среда имеет неодинаковый химический состав, сформировавшийся под влиянием природных условий и отражающий меридиональную неоднородность этих условий от Мурманской области до ЧАО. Особенно заметна неоднородность химического состава речных вод по содержанию в них соединений железа, цинка, минеральных форм азота, нефтепродуктов. С другой стороны, есть такие химические вещества, содержание которых однородно на всей территории Арктической зоны за исключением единичных водных объектов, испытывающих высокую антропогенную нагрузку, очевидно, трансформировавшую их природные характеристики. К таким веществам относятся соединения фенолов, хлоридов, сульфатов, азота нитритного, органических веществ. Локальные отличия между компонентным составом воды речных экосистем различных секторов Российской Арктики обусловлены антропогенной деятельностью [6].

Многолетние тенденции изменения химического состава поверхностных вод АЗРФ находят свое отражение и в динамике качества воды и степени ее загрязненности. За многолетний период (1990 – 2020 гг.) качество вод рек Европейского сектора АЗРФ изменялось в пределах «загрязненная» (3 класс) и «грязная» (4 класс), Западного сектора – «грязная» и «экстремально грязная» (5 класс). Более стабильно состояние поверхностных вод Восточного сектора АЗРФ, которое в основном соответствовало 3 классу качества. Для большинства рек АЗРФ характерна тенденция снижения во времени степени загрязненности воды (тренд на улучшение качества воды). Однако по-прежнему наиболее загрязненные участки рек расположены в Западном секторе – реки Обь, Полуй, Пур и другие. Такая степень загрязненности

поверхностных вод в АЗРФ связана, прежде всего, с высокими концентрациями загрязняющих веществ, в число которых для всех территорий Арктической зоны входят органические вещества, соединения железа и меди. Дополнительно для Европейского сектора АЗРФ приоритетными являются соединения цинка, никеля и марганца (в реках Кольского полуострова), Сибирского – азот аммонийный, соединения цинка, марганца, фенолы и нефтепродукты, Восточного – соединения цинка и фенола. В большинстве случаев повышенное содержание данных веществ имеет природное происхождение [6].

В 2021 г. выявленные тенденции сохраняются. В целом, состояние речных экосистем АЗРФ по гидрохимическим показателям характеризуется как равновесное, скорость внутриводоемных процессов очищения еще превышает темпы и силу антропогенного воздействия, благодаря чему они находятся в состоянии динамического равновесия [6].

В 2021 г. высокие уровни загрязнения (далее - ВЗ) поверхностных вод АЗРФ отмечались на 37 водных объектах в 227 случаях экстремально высокие уровни загрязнения (далее - ЭВЗ) - на 31 водном объекте в 147 случаях. Следует отметить, что по сравнению с 2020 г. суммарное количество ВЗ и ЭВЗ поверхностных вод сохранилось на одном уровне, а за период 2014 – 2021 гг. увеличилось на 40% [6].

Более 65% всех случаев ВЗ и ЭВЗ в континентальной части в АЗРФ приходится на водные объекты Мурманской области. В 2021 г. в Мурманской области было зарегистрировано 164 случая ВЗ и 81 случай ЭВЗ по 21 ингредиенту на 23 водных объектах, что на 11% меньше значений 2020 г. Для сравнения: в Ямало-Ненецком автономном округе (далее – ЯНАО) в 2021 г. суммарно зарегистрировано 98 случаев загрязнения (в 2020 г. – 33), в Ненецком автономном округе (далее – НАО) – 14 (25), Республике Коми - 15 (1), Архангельской области - 0 (10), Красноярском крае – 2 (28) [6].

В Мурманской области примерно 60% случаев ВЗ и ЭВЗ связано с загрязнением поверхностных вод соединениями тяжелых металлов. В 2021 г. в поверхностных водах максимальные концентрации соединений были зафиксированы: меди (свыше 800 ПДК), г. Мончегорск; железа общего (217 ПДК) и фтора, ручей без названия, г. Кандалакша; никеля (120 ПДК), ртути (16 ПДК), г. Мончегорск; марганца (61 ПДК), с. Ловозеро; молибдена (свыше 8 ПДК), озера Имандра, г. Апатиты. В 2021 г. по сравнению с 2020 г. в Мурманской области почти в два раза увеличилось число случаев ВЗ поверхностных вод дитиофосфатом крезоловым, молибденом и ртутью; уменьшилось число случаев загрязнения медью, никелем, алюминием, фтором и бензапиреном [6].

В ЯНАО в 2021 г. было зарегистрировано 39 случаев ВЗ на 11 водных объектах и 59 случаев ЭВЗ на 13 водных объектах, что в три раза больше случаев 2020 г. на химический состав рек существенное влияние оказывает антропогенный фактор, связанный с активным хозяйственным освоением территории округа. Водные объекты загрязнены соединениями меди, железа, цинка и нефтепродуктами. Следует отметить, что в бассейне р. Полуй, г. Салехард, р. Правая Хетта, пгт. Пангоды в 2021 г. было зарегистрировано максимальное число случаев - 25 случаев ВЗ и ЭВЗ поверхностных вод [6].

Загрязнение поверхностных вод НАО связано с промышленным освоением бассейна р. Печора. В 2021 г. в поверхностных водах НАО было зарегистрировано 10 случаев ВЗ и 4 случая ЭВЗ (в 2020 г., соответственно, 3 и 22). Максимальные концентрации были зафиксированы: нефтепродуктов (108 ПДК) – в р. Печора, г. Нарьян-Мар; хлоридов (48 ПДК) – в р. Индига, п. Индига. Поселок Индига расположен в устье р. Индига, при впадении этой реки в Индигскую губу Баренцева моря. На этом участке в 2021 г. было зафиксировано 9 случаев ВЗ хлоридами. Основными источниками поступления хлоридов в водные объекты являются соленосные отложения, магматические горные породы, в состав которых входят хлорсодержащие минералы (содалит, хлорапатит), вулканические выбросы, засоленные почвы, из

которых они вымываются атмосферными осадками. Большие количества хлоридов попадают в водные объекты и почву с промышленными и хозяйственно-бытовыми сточными водами [6].

В Республике Коми в 2021 г. было зафиксировано 2 случая ЭВЗ и 13 случаев ВЗ поверхностных вод (для сравнения: в 2014 – 2020 гг. случаи были единичные, за исключением 2019 г. – 11 случаев ЭВЗ и 1 случай ВЗ). В 2021 г. на р. Колва, с. Колва, городской округ Усинск были зафиксированы максимальные значения концентрации загрязняющих веществ: марганца – 1645 ПДК, алюминия - 24 ПДК, нефтепродуктов – 64 ПДК [6].

Негативное влияние на состояние водных объектов Крайнего Севера Красноярского края оказывают сточные воды предприятий медно-никелевого производства. Основными загрязняющими веществами являются нефтепродукты, соединения меди, никеля, кадмия. В 2021 г. был зафиксирован единичные случаи ЭВЗ и ВЗ поверхностных вод, что соответствует показателям 2014 – 2018 гг. Следует отметить, что в 2019 – 2020 гг. было зарегистрировано максимальное число случаев ВЗ и ЭВЗ (23 и 28 соответственно) поверхностных вод. В 2012 г. в р. Щучья, г. Норильск, было зафиксировано максимальное содержание никеля (46 ПДК), в р. Далдыкын, ж/д ст. Кайеркан, – кадмия (6 ПДК). В остальных субъектах АЗРФ: Республике Саха (Якутия), Республике Карелия, ЧАО, Архангельской области в 2020 г и 2021 г. случаев ВЗ и ЭВЗ поверхностных водных объектов не выявлено [6].

В России в течение XXI в. разработан и реализуется комплекс мер государственной политики в арктическом регионе, которые предусматривают большой набор мер по обеспечению экологической безопасности населения и охране окружающей среды в контексте изменения климата. В 2020 г. актуализированы Основы государственной политики и Стратегия России в Арктике до 2035 г., работают Комиссия при Правительстве России по вопросам развития Арктики и Министерство по развитию Дальнего Востока и Арктики.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Додин Д.А. Устойчивое развитие Арктики (проблемы и перспективы). СПб.: Наука, 2005. 243 с.
2. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года (утверждены Указом Президентом России 5 марта 2020 г. № 164). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://government.ru/info/>. (дата обращения: 22.03.2023).
3. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года (утверждена Указом Президента Российской Федерации от 26 октября 2020 г. № 645). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202010260033> (дата обращения: 10.06.2023)
4. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации: техническое резюме /Федер. служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет); [ред. группа В.В. Ясюкевич и др.]. – Москва: [Росгидромет], 2014. – 93 с.
5. МГЭИК, 2014: Изменение климата, 2014 г.: Обобщающий доклад. [основная группа авторов, Р.К. Пачаури и Л.А. Мейер (ред.)]. МГЭИК, Женева, Швейцария, 2015 г., 163 стр.
6. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.meteorf.gov.ru/product/infomaterials/> (дата обращения: 22.10.2022).
7. Третий оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. 2022. [Электронный ресурс].

Режим доступа: [https://www.meteorf.gov.ru/upload/pdf\\_download/compressed.pdf](https://www.meteorf.gov.ru/upload/pdf_download/compressed.pdf) (дата обращения: 10.06.2023)

8. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. The Working Group II contribution to the IPCC Sixth Assessment Report. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/> (дата обращения: 10.06.2023)

## **ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОПУЛЯЦИЙ ЖЕМЧУЖНИЦЫ ЕВРОПЕЙСКОЙ *MARGARITIFERA MARGARITIFERA* И ЗАРАЖЕННОСТИ РЫБ-ХОЗЯЕВ (КУМЖИ И СЕМГИ) ГЛОХИДИЯМИ В ВОДОТОКАХ ЛЕТНЕГО БЕРЕГА БЕЛОГО МОРЯ**

Коноплева Е.С.<sup>1</sup>, Челпановская (Юницына) О.А.<sup>1</sup>, Вихрев И.В.<sup>1</sup>, Дворянкин Г.А.<sup>1,2</sup>, Футоран П.А.<sup>1,2</sup>, Буторин Е.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, es.konopleva@gmail.com

<sup>2</sup> ФГБУ «Национальный парк «Кенозерский», г. Архангельск

Жемчужница европейская *Margaritifera margaritifera* (Linnaeus, 1758) является сокращающимся в численности видом (статус редкости 2) пресноводных двустворчатых моллюсков на территории Архангельской области и входит в Красную книгу региона, а также Российской Федерации и международного союза охраны природы (IUCN) [1]. Особенностью европейской жемчужницы является сложный жизненный цикл, который включает стадию личинки (глохидии), паразитирующей исключительно на лососевых рыбах – атлантическом лососе (*Salmo salar*) или кумже (*Salmo trutta*) [2]. Глохидии прикрепляются на жабры подходящей рыбы-хозяина, проходят метаморфоз до ювенильного моллюска, после чего переходят к свободному образу жизни [3]. Таким образом, воспроизведение жемчужницы напрямую связано с плотностью стад и состоянием ее рыб-хозяев [4,5].

В настоящее время жизнеспособные популяции *M. margaritifera* были обнаружены и изучены в бассейнах рек Онега и Солза [5,6]. Относительно недавно крупные, но стареющие популяции жемчужниц были найдены в двух ручьях из пяти обследованных, относящихся к бассейну реки Лопшеньга на территории национального парка «Онежское Поморье» [7]. Все эти работы главным образом посвящены изучению текущего состояния популяций жемчужницы европейской, оценке их плотности, возраста и уровня воспроизводства. В то же время вопросы, касающиеся рыб-хозяев глохидий *M. margaritifera* остаются неизученными, хотя они являются одними из ключевых при разработке мероприятий по восстановлению численности жемчужниц.

Интерес представляет территория Онежского полуострова, которая до сих пор фрагментарно исследована, в частности национальный парк «Онежское Поморье», где в настоящее время сохранились жизнеспособные популяции жемчужниц. Целью работы было обследовать водотоки Летнего берега Белого моря, в основном в пределах территории национального парка «Онежское Поморье», на наличие колоний *M. margaritifera*, провести отлов молоди лососевых рыб на этих участках и получить предварительные данные о зараженности глохидиями рыб-хозяев – кумжи и семги.

В конце июня 2023 года совместно с сотрудниками национального парка «Кенозерский» были обследованы десять водотоков Летнего берега Белого моря: бассейны рек Лопшеньга (включая руч. Каменный), Большая Сярта, Усть-Яреньга, Галдарея, Госдарея, Кега, Золотица (включая р. Выговка), а также руч. Пертручей и р. Лопатка (рис.1).

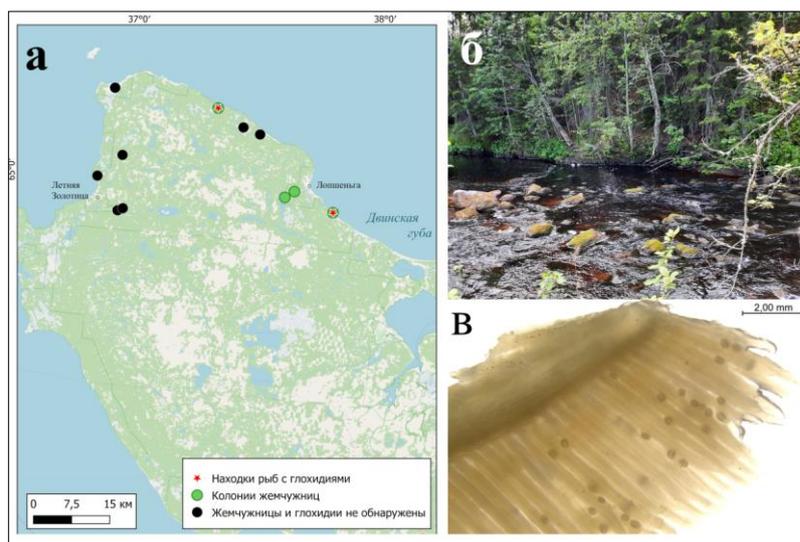


Рис. 1 – Район полевых работ на территории Онежского полуострова (а), одно из мест отбора образцов - участок р. Большая Сярта (б) и образец жабры кумжи с глохидиями *M. margaritifera* из р. Большая Сярта (в)

Поиск жемчужниц велся с помощью акваскопа и/или снорклинга на стандартных трансектах 100 и 50 м<sup>2</sup>. Все видимые особи жемчужниц подсчитывались без изъятия из субстрата. Отлов молоди лососевых рыб из рек и ручьев производился с помощью малькового бредня и удочки (разрешение Росприроднадзора № 2 от 25 января 2022 г. «На использование объектов животного и растительного мира, находящихся на особо охраняемых природных территориях федерального значения»). Предполагалось отобрать образцы рыб со зрелыми глохидиями на жабрах, которые успешно перезимовали, прошли почти полный цикл метаморфоза до ювенильного моллюска и готовы начать самостоятельное существование. Были осуществлены промеры рыб с помощью штангенциркуля, определен вес и пол, отобрана чешуя на возраст, также взяты образцы плавников и мягких тканей на молекулярно-генетический анализ. Жабры рыб были обследованы на наличие зрелых глохидий, а также паразитов в полевых условиях с использованием светового микроскопа и зафиксированы в 10% формалине. Подсчет глохидий проводился методом микроскопирования на базе Российского музея центров биологического разнообразия ФИЦКИА УрО РАН с помощью микроскопа Leica M156C. Были рассчитаны экстенсивность инвазии (или процент заражения; E, %) и средняя интенсивность заражения (или индекс обилия; M) [8]. Статистическая обработка данных проводилась с использованием пакетов программ Microsoft Excel и PAST.

Жизнеспособные популяции *M. margaritifera* были обнаружены только в трех водотоках Летнего берега, а именно в р. Большая Сярта, бассейне Лопшеньги (включая руч. Каменный) и р. Усть-Яреньга (рис. 1, табл. 1). При этом лососевые, зараженные глохидиями, были выловлены из двух рек - Большая Сярта и Усть-Яреньга. В этих реках плотность жемчужниц оказалась невысокая (средние значения 0.78 экз./м<sup>2</sup> и 0.09 экз./ м<sup>2</sup> соответственно), тем не менее, встречались особи разного возраста, как взрослые, так и ювенильные формы. Основные колонии располагались главным образом в омутах на плесовых участках с преимущественно галечным грунтом. Молодь лососевых встречалась главным образом в районе порогов. Из р. Большая Сярта был обследован 21 экземпляр кумжи (форели), из которых только 7 штук были заражены глохидиями жемчужницы, а также 1 экземпляр семги, глохидий на жабрах которой обнаружено не было. Экстенсивность инвазии (E) и средняя интенсивность заражения (M) составили – 33.3% и 83.4 экз./рыбу (ошибка среднего 47.2) соответственно. Интенсивность заражения рыб глохидиями варьировала в широких пределах, от 0 до

865 личинок на рыбу (рис. 2). Молодь кумжи также была заражена паразитами – преимущественно плоскими червями и их цистами (рис. 2).

Из р. Усть-Яреньга было обследовано 11 экземпляров кумжи и 12 – семги, при этом глохидии были обнаружены только на молоди семги (2 особи из 12), молодь кумжи оказалось незараженной. Экстенсивность инвазии составила 16.7%, а средняя интенсивность заражения – 3.4 экз./рыбу.

Таблица 1 – Показатели зараженности молоди лососевых рыб глохидиями в водотоках Летнего берега Белого моря в пределах территории национального парка «Онежское Поморье»

Водоток	Вид	Исследовано рыб	Наличие колоний <i>M. margaritifera</i>	Заражено глохидиями, шт	Кол-во глохидий, шт	Е, %	Интенсивность заражения, экз./рыбу	
							М	min - max
р. Большая Сярга	<i>S. trutta</i>	21	+	7	1752	33.3	83.4	0–865
	<i>S. salar</i>	1		0	-			
р. Лопшеньга	<i>S. trutta</i>	10	+	0	-	-	-	-
руч. Каменный	<i>S. trutta</i>	6	+	0	-	-	-	-
р. Усть-Яреньга	<i>S. trutta</i>	11	+	0	-	16.7	3.4	4–37
	<i>S. salar</i>	12		2	41			
р. Галдарея	<i>S. trutta</i>	13	-	0	-	-	-	-
р. Госдарея	<i>S. trutta</i>	10	-	0	-	-	-	-
р. Кега	<i>S. trutta</i> (мертв.)	-	-	-	-	-	-	-
р. Золотица	<i>S. salar</i>	1	-	0	-	-	-	-
руч. Пергтручей	-	-	-	-	-	-	-	-
р. Лопатка	<i>S. trutta</i>	1	-	0	-	-	-	-

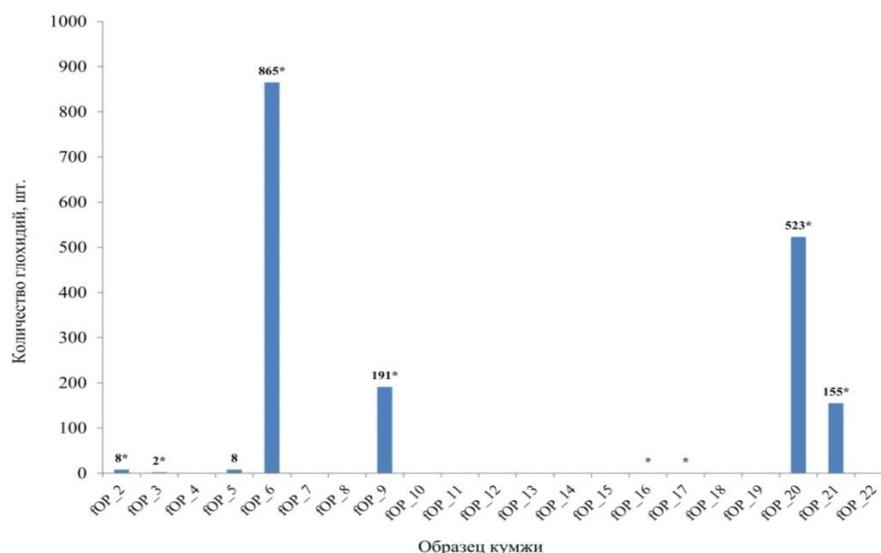


Рис. 2 – Количество глохидий на одну зараженную рыбу (интенсивность инвазии) в р. Большая Сярга (звездочкой показано наличие других паразитов на жабрах)

В руч. Каменном, как было показано в более ранних публикациях [7], плотность популяции жемчужницы оказалась относительно высокой (максимальная плотность составила 285 экз./м<sup>2</sup>, средняя – 37.5 экз./м<sup>2</sup>). Несмотря на значительную численность и плотность популяции выявлены были только взрослые моллюски длиной более 70 мм. Глохидии на жабрах кумжи (форели), выловленной в руч. Каменном, обнаружены не были. Отсутствие ювенильных особей, а также глохидий на рыбах может свидетельствовать о старении популяции и замедлении или даже прекращении ее воспроизводства. В р. Лопшеньга также была обнаружена колония жемчужниц, причем это первая зарегистрированная популяция *M. margaritifera* в основном русле реки. Средняя плотность колонии составила 0.17 экз./м<sup>2</sup>. Однако рыб, зараженных глохидиями, найти не удалось. При этом жабры кумжи из р. Лопшеньга были заражены другими паразитами. Снижение воспроизводства жемчужниц, скорее всего, может быть связано с сокращением численности молоди лососевых рыб в бассейнах этих рек.

В остальных обследованных водотоках популяций жемчужницы обнаружено не было, глохидии на жабрах лососевых также отсутствовали. Интересно, что в лососевой нерестовой реке Золотица [9] удалось поймать только один экземпляр молоди семги. В период отбора проб на реке наблюдалось много заиленных участков и низкий уровень воды, что могло быть связано с малым количеством осадков, а также много щуки – основного хищника, истребляющего молодь лососевых. Эти факторы могли способствовать снижению численности молоди семги в данном водотоке.

Таким образом, по результатам предварительного исследования на территории Летнего берега Белого моря в пределах национального парка «Онежское Поморье» имеется две популяции жемчужниц – в р. Большая Сярта и р. Усть-Яреньга, которые потенциально способны к воспроизводству. Обе популяции немногочисленны, но при этом разнообразны по возрастному составу. Для популяции *M. margaritifera* из р. Большая Сярта основным хозяином глохидий является кумжа (форель). Данная популяция кажется наиболее благополучной, хотя процент заражения глохидиями молоди кумжи находится на уровне ниже среднего, тем не менее, интенсивность заражения достигала нескольких сотен экземпляров личинок на рыбу, а также в выборке жемчужниц присутствовала значительная доля молодых особей. По предварительным данным рыбой-хозяином глохидий жемчужниц в р. Усть-Яреньга является семга, однако из-за низкого процента заражения и интенсивности инвазии и в целом достаточно маленькой выборки, для уточнения этого вывода необходим сбор дополнительных образцов.

Известно, что одним из основных факторов, нарушающих воспроизводство популяций жемчужниц, является снижение численности молоди лососевых рыб. В свою очередь на численность лососевых может оказывать влияние вырубка лесов, загрязнение водоемов, браконьерство, а также заражение различными видами паразитов [10]. В ходе данного исследования было выявлено, что лососевые рыбы подвергаются воздействию паразитов, в числе которых, помимо самих глохидий, могут быть разнообразные плоские черви и их цисты, пиявки, и даже клещи. Вдоль водотоков, находящихся в границах национального парка «Онежское Поморье», в которых обнаружены колонии жемчужниц, не ведется рубок леса, осуществляется постоянный контроль территории и выявление случаев браконьерства, что положительно влияет на условия обитания. Тем не менее, в настоящее время необходим постоянный мониторинг состояния популяций жемчужниц, а также лососевых рыб – хозяев их глохидий и поддержание их естественного воспроизводства в р. Большая Сярта, Усть-Яреньга и Лопшеньга. Также важно выявление и идентификация опасных для лососевых рыб паразитов, понимание причин их появления и контроль численности.

*Исследования проведены при финансовой поддержке РНФ, проект № 23-24-10028 «Рыбы-хозяева охраняемого вида пресноводных двустворчатых моллюсков*

жемчужницы европейской *Margaritifera margaritifera* (Linnaeus, 1758) в реках Национального парка «Онежское Поморье», а также в рамках выполнения госзадания по теме «Филогеомика, эволюционная биогеография и систематика пресноводных моллюсков и ассоциированных с ними гидробионтов (паразитов и комменсалов) в центрах эндемизма», № гос.рег. 1021063012532-0. Работы на территории национального парка «Онежское Поморье» были проведены в рамках договора № 502 от 22.05.2023 г., заключенного между ФГБУ «Национальный парк «Кенозерский» и ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН. Огромная благодарность выражается научному отделу и отделу охраны национального парка «Кенозерский», а также другим задействованным сотрудникам Парка за участие и помощь в проведении полевых работ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красная книга Архангельской области / О.В. Аксенова [и др.]; Правительство Арханг. обл. [и др.]; редкол.: В.В. Ануфриев [и др.]. Архангельск: Сев. (Арктич.) федер. ун-т, 2020. 490 с.
2. Makhrov, A., Bespalaya, J., Bolotov, I. et al. Historical geography of pearl harvesting and current status of populations of freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* (L.) in the western part of Northern European Russia // *Hydrobiologia*. 2014. Vol. 735. P. 149-159.
3. Зюганов В.В. Долгожитель-паразит, продлевающий жизнь хозяина. Жемчужница *Margaritifera margaritifera* выключает программу ускоренного старения у лосося *Salmo salar* // Доклады академии наук. 2005. Т. 403. № 5. С. 701-705.
4. Зюганов В. В., Незлин Л. П., Зотин А. А., Розанов А. С. Взаимоотношения паразит-хозяин у глохидиев европейской жемчужницы *Margaritifera margaritifera* (Margaritiferidae: Bivalvia) и массовых видов рыб Европейского Севера СССР // *Паразитология*. 1990. Т. 24. № 4. С. 315-321.
5. Вихрев И.В. Состояние популяций европейской жемчужницы *Margaritifera margaritifera* (L., 1758) (Mollusca, Margaritiferidae) в малых лососевых реках на восточной окраине Фенноскандии // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016. № 11. Ч. 6. С. 1086-1090.
6. Беспалая Ю. В., Болотов И. Н., Махров А. А. Состояние популяции европейской жемчужницы *Margaritifera margaritifera* (L.) (Mollusca, Margaritiferidae) на северо-восточном краю ареала (р. Солза, бассейн Белого моря) // *Экология*. 2007. №3. С. 222–229.
7. Волков А. Е., Волкова Е. В. Предварительные результаты исследования популяций европейской жемчужницы ручьев бассейна реки Лопшеньга на Онежском полуострове Архангельской области // *Известия РАН. Серия биологическая*. 2017. № 1. С. 19-13.
8. Иешко Е. П., Ларсон Б. М., Павлов Ю. Л., Барская Ю. Ю., Лебедева Д. И., Новохацкая О. В. Популяционная динамика численности глохидий пресноводной жемчужницы *Margaritifera margaritifera* L., паразитирующих на молоди лососевых рыб северных водоемов // *Известия РАН. Серия биологическая*. 2009. №6. С. 734-739.
9. Веселов А. Е., Ефремов Д. А., Ручьев М. А. Состояние воспроизводства атлантического лосося (*Salmo salar* L.) в реке Золотица, притоке Паранинский и прилегающем ручье Лопатка национального Парка «Онежское Поморье» (бассейн Белого моря) // *Труды Карельского научного центра РАН*. 2018. № 10. С. 105–111.
10. Махров А. А., Иешко Е. П., Щуров И. Л., Барская Ю. Ю., Лебедева Д. И., Новохацкая О. В., Широков В. А. Оценка состояния популяций европейской жемчужницы (*Margaritifera margaritifera*) северной Карелии с использованием данных о численности и зараженности рыб хозяев // *Зоологический журнал*. 2009. Т. 88. № 12. С. 1425–1432.

## ВКЛАД РАСТЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ БИОМОРФ И ЛИШАЙНИКОВ НАПОЧВЕННЫХ ЯРУСОВ В ФОРМИРОВАНИЕ ПОДСТИЛКИ В ДРЕВЕСНЫХ ФИТОЦЕНОЗАХ ЛЕСОТУНДРЫ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

*Кривобоков Л.В.<sup>1</sup>, Мухортова Л.В.<sup>1</sup>, Бастрыкина Т.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНИЦ СО РАН, г. Красноярск, leo\_kr@mail.ru

<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва

В северных экосистемах так называемого гипоарктического пояса [1], который объединяет подзоны северной тайги, лесотундры и южных кустарниковых тундр, чрезвычайно велика функциональная роль подстилки, своеобразного верхнего органического горизонта почв, от состава, структуры и мощности которого во многом зависит содержание и качественные характеристики органического вещества, а также, гидротермический режим мерзлотных почв. В свою очередь, состав и структура подстилки в этих экосистемах непосредственно зависят от формирующего его живого напочвенного покрова (ЖНП), включающего кустарниковый (обычно из низких простратных кустарников, зимой покрытых снежным покровом), травяно-кустарничковый и мохово-лишайниковый яруса. Опад и отпад древесного яруса оказывают незначительное влияние на формирование подстилки, так как древостои в лесотундре разрежены и продуктивность их невелика, по сравнению с расположенными южнее (в подзонах средней и южной тайги) бореальными лесными экосистемами.

Исследования были проведены в местности Ары-Мас (N 72.45°, E 101.90°), где расположен один из самых северных изолированных лесных массивов в высоких широтах Евразии (рис. 1) [2].



Рис. 1 – Лиственничные редколесья подзоны лесотундры Средней Сибири в местности Ары-Мас

Рассматриваемая местность является кластером Таймырского заповедника. Изучаемый район расположен на флювио-гляциальных равнинах Северо-Сибирской низменности, в ее северо-восточной части. Климат района исследований субарктический континентальный, характеризуется холодными и влажными условиями. Годовое количество осадков находится в пределах 200-300 мм, но, вследствие слабой испаряемости из-за низких температур, описываемые ландшафты хорошо обводнены, часто заболочены. Среднегодовая температура отрицательная, ниже  $-10^{\circ}\text{C}$ , а вегетационный период составляет примерно 60 дней. В почвенном покрове под листовенничными редколесьями преобладают криоземы.[3].

Состав и структуру фитоценозов листовенничных редколесий изучали на 10 пробных площадях (ПП), образцы живого напочвенного покрова и подстилки на каждой ПП брали в 5-кратной повторности [4, 5]. Для сравнения собран сопоставимый материал в фитоценозах кустарниковых тундр, окружающих листовенничные редколесья.

Исследованные фитоценозы представляют собой листовенничные редколесья, образованные *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr. сомкнутостью 15-20 % и высотой 4-7 м, при среднем возрасте от 110 до 190 лет. Подрост листовенницы разреженный, обычно 1-3 %, высотой 0.5-2 м. Кустарниковый ярус, как правило, также разрежен, слагают его, в основном ивы и карликовая березка, отдельными кустами или мелкими куртинами. Редко, обычно на южных склонах, в редколесьях представлен ярус *Duschekia fruticosa* (Rupr.) Pouzar высотой 1-2 м и сомкнутостью 30-50 %. В травяно-кустарничковом ярусе сомкнутостью в среднем около 30 % и высотой 20-40 см преобладают широко распространенные североазиатские гипоарктические кустарнички, а также немногочисленные виды корневищных (клоновых) трав. Меньшее участие в сложении принимают многолетние корневищные и плотнокустовые травы, в основном, граминоиды (осоки, злаки и пушицы). Мохово-лишайниковый покров сплошной (90-100 %), сложен широко распространенными бореальными и гипоарктическими зелеными мхами и печеночниками, кустистые лишайники играют значительно меньшую роль, встречаясь, в основном на мхах. Мощность подстилки в рассматриваемых биогеоценозах в среднем составляет 5-8 см.

Окружающие тундры по флористическому составу очень сходны с рассматриваемыми редколесьями, структурно отличаются отсутствием древесного и, как правило, кустарникового ярусов, большим участием в сложении напочвенного покрова многолетних трав, особенно осок и пушиц, меньшим проективным покрытием мохово-лишайникового покрова и более тонкой подстилкой (4-6 см). Отличия в строении ЖНП и подстилки, вероятно, можно объяснить интенсивным криогенным перемешиванием верхних горизонтов почвы (криотурбация), о чем свидетельствуют участки выдавленной минерализованной массы на поверхности, которые могут занимать до 10 % проективного покрытия ПП в тундре.

Почти 60 % фитомассы живого напочвенного покрова листовенничных редколесий составляют мхи (рис. 2), основной вклад дают доминанты сплошного мохово-лишайникового яруса – печеночник *Ptilidium ciliare* (L.) Hampe и зеленые мхи, такие как *Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwägr., *Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt., *Climacium dendroides* (Hedw.) F.Weber & D.Mohr, *Dicranum sp.* Около четверти фитомассы слагают кустарнички – доминанты и содоминанты травяно-кустарничкового яруса – *Ledum palustre* L., *Vaccinium uliginosum* L., *Vaccinium vitis-idaea* L., *Cassiope tetragona* (L.) D. Don, *Arctous erythrocarpa* Small, *Empetrum nigrum* L., иногда *Dryas octopetala* subsp. *incisa* Malyshev. Низкие простратные кустарнички дают 8 % фитомассы, в основном это *Betula nana* subsp. *exilis* (Sukaczew) Hultén, *Salix glauca* L. и *Salix pulchra* Cham. На долю трав приходится около 5 % фитомассы, в основном ее образуют содоминанты (иногда доминанты) травяно-кустарничкового яруса, такие как *Carex ensifolia* subsp. *arctisibirica* Jurtzev, *Equisetum arvense* subsp. *boreale* (Bong.) Tolm.,

иногда также *Eriophorum vaginatum* L., *Arctagrostis latifolia* Griseb., *Petasites frigidus* (L.) Fr. Наименьший вклад в общую фитомассу, а также в опад формирующий подстилку, вносят кустистые лишайники, среди которых доминируют чаще всего *Cladonia stygia* (Fr.) Ruoss и *Cetraria islandica* (L.) Ach.

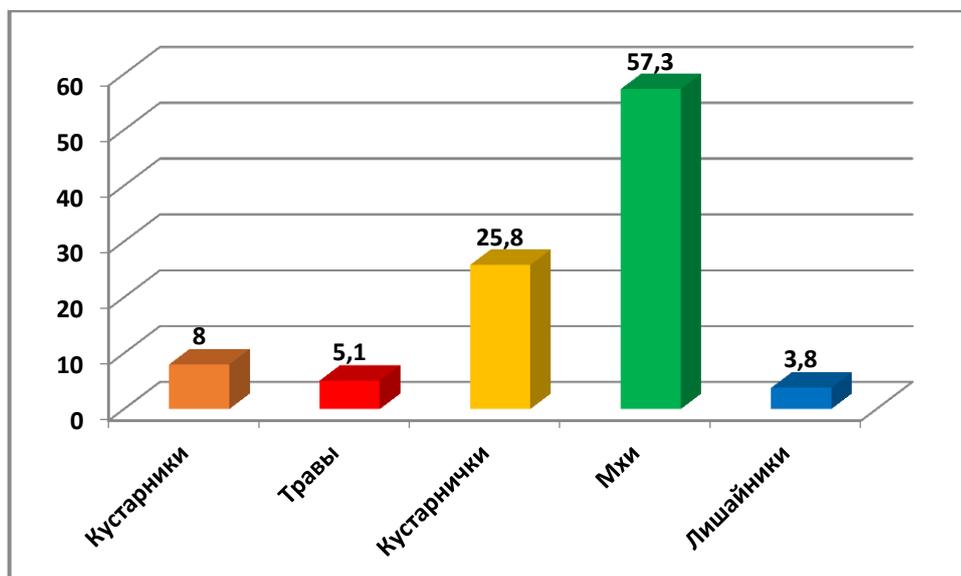


Рис. 2 – Соотношение фитомассы растений различных биоморф и лишайников (%) в сложении живого напочвенного покрова лиственничных фитоценозов лесотундры

По сравнению с лиственничными редколесьями, в окружающих их тундровых фитоценозах наблюдается несколько иное соотношение фракций ЖНП. Около трех четвертей фитомассы там составляют мхи, доля кустарничков снижается до 17 %, до 7 % возрастает участие травянистых многолетников, а доли простратных кустарничков и кустистых лишайников менее 1 % каждой фракции. Отсутствие, пусть и разреженного, древесного полога явно оказывает влияние на состав и структуру подчиненных ярусов, соответственно – на структуру и мощность подстилки. Кроме того, уменьшение мощности слоя подстилки в тундре может свидетельствовать о более интенсивном криогенном перемешивании верхних горизонтов почвы (включая подстилку) по сравнению с редколесьями, чему в последних, возможно, препятствуют корневые системы лиственниц, особенно сеть толстых скелетных корней.

*Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания по теме "Функционально-динамическая индикация биоразнообразия лесов Сибири", № гос. регистрации 121031500336-9. и при финансовой поддержке РФФ, проект № 21-46-07002 «Стратегия адаптивного управления бореальными лесами Сибири в условиях глобальных изменений».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юрцев Б.А. Гипоарктический ботанико-географический пояс и происхождение его флоры. М.: Наука, 1966. 94 с.
2. Ары-Мас: природные условия, флора и растительность самого северного в мире лесного массива / Под ред. Б.Н. Норина / Л.: Наука, 1978. 190 с.
3. Средняя Сибирь / Под ред. И.П. Герасимова / М.: Наука, 1964. 480 с.
4. Юнатов А.А. Типы и содержание геоботанических исследований. Выбор пробных площадей и заложение экологических профилей // Полевая геоботаника. Т. III. / Под ред. А.А. Корчагина, Е.М. Лавренко, В.М. Понятовской / М.-Л.: Наука, 1965. С. 9-36.
5. Методы изучения лесных сообществ / Под ред. В.Т. Ярмишко, И.В. Лянгузовой / СПб: НИИХимии СПбГ, 2002. 240 с.

## ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИНВАЗИОННОГО МОЛЛЮСКА *CORBICULA FLUMINALIS* (BIVALVIA: SYRENIDAE) БАССЕЙНА РЕКИ СЕВЕРНАЯ ДВИНА

Кропотин А.В., Беспалая Ю.В.

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, alekscropotin@yandex.ru

Инвазионные моллюски рода *Corbicula* являются гермафродитами и размножаются посредством андрогенеза [1]. При андрогенетическом размножении моллюски образуют двужгутиковые сперматозоиды, несущие диплоидный набор хромосом ( $2n$ ), при этом весь генетический материал яйцеклетки удаляется из неё в процессе мейоза, и в развитии организма принимает участие только мужской пронуклеус [2]. В отдельных случаях в результате нарушения формирования веретена деления, яйцеклетка либо сохраняет, либо теряет не весь генетический материал, а только его часть [3]. Оплодотворение нередуцированными сперматозоидами таких яйцеклеток может приводить к смешиванию различных ядерных геномов, увеличивая ploidy гибридов [3-5]. В настоящее время цитогенетические исследования показали, что в различных популяциях моллюсков *Corbicula* встречаются ди-, три- и тетраплоидные формы [4-8].

В 2015 году, в подогретых водах Архангельской ТЭЦ (бассейн реки Северная Двина) была обнаружена самая северная популяция моллюска *C. fluminalis*. В ходе работ проведено изучение генетической структуры обнаруженной популяции [9] и изучены её репродуктивные особенности [10]. Однако цитогенетические исследования *C. fluminalis* с бассейна реки Северная Двина до настоящего времени не проводились.

Основная цель настоящего исследования – определение хромосомного набора инвазионного моллюска *C. fluminalis*, обитающего в бассейне реки Северная Двина.

Образцы *C. fluminalis* были отобраны в мае 2023 в канале Архангельской ТЭЦ с помощью гидробиологического сачка, с глубины 0.5-1 м. Затем моллюски были помещены в ёмкость с водой и перевезены в лабораторию для последующего изучения [8]. Изучение хромосомного набора было проведено на основании анализа 20 метафазных пластинок, полученных из 9 образцов *C. fluminalis*. Цитогенетические исследования проводились по общепринятым методикам [8,11,12].

В результате исследования установлено, что метафазные пластинки соматических тканей моллюска *C. fluminalis*, имеют 54 хромосомы. Анализ числа хромосом в метафазных пластинках показал, что кариотип состоит из 54 хромосом, которые можно разделить на 18 групп по 3 фенотипически сходных хромосомы.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что *C. fluminalis* из бассейна Северной Двины является триплоидным видом ( $3n = 54$ ). Наши данные согласуются с наблюдением Skuza et al. (2009), которые также зарегистрировали триплоидное число хромосом у *C. fluminalis* с электростанции Долна Одра (Польша) [8].

Моллюски рода *Corbicula* являются одними из наиболее успешных инвазионных видов [9,13]. Поэтому, анализ числа хромосом позволяет выявить роль полиплоидии в адаптации этого рода к новым местообитаниям [8]. В целом полиплоиды более приспособлены к суровым условиям окружающей среды, более того, наличие множественных копий генома обеспечивает буфер против накопления мутаций [14].

Исследование проведено при финансовой поддержке гранта ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН «Цитогенетическая характеристика популяции инвазивного моллюска *Corbicula fluminalis* (Bivalvia: Cyrenidae) бассейна р. Северная Двина» (цитогенетические исследования) и гранта РФФИ № 21-14-00092 «Филогения,

биогеография, интегративная таксономия и особенности репродукции двустворчатых моллюсков рода *Corbicula* (Bivalvia: Cyrenidae)» (изучение размножения *C. fluminalis*).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hedtke S.M., Stanger-Hall K., Baker R.J., Hillis D.M. All male asexuality: origin and maintenance of androgenesis in the Asian clam *Corbicula* // *Evolution*. 2008. №62. P. 1119-1136.
2. Ishibashi R., Ookubo K., Aoki M., Utaki M., Komaru A., Kawamura K. Androgenetic reproduction in a freshwater diploid clam *Corbicula fluminea* (Bivalvia: Corbiculidae) // *Zoological Science*. 2003. №20. P. 727-732.
3. Komaru A., Kumamoto A., Kato T., Ishibashi R., Obata M., Nemoto T. A hypothesis of ploidy elevation by formation of a female pronucleus in the androgenetic clam *Corbicula fluminea* in the Tone River estuary, Japan // *Zoological Science*. 2006. №23. P. 529-532.
4. Komaru A., Konishi K., Nakayama I., Kobayashi T., Sakai H., Kawamura K. Hermaphroditic freshwater clams in the genus *Corbicula* produce non-reductional spermatozoa with somatic DNA content // *Biology Bulletin*. 1997. №193. P. 320-323.
5. Pigneur L.M., Hedtke S.M., Etoundi E., Van Doninck K. Androgenesis: a review through the study of the selfish shellfish *Corbicula* spp. // *Heredity*. 2012. №108. P. 581-591.
6. Qiu A., Shi A., Komaru A. Yellow and brown shell color morphs of *Corbicula fluminea* (Bivalvia: Corbiculidae) from Sichuan Province, China, are triploids and tetraploids // *Journal of Shellfish Research*. 2001. №20. P. 323-328.
7. Park G., Yong T., Im K., Chung E. Karyotypes of three species of *Corbicula* (Bivalvia: Veneroida) In Korea. *Journal of Shellfish Research*. 2000. №19. P. 979-982.
8. Skuza L., Labecka A.M., Domagala J. Cytogenetic and morphological characterization of *Corbicula fluminalis* (O. F. Müller, 1774) (Bivalvia: Veneroida: Corbiculidae): Taxonomic status assessment of a freshwater clam // *Folia biologica (Kraków)*. 2009. №57. P. 3-4.
9. Bespalaya Y.V., Bolotov I.N., Aksenova O.V., Kondakov A.V., Gofarov M.Y., Laenko T.M., Sokolova S.E., Shevchenko A.R., Travina O.V. Aliens are moving to the Arctic frontiers: an integrative approach reveals selective expansion of androgenic hybrid *Corbicula* lineages towards the North of Russia // *Biological Invasions*. 2018. №20. P. 2227-2243.
10. Bespalaya Y.V.; Aksenova O.V.; Kropotin A.V.; Shevchenko A.R.; Travina O.V. Reproduction of the androgenetic population of the Asian *Corbicula* clam (Bivalvia: Cyrenidae) in the Northern Dvina River basin, Russia // *Diversity*. 2021. №13. article 316.
11. Kligerman A.D., Bloom S.E. Rapid chromosome preparations from solid tissues of fishes // *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. 1977. №34. P. 266-269.
12. Pfenninger M., Reinhardt F., Streit B. Evidence for cryptic hybridization between different evolutionary lineages of the invasive clam genus *Corbicula* (Veneroida, Bivalvia) // *Journal of Evolutionary Biology*. 2002. №15. P. 818-829.
13. Bespalaya Y.V., Kropotin A.V., Kondakov A.V., Aksenova O.V., Gofarov M.Y., Kim S. Ki., Lee J.H., Travina O.V., Vikhrev I.V., Vinarski M.V., Bolotov I.N. A taxonomic reassessment of native and invasive species of *Corbicula* clams (Bivalvia: Cyrenidae) from the Russian Far East and Korea // *Zoological Journal of the Linnean Society*. 2023. №197. P. 104–126.
14. Otto S.P. The evolutionary consequences of polyploidy // *Cell*. 2007. №131. P. 452-462.

## КАРТИРОВАНИЕ ПОДВОДНЫХ МАКРОФИТОВ ПРИ ПОМОЩИ - ПОДВОДНОЙ ВИДЕОСЪЁМКИ. ОПЫТ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ОЗЕРЕ НАРОЧЬ, РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ

Крюк Д.В.<sup>1</sup>, Адамович Б.В.<sup>1</sup>, Послед О.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, г. Минск, KrukDV@bsu.by

<sup>2</sup>Государственное природоохранное учреждение “Национальный парк “Нарочанский”, к.п. Нарочь

Знание структуры макрофитного пояса водоёмов совершенно необходимо для точного описания состояния водных экосистем. Являясь первичными продуцентами, они вносят значительный вклад в первичную продукцию водоёма. Биомасса макрофитов включается в энергетические потоки и служит кормовой базой для гидробионтов-фитофагов. Многие водные растения выступают в роли накопителей азота и фосфора. Кроме того, макрофиты являются субстратом для прикрепления и развития перифитона, моллюсков и их заросли служат убежищем для активно перемещающихся позвоночных и беспозвоночных животных. Области произрастания погруженных макрофитов обеспечивают разделение подводного придонного пространства на зоны с разным видовым составом и различными экологическими особенностями. Однако, не все макрофиты одинаково активно разлагаются, поедаются и заселяются. С повышением разнообразия состава макрофитов и площадей зарослей возрастает также и разнообразие фауны водоёма [1]. Когда возникает вопрос о том, каким образом можно картировать макрофиты в водоёме выбор метода во многом определяется морфологией изучаемого водоёма.

Прежде чем поделиться нашим опытом картирования макрофитов при помощи видеосъёмки следует описать водоём на котором проводились исследования в 2016-2017 гг. Озеро Нарочь находится на территории Национального парка «Нарочанский» в северо-западной части Республики Беларусь, как это видно на рисунке 1. Озеро Нарочь – это крупнейший естественный водоём Республики Беларусь, его площадь составляет 79,6 км<sup>2</sup>. Из-за обширной литоральной зоны средняя глубина озера составляет всего 8,9 м. Максимальная глубина 24,8 м. Прозрачность воды колеблется от 4,5 до 8 м в течение вегетационного сезона [2]. Глубина распространения погруженных макрофитов достигает 8 м. Сообщество макрофитов в озере Нарочь представлено 53 видами, из которых 28 – воздушно-водные и плавающие.

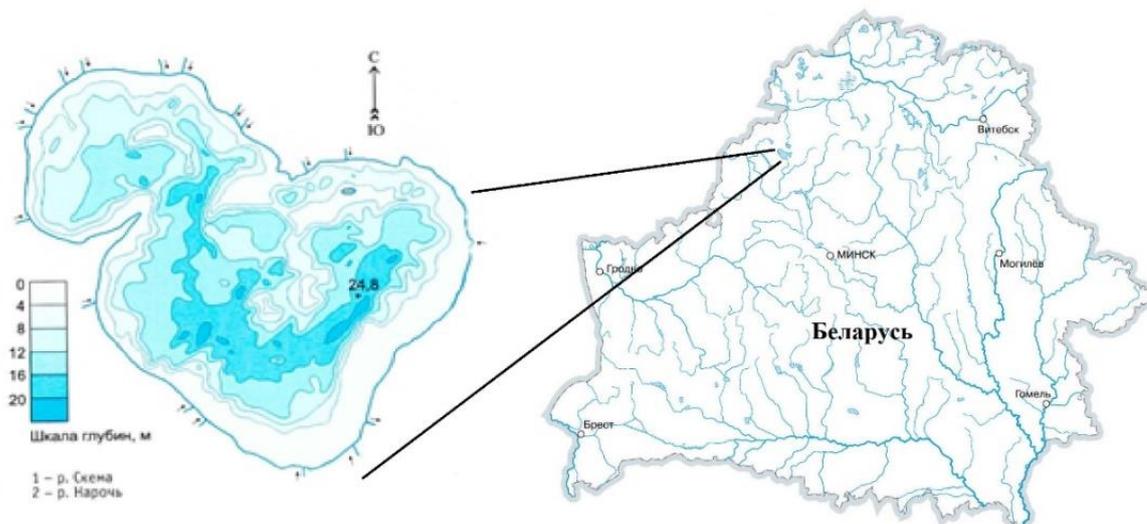


Рис. 1 – Схема и расположение озера Нарочь

Нарочь одно из самых хорошо изученных озёр Беларуси. На нем круглогодично ведутся наблюдения за основными гидроэкологическими показателями. Первые известные работы по изучению макрофитов были выполнены в 1950-х гг. а последняя предшествующая нашей съёмка проводилась в 1999 г. В тот период в озере происходила начавшаяся в начале 1990-х гг. бентификация экосистемы, вызванная массовым размножением двустворчатого инвазивного моллюска-фильтратора *Dreissena polymorpha* Pallas, 1771. Основным следствием процесса бентификации стало переключение потоков вещества и энергии от планктонных сообществ к бентосным и перифитонным (при сохранении продукционного уровня экосистемы в целом). Резкие изменения в толще воды привели, в числе прочего, и к изменению условий развития для погруженной растительности: в частности, к возрастанию прозрачности воды, что потенциально увеличивает зону распространения макрофитов в озере [3]. Из-за существенного влияния популяции дрейссены на состояние озёрных экосистем в последние годы ведётся тщательное наблюдение за состоянием популяции дрейссены в оз. Нарочь, поэтому во время макрофитной съёмки так же оценивалась численность и биомасса дрейссены на макрофитах.

Съёмка, отбор проб и их первичная обработка проводилась с июня по август 2016 г. и с июня по сентябрь 2017 г. на базе УНЦ «Нарочанская биологическая станция им. Г.Г. Винберга» БГУ.

Процесс съёмки происходил следующим образом. По заранее намеченному маршруту в придонном слое продвигались дайверы, оснащённые камерой, рамкой площадью 0,5 м<sup>2</sup> и пакетами для отбора проб. Съёмка производилась на протяжении следования по всей трансекте, периодически на пути следования по трансекте при смене растительных ассоциаций производился отбор проб и отмечалась станция отбора. Сверху за ними следовала лодка, которая ориентировалась на местоположение дайверов и корректировала их маршрут при помощи надувного буйка, прикрепленного тросом к одному из аквалангов. Кроме того, данный буй использовался для подачи условного сигнала к сбросу дайверам троса с грузом, на который ими закреплялись заполненные пробами тканевые мешки, или же для сброса новых мешков. Дайверы были оснащены приборами, отображающими время, текущую глубину и температуру воды. Приборы вели непрерывную запись этих показателей. Периодически дисплей прибора помещали в объектив видеокамеры для более удобного отслеживания положения дайверов по видеозаписи, а также для определения глубины той или иной станции отбора проб. Впоследствии эта информация передавалась на специальное ПО «Suunto DM5», снимающее данные с прибора и представляющую их в виде графика. Анализ данных графиков позволил уточнить глубину, на которой находилась станция в случае невозможности определения этого показателя по видеозаписи. Примеры кадров представлены на рисунке 2.



Рис. 2 – Кадры съёмки оз. Нарочь. Заросли хары (А) и граница перехода зарослей телореза в заросли элодеи (Б)

Видеосъёмка велась с помощью видеокамеры GoPro Hero5, оснащенной водонепроницаемым чехлом, не влияющим на качество итоговой записи. Качество видеоматериала, разумеется, недостаточно для точного видового определения растений, однако приемлемо для безошибочного определения растений до рода (телорез, хара, элодея и так далее), и описания различных растительных ассоциаций. Стоит отметить, что подобные видеофайлы занимают достаточно большой объём памяти на электронных носителях.

На оз. Нарочь были намечены девять трансект. Далее при помощи данных GPS, временным показателям и материалам видеосъёмки на батиметрическую карту озера были нанесены преобладающие растительные ассоциации (рисунок 3).

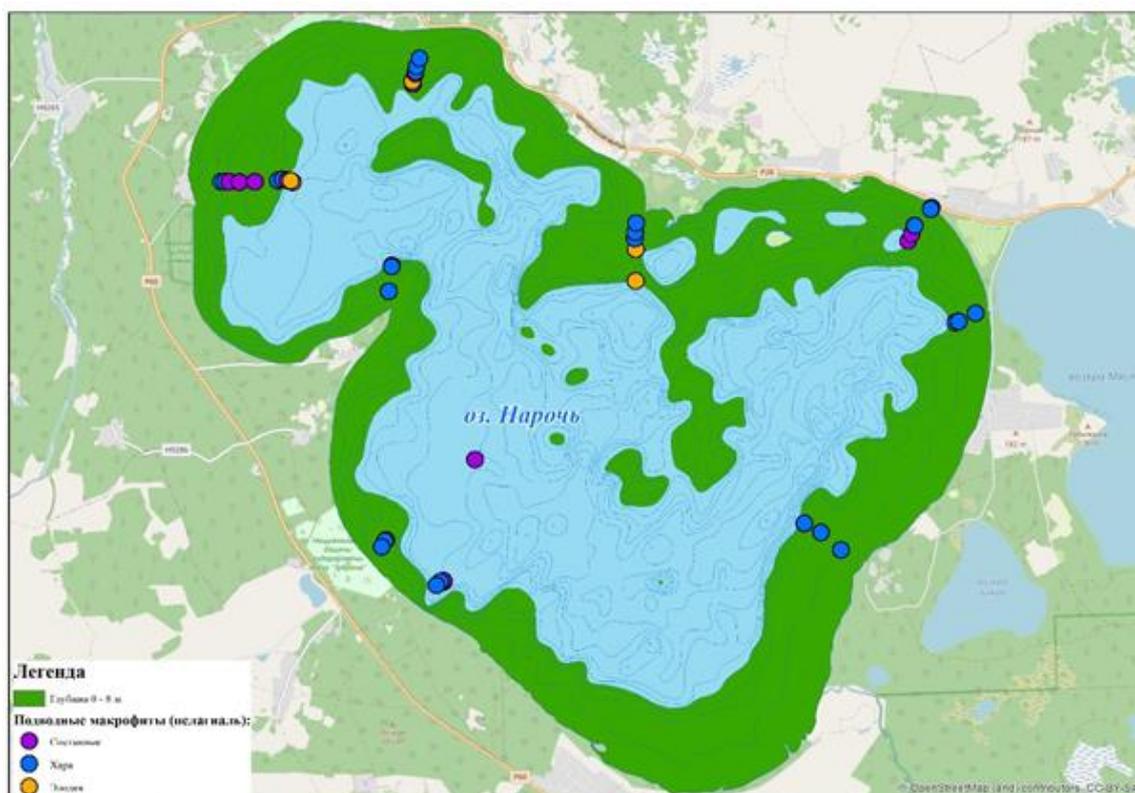


Рис. 3 – Расположение трансект

Точки на карте отображают станции, где проводился сбор макрофитов. Жёлтыми точками отмечены станции, где в пробе обнаруживалась преимущественно Элодея канадская, синими точками – Харовые водоросли а розовыми точками станции, где были собраны макрофиты различных таксономических групп, произрастающие смешанно. Зелёным цветом закрашена область, где глубина не превышает 8 м, поскольку граница распространения макрофитов в озере Нарочь находится на глубине 8 м.

В результате съёмки удалось уточнить изменение в топологии основных подводных растительных ассоциаций в озере Нарочь. В озере выделяются три основные растительные ассоциации, которые образуют макрофитные пояса. Пояса несколько различаются в разных частях озера.

Видеосъёмка позволяет успешно картировать подводную растительность, однако процесс съёмки достаточно трудоёмок. Основную сложность составляет необходимость привлечения дайверов. Оборудование для видеосъёмки в настоящее время хорошо распространено и доступно. Большую сложность составляет необходимость определения координат под водой, поскольку в отличие от камер для подводной съёмки оборудование, определяющее GPS координаты под водой

достаточно дорогостоящее. В настоящее время ведутся разработки методики по использованию гражданских подводных дронов для видеосъемки. На рынке есть бюджетные доступные модели, благодаря которым можно осуществлять съемку более плотно и подробно, однако не все они оснащены функцией документирования точного местоположения во время съемки и представляют собой, по сути, камеру с дистанционным управлением. Однако картирование при помощи видеосъемки намного более удобно по сравнению с дночерпательными методами и может успешно использоваться для изучения погруженной растительности на значительных глубинах, разумеется при условии высоких показателей прозрачности воды.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жукова А.А., Жукова Т.В., Макаревич О.А., Остапеня А.П. Роль полупогруженных макрофитов в функционировании Нарочанских озер // Экология биосистем: проблемы изучения, индикации и прогнозирования: Мат. II Междунар. науч.-практ. конф., – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2009. – С. 295-299.
2. Бюллетень экологического состояния озер Нарочь, Мясстро, Баторино (2015 год) / Т.В. Жукова и др.; под ред. Т.М. Михеевой. – Минск, БГУ. – 2016. – 113 с.
3. Остапеня А.П., Жукова Т.В., Михеева Т.М., Ковалевская Р.З., Макаревич Т.А., Жукова А.А., Лукьянова Е.В., Никитина Л.В., Макаревич О.А., Дубко Н.В., Карабанович В.С., Савич И.В., Верес Ю.К. Бентификация озерной экосистемы: причины, механизмы, возможные последствия, перспективы исследований // Труды БГУ. 2012. Т. 7, Ч. 1. С.135-148.

#### ***ANISAKIS SIMPLEX* (NEMATODA: ANISAKIDAE) КОРЮШКИ БЕЛОГО МОРЯ**

Кузнецова И.А.<sup>1</sup>, Кондаков А.А.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова РАН УрО РАН, г. Архангельск

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, [kia.iepn@gmail.com](mailto:kia.iepn@gmail.com)

Корюшка (*Osmerus eperlanus*) является одной из основных объектов промысла в водоемах Европейского севера России, целью спортивного рыболовства и входит в кормовую базу ряда хищных рыб. В Архангельской области беломорская корюшка является одной из рыб, которая массово вылавливается и реализуется на региональном рынке [1]. Зараженные нематодами особи рыб могут служить причиной анизакидоза [2, 3] и аллергических реакции [4] при её потреблении в пищу человеком или домашними животными. Анизакидоз, вызывающий тяжелые клинические симптомы [5, 6], возникает при употреблении зараженной личинками нематод семейства Anisakidae сырой, недоваренной или недостаточно законсервированной рыбы [7].

По результатам ДНК баркодинга фрагмента митохондриального гена COI нематод из корюшки Белого моря 2020 года вылова (pWS02, pWS04) паразитов можно отнести к виду *Anisakis simplex* (рисунок), заражение личинками которого является причиной самого часто регистрируемого и тяжелого анизакидоза [8].

Полученные данные подтверждают сведения о зараженности *A. simplex* морских рыб Российской Арктики и указывают на необходимость получения дополнительных исследований зараженности нематодами коммерческих уловов рыб.

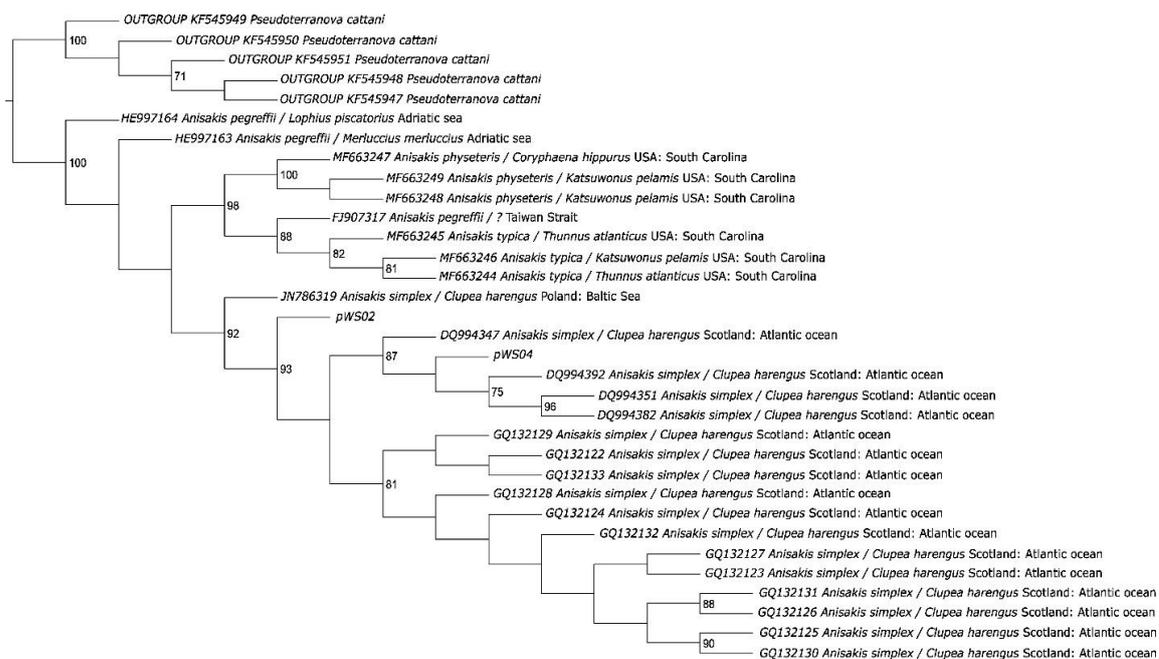


Рис. – Филогенетическое дерево максимального правдоподобия (алгоритм Muscle): номер последовательности в базе данных GenBank, вид паразита / вид хозяина и место отбора, в узлах показаны бутстреп-поддержки (значения менее 70% удалены)

Исследования проведены при финансовой поддержке РФФ, проект № 19-14-00066-П «Влияние ландшафтно-зональных условий и антропогенных воздействий на биологическое разнообразие и экосистемы пресных вод Арктики (в масштабе геологического и исторического времени)».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дроздов В.В., Смирнов Н.П., Косенко А.В. Многолетняя динамика уловов промысловых рыб Белого моря в зависимости от климатических колебаний и состояния рыбопромысловой отрасли // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2013. № 27. С. 148-166.
2. Гаевская А.В. Анизакидные нематоды и заболевания, вызываемые ими у животных и человека. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005. 223 с.
3. Сердюков А.М. Проблема анизакидоза // Медицинская паразитология и паразитарные болезни. 1993. № 2. С. 50-54.
4. Abdelsalam M., Attia M.M., Mahmoud M.A. Comparative morphomolecular identification and pathological changes associated with *Anisakis simplex* larvae (Nematoda: Anisakidae) infecting native and imported chub mackerel (*Scomber japonicus*) in Egypt // Regional Studies in Marine Science. 2020. Vol. 39, 101469. DOI: 10.1016/j.rsma.2020.101469.
5. Shamsi S., Butcher A.R. First report of human anisakidosis in Australia // The Medical Journal of Australia. 2011. Vol. 194. pp. 199-200. DOI: 10.5694/j.1326-5377.2011.tb03772.x.
6. Nagasawa K. The biology of *Contracaecum osculatum sensu lato* and *C. osculatum* A (Nematoda: Anisakidae) in Japanese waters: a review // Biosphere Science. 2012. Vol. 51, pp. 61-69. DOI: 10.15027/34527.
7. Anshary H., Sriwulan P.M., Freeman M.A., Ogawa K. Occurrence and molecular identification of *Anisakis* Dujardin, 1845 from Marine Fish in Southern Makassar Strait, Indonesia // The Korean Journal of Parasitology. 2014. Vol. 52 (1). pp. 9-19.
8. Соловьева Г.Ф., Таран Н.А. Два случая обнаружения личинок *Anisakis simplex* (Ascaridina, Anisakidae) в желудке у человека // Известия Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра. 2000. т. 127. С. 590-592.

## К ВОПРОСУ О ПИТАНИИ ОКУНЯ РЯДА СОЛОВЕЦКИХ ОЗЕР (ПО МАТЕРИАЛАМ ЛЕТНЕЙ СЪЕМКИ 2022 Г.)

Лукина В.А., Новосёлов А.П., Дворянкин Г.А.

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лавёрова, г. Архангельск, lukina.valleria@yandex.ru

Известно, что изучение питания хищных рыб имеет большое значение для рациональной организации рыбохозяйственных мероприятий. Как отмечал Г.В. Никольский, значение влияния хищников на ихтиофауну водоема сходно по характеру с влиянием вылова, но в отличие от промысла хищники не просто изымают, а преобразуют биомассу в продукцию более высокого качества [1, 2].

Обыкновенный окунь – эврибионтный политопный вид, один из доминирующих видов, обитающих в озёрах Большого Соловецкого острова, играющий в трофических отношениях роль факультативного хищника и кормового объекта других видов рыб. Обладая широкой экологической пластичностью, окунь может обитать в разнотипных водоемах, в том числе находящихся под значительной антропогенной нагрузкой. Поэтому окуня зачастую используют как вид-индикатор экологического благополучия водоемов [3 – 6].

Сбор, фиксация, а также камеральная обработка материалов по питанию окуня в озерах Большое Красное и Банное проводились по общепринятым методиками [7, 8]. Содержимое каждого желудочно-кишечного тракта исследовалось отдельно, при этом рассматривался как фактический вес пищевого комка, так и его отдельные компоненты. Для количественной и качественной оценки содержимого желудков рассчитывались: соотношение в пищевом рационе таксономических групп по массе ( $P$ , %), частота встречаемости ( $F$ , %) и индекс относительной значимости ( $IR$  – index of relative significance) по формуле:

$$IR = \frac{F_i P_i}{\sum F_i P_i} * 100\%,$$

где  $F_i$  – частота по встречаемости каждого вида корма,  $P_i$  – доля по массе, а сама величина  $i$  меняется от 1 до  $n$  ( $n$  – число видов кормовых организмов в пищевом комке) [9]. Идентификация организмов пищевого комка проводилась до уровня отрядов и/или семейств с использованием «Краткого определителя беспозвоночных пресных вод центра Европейской России» [10].

### Озеро Большое Красное

Это самый крупный водоем Соловецкого архипелага, расположенный в северо-западной части Б. Соловецкого острова. Площадь озера составляет 2,74 км<sup>2</sup>, на его акватории находится 21 остров общей площадью около 0,1 км<sup>2</sup>. Это озеро является важным элементом пресноводной экосистемы архипелага, являясь головным водоемом озерно-канальной системы Большого Соловецкого острова, включающим в себя десятки озер (в т.ч. самые большие) и наиболее подверженным антропогенному воздействию.

Общий пищевой спектр окуня в июле 2022 г. в оз. Большое Красное состоял из амфибиотических личинок и куколок членистоногих. При этом основу питания составляли личинки ручейников и куколки хирономид (55.5 и 41.2 %, соответственно) при этом куколки хирономид употреблялись в пищу в два раза интенсивнее. Личинки хирономид отмечены незначительно, хотя и встречались в равном количестве с доминантным кормовым объектом – личинками ручейников. Интенсивность питания (индекс наполнения желудочно-кишечных трактов) была в летний период невысокой и составляла 15,6 о/ооо (рис. 1).

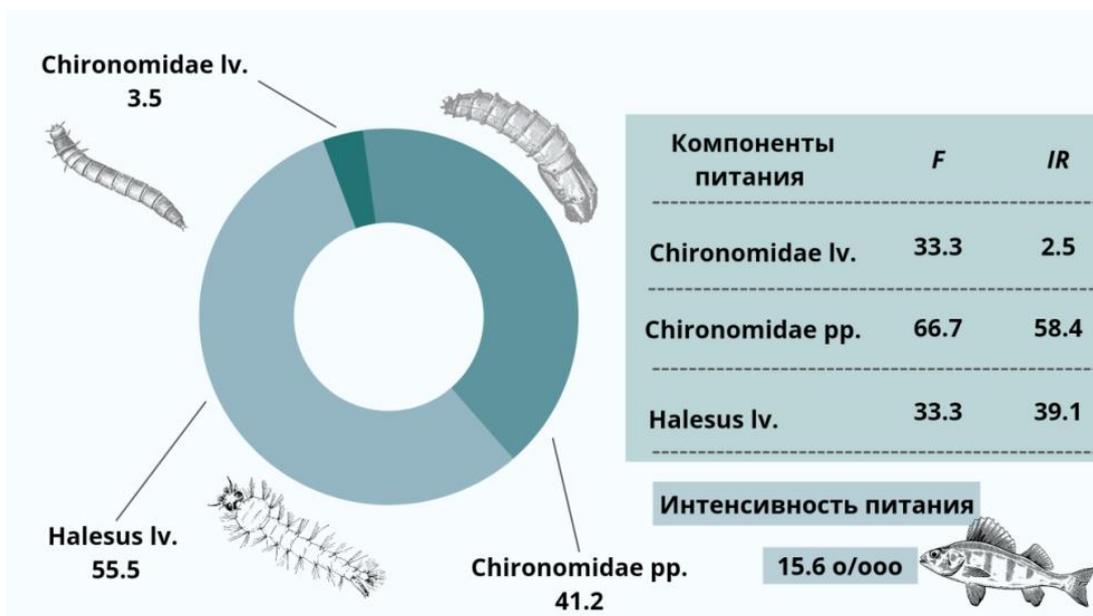


Рис. 1 – Общий характер питания окуня в оз. Большое Красное

### Озеро Банное

Оз. Банное расположено непосредственно в границах п. Соловецкий и является водоемом с очень высокой степенью антропогенного воздействия на его экологию и биоту. Озеро Банное является вторым по величине пресноводным водоемом (после Святого озера), расположенном на территории поселка Соловецкий (в северо-восточной его части, в координатах 65°01'49" с.ш. и 35°42'21" в.д.). Водоем относится к категории очень малых озер.

Пищевой спектр окуня в оз. Банное в июле 2022 г. состоял лишь из двух компонентов одного таксона на уровне типа – Arthropoda (рис. 2). Куколки хирономид и личинки ручейников встречались в равном соотношении в желудочно-кишечных трактах, но значение ручейников в питании было в 4 раза выше, чем куколок хирономид. Интенсивность питания находилась в летний период на очень низком уровне, составляя лишь 5,2 о/ooo (рис. 2).

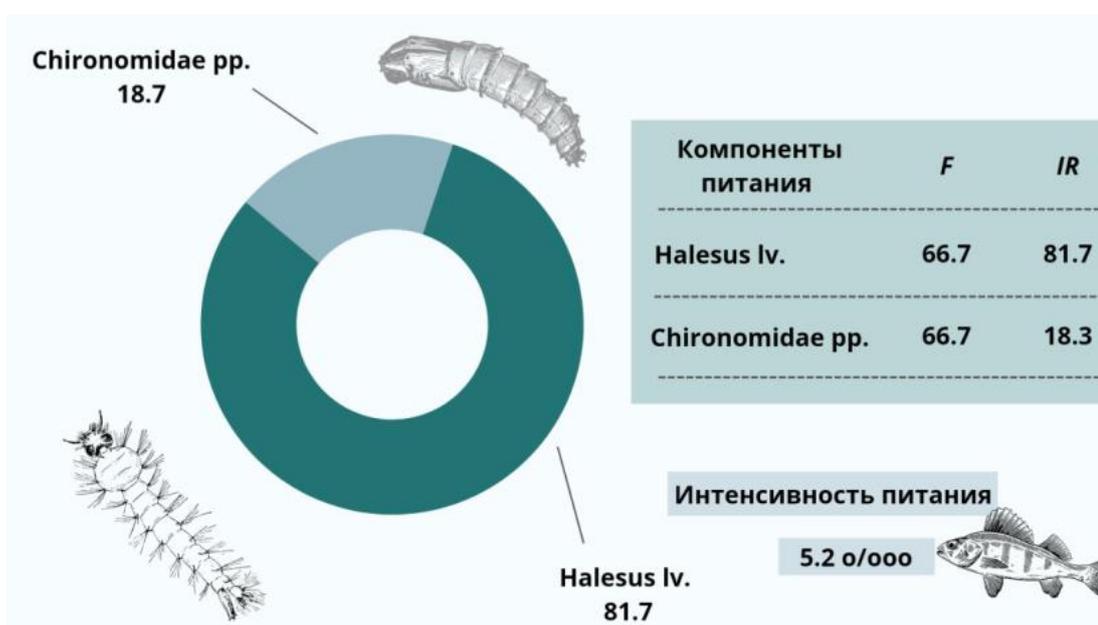


Рис. 2 – Общий характер питания окуня в оз. Банное

К особенностям питания окуня в озёрах о. Большой Соловецкий в летний период можно отнести достаточно низкую интенсивность питания (причем в оз. Банное втрое ниже, чем в оз. Большое Красное), а также невысокое разнообразие пищевых компонентов в общем пищевом спектре. Основу питания в обоих озерах составляли личинки ручейников (от 55.5 до 81.7 % по весу и от 39.1 до 81.7 % по значимости пищевого компонента) и куколки хирономид (18.7–41.2 % по весу, 58.4–81.7 % по значимости). Довольно узкий пищевой спектр питания окуня может объясняться обильным вылетом амфибиотических личинок насекомых, так как окунь в этот период не использовал стратегию хищника и не питался мальками рыб, перейдя на более доступный вид корма.

Важное значение основных озер острова Большой Соловецкий в жизни местного населения, туристов, других посетителей архипелага и в силу значительного антропогенного воздействия на эти водоемы, требуют их комплексного мониторинга. Он должен включать исследования озерных гидробиоценозов, определения гидрологических, гидрохимических параметров, кормовой базы, состава ихтиофауны, а также степени антропогенного воздействия на все составляющие водных экосистем.

Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ, проект № 22-14-20045 «Оценка современного состояния пресноводных экосистем Соловецкого архипелага (фундаментальный и прикладной аспекты)».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экология рыб / Под ред. Никольского Г. В. М.: Высшая школа, 1974а. 376 с.
2. Теория динамики стада рыб / Под ред. Никольского Г. В. М.: Пищ. пром-сть, 1974б. 448 с.
3. Рыбы пресных вод субарктики как биоиндикаторы техногенного загрязнения / Под ред. Кашулина Н. А., Лукина А. А., Амундсен П. А. Апатиты, 1999. 142 с.
4. Ericson G., Liewenborg B., Lindesjö E., Näf C., Balk L. DNA adducts in perch (*Perca fluviatilis*) from a creosote contaminated site in the River Ångermanälven, Sweden // *Aquat. Toxicol.* 1999. V. 45, № 2-3. P. 181-193.
5. Georgieva E., Yancheva V., Velcheva I. et al. Histological alterations under metal exposure in gills of European perch (*Perca fluviatilis* L.) from Topolnitsa Reservoir (Bulgaria) // *Arch. Biol. Sci. Belgrade.* 2015. V. 67, № 2. P. 729-737.
6. Стерлигова О. П., Ильмаст Н. В., Савосин Д. С. Окунь *Perca fluviatilis* (Percidae) разнотипных водоемов Карелии // *Уч. зап. Петрозаводского гос. ун-та. Общая биология.* 2016. № 2 (155). С. 57-62.
7. Методическое пособие по изучению питания и пищевых отношений рыб в естественных условиях / Под ред. Боруцкого Е. В. [и др.]. Москва: Наука, 1974. 254 с.
8. Решетников Ю.С., Попова О.А. О методиках полевых ихтиологических исследований и точности полученных результатов // *Труды ВНИРО.* Т. 156. 2015. С. 114 - 131.
9. Попова О.А., Решетников Ю.С. О комплексных индексах при изучении питания рыб // *Вопросы ихтиологии.* 2011. Т.51, №5. С.1-6.
10. Краткий определитель беспозвоночных пресных вод центра Европейской России / Под ред. Чертопруд М. В., Чертопруд Е. С. // 4-е изд., испр. и доп. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. 219 с.

## ИЗУЧЕНИЕ РАЗНООБРАЗИЯ ПРЕСНОВОДНЫХ РАКООБРАЗНЫХ НА СЕВЕРНОМ ОСТРОВЕ НОВОЙ ЗЕМЛИ И ОСТРОВЕ ВАЙГАЧ (ЕВРОПЕЙСКАЯ ЧАСТЬ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ)

Маниурова К.С.<sup>1</sup>, Аксёнова О.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск, ks.mants@bk.ru

<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, aksenova.olga@fciarctic.ru

Территория Арктики наиболее чутко реагирует на климатические флуктуации и все больше подвергается антропогенной нагрузке в связи с ее интенсивным освоением. Происходящие изменения отражаются как на пресноводных экосистемах в целом, так и на их обитателях. Среди них большинство составляют представители подтипа Ракообразные (Crustacea), которые входят в состав планктона и бентоса и являются одними из самых чувствительных к различным изменениям организмов в природе. В связи с этим они широко используются в качестве биоиндикаторов. Информацию об условиях окружающей среды, уровне антропогенной нагрузки и загрязненности водоемов можно получить, анализируя их разнообразие, а также возрастную структуру популяций ракообразных-биоиндикаторов [1]. Особый интерес вызывают Жаброногие раки (Branchiopoda) – группа древних и примитивных ракообразных, распространенных практически повсеместно и обитающих в самых разнообразных условиях, и в то же время они остаются до сих пор малоизученной таксономической группой.

Учитывая интенсивное освоение Арктики в последние годы, активное развитие туризма, а также небольшое количество данных о разнообразии арктических ракообразных, несмотря на исследования, проводимые предшественниками в 80–90-х гг. прошлого столетия [2–5], изучение разнообразия и проведение мониторинговых наблюдений за ракообразными пресных водоемов арктических островов представляется весьма актуальным.

Полевые исследования и отбор проб производился на Северном острове Новой Земли (Архангельская область) и острове Вайгач (Ненецкий автономный округ) в ходе экспедиции «Арктический Плавающий Университет – 2022» во второй половине июня. Сбор проб зоопланктона и зообентоса проводился по стандартным общепринятым в гидробиологии методикам с помощью гидробиологического скребка, сита и планктонной сети [6]. Все образцы были зафиксированы в 96%-м спирте. Изучение образцов проводилось с использованием стереоскопического микроскопа Leica M165C, оснащенный цифровой фотокамерой. При определении таксономического статуса ракообразных использовали определительные ключи зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России [7].

По результатам камеральной обработки и первичного анализа проб зоопланктона и зообентоса исследуемых озер были обнаружены ракообразные четырех крупных таксономических рангов: Anostraca, Cladocera, Sorepoda и Ostracoda (Таблица 1).

Ракообразные встретились в 8 исследованных водоемах, при этом в сборах из водоемов Новой Земли преобладали веслоногие рачки (Sorepoda) и единично встречались их науплиусы. Наибольшее таксономическое разнообразие пресноводных ракообразных отмечено для озер на юге о. Вайгач. Здесь помимо остракод были зарегистрированы представители класса Жаброногие (Branchiopoda): ветвистоусые рачки (Cladocera) и Жаброноги (Anostraca). Отряд Anostraca был представлен двумя видами: *Branchinecta paludosa* и *Polyartemia forcipata*, которые населяли единую систему озер в окрестностях поселка Варнек на о. Вайгач. При этом в Озере 1 были

собраны оба вида с доминированием *Branchinecta paludosa*, Озеро 2 населял один вид *Polyartemia forcipata*, а в Озере 3 был отмечен только вид *Branchinecta paludosa*.

Таблица 1 – Разнообразие и распространение пресноводных ракообразных

Таксон	Местонахождение							
	Северный остров, архипелаг Новая Земля					о. Вайгач		
	Русская Гавань, оз. Ретовского	Русская Гавань, Озеро 1	Ледяная Гавань, оз. Топкое	Мыс Желания, оз. Амональное	Мыс Желания, оз. Отрадное	Озеро 1	Озеро 2	Озеро 3
Anostraca	–	–	–	–	–	+	+	+
Cladocera	–	–	–	–	–	–	+	+
Copepoda	–	+	+	+	+	+	+	–
Ostracoda	+	–	–	–	–	+	–	–

По данным Н.В. Вехова ракообразные отряда Anostraca широко распространены в водоемах Новой Земли. Самым распространённым видом здесь являлись рачки вида *Branchinecta paludosa*, которые встречались по всему побережью Баренцева моря вплоть до залива Иванова. Также наряду с голым жаброногим автором был отмечен циркумполярный вид из отряда Щитни (Notostraca) *Lepidurus arcticus*. Самая северная находка данного вида была сделана им в озерах Крестовской губы Северного острова Новой Земли [5, 8]. Однако в наших сборах Жаброногие на Новой Земле, к сожалению, не встретились. Следует отметить, что в период исследований водоемы частично или полностью были покрыты льдом, а средняя температура воды в озерах Новой Земли составила 3,7 °С (в отличие от озер на острове Вайгач, где температура воды была 12 °С), что является критически низкой температурой для развития ракообразных, в частности и для класса Branchiopoda. Учитывая сроки отбора проб и единичные находки науплиусов копепод можно предположить, что период активного развития у ракообразных в водоемах Северного острова Новой Земли только начался.

Обобщая вышесказанное необходимо продолжить начатые исследования, и в дальнейшем расширить период наблюдений для получения объективной картины о таксономическом разнообразии ракообразных и сопоставления полученных результатов с данными предшественников.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rinderhagen, M. Crustaceans as Bioindicators [Electronic resource] // Manfred Rinderhagen, Jürgen Ritterhoff, Gerd-Peter Zauke / In Biomonitoring of Polluted Water-Reviews on Actual Topics. Trans Tech Publications-Scitech Publications, Environmental Research Forum, 9, p. 161-194.
2. Вехов, Н. В. Низшие ракообразные (Crustacea, Entomostraca) водоемов полярных пустынь и арктических тундр на островах восточной части Баренцева моря [Текст] / Н. В. Вехов // Вестник зоологии. 1997. Т. 31. С. 25–32.
3. Вехов, Н. В. Ракообразные водоемов приморских участков восточного побережья архипелага Новая Земля [Текст] / Н. В. Вехов // Биология внутренних вод. 1998. №1. . 14–20.
4. Вехов, Н. В. Ракообразные мелких водоемов островов восточной части Баренцева моря и пролива Карские ворота [Текст] / Биология внутренних вод. 2000. №2. С. 42–47.
5. Vekhoff, N. V. Large branchiopod Crustacea (Anostraca, Notostraca, Spinicaudata) of the Barents Region of Russia [Text] / N. V. Vekhoff // Hydrobiologia. 1997. №359. p. 69–74.
6. Винберг, Г. Г. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его

- продукция [Текст] / Г. Г. Винберг, Г. М. Лаврентьева // Гос. НИИ озер. и реч. рыб. хоз-ва, АН СССР, Зоол. ин-т; Л. : ГосНИОРХ, 1984. 32 с.
7. Алексеев, В. Р. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Том 1. Зоопланктон [Текст] / В. Р. Алексеев, С. Я. Цалолихин; – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 495 с., ил.
8. Вехов, Н. В. Ракообразные водоемов полярных пустынь архипелага Новая Земля (Евро-Арктический Баренцевоморский регион) [Текст] / Н. В. Вехов // Биология внутренних вод. 2000. №3. С. 16–23.

## **ВЛИЯНИЕ ТОВАРНОГО РЫБОВОДСТВА НА РЫБНОЕ НАСЕЛЕНИЕ ОЗЕРНЫХ ЭКОСИСТЕМ КАРЕЛИИ**

*Милянчук Н.П., Ильмаст Н.В., Стерлигова О.П., Кучко Я.А., Распутина Е.Н.,  
Рекин Е.В.*

Институт биологии КарНЦ РАН, г. Петрозаводск, [ilmast@mail.ru](mailto:ilmast@mail.ru)

Актуальность изучения ихтиофауны пресноводных экосистем Карелии обусловлена наметившимися в последние годы тенденциями в их ускоренной трансформации. В северных озерах отмечена низкая рыбопродуктивность, а в последние годы наблюдается еще и значительное сокращение запасов и падение уловов ценных видов рыб, что привело к интенсификации работ, направленных на разработку биотехники их культивирования. Перспективным и экономически выгодным направлением в Республике Карелия является садковое рыбоводство в естественных водоемах, главным образом выращивание радужной форели (*Parasalmo mykiss*). Успешному развитию этого направления способствуют обилие водных ресурсов, благоприятные климатические условия региона, наличие транспортных сетей и квалифицированных кадров [1].

В республике товарным выращиванием радужной форели в садках занимаются с 1980-х гг. и за более чем за 40-летний период объемы ее производства значительно выросли, особенно за последние 5 лет (2016 г. –24 тыс. т, в 2021 г.–36 тыс. т). В настоящее время в Карелии функционирует около 70 фермерских хозяйств, и республика является лидером по производству форели в Российской Федерации. При умеренной цене на рыбу и за довольно короткий срок (1,5 года) садковое рыбоводство позволяет получить качественную товарную продукцию и высокую прибыль.

Однако рыбоводные фермы это не только прирост рыбной продукции, но и загрязнение природных экосистем. Основными источниками загрязнения при выращивании форели в садках являются корм, продукты метаболизма, и как показали результаты гидрохимических анализов последних лет, лимитирующими факторами служат азот и фосфор. Во многих странах, где хорошо развито производство форели и других лососевых рыб, уже в конце XX века до 80% биогенов от рыбоводных ферм поступало в моря, в Карелии все поступление идет во внутренние водоемы с пресной водой высокого качества. Сохранение природных вод является одной из важнейших задач при выращивании рыбы. Это особенно актуально для северных водоемов, в которых процессы трансформации органического вещества осуществляются крайне медленно, вследствие низких температур воды.

К настоящему времени накоплен огромный фактический материал по выделению фосфора, азота, органических и взвешенных веществ на единицу рыбоводной продукции [2]. Однако только на некоторых водоемах Карелии, в связи с проведением работ по определению влияния эксплуатации форелевых хозяйств на водные экосистемы, начали учитывать и оценивать гидробиологические показатели –

фитопланктон, зоопланктон, макрозообентос [3],[4]. В последние годы появились единичные исследования по ихтиофауне водоемов с товарным выращиванием радужной форели [5], [6]. В литературных источниках практически отсутствуют работы по влиянию форелевых ферм на образ жизни аборигенных видов рыб в пресноводных экосистемах (рост, питание, нерест, плодовитость и т.д.).

Целью работы являлось исследование биологических показателей преобладающих аборигенных видов рыб в условиях активного ведения товарного рыбоводства в водоемах Карелии. Основой работы послужили сборы в 2014–2021 гг. на четырех озерах с садковым выращиванием радужной форели (Сямозеро, Ладожское озеро, Онежское озеро, Тарасозеро). Сбор ихтиологического материала проводили в районах расположения садковых линий (садки) и на удалении от них (контроль). Камеральная обработка осуществлялась согласно методикам [7], [8]. Для анализа рыбоводных работ на водоемах Карелии наряду с результатами собственных полевых исследований использованы опубликованные материалы и данные рыбопромышленной статистики.

Республика Карелия имеет хорошо развитую гидрографическую сеть, которая представлена большей частью небольшими реками, которые соединяют многочисленные озера, образуя озерно-речные системы. Специфика региона обусловлена особенностями комплекса природных условий (геологического строения, рельефа, климата), а также его географическим положением [9]. Площадь республики составляет 172,4 тыс. км<sup>2</sup>, и для нее характерно уникальное изобилие озер (более 60 тысяч). В ее пределах находится около 50% акватории Ладожского и 80% – Онежского озер, являющихся крупнейшими пресноводными водоемами Европы. Самую многочисленную группу (более 50 тысяч) составляют озера до 10 га [10]. Озерность территории республики достигает 21%, этот показатель является одним из самых высоких в мире.

Особенность географического положения региона заключается в том, что ее территория лежит на Беломорско – Балтийском водоразделе между крупными базисами эрозии – Белым морем, Ладожским и Онежским озерами.

Химический состав поверхностных вод Карелии характеризуется низкой минерализацией, высокой цветностью и большим содержанием железа. Средняя минерализация составляет 22 мг/л, небольшую часть занимают водоемы с минерализацией 40 – 100 мг/л, водоемов с минерализацией свыше 100 мг/л известно не более 10 [11]. Воды Карелии отличаются между собой по минеральному составу, прежде всего по их щелочности (содержанию гидрокарбонатов), что является оптимальным для существования гидробионтов. В целом качество воды в водоемах Карелии отвечает рыбохозяйственным требованиям для обитания всех сообществ гидробионтов.

Анализ гидрологических, гидрохимических и гидробиологических показателей исследуемых водоемов Карелии показал, что все они имеют тектонико-ледниковое происхождение и отличаются по площади удельного водосбора, площади водного зеркала, средним и максимальным глубинам, прозрачности, показателю условного водообмена, а также по химическому составу воды. Озеро Тарасозеро и Малая Лижемская губа Онежского озера отличаются исключительно высокими показателями условного водообмена. Вода в Тарасозере заменяется водой с водосбора всего за пять дней, в Малой Лижемской губе – за девять. Это важный показатель при эксплуатации форелевых ферм.

Результаты химического анализа показали, что активная реакция у всех исследуемых вод близка к нейтральной (7,0–7,5). По солевому составу воды относятся к маломинерализованным гидрокарбонатно–кальциевым. По показателям цветности, перманганатной окисляемости и содержанию органического вещества воды являются мезогумозными и относятся к мезотрофному типу [12].

Анализ результатов исследований свидетельствует, что в исследуемых водоемах в районах размещения садковых форелевых хозяйств рыбное население было представлено (на 90%) весенне-нерестующими видами (окунь, ерш, плотва). Отмечено, что непрерывно поступающий корм от форелевых хозяйств является основной причиной формирования повышенной концентрации рыб вокруг садков.

Сравнительный анализ роста показал, что у садков он значительно выше, чем в отдаленных участках почти во всех исследуемых водоемах. Исключение составляет Лижемская губа Онежского озера и Тарасозеро, где различий в росте рыб не установлено и это, вероятно, связано с высокой проточностью в районе форелевых хозяйств.

В целом, форелевые хозяйства Карелии оказывают значительное негативное влияние на гидрохимические и гидробиологические показатели водоемов. Увеличение содержания биогенных элементов усиливает процесс эвтрофирования водных экосистем и приводит к тому, что преимущество получают весенне-нерестующие виды рыб с высокой плодовитостью, коротким сроком инкубационного периода и разнообразным питанием.

Установка садков в районе нерестилища ряпушки на оз. Сязозеро (губа Сяргилахта) привело к значительному ухудшению условий ее воспроизводства. В контрольных уловах данный вид встречен не был. Для сохранения ценных видов рыб (сиги, ряпушка и др.) при выращивании форели садки не должны быть установлены в районах их нереста, во избежание заиления нерестилищ и гибели икры. Также, не следует выделять рыбоводные участки в водоемах, имеющих малые площади, глубины и слабую проточность.

В целом, проблемы расширенного воспроизводства биоресурсов, особенно имеющих материально-экономическое значение, должны решаться путем разработок новых эффективных биотехнологий получения полезной продукции животного происхождения при условии сохранения природных популяций и экосистем [13], [14].

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания Карельского научного центра РАН.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Китаев С. П., Ильмаст Н. В., Михайленко В. Г. Кумжи, радужная форель, гольцы и перспективы их использования в озерах Северо-Запада России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. 108 с.
2. Китаев С.П., Ильмаст Н.В., Стерлигова О.П. Методы оценки биогенной нагрузки от форелевых ферм на водные экосистемы. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. 40 с.
3. Ильмаст Н.В. Рыбное население пресноводных экосистем Карелии в условиях их хозяйственного освоения. Автореферат на соискание доктора биол.наук. Москва: ИПЭЭ РАН, 2012. 44 с.
4. Стерлигова О.П., Ильмаст Н.В., Кучко Я.А. и др. Состояние пресноводных водоемов Карелии с товарным выращиванием радужной форели в садках. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2018. 127 с.
5. Рыжков Л.П., Онищенко И.Н., Онищенко Н.А., Шустов Ю.А. Особенности распределения аборигенных озерных рыб в зоне влияния форелевой фермы // Уч. записки ПетрГУ, 2014. № 2 (139). С. 23–29.
6. Дзюбук И.М., Шкляревич Г.А., Клюкина Е.А. Питание и рост ерша (*Gymnocephalus cernuus*) вЛактинской губе Онежского озера в зоне влияния садкового форелевого хозяйства // Уч. записки ПетрГУ, 2016. №4(157). С. 33–37.
7. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищевая промышленность, 1966. 376 с.

8. Дгебуадзе Ю.Ю., Чернова О.Ф. Чешуя костистых рыб как диагностическая и регистрирующая структура. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2009. 315 с.
9. Филатов Н.Н., Литвиненко А.В., Фрейндлинг В.А. и др. Каталог озер и рек Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2001. 290 с.
10. Озера Карелии. Справочник. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 464 с
11. Литвиненко А.В., Лозовик П.А. Гидрографические условия // Разнообразие биоты Карелии: условия формирования, сообщества, виды. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. С. 27–33.
12. Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 395 с.
13. Павлов Д.С., Стриганова Б.Р. Биологические ресурсы России и основные направления фундаментальных исследований // Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2005. С. 4–20
14. Алимов А.Ф., Богатов В.В., Голубков С.М. Продукционная гидробиология. Санкт-Петербург: Наука, 2013. 342 с.

## **ОБ АТЛАСЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ГИДРОБИОНТОВ БАРЕНЦЕВА МОРЯ**

*Новиков М.А.<sup>1</sup>, Харламова М.Н.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО») им. Н.М. Книповича), г. Мурманск, mnovik@pinro.ru

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Мурманский арктический университет», г. Мурманск

В издательстве Полярного филиала «ВНИРО» в 2024 г. запланирован выход «Атласа загрязнения промысловых гидробионтов Баренцева моря». Атлас завершает серию атласов загрязнения компонентов экосистемы Баренцева моря, начатую в 2020 г. изданием «Атласа загрязнения водных масс Баренцева моря» (276 с., 493 карты) и продолженную в 2021 г. «Атласом загрязнения донных отложений Баренцева моря» (183 с., 271 карта) [1, 2].

Настоящий Атлас представляет собой собрание из 280 стандартных аналитических карт распределения содержания загрязняющих веществ в гидробионтах Баренцева моря по видам организмов, а также 3 справочные и 6 специальных карт. В Атласе приведены карты содержания 14 неорганических и органических загрязняющих веществ в организме 8 видов рыб (треска, пикша, камбала-ерш, черный палтус и др.) и 3 видов беспозвоночных (камчатский краб и др.), а именно в мышцах, печени и гепатопанкреасе. Неорганические соединения представлены в основном тяжелыми металлами (Hg, Cd, Pb, Cu, Zn, Ni, Cr, Co), остальные представляют собой группу приоритетных токсичных для гидробионтов органических соединений: гексахлорциклогексаны ( $\Sigma$ ГХЦГ), гексахлорбензол (ГХБ), ДДТ и его метаболиты ( $\Sigma$ ДДТ), полихлорбифенилы ( $\Sigma$ ПХБ) и хлорданы. Кроме того, ввиду важности в качестве нормируемого в России в рыбной продукции микроэлемента дана информация по содержанию общего мышьяка [3]. Аналитические карты отражают распределение содержания загрязняющих веществ на морской акватории за период с 2009 по 2021 г. включительно. В виде исключения, из-за малого количества ранее отобранных проб северной креветки и краба-стригуна опилио приведены данные за период по 2022 г.

В соответствующем текстовом разделе Атласа приведены краткие сведения об источниках и объемах поступления загрязняющих веществ в окружающую среду, формах нахождения в воде, а также их токсичности для некоторых гидробионтов,

Материал для изучения собирался в рамках комплексных научных экспедиций, главным образом, на судах «ПИНРО» им. Н.М. Книповича в рамках выполнения программ государственного мониторинга водных биологических ресурсов. Исследованные гидробионты, преимущественно представители ихтиофауны и креветки, были пойманы в результате учетных тралений донным и пелагическим тралами в период с 2009 по 2022 гг. включительно практически на всей акватории Баренцева моря. В качестве донного трала в основном использовали учетный трал «Campelen-1800», в качестве пелагического – трал А8-623-000. Крабов также отбирали в процессе учетного ловушечного лова. По завершению процесса отбора проб, рыба, крабы и креветки целиком, замораживались при  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  для доставки в стационарную лабораторию. В замороженном виде пробы доставляли в лабораторию химико-аналитических исследований Центра экологического мониторинга «ПИНРО» им. Н.М. Книповича (г. Мурманск), где выполнялся их количественный химический анализ. Отбор проб рыбы, их консервацию и хранение осуществляли в соответствии с методическими указаниями ВНИРО [4].

У большинства рыб для анализа после разморозки отбирали образцы филе (мышцы) и печень, у крабов мышцы из клешней и фаланг и гепатопанкреас, у креветки только мясо (мышцы). У крабов гепатопанкреас – это орган системы пищеварения, который совмещает функции поджелудочной железы и печени. Для единообразия и краткости на соответствующих картах по крабам вместо гепатопанкреаса приводится принятое во всем Атласе наименование «печень». Мойву для анализа использовали целиком. В процессе аналитических исследований проб гидробионтов применялись методы капиллярной газовой хроматографии, хроматомасс-спектрометрии, пламенной и непламенной атомно-абсорбционной спектрофотометрии.

Карты электронного атласа выполнялись в среде настольного ГИС-приложения ArcMap 10 из пакета ArcGIS компании ESRI. В качестве топографической основы атласа использовалась глобальная цифровая модель рельефа – Etopo2 (URL: <http://gislab.info/qa/etopo2.html>), представленная привязанным растровым слоем в формате TIFF. Данная модель находится в открытом доступе и создана на основе нескольких источников. Для топографии суши использовались данные GLOBE – Global Land One-kilometer Base Elevation (разрешение 30 угловых секунд, 1 км), для батиметрии – определенным образом обработанные данные радарной альтиметрической съемки 1978 г., совмещенные с данными по гравитационным аномалиям для получения глубин. При создании атласа была выбрана равнопромежуточная коническая проекция, которая хорошо подходит для картографирования географических объектов, расположенных в высоких широтах. Она основана на двух стандартных параллелях  $70^{\circ}$  и  $80^{\circ}$  с.ш. и центральном меридиане  $45^{\circ}$  в.д.

Картографический материал сгруппирован по изучаемым объектам – сначала по видам промысловых рыб, затем – беспозвоночных. Набор карт каждого биологического вида предваряется кратким описанием его биологии, данными о современном состоянии промысла (промысловой значимости) и сведениями о его пищевой ценности. В основном окне каждой стандартной карты Атласа показано распределение содержания загрязняющих веществ в отдельных видах гидробионтов на акватории, справа приведены сведения о картографической проекции и масштабе. На рабочей странице Атласа попарно сгруппированы карты содержания поллютанта в мышцах и печени (гепатопанкреасе) рассматриваемого вида. Для представления информации выбран метод градуированных символов. Нулевые значения на аналитических картах означают, что содержание определяемого вещества в пробе донных отложений было ниже предела обнаружения примененного метода анализа. Примеры стандартных карт атласа приведены на рис. 1 и 2.

Каждый картографируемый элемент или загрязняющее вещество (поллютант) в атласе обозначены своим цветом. Для отображения тяжелых металлов применялась цветовая схема, используемая молекулярным визуализатором Jmol (URL: <http://jmol.sourceforge.net/>), для органических соединений цвета выбирались произвольно.

При классификации числовых данных стандартных цифровых карт использовался «встроенный» в приложение ArcMap 10 метод естественных границ, где границы классов определяются таким образом, чтобы сгруппировать схожие значения и максимально увеличить различия между классами. Данная классификация опирается на алгоритм естественных границ Дженкса (Jenks' Natural Breaks algorithm).

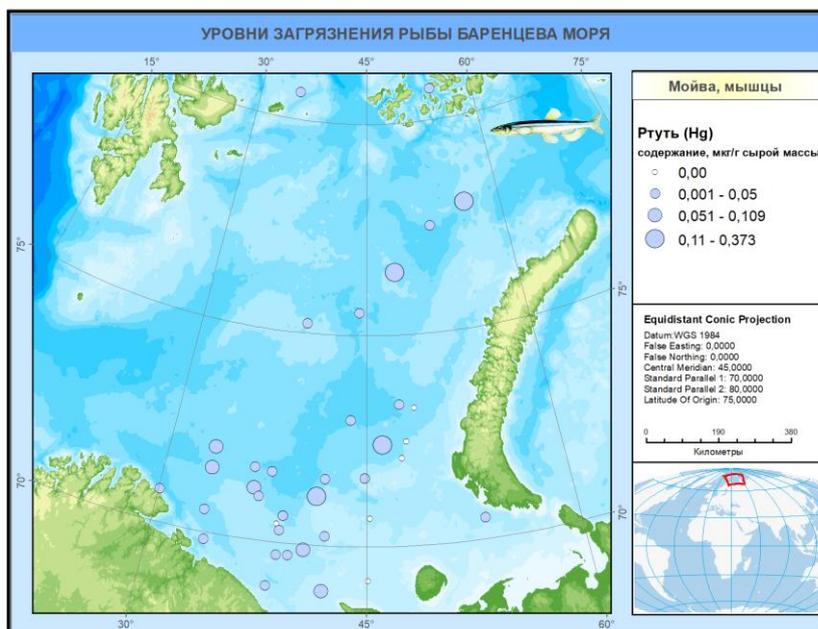


Рис. 1 – Образец карты Атласа: содержание ртути в мышцах мойвы

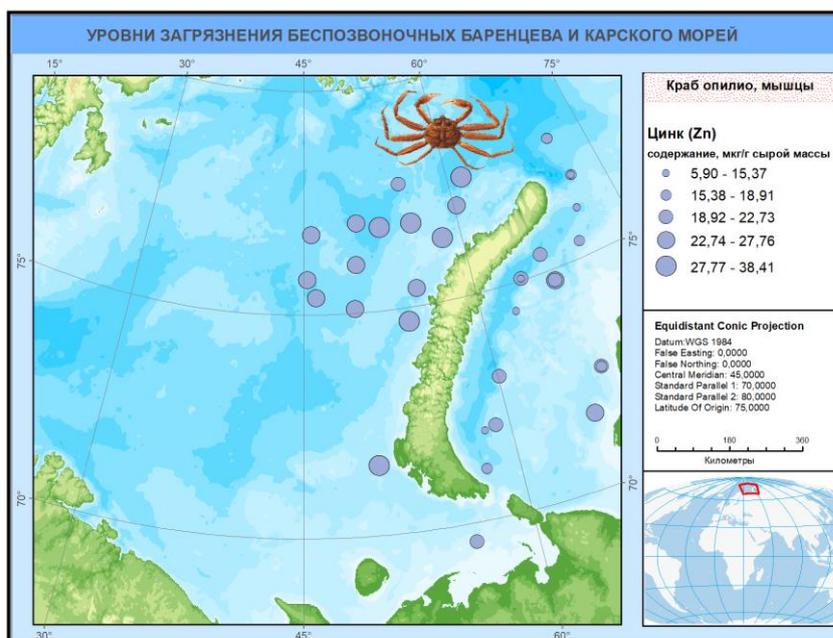


Рис. 2 – Образец карты Атласа: содержание цинка в мышцах краба-стригуна опилио

Специальные карты посвящены проблеме превышения содержания нормируемых элементов – As, Hg, Cd и Pb [3] в мышцах и печени промысловых рыб. Для решения этой проблемы ранее мы предприняли попытку вычислить фоновые уровни содержания этих микроэлементов в организме рыб и беспозвоночных [5,6], а затем отразить распространение особей гидробионтов с высоким, выше фона, их содержанием на специальных картах Атласа. С помощью этих карт рассматривается проблема локализации техногенного загрязнения в биоте Баренцева моря.

При написании текстовых частей атласа, имеющих справочный характер, и пояснительных записок использовалась научная литература. Список использованных источников приводится в конце атласа.

Атлас предназначен для геоэкологов, ихтиологов, технологов, а также специалистов широкого профиля, студентов и аспирантов, интересующихся проблемами загрязнения морских экосистем Арктики и Северной Атлантики.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Драганов Д.М., Новиков М.А. Атлас загрязнения водных масс Баренцева моря; Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича). Мурманск: ПИНРО им. Н.М. Книповича, 2020. 276 с.
2. Новиков М.А., Драганов Д.М. Атлас загрязнения донных отложений Баренцева моря; Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича). Мурманск: ПИНРО им. Н.М. Книповича, 2021. 182 с.
3. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011). М.: Росстандарт, 2011. 242 с. [https:// Действующие технические регламенты \(rst.gov.ru\)](https://rst.gov.ru).
4. Изучение экосистем рыбохозяйственных водоемов, сбор и обработка данных о водных биологических ресурсах, техника и технология их добычи и переработки. 2004. Вып. 1. Инструкции и методические рекомендации по сбору и обработке биологической информации в морях Европейского Севера и Северной Атлантики. М.: ВНИРО. 299 с.
5. Новиков М.А., Горбачева Е.А., Лаптева А.М. Содержание мышьяка в промысловых рыбах Баренцева моря (по многолетним данным) // Известия ТИНРО. 2021. Т. 201, вып. 4. С.833-844.
6. Новиков М.А., Горбачева Е.А., Харламова М.Н. Содержание ртути в промысловых рыбах Баренцева моря (по многолетним данным) // Труды ВНИРО. 2023. Т. 191. С.112-123.

#### **О СОСТОЯНИИ ФИТОПЛАНКТОНА ОЗЕРА БАННОЕ (СОЛОВЕЦКИЙ АРХИПЕЛАГ) ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЛЕТНЕЙ СЪЕМКИ 2023 Г.**

*Новикова Ю.В.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова (ФИЦКИА УрО РАН), г. Архангельск, [juli-nv@mail.ru](mailto:juli-nv@mail.ru)

Фитопланктон является первичным продуцентом органического вещества в водоемах и водотоках, служит пищей для зоопланктона и зообентоса. Показатели развития фитопланктона широко используются для оценки экологического состояния водоемов. Благодаря быстрому реагированию на изменения водной среды, фитопланктон может служить индикатором состояния всей водной экосистемы.

Цель работы: оценка состояния фитопланктона оз. Банное, расположенного на островной территории Соловецкого архипелага и испытывающего антропогенную нагрузку.

Озеро Банное (Гагарье) расположено на территории поселка Соловецкий. Ранее на его берегу располагались предприятие по переработке кож и банное хозяйство монастыря. Сейчас на берегу находятся здания Соловецкого филиала Архангельского опытного водорослевого комбината.

В июле 2023 г. в оз. Банное с поверхностного горизонта было отобрано 3 пробы. Сбор и камеральную обработку материала осуществляли в соответствии со стандартными методами [1]. Фиксацию фитопланктона производили кислым раствором Утермеля. Численность (тыс. кл./л) фитопланктона в единице объема воды оценивали с использованием камеры Фукса-Розенталя (глубина 0.2 мм) и рассчитывали стандартным методом [1]. Расчет биомассы (мг/л) проводили с помощью таблиц размеров и весов (масс) фитопланктона [2]. Видовое разнообразие оценивалось на основе индекса разнообразия Шеннона по биомассе фитопланктона [3].

В ходе камеральной обработки в пробах обнаружено 22 видовых и надвидовых таксонов фитопланктона, принадлежащих пяти отделам микроводорослей: диатомовые (Bacillariophyta), зеленые (Chlorophyta), золотистые (Chrysophyta), криптофитовые (Cryptophyta) водоросли и цианопрокариоты (Cyanoprokaryota). Основу видового разнообразия альгофлоры исследуемого водоема составили 2 отдела: диатомовые (9 видов) и зеленые (7 видов) водоросли (рис. 1).

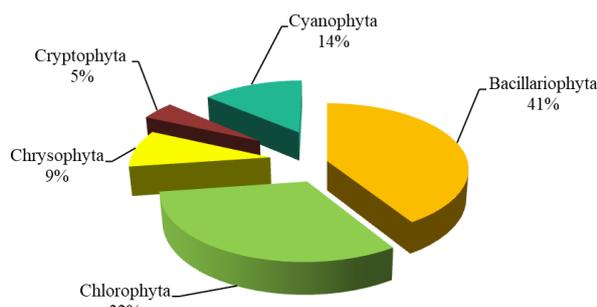
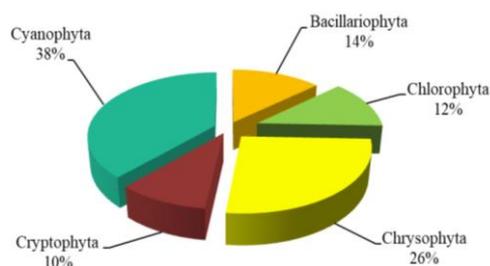


Рис. 1 - Процентное распределение таксонов фитопланктона оз. Банное в июле 2023 г.

На всех станциях исследования комплекс доминантных видов сформировали колониальная цианопрокариота *Anabaena lemmermannii* и золотистая микроводоросль рода *Mallomonas*.

Наибольший вклад в общую численность привнесли колониальные цианопрокариоты *Anabaena lemmermannii*, *Anabaena* sp. и золотистые микроводоросли *Mallomonas* sp. и *Dinobryon cylindricum* (рис. 2 а). Общая биомасса фитопланктона была сформирована за счет цианопрокариот (рис. 2 а), причем вклад *Woronichinia* sp. составил 88,4 %.

А)



Б)

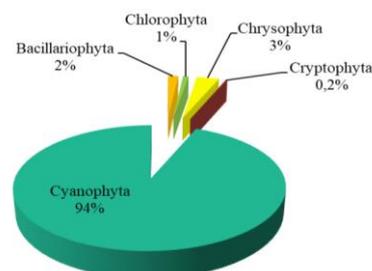


Рис. 2 - Процентный вклад таксонов в формирование общей численности (А) и общей биомассы (Б) фитопланктона оз. Банное в июле 2023 г.

Общая численность фитопланктона составила 68.7 тыс. кл/л, общая биомасса – 1.1 мг/л, что свидетельствует о цветении воды в умеренных пределах [4]. Индекс видового разнообразия Шеннона по биомассе фитопланктона составил 0.74.

Невысокие количественные показатели и низкие значения индекса видового разнообразия свидетельствуют об упрощении ценотической структуры и низкой устойчивости альгоценоза оз. Банное. Обнаруженные колониальные цианопрокариоты, определяющие обилие фитопланктона оз. Банное в летний период 2023 г., являются обычными возбудителями «цветения» воды. Проблема массового развития потенциально токсичных цианопрокариот приобретает глобальные масштабы, поскольку она представляет собой угрозу для качества водных и гидробиологических ресурсов. «Цветение» воды может возникнуть в результате совместного действия целого комплекса факторов, наиболее значимыми при этом являются антропогенные факторы. Следует отметить, что в летний период 2022 г. в оз. Банное происходило интенсивное «цветение» воды [5]. Для предотвращения негативных последствий антропогенного воздействия на водную экосистему необходимо проведение природоохранных мероприятий, а также комплексного мониторинга среды.

*Исследования проведены при финансовой поддержке РНФ, проект № 22-14-20045 «Оценка современного состояния пресноводных экосистем Соловецкого архипелага (фундаментальный и прикладной аспекты)».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. Абакумова В.А. СПб: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.
2. Михеева Т.М. Альгофлора Беларуси. Таксономический каталог. Мн.: БГУ, 1999. 396 с.
3. Мэггаран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. М.: Мир, 1992. 184 с.
4. Протасов В.Ф., Матвеев А.С. Экология: Термины и понятия. Стандарты, сертификация. Нормативы и показатели: Учеб. и справочное пособие. М.: Финансы и статистика, 2001. 208 с.
5. Новикова Ю.В., Новоселов А.П., Дворянкин Г.А., Матвеев Н.Ю. Фитопланктон островного и материкового озер севера европейской части России по летним показателям развития // Экология. 2023. № 5. С. 387-390. DOI 10.31857/S0367059723050074.

#### **ПРЕСНОВОДНАЯ ИХТИОФАУНА СОЛОВЕЦКОГО АРХИПЕЛАГА: ФОРМИРОВАНИЕ, СОСТОЯНИЕ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ**

*Новоселов А.П., Дворянкин Г.А.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лавёрова УрО РАН, г. Архангельск, alexander.novoselov@rambler.ru

Соловецкие острова занимают особое географическое положение на стыке Онежского, Двинского заливов и Бассейна Белого моря. Небольшой по площади архипелаг характеризуется уникальным природным и историко-культурным комплексом, включённым в список Всемирного Наследия ЮНЕСКО. На его акватории располагается порядка 120 больших и малых островов, наиболее крупные из которых имеют исключительно высокую озерность, превышая таковую Карелии. Озера Большого Соловецкого острова объединены в своеобразную озерно-канальную

систему, воды которой отличаются по ряду гидрологических, гидрохимических и гидробиологических характеристик [1].

Возникновение озерной ихтиофауны архипелага предположительно произошло в интервале от 11 до 13 тыс. лет назад [2], и ее формирование представляет интерес в зоогеографическом аспекте. Оказалось, что островная фауна рыб (8 аборигенных видов) существенно беднее по сравнению с материковыми северотаежными водоемами – так, ихтиофауна бассейна оз. Кожозеро (Архангельская обл.) насчитывает 26 видов. Более того, число аборигенных видов рыб на островах даже меньше, чем в озерах востока Большеземельской тундры, откуда известно 15 видов. Первое упоминание о рыбах Соловецкого архипелага можно найти в описательных работах путешественников и служителей монастыря [3]. Краткое описание рыболовства Соловецкого монастыря было опубликовано сотрудником Соловецкой биологической станции И.К. Тарнани в XIX в. [4]. Уже в XX веке [5] привел описание плотвы из озер Филимоново и Большое Ягодное, расположенных в северо-восточной части Большого Соловецкого острова. Затем вышла работа [6] по соловецкой ряпушке, входящей в состав ихтиофауны оз. Большого Красного. Уже комплексное изучение внутренних водоемов архипелага было проведено в середине 1960-х годов экспедицией СевНИОРХа. В результате были опубликованы сведения об озерной ихтиофауне и ее рыбохозяйственном использовании, и о питании отдельных видов рыб [7]. В дальнейшем исследования ихтиофауны озер были продолжены сотрудниками ряда рыбохозяйственных ([8, 9] и академических [10] институтов.

Полученные в ходе проведенного исследования данные существенно дополняют уже имеющийся в научной литературе материал об ихтиофауне Соловецких островов. По полученным результатам, общий список рыб, когда-либо отмеченных в озерах Соловецкого архипелага, включает 18 пресноводных видов и проходную беломорскую корюшку, заходящую весной в некоторые озера. Из них 8 видов являются представителями местной (нативной) ихтиофауны – обыкновенная щука, обыкновенный (речной) окунь, налим, ёрш, плотва, трех- и девятииглая колюшки, а также уже упомянутая беломорская корюшка. 11 видов являются интродуцентами с различной степенью акклиматизационного эффекта (европейская ряпушка, европейский сиг, пелядь, ручьевая форель, язь, стерлядь, европейский хариус, лещ, линь, а также золотой и серебряный караси).

Таким образом, на сегодняшний день во внутренних водоемах Соловецких островов обитает 19 видов, включая как местных, так и вселенных рыб с различной степенью акклиматизационного эффекта (таблица).

Таблица - Общий список пресноводных рыб в водоемах Соловецкого архипелага

Пресноводная ихтиофауна		
Местные	Вселенные	
	Виды рыб	Эффект от вселения
1. Щука	1. Стерлядь	Нет
2. Налим	2. Лещ	Нет
3. Окунь	3. Линь	Нет
4. Ерш	4. Хариус	Нет
5. Плотва	5. Пелядь	Нет
6. Колюшка 3-иглая	<b>6. Ряпушка</b>	<b>Натурализация</b>
7. Колюшка 9-иглая	7. Золотой карась	Частично
8. Корюшка	8. Серебряный карась	Частично
	9. Сиг	Единично
	10. Ручьевая форель	Единично
	11. Язь	Единично

Из всех видов рыб, вселенных в озера Большого Соловецкого о-ва, промысловый эффект удалось получить только от зарыбления водоемов европейской ряпушкой, которая успешно натурализовалась и образовала локальные популяции в ряде крупных озер западной части острова. В настоящее время она многочисленна, встречается в нескольких водоемах западной части о-ва Большой Соловецкий и представлена в основном крупной формой.

В *систематическом отношении* ихтиофауна озер включает 8 семейств. Среди них по количеству видов (4 или 28,7% от всех видов рыб) преобладает семейство *карповых*, включающее плотву, язя, а также золотого и серебряного карасей. По 2 вида или по 14,3% входят в семейства *сиговых* (ряпушка и сиг), *окуневых* (окунь и ерш) и *колюшковых* (трех- и девятииглая колюшки). По 1 виду (7,1%) входят в семейства *лососевых* (ручьевая форель), *корюшковых* (корюшка), *щуковых* (щука) и *налимовых* (налим). Согласно классификации Г.В. Никольского (1980) [11], все пресноводные рыбы Соловецкого архипелага относятся к 4 *фаунистическим комплексам*. В видовом отношении наибольшее число видов (7 или 50,0%) включает *бореальный равнинный* фаунистический комплекс. Сюда входят щука, ерш, окунь, язь, плотва, а также золотой и серебряный караси. В чуть меньшем количестве (4 вида или 28,6%) представлен *арктический пресноводный* комплекс, включающий ряпушку, сига, корюшку и налима. Два вида (14,3%) – трех- и девятииглая колюшки входят в *понто-каспийский* пресноводный комплекс. *Бореальный предгорный* комплекс включает лишь один вид (7,1%) – а именно ручьевую форель.

По *характеру питания* в озерах Соловецкого архипелага рыбы распределяются по трем группам: планктофаги, хищники и эврифаги. Типично *планктонным* питанием характеризуется лишь 1 вид рыб (7,1%) – европейская ряпушка. *Хищниками* являются более трети (5 видов рыб или 35,7%) всего современного состава ихтиофауны, представленные проходной корюшкой и туводными видами – ручьевой форелью, щукой, окунем и налимом. К бентофагам относится лишь 1 вид, а именно сиг (7,1%). Наиболее многочисленной группой (7 видов или 50,0%) являются рыбы со *смешанным* питанием (эврифаги), куда входят язь, плотва, золотой и серебряный караси, ерш, а также трех- и девятииглая колюшки. По *типу размножения* подавляющее большинство рыб относятся к видам, откладывающим икру на определенный нерестовый субстрат. Около половины всех видов (6 или 42,8%) откладывают икру на *донный субстрат*. На каменистый грунт (литофилы) мечут икру ряпушка, сиг и ручьевая форель, на песчаный грунт (псаммофилы) – корюшка, ерш и налим. Такое же количество видов (6 или 42,8%) откладывают икру на *растительный субстрат*. К этой группе относятся весенне-нерестующие виды (фитофилы), объединяющие как хищных рыб (щука и окунь), так и мирных карповых (язя, плотву, золотого и серебряного карасей). И лишь два вида (14,4%) – трех- и девятииглая колюшки устраивают для откладки икры своеобразные *гнезда*.

В целом, ихтиофауна в Соловецких озерах распространена неравномерно. Наибольшее количество видов рыб (12) встречается в озерах Канальной системы. Ряпушка, кроме озер Канальной системы, отмечена еще в нескольких озерах архипелага. Сиг и форель обитают в озерах и протоках Канальной системы, а также в оз. Варваринском. Щука, плотва, ерш и налим встречаются в восточной части острова сравнительно редко. Окунь обитает практически во всех озерах архипелага, где выступает в роли доминирующего вида.

Еще со времен образования монастыря озера служили источником пищи для монахов и многочисленных паломников. В то же время, в силу климатических условий численность аборигенной ихтиофауны никогда не была большой, и в целом озера не отличались высокой продуктивностью. Еще в середине XIX в. архимандрит Досифей писал о том, что «15 монахов едва налавливали за неделю на братскую уху». По имеющимся сведениям [3], в лучшие годы монахи добывали на озерах до 5 тонн рыбы,

а часто ежегодные уловы составляли не более 2-3 тонны. В то же время, озера Соловецкого архипелага играли и продолжают играть важную роль в обеспечении местного населения рыбной белковой пищей. При этом общий вылов оказывается сопоставимым с приводимыми в литературе данными, и превышает объем вылова конца XIX, т.е. дореволюционного периода.

В настоящее время самой распространенной и многочисленной рыбой озер архипелага является *окунь*, который и составляет основу местного любительского лова как крючковыми, так и сетными снастями. Объем ежегодного вылова окуня в озерах островов составляет порядка 3-4 тонн. Вторым по многочисленности видом является *плотва*, масса которой в водоемах озерно-канальной системы может достигать 1,5 кг. Однако ввиду невысокой гастрономической ценности, специального ее лова не ведется, и общий годовой вылов плотвы не превышает 0,3 т. *Щука* относится к обычным представителям озерной ихтиофауны, но встречается в незначительном количестве. Всего за год щуки вылавливается около 0,5 т. *Язь* также встречается редко, но имеет достаточно крупные размеры (его масса может достигать до 3 кг). Общий годовой вылов язя составляет порядка 0,1-0,2 т. *Налим* – наиболее широко распространенный вид хищных рыб в озерах островов, но и его годовой улов невелик, а общая добыча не превышает 0,3-0,4 т. Проходную *корюшку* промышляют весной во время нереста. В период массового захода рыбы в речки ее добывают сачками и сетями, и объем вылова составляет порядка 0,3-0,4 т.

Наиболее ценным видом, представляющим практический интерес для местного населения, является *европейская ряпушка*. Большинство исследователей считают, что ряпушка была завезена на острова монахами, однако, И.Ф. Правдин (1951) [5] допускал возможность ее проникновения на архипелаг и естественным путем в послеледниковый период. Искусственное происхождение ряпушки на Соловецких островах косвенно подтверждается ее отсутствием в морских акваториях Белого моря и распространением ряпушки на Соловках только в озерах, в то или иное время связанных системой рукотворных каналов. Распространение ряпушки в водоемах архипелага ограничивается озерами в западной части Большого Соловецкого острова.

Здесь, за исключением двух озер (Б. Красное и Гремячье), ряпушка представлена крупной формой, которая по размерам не уступает быстрорастущей ряпушке карельских озер. Полученные нами в 2002 г. материалы еще раз подтвердили сведения о том, что соловецкая ряпушка образует 2 экологические формы – мелкую и крупную, существенно отличающиеся друг от друга по темпу линейного и весового роста. В ряде озер обитает ряпушка, имеющая в возрасте 3+ лет среднюю длину тела (АС), равную 17-19 см и массу – порядка 50-80 г. В тоже время, в оз. Большое Кривое, вместе с обычной обитает и крупная форма ряпушки, достигающая в том же возрасте 3+ лет длины 29 см и массы тела 330-360 г (рисунок).



Рис. - Крупная и мелкая формы соловецкой ряпушки (возраст 3+)

Сравнительный анализ ряпушек из различных водоемов Северо-Запада показал, что по показателям линейного и весового роста крупная форма соловецкой ряпушки превосходит наиболее быстрорастущих ладожского рипуса [12] и онежского кильца [13]. В ходе генетических исследований установлена близкая связь между ряпушкой Соловецких островов и крупной ряпушки Наглимозера из Кенозерского национального парка [14]. Дальнейшие работы в этом направлении, возможно, смогут внести ясность в вопрос появления ряпушки на Соловецком архипелаге.

В результате претворения в жизнь Программы социально-экономического развития Соловецких островов и развития туризма, на их ограниченной территории оказались сосредоточенными значительные материальные, технические и человеческие ресурсы. При этом количество добываемой в озерах рыбы уже не может удовлетворить пищевых потребностей находящихся здесь людей. В этой связи, представляется целесообразной разработка путей управления рыбными ресурсами внутренних водоемов Соловецкого архипелага. Результатом разработки и последовательного выполнения соответствующей Программы развития рыбного хозяйства на внутренних водоемах Соловецких островов должна явиться органичная интеграция биологических ресурсов озер в социально-экономическую структуру архипелага.

На озерах Соловецкого архипелага основными путями повышения их продуктивности и получения рыбной продукции могут быть: развитие спортивно-любительского рыболовства и пресноводной аквакультуры (сиговодства). Любительское рыболовство является одним из главных факторов, воздействующих на ихтиофауну озер архипелага. И в этой связи, в условиях организованного любительского рыболовства в качестве его регулятора, необходима оценка возможного вылова, который может служить ориентиром для определения масштабов промысловой нагрузки на водоемы [9]. Пастбищное сиговодство, основанное на выращивании в озерах рыб сигового комплекса (ряпушки, пеляди, сига), имеет на Соловецких озерах достаточно широкие перспективы для развития [15]. Оно включает два направления.

Первое основывается на *сборе и оплодотворение икры на временных рыбоводных пунктах*, последующей ее инкубации на рыбоводных хозяйствах и выпуске подрощенной молодежи в нагульные озера. Предполагается возможное использование в период инкубации цеха Онежского рыбоводного завода. На рисунке представлены основные отработанные нами биотехнологические этапы при организации временных рыбоводных пунктов для отбора, оплодотворения и транспортировки икры сиговых для дальнейшей инкубации на рыбоводном предприятии. Второе – *искусственное воспроизводство молодежи сиговых рыб* основывается на инкубации икры в заводских условиях и возможности содержания собственных маточных стад. Автономность и высокая технологичность этого направления обуславливают его перспективность при наличии специализированного современного рыбоводного комплекса. В этой связи, практический интерес представляет использование для воспроизводства молодежи рыбоводных модулей, представляющих собой набор быстровозводимых мобильных сооружений для проведения работ по заводскому выращиванию молодежи рыб.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РНФ «Оценка современного состояния пресноводных экосистем Соловецкого архипелага (фундаментальный и прикладной аспекты) № 22-14-20045.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Природная среда Соловецкого архипелага в условиях меняющегося климата / Ред. Ю.Г. Шварцман, И.Н. Болотов. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 184 с.
2. Жаков Л. А. Формирование и структура рыбного населения озёр Северо-Запада СССР. М.: Наука, 1984. 144 с.

3. Досифей Географическое, историческое и статистическое описание ставропигиального первоклассного Соловецкого монастыря. ч. 1. М.: В Университетской Типографии. 1836. 446 с.
4. Тарнани И.К. Рыболовство Соловецкого монастыря // Вестник рыбопромышленности, № 2-3, 1891. С. 53-62.
5. Правдин И.Ф. Плотва соловецкая *Rutilus rutilus* (Linne) varietas novall // Труды Карело-Финского отделения ВНИОРХ. Том 3, 1951. С. 27-53.
6. Мухомедияров Ф. Б. Ряпушка соловецкая (бассейн Белого моря) // Проблемы использования промысловых ресурсов Белого моря и внутренних водоёмов Карелии. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1963. Вып.1. С. 206-210.
7. Анухина А.М. Ихтиофауна Соловецких островов // Соловецкие озера. Тр. СевНИОРХа. – Т.6. Изд-во «Карелия». Петрозаводск, 1972. С. 94–110.
8. Новосёлов А. П. О целенаправленном формировании ихтиофауны Соловецких озёр // Проблемы изучения, рац. использования и охраны природных ресурсов Белого моря (Тез. докл. IV регион. конф.). Архангельск, сентябрь 1990 г. Архангельск. 1990. С. 175-177.
9. Дворянкин Г. А. Ихтиофауна и рыбохозяйственное использование озёр Соловецкого архипелага // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2006. № 9. С. 52-54.
10. Ja. A. Alekseeva, A. P. Andreeva, M. A. Gruzdeva, G. A. Dvoryankin, K. V. Kuzishchin, A. A. Makhrov, A. P. Novoselov, and I. Yu. Popov. Freshwater Ichthyofauna of Solovetsky Islands (White Sea): Natural Colonization and Recent Introductions // Russian Journal of Biological Invasions, Vol. 5, № 3, 2014. PP. 125–133.
11. Никольский Г.В. Структура вида и закономерности изменчивости рыб. - М.: Пищевая промышленность, 1980. 182 с.
12. Покровский В.В. О ряпушке и рипусе Ладожского озера // Изв. ВНИОРХ. – Т. 38. – Л., 1956. С. 110–124.
13. Стерлигова О.П. О кильце *Coregonus albula kiletz Michailowsky* Онежского озера // Лососевые (Salmonidae) Карелии. – Вып.1. – Петрозаводск, 1972. С. 70–73.
14. Гордеева Н.В., Дворянкин Г.А., Холод О.Н., Сендек Д.С., Стерлигова О.П. О происхождении соловецкой ряпушки и корюшки Сямозера // Вопросы ихтиологии, 2009. Т. 49. С. 28-37.
15. Новоселов А.П. Сиговодство как одно из направлений пресноводной аквакультуры в водоемах Соловецкого архипелага // В сб.: "Проблемы мониторинга природной среды Соловецкого архипелага". Архангельск, 2010. С. 53-55.

## АТЛАНТИЗАЦИЯ И ПАЦИФИКАЦИЯ АРКТИЧЕСКИХ МОРСКИХ ИХТИОЦЕНОВ ВОЗРАСТАЕТ

*Орлов А.М.<sup>1,2,3</sup>, Волвенко И.В.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, orlov@vniro.ru

<sup>2</sup>Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва

<sup>3</sup>Томский государственный университет, г. Томск

<sup>4</sup>Тихоокеанский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, г. Владивосток

Недавние изменения климата на Земле, наиболее ярко проявляющиеся в полярных регионах [1,2], являются одной из самых актуальных экологических проблем современности [3]. Потепление в Арктике инициировало все возрастающее влияние на нее со стороны Атлантического и Тихого океанов, что проявляется в переносе тепла течениями и стирании различий в условиях между отдельными районами Арктики и

Северных частей Атлантики и Пацифики [4-6]. В научной литературе этот феномен получил, соответственно, названия «атлантификация» (или «атлантизация») и «пацификация» [3,5,7]. Указанные процессы приводят к переходу арктических морских экосистем в более умеренное состояние, что принято называть «бореализацией» [1,4,6], и сопровождаются сокращением видового богатства арктической фауны и численности некоторых аборигенных видов, изменением состава сообществ, сменой доминантных видов с арктических на бореальные в большинстве таксономических групп от водорослей и беспозвоночных до высших позвоночных, расширением к северу ареалов инвазивных видов и увеличением их численности, изменением пищевых связей на всех трофических уровнях [1-6]. Влияние атлантификации и пацификации на отдельные виды рыб и ихтиоцены в Арктике изучено недостаточно. Большинство опубликованных данных касается европейской Арктики (Баренцево море и воды Гренландии) или расширения в арктические воды ареалов бореальных видов рыб, способных совершать продолжительные активные миграции, например, атлантической трески *Gadus morhua*, пикши *Melanogrammus aeglefinus*, окуня-клювача *Sebastes mentella*, чёрного палтуса *Reinhardtius hippoglossoides*.

Целью данной работы является анализ новой информации о встречаемости, численности, биомассе и размерном составе шести бореальных видов рыб (чёрный палтус, тихоокеанская треска *Gadus macrocephalus*, минтай *G. chalcogrammus*, синяя зубатка *Anarhichas denticulatus*, окунь-клювач и бентозема *Benthoosema glaciale*) в морях российской Арктики (Карском, Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском), полученной из открытых баз данных (OBIS, GBIF и FishBase) и баз данных донных и пелагических траловых съёмок ТИНРО 1977-2020 гг.

**Чёрный палтус.** Сведения о поимках чёрного палтуса в открытых базах данных немногочисленны и ограничиваются преимущественно восточной частью Чукотского моря и морем Бофорта, начиная с 1970х годов. Находки данного вида в российской Арктике отражены в открытых базах данных еще более скудно и ограничены несколькими поимками в Баренцевом море и западной части Чукотского моря, а также единственной находкой в Восточно-Сибирском море в 2009 г. к северо-востоку от о. Врангеля. До сих пор в открытых базах данных сведения о поимках чёрного палтуса в морях Карском и Лаптевых отсутствуют.

По нашим данным в течение периода исследований в морях тихоокеанской Арктики было зарегистрировано свыше 60 поимок чёрного палтуса. При этом, в юго-западной части Чукотского моря (к югу от о. Врангеля) он отмечался во все годы исследований, а севернее вплоть до 75° с.ш. был зарегистрирован только в 2014 и 2018 гг. Следует отметить, что встречаемость палтуса на северо-западе Чукотского моря была почти в 10 раз ниже, чем в его юго-западной части. Единственная поимка в Восточно-Сибирском море к востоку от о. Врангеля (73,06° с.ш., 172,42° в.д.) отмечена в 2018 г.

Максимальные по плотности концентрации чёрный палтус формировал в море Лаптевых. Здесь его относительная численность варьировала в пределах 25,2-2570,8 (в среднем 634,9±130,2) экз./км<sup>2</sup>, а относительная биомасса составляла от 1,1 до 1694,3 (в среднем 317,0±84,4) кг/км<sup>2</sup>. В юго-западной части Чукотского моря обилие этого вида было значительно ниже при относительной численности 3,3-1450,5 (в среднем 122,8±22,9) экз./км<sup>2</sup> и относительной биомассе 0,01-3,04 (в среднем 0,32±0,05) кг/км<sup>2</sup>. Минимальные значения численности 8,9-50,0 (в среднем 30,1±5,6) экз./км<sup>2</sup> зарегистрированы в северо-западной части Чукотского моря, однако биомасса палтуса здесь оказалась несколько выше в сравнении с его юго-западной частью – 0,02-31,70 (в среднем 7,51±4,20) кг/км<sup>2</sup>.

Размерный состав чёрного палтуса на обследованной акватории существенно различался. Наиболее крупные особи длиной 11-59 (в среднем  $36,8 \pm 0,4$ ) см отмечены в море Лаптевых. Близким размерным составом характеризовались рыбы из северо-западной части Чукотского моря 7-44 (в среднем  $31,4 \pm 1,0$ ) см. Наиболее мелкий палтус 4,5-21,0 (средняя  $8,6 \pm 0,2$ ) см зарегистрирован в юго-западной части Чукотского моря. Единственный экземпляр, пойманный в Восточно-Сибирском море, имел дину 6 см.

**Тихоокеанская треска.** В открытых базах данных до сих пор имеются сведения о немногочисленных поимках тихоокеанской трески лишь для восточной части Чукотского моря и моря Бофорта с 1977 по 2017 гг. Для западной части Чукотского моря подобная информация отсутствует.

Анализ российских баз данных показывает, что в юго-западной части Чукотского моря тихоокеанская треска начала отмечаться немногочисленными поимками в 2007 г. С 2018 г. ее встречаемость здесь существенно возросла, а ареал расширился одновременно в северном и восточном направлениях.

Относительная численность тихоокеанской трески в западной части Чукотского моря варьировала от 3,54 до 227,05 (в среднем  $44,98 \pm 6,08$ ) экз./км<sup>2</sup>, относительная биомасса находилась в пределах 0,01-161,98 (в среднем  $25,71 \pm 6,91$ ) кг/км<sup>2</sup>. При этом максимальные численность и биомасса трески были сосредоточены на крайнем юго-западе обследованной акватории.

В уловах отмечены особи трески длиной от 5,8 до 78,0 (средняя  $18,6 \pm 1,7$ ) см. При этом обращает на себя внимание, что молодь встречалась в пределах всей юго-западной части Чукотского моря, в то время как крупная треска длиной свыше 40 см и массой тела более 2,4 кг отмечена только в пределах района, ограниченного координатами  $68,2-69,6^\circ$  с.ш. и  $173-170^\circ$  в.д.

**Минтай.** Среди всех шести рассматриваемых видов рыб данные о поимках минтая в открытых базах данных представлены максимальным количеством записей. Тем не менее, подавляющее их большинство относится к восточной части Чукотского моря и морю Бофорта, начиная с 1954 г. И лишь несколько поимок указаны для западной части Чукотского моря с начала 2000-х годов (за исключением единственной поимки в 1973 г. у побережья Чукотского полуострова к западу от Берингова пролива). Информации о поимках минтая в остальных морях российской Арктики до сих пор нет.

Наши данные показывают, что минтай в западной части Чукотского моря встречался в течение всего периода исследований. Однако если до 2010 г. он отмечался единичными поимками исключительно в самой южной части района, то с 2014 по 2020 г. распространился весьма широко. Максимально на север особи данного вида отмечены в 2018 г., тогда как в 2020 г. они севернее о. Врангеля не встречались.

Максимальные относительная численность и биомасса минтая наблюдались в юго-западной части Чукотского моря, где средние значения соответственно составляли  $1045,3 \pm 110,0$  (пределы варьирования 1,7-15402,8) экз./км<sup>2</sup> и  $1037,8 \pm 132,6$  (0,02-17775,8) кг/км<sup>2</sup>. В северо-западной части моря относительная численность данного вида была почти на порядок ниже  $164,7 \pm 59,9$  (21,3-2447,9) экз./км<sup>2</sup>, а относительная биомасса была меньше в 15 раз  $69,3 \pm 63,9$  (0,1-3072,0) кг/км<sup>2</sup>.

Размерный состав минтая в западной части Чукотского моря был представлен как мелкими, так и крупными особями. Тем не менее, разница в размерах между северной и южной частями данного района была весьма существенна. Если в юго-западной части Чукотского моря преобладали крупные рыбы (средняя длина  $33,4 \pm 0,2$ , модальный размер 55, пределы варьирования 5-82 см), то в северо-западной части моря отмечалось преобладание мелких особей (средняя длина  $27,8 \pm 1,1$ , модальный размер 11,0, пределы варьирования 6-75 см). В море Лаптевых отмечались только среднеразмерные рыбы длиной 32-35 (в среднем  $33,2 \pm 0,6$ ) см. В западной части

Чукотского моря какая-либо зависимость размеров минтая от долготы не выявлена. В то же время, анализ наших данных показал, что крупные рыбы длиной свыше 40 см севернее 72° с.ш. в уловах не отмечались.

**Синяя зубатка.** По сведениям из открытых базах данных находки северной зубатки в тихоокеанской Арктике ограничиваются двумя поимками в море Бофорта в 2009 и 2011 гг. В морях европейской Арктики в них зарегистрирована единственная находка в Баренцевом море у побережья Кольского полуострова.

В период наших исследований северная зубатка была поймана лишь однажды в 2019 г. в центральной части моря Лаптевых к востоку от полуострова Таймыр в 7500 км восточнее известной границы ее ареала. Относительная численность и биомасса данного вида составили 24,4 экз./км<sup>2</sup> и 15,2 кг/км<sup>2</sup>. Выловленный экземпляр в свежем виде имел длину 41 см (39 см после замораживания) и массу 622 г.

**Бентозема.** Данные о поимках бентоземы в Арктике в открытых базах данных крайне немногочисленны. Для тихоокеанской Арктики имеются данные лишь по двум её находкам в море Бофорта в 1952 и 1960 гг. В европейской Арктике она известна только поимкой в центральной части Баренцева моря в 2011 г.

Наши результаты показывают, что в северо-западной части Чукотского моря в 2018 г. она была вполне обычна в самой северной части обследованной акватории. В Восточно-Сибирском море в 2019 г. она обнаружена в центральной части материкового склона. В море Лаптевых в 2018 г. встречалась на нескольких станциях в центральной части материкового склона, а в 2019 г. – уже на всем его протяжении от архипелага Северная Земля до Новосибирских островов.

Обилие бентоземы в море Лаптевых в сравнении с западной частью Чукотского моря было в несколько раз выше. Относительная численность в первом районе варьировала в пределах 21,97-1424,89 (в среднем 176,15±87,01) экз./км<sup>2</sup>, а биомасса составляла 0,04-3,42 (в среднем 0,49±0,21) кг/км<sup>2</sup>. В последнем районе соответствующие показатели составили соответственно 24,15-51,75 (в среднем 32,51±4,75) экз./км<sup>2</sup> и 0,03-0,20 (в среднем 0,11±0,02) кг/км<sup>2</sup>.

Размеры бентоземы в море Лаптевых и Чукотском немного различались. Если в первом в уловах отмечались особи длиной 5,0-8,0 см (в среднем 6,4±0,1) см, то в последнем – длиной 5,5-9,0 (в среднем 6,7±0,3) см. Какой-либо закономерности изменения размеров с долготой в пределах каждого моря выявить не удалось.

**Окунь-клювач.** В открытых базах данных сведения по поимкам клювача весьма ограничены и до сих пор имеются лишь для Баренцева моря.

В наших съемках он отмечен несколькими находками в 2015 и 2019 гг. в центральной части материкового склона моря Лаптевых. Поимка в 2019 г. была существенно восточнее (около 1100 км) в сравнении с наиболее восточной находкой 2015 г. Относительная численность клювача варьировала в пределах 22,71-25,21 (в среднем 24,37±0,84) экз./км<sup>2</sup>, относительная биомасса составляла 0,50-17,04 (в среднем 10,25±5,00) кг/км<sup>2</sup>. Пойманный в 2019 г. экземпляр длиной 13,0 см был намного мельче двух особей, выловленных в 2015 г. (32,5 и 37,2 см).

**Закключение.** Дальнейшее потепление климата, вероятно, создаст условия, при которых в Арктике станет возможным не только нерест чёрного палтуса, но и выживание его потомства. При этом может произойти смыкание ареалов его «западных» и «восточных» популяций, и обмен генетическим материалом будет способствовать дальнейшему стиранию различий между особями атлантического и тихоокеанского происхождения.

Появление в результате климатических изменений тихоокеанской трески в последние годы в тихоокеанской Арктике может в будущем привести к смыканию ее ареала с ареалом гренландской трески *Gadus ogac* (которые считаются разобщенными в

водах северной Аляски [8]), возможности обмена генетическим материалом и дальнейшему стиранию различий между этими видами.

Имеющиеся данные указывают на то, что в прошлом минтай в Чукотском море не нерестился из-за суровых климатических и океанологических условий [9]. Поимки в последние годы отдельных взрослых особей в преднерестовом, нерестовом и посленерестовом состоянии [9] свидетельствуют о возможности нереста в данном районе. Тем не менее, условия окружающей среды в Чукотском море являются абсолютно неподходящими для выживаемости потомства. В случае дальнейшего потепления в Арктике не исключено, что в Чукотском море станет возможен не только нерест, но и выживание потомства минтая.

Основной причиной находок пелагической молодежи зубатки вдали от побережий считается ее вынос течениями в северо-восточном направлении с нерестилищ, локализация которых до конца непонятна [10]. Мы предполагаем, что пойманный в море Лаптевых экземпляр мог быть вынесен с нерестилищ Северо-Атлантическим течением, которое, начиная с 2000 г., в результате климатических изменений существенно увеличило свою интенсивность и теперь переносит больше тепла в северо-восточную Атлантику и прилегающую Арктику [6]. Исходя из существующей системы течений в Арктике [11], вполне вероятно то, что рассматриваемый экземпляр с противотечениями мог бы вернуться в северо-восточную Атлантику в пределы своего нативного ареала.

Находки бентоземы в тихоокеанской Арктике связываются с восточным переносом ее особей теплыми и солеными Атлантическими водами, при этом предполагается, что тихоокеанская Арктика для рассматриваемого вида является районом стерильного выселения [12]. Судя по размеру особей в наших поимках, вся встреченная в российской Арктике бентозема является половозрелой, т.е. способна к размножению. Поскольку существуют теоретические возможности выживания ее потомства в глубоких водах материкового склона и/или возвращения особей с противотечениями в северную Атлантику, считать воды Арктики районом стерильного выселения пока нет оснований.

Находки последних лет окуня-клювача в водах северо-восточной Гренландии [13], центральной Арктики [14] и в море Лаптевых (наши данные) могут быть результатом выноса течениями с нерестилищ молодежи в северном и северо-восточном направлениях в результате интенсификации поступления в Арктику теплых Атлантических вод [5,6]. По мере роста особи этого вида мигрируют на запад и юго-запад в направлении материкового склона, где достигают половой зрелости [15]. Мы полагаем, что данная схема, учитывающая существующую систему циркуляции в Арктике [11], достаточно логична в отношении клювача, обнаруженного в центральной Арктике и водах северо-восточной Гренландии, и вполне вероятна для его молодежи из моря Лаптевых.

*Исследования Орловым А.М. проведены в ходе выполнения государственного задания ИО РАН № FMWE 2022-0004.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Frainer A., Primicerio R., Kortsch S. et al. Climate-driven changes in functional biogeography of Arctic marine fish communities // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2017. V.114. P. 12202-12207.
2. Тишков А.А., Белоновская Е.А., Вайсфельд М.А. и др. Региональные биогеографические эффекты «быстрых» изменений климата в российской Арктике в XXI в. // Арктика: экология и экономика. 2020. Т.2. С. 31-44.

3. Csapó H.K., Grabowski M., Węśławski J.M. Coming home-Boreal ecosystem claims Atlantic sector of the Arctic // *Science of the Total Environment*. 2021. V.771. Art. 144817.
4. Vihtakari M., Welcker J., Moe B. et al. Black-legged kittiwakes as messengers of Atlantification in the Arctic // *Scientific Reports*. 2018. V. 8. Art. 1178.
5. Asbjørnsen H., Årthun M., Skagseth Ø., Eldevik T. Mechanisms underlying recent Arctic Atlantification // *Geophysical Research Letters*. 2020. V.47. Art. e2020GL088036.
6. Ingvaldsen R.B., Assmann K.M., Primicerio R. et al. Physical manifestations and ecological implications of Arctic Atlantification // *Nature Reviews Earth and Environment*. 2021. V.2. P. 874-889.
7. Kislov A., Matveeva T., Antipina U. Precipitation extremes and their synoptic models in the northwest European sector of the Arctic during the cold season // *Atmosphere*. 2022. V.3. Art. 1116.
8. Chernova N.V. Distribution patterns and chorological analysis of fish fauna in the Arctic region // *Journal of Ichthyology*. 2011. V.51. P. 825–924.
9. Emelin P.O., Maznikova O.A., Benzik A.N. et al. Invader's portrait: Biological characteristics of walleye pollock *Gadus chalcogrammus* in the western Chukchi Sea // *Deep Sea Research II*. 2022. V.206. Art. 105211.
10. Шевелев М.С., Кузьмичев А.П. Новые данные по биологии синей зубатки *Anarhichas latifrons* // *Вопросы ихтиологии*. 1990. Т. 30. С. 386-391.
11. Rudels B. Arctic Ocean circulation and variability – advection and external forcing encounter constraints and local processes // *Ocean Science*. 2012. V.8. P. 261–286.
12. Zhang R., Li Y., Liu Q. et al. Glacier lanternfish (*Benthoosema glaciale*) first found on the continental slope of the Pacific Arctic // *Polar Biology*. 2022. V.45. P. 513–518.
13. Christiansen J.S., Bonsdorff E., Byrkjedal I. et al. Novel biodiversity baselines outpace models of fish distribution in Arctic waters // *The Science Nature*. 2016. V.103. Art. 8.
14. Snoeijs-Leijonmalm P., Flores H., Sakinan S. et al. Unexpected fish and squid in the central Arctic deep scattering layer // *Science Advances*. 2022. V.8. Art. eabj7536.
15. Saborido-Rey F., Nedreaas K.H. Geographic variation of *Sebastes mentella* in the Northeast Arctic derived from a morphometric approach // *ICES Journal of Marine Sciences*. 2000. V.57. P. 965-975.

## **ВНУТРИПОПУЛЯЦИОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В УСЛОВИЯХ СУБАРКТИКИ**

*Пунаевская Е.А., Тарханов С.Н.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, aviatorov8@mail.ru

Кольская лесорастительная область располагается в границах Мурманской административной области – на Крайнем Севере европейской части России. Географическое положение Кольского полуострова определяет развитие преимущественно бореальных типов растительности: хвойных лесов и болот, сменяющихся на севере березняками и лишайниковыми сообществами (тундрами) [1]. В таежной зоне на Кольском полуострове одной из преобладающей древесной породы является сосна, сообщества которой занимают около 50 % лесопокрытой площади [2, 3]. В сосняках черничных свежих и брусничных формируются одни из наиболее продуктивных древостоев сосны.

Изучение роста деревьев в суровых климатических условиях важно для оценки

биологической продуктивности лесных экосистем, эффектов популяционных взаимоотношений и устойчивости древесных видов под влиянием различных факторов.

Определены средние значения морфоструктурных параметров деревьев в сосняке брусничном бассейна р. Кола (лесотундра) (табл. 1). Коэффициенты вариации морфоструктурных параметров деревьев соответствуют очень низкому (диаметр ствола), низкому (высота дерева), среднему (высота прикрепления первой живой ветви и диаметр кроны) и повышенному (протяженность кроны) уровню изменчивости. Коэффициенты вариации длины шишки соответствуют низкому уровню изменчивости, а массы шишки – повышенному. По показателям апофиза семенной чешуи шишки коэффициенты вариации соответствуют очень низкому – низкому уровню изменчивости.

Таблица 1 – Индивидуальная (между деревьями) изменчивость морфоструктурных параметров вегетативной и генеративной сфер у деревьев сосны

Морфоструктурный параметр	Статистический показатель		
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	min – max	C.V., %
Высота дерева, м	8,3 ± 0,17	7,0 – 10,5	9
Диаметр ствола, см	14,9 ± 0,23	14,0 – 17,0	7
Высота прикрепления первой живой ветви, м	5,9 ± 0,18	4,5 – 7,5	14
Протяженность кроны, м	2,5 ± 0,16	1,5 – 4,0	30
Диаметр кроны, м	3,1 ± 0,09	2,6 – 4,0	13
Длина шишки, мм	28,8 ± 0,74	23,8 – 35,9	12
Масса шишки, г	1,9 ± 0,11	1,3 – 3,1	26
Длина апофиза, мм	6,7 ± 0,15	5,3 – 7,9	10
Ширина апофиза, мм	5,9 ± 0,08	5,2 – 6,6	6
Высота апофиза, мм	2,2 ± 0,04	2,0 – 2,5	7
Индекс формы апофиза	0,4 ± 0,01	0,3 – 0,5	11

*Примечание – в табл. 1 и 2:  $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$  – среднее значение с ошибкой; min – max – минимальное и максимальное значение; C.V. – коэффициент вариации.*

В ранних многолетних исследованиях на Кольском Севере была показана динамика радиального прироста сосны в 50-летних древостоях фоновых районов (Ливский и Ловощерский) [1]. Установлено, что средний ежегодный прирост сосны за период 1960 – 1990 гг. составил 1,11 – 1,14 мм. Эти значения близки к нашим полученным данным для сосны в возрасте 70 лет (табл. 2). Установлено, что доля поздней древесины в формирование годичного кольца в среднем составляет 20 %. Индивидуальная изменчивость средней величины радиального прироста и прироста ранней древесины соответствует низкому уровню изменчивости, а прироста поздней древесины – очень высокому.

Таблица 2 – Индивидуальная изменчивость (между деревьями) радиального прироста у сосны

Показатель	Статистический показатель		
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	min – max	C.V., %
Радиальный прирост, мм	1,02 ± 0,03	0,78 – 1,21	11
Прирост поздней древесины, мм	0,23 ± 0,05	0,13 – 1,18	99
Прирост ранней древесины, мм	0,84 ± 0,02	0,64 – 0,99	11

В динамике камбиального роста сосны отмечаются максимальные значения прироста в молодом возрасте (рис. 1). Максимальное значение прироста (2,1 мм) у деревьев отмечается в возрасте 10 лет. В возрасте с 15 до 60 лет радиальный прирост характеризуется постепенным спадом. Минимальное значение прироста (0,36 мм) отмечается в возрасте 60 лет.

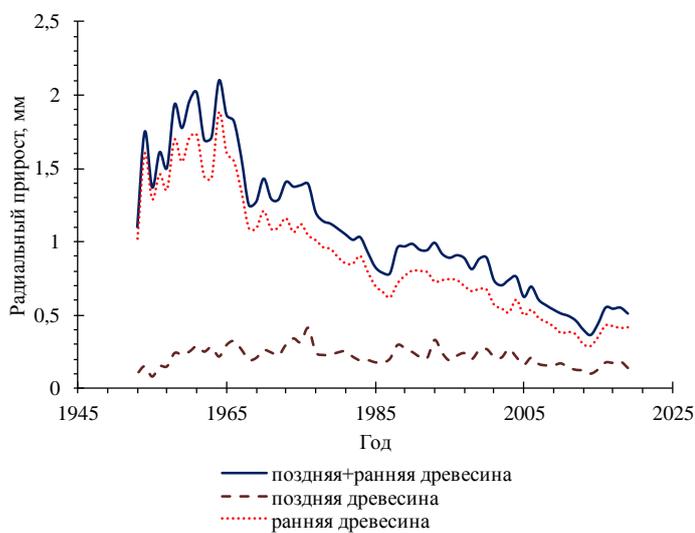
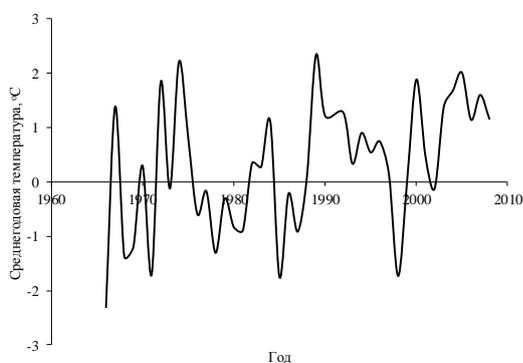
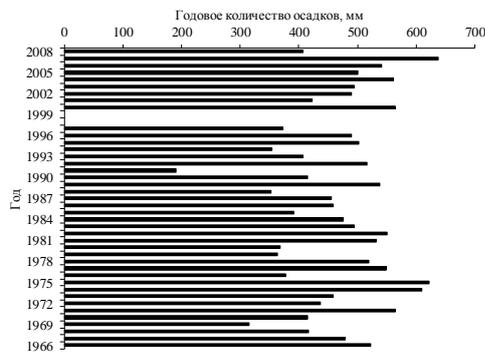


Рис. 1 – Камбиальный рост деревьев сосны

Исследования роста сосны на Кольском полуострове проводились еще в 1930-е годы. Л.А. Смирнов [4] сопоставил ежегодный прирост (период 1914 – 1933 гг.) с метеорологическими данными и установил, что главным фактором, определяющий рост сосны, являются осадки. Установлено, что в районе исследования среднегодовая температура и количество осадков за период 1966 – 2008 гг. составили 0,28 °С и 467 мм (рис. 2).



а



б

Рис. 2 – Динамика метеопараметров в районе исследования

Корреляционный анализ не выявил значимой связи между радиальным приростом, шириной поздней, ранней зон древесины и метеопараметрами (среднегодовая температура воздуха, годовое количество осадков, средняя температура июля, количество осадков за июль, средняя температура за вегетационный период и осадки за вегетационный период) за 40-летний период (1966 – 2008 гг.) (табл. 3).

Следует отметить, что в ранее проведенных исследованиях на Кольском полуострове также не установлена тесная связь между приростом сосны и метеопараметрами [1].

Таблица 3 – Коэффициенты корреляции радиального прироста с метеопараметрами за 40-летний период

Коэффициент корреляции	Показатель		
	радиальный прирост	ранняя древесина	поздняя древесина
Среднегодовая температура	-0,31	-0,34	-0,02
Количество осадков за год	0,01	-0,001	0,03
Средняя температура в июле	0,07	0,02	0,30
Количество осадков за июль	-0,14	-0,13	-0,10
Средняя температура за вегетационный период	-0,09	-0,11	0,08
Осадки за вегетационный период	0,05	0,05	0,05

Установлено, что в суровых климатических условиях в сосняке брусничном (лесотундра) максимальное значение прироста (2,1 мм) у деревьев отмечается в возрасте 10 лет, а минимальное значение прироста (0,36 мм) – в возрасте 60 лет. Корреляционный анализ за 40-летний период не выявил значимой связи радиального прироста, ширины зон поздней, ранней древесины сосны и метеопараметрами (среднегодовой температурой, количеством осадков за год, средней температурой в июле, количеством осадков за июль, средней температурой за вегетационный период и количеством осадков за вегетационный период).

*Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания по теме: «Исследование закономерностей пространственно-временных изменений лесных экосистем на приарктических территориях Европейского Севера России» № гос. регистрации 122011400384-2.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ярмишко В.Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере. – СПб: Изд-во НИИ химии СПбГУ. 1997. 210 с.
2. Цветков В.Ф., Семенов Б.А. Сосняки крайнего Севера. М.: Агропромиздат, 1985. 116 с.
3. Мелехов И.С. Особенности лесов Кольского полуострова и пути их изучения. – М.: АН СССР, 1961. 150 с.
4. Смирнов Л.А. О ежегодном высотном приросте *Pinus sylvestris* L. ssp. *Lapponica* Fr. в различных фитоценозах // Труды БИН АН СССР. Серия Геоботаника. 1936. Вып. 3. С. 7-36.

## ФАУНА HYMENOPTERA: ACULEATA ОСТРОВА КОЛГУЕВ

Потапов Г.С.

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, grigorij-potapov@yandex.ru

Несмотря на то, что изучение фауны различных групп насекомых в Арктике стало особенно популярным в последние десятилетия по причине быстрых климатических изменений в высоких широтах, всё ещё остаётся немалое число арктических и субарктических регионов, по которым данные практически отсутствуют [1]. Одной из таких малоизученных территорий является о-в Колгуев (Ненецкий автономный округ). Обзор опубликованных источников указывает на то, что фауна насекомых о-ва Колгуев, вероятно, возникла в позднем плейстоцене или раннем голоцене [2]. Видовой состав конкретных таксономических групп на исследуемом острове довольно плохо известен, поскольку большинство работ посвящено отрядам Lepidoptera и Coleoptera, среди Hymenoptera были изучены только шмели (род *Bombus*) [3]. Сведения о прочих группах Hymenoptera на острове отсутствуют.

Экземпляры насекомых с о-ва Колгуева были собраны в 2009, 2018, 2020 и 2022 гг. Сборы проводились в южной части острова – в окрестностях пос. Бугрино (68.7819°N, 49.3087°E) и вдоль маршрута от пос. Бугрино до оз. Кривое (69.0194°N, 48.7211°E). Сборы насекомых проведены Г.С. Потаповым, Б.Ю. Филипповым, А.Г. Ардеевым, В.М. Спицыным, Н.А. Зубриной, А.А. Желудковой.

В результате наших исследований установлено, что в островной фауне присутствует пять видов шмелей – *B. flavidus* Eversmann, 1852, *B. lapponicus* (Fabricius, 1793), *B. jonellus* (Kirby, 1802), *B. pyrrhopygus* Friese, 1902 и *B. balteatus* Dahlbom, 1832 [3]. Среди прочих групп Hymenoptera: Aculeata зарегистрирован только один вид осы – *Dolichovespula norwegica* (Fabricius, 1781). В ходе проведения исследований *B. lapponicus* и *B. pyrrhopygus* были наиболее массовыми видами шмелей на острове (169 и 156 экз., соответственно), в то время как *B. balteatus* наблюдался значительно реже (48 экз.). На о-ве Колгуев собрано только 6 экз. *B. flavidus*, 1 экз. *B. jonellus* в 2009 г. и 7 экз. *Dolichovespula norwegica*.

В настоящее время нет достоверных сведений о присутствии *B. hyperboreus* на о-ве Колгуев, поскольку более ранние ссылки на существование этого вида на острове были ошибочными [4]. Однако, в будущем находки *B. hyperboreus* на острове потенциально возможны, главным образом в центральной и северной частях острова, где видовое богатство различных групп насекомых (например, чешуекрылых: [2]) выше, благодаря преобладанию холмистых ландшафтов с большим видовым богатством энтомофильных растений [3].

За всё время исследований на о-ве Колгуев была найдена только одна особь (репродуктивная самка) *B. jonellus* в 2009 г. Однако в последующих сборах данный вид ни разу не был обнаружен. Как и в случае с *B. hyperboreus*, необходимы дополнительные исследования в центральной и северной частях острова. Однако нельзя исключать, что данная единичная находка *B. jonellus* представляет собой неудачную попытку колонизации данным видом о-ва Колгуев, поскольку здесь не было зарегистрировано ни рабочих, ни самцов *B. jonellus*. Известно, что репродуктивные самки шмелей могут мигрировать на довольно значительные расстояния в поисках подходящих мест для гнездования, причём обширные водные преграды не являются для них препятствием [5]. В случае о-ва Колгуев, расположенного в 70 км от материка, нельзя исключать возможность миграции самки *B. jonellus* на остров.

На о-ве Колгуев зарегистрировано несколько особей *B. flavidus* – одна самка и пять самцов. Данный вид известен как клептопаразит *B. lapponicus* [6], который, в свою очередь, является широко распространённым видом на острове. Более раннее указание

на находку *B. norvegicus*, другого клептопаразитического вида на о-ве Колгуев [4], является ошибочным. Данное указание было основано на неверной идентификации самки *B. flavidus*. Следовательно, в фауне шмелей Колгуева известен только один вид-клептопаразит – *B. flavidus*.

Находки *B. glacialis* Friese, 1902 на о-ве Колгуев, упомянутые в работах первой половины XX века, не были подтверждены недавними исследованиями [3]. *B. glacialis* является плейстоценовым реликтом и эндемиком архипелага Новая Земля и о-ва Врангеля [7]. Маловероятно, что *B. glacialis* может присутствовать на о-ве Колгуев по причине, прежде всего, значительных различий в условиях окружающей среды между Колгуевом и Новой Землей.

Наконец, находка *Dolichovespula norvegica* на о-ве Колгуев является первой для исследуемого острова. Данный вид осы известен по всей территории Голарктики, вплоть до зоны тундр. В Европе приурочен к борео-альпийским типам экосистем [8]. Нахождение *Dolichovespula norvegica* на о-ве Колгуев следует относить к самой северной из известных точек находок вида в Восточной Европе (исключая Фенноскандию).

*Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания по теме «Исследование закономерностей пространственно-временных изменений лесных экосистем на приарктических территориях Европейского Севера России» № гос. регистрации 122011400384-2.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Paukkunen J., Kozlov M.V. Stinging wasps, ants and bees (Hymenoptera: Aculeata) of the Nenets Autonomous Okrug, northern Russia // *Annales Zoologici Fennici*. 2020. V. 57. P. 115-128.
2. Болотов И.Н. Фауна и экология булавоусых чешуекрылых (Lepidoptera, Rhopalocera) полуострова Канин и острова Колгуев // *Зоологический журнал*. 2011. Т. 90. № 11. С. 1365-1373.
3. Potapov G.S., Kolosova Yu.S., Kondakov A.V., Tomilova A.A., Filippov B.Yu., Zubrii N.A., Spitsyn V.M., Spitsyna E.A., Zheludkova A.A., Gofarov M.Yu., Vovykina G.V., Bolotov I.N. Phylogeography and ecology of bumble bees on Kolguev Island, a remote European Arctic landmass // *ZooKeys*. 2022. V. 1122. P. 19-37.
4. Колосова Ю.С., Потапов Г.С., Шмели (Hymenoptera, Apidae) лесотундры и тундры на Северо-Востоке Европы // *Зоологический журнал*. 2011. Т. 90. № 8. С. 959-965.
5. Fijen T.P.M. Mass-migrating bumblebees: An overlooked phenomenon with potential far-reaching implications for bumblebee conservation // *Journal of Applied Ecology*. 2020. V. 58. No. 2. P. 274-280.
6. Lhomme P., Hines H.M. Ecology and evolution of cuckoo bumble bees // *Annals of the Entomological Society of America*. 2019. V. 112. No. 3. P. 122-140.
7. Potapov G.S., Berezin M.V., Kolosova Y.S., Kondakov A.V., Tomilova A.A., Spitsyn V.M., Zheludkova A.A., Zubrii N.A., Filippov B.Y., Bolotov I.N. The last refugia for a polar relict pollinator: isolates of *Bombus glacialis* on Novaya Zemlya and Wrangel Island indicate its broader former range in the Pleistocene // *Polar Biology*. 2021. V. 44. No. 8. P. 1691-1709.
8. Pekkarinen A. Geographic variation and taxonomy of the species of *Dolichovespula* in the boreal zone of the Holarctic region (Hymenoptera, Vespinae) // *Acta Zoologica Fennica*. 1995. V. 199. P. 61-70.

## ДИНАМИКА УРОВНЯ КОРТИЗОЛА И АКТИВНОСТИ $Na^+/K^+$ -АТФАЗЫ В ОНТОГЕНЕЗЕ ЛЕПТОКЛИНА ПЯТНИСТОГО В АРКТИКЕ

Рендаков Н.Л., Кяйвяряйнен Е.И., Пеккоева С.Н., Мурзина С.А.

Институт биологии — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра “Карельский научный центр Российской академии наук”, г. Петрозаводск, nrend@mail.ru

Исследована возрастная динамика уровня кортизола и активности  $Na^+/K^+$ -АТФазы (НКА), связанных с поддержанием ионного гомеостаза клеток, в скелетных мышцах молоди лептоклина пятнистого *Leptoclinus maculatus* (Fries, 1838), экологически значимого представителя ихтиофауны арктического архипелага Шпицберген. *L. maculatus* широко распространен в морских экосистемах Арктики и Северной Атлантики, встречается на глубинах от 2 до 488 м и предпочитает биотопы с повышенной соленостью.

*L. maculatus* характеризуется сложным и длительным развитием: молодь ведет пелагический образ жизни, а затем, пройдя стадию метаморфоза, переходит к обитанию в демерсальной зоне, что сопровождается морфологическими, физиологическими и биохимическими изменениями. На данный момент, благодаря совместным исследованиям норвежских и российских коллег, описаны особенности изменения липидного состава в процессе раннего постэмбрионального развития *L. maculatus*. Раннее развитие *L. maculatus* представлено последовательно сменяющимися друг друга стадиями от L1 до L5. При этом стадии L1, L2 и L3 считаются типично пелагическими, а стадия L4 является переходной и характеризуется как пелагическим, так и придонным образом жизни. Молодь стадии L5 преимущественно придонная, но может встречаться и в пелагиали.

НКА – мембранный фермент, осуществляющий активный транспорт ионов и экспрессирующийся во всех органах, в том числе в осморегуляторных и в мышцах. Имеется достаточно много работ о влиянии кортизола на активность НКА в жабрах взрослых костистых рыб. При этом проблема регуляции ионного обмена в тканях рыб на ранних стадиях развития изучена недостаточно.

Распределение молоди *L. maculatus* по стадиям развития (L1 – L5) проводилось по классификации С. Meyer Ottesen et al. (2011) на основании возрастных (отолитовый анализ) и морфофизиологических признаков, т.е. размера, массы, окраски и пигментации тела, наличия липидного мешка и его параметров. Нами выделена также стадия развития L4\*, отличающаяся от стадии L4 более темной окраской тела и более крупными размерами тела и жабр, а от стадии L5 (ювенильной) наличием крупного липидного мешка. Ранее было показано, что рост *L. maculatus* ускоряется от стадии L2 до стадии L4. В этот период выявлено также ускоренное увеличение каудальной длины. Абсолютный прирост варьировал от 0,7 см на стадии L3 до 1,4 см на стадии L4\*. Относительный прирост в этот период изменялся от 0,12 до 0,19. Это увеличение скорости роста может быть связано со снижением уровня кортизола, поскольку есть свидетельства того, что введение кортизола приводит к торможению роста.

В докладе будут представлены данные о динамике уровня кортизола и активности НКА в скелетных мышцах *L. maculatus* в онтогенезе от пелагической молоди стадии L2 к стадии L5, ведущей в основном придонный образ жизни. Полученные результаты позволяют предположить, что у лептоклина кортизол может участвовать в регуляции активности одного из основных осморегуляторных факторов – НКА. Это может иметь значение для роста и адаптации пелагической молоди лептоклина пятнистого к придонной среде обитания в процессе постэмбрионального развития в Арктике.

*Исследование выполнено с использованием оборудования Центра коллективного пользования КарНЦ РАН. Исследование финансировалось из средств государственного бюджета, выделенных по ГЗ КарНЦ РАН FMEN-2022-0006.*

## **НЕУДАВШИЙСЯ ЭКСПЕРИМЕНТ ВОЗРОЖДЕНИЯ ЖЕМЧУЖНЫХ ПРОМЫСЛОВ В СЕВЕРНОМ КРАЕ НА РУБЕЖЕ 1920 – 1930-Х ГГ.**

*Рыкусов В.В.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лавёрова УрО РАН, г. Архангельск, r\_vadim@fciarctic.ru

Жемчужница европейская (*Margaritifera margaritifera* (Linnaeus, 1758)) – пресноводный двустворчатый моллюск, распространённый в Европе от Пиренейского полуострова до северо-западных территорий России [1]. В Архангельской области пролегает восточная граница ареала этого вида [2]. Жемчужница, в досоветскую эпоху ставшая объектом промысла на Русском Севере, сыграла важную культурно-историческую роль: местное население использовало речной жемчуг украшения одежды и головных уборов, церковных книг и окладов икон [3].

В настоящий момент жемчужница внесена в Красную книгу Российской Федерации (и ряд региональных Красных книг) и имеет статус исчезающего вида [4, 5]. Рассматриваются различные причины сокращения её численности [6, 7]. Но предпосылки негативных процессов, вероятно, возникли не в XXI веке, а значительно раньше. Одним из подтверждений тому является информация, связанная с попытками возрождения промыслов в годы первой советской пятилетки (1928-1932). Серию попыток, например, предпринял поморский подвижник жемчужного дела, исследователь И.В. Гуттуев.

О личности И. В. Гуттуева известно немного. В очерке «Ловля жемчужниц на реке Казанке» он называет себя простым рабочим и любителем северной природы, отдавшим несколько лет жизни изучению раковин и способов добычи жемчуга, а в авторской подписи указывает: «Гуттуев Иван Васильевич, уроженец г. Онеги, Архангельской губ.» . В другом источнике говорится, что к началу экспедиционной деятельности Гуттуев жил и работал в Архангельске, а интерес к поиску жемчуга он унаследовал от отца-онежанина [8, 9].

Первая экспедиция Гуттуева на реку Казанку под эгидой Архангельского института промышленных изысканий прошла летом 1929 года. Казанка – река бассейна Белого моря, являющаяся притоком реки Солза. Организаторы предполагали, что Казанка должна быть сильнее заселена жемчужницами в сравнении с реками Кожа, Сывтуга и Яреньга, которые в 1928 году были обследованы другими специалистами (Е.В. Терентьева, А.А. Ржаницын). Прогноз основывался на данных Гуттуева, который удачно добывал жемчуг на Казанке ранее (в 1926 году), и удалённости водоёма от населённых пунктов. Вместе со вторым ловцом жемчуга Гуттуев прошёл всю реку Казанка – от устья до истоков (рис. 1). Несмотря на сложности, связанные с подъёмом и помутнением воды после сильных дождей, участники экспедиции попытались определить плотность популяции на локальных участках и проверили раковины на наличие жемчуга [10].

По сведениям краеведа А. Евдокимова, Гуттуев был прирождённым исследователем, который, глядя на истощающиеся запасы жемчужницы, искал способы искусственного возобновления промыслового ресурса и знал о традициях восточноазиатских стран, где принято подкладывать в раковины моллюсков песчинки или мелкие предметы в качестве раздражителя. Чтобы освободиться от инородного

тела, моллюск начинает выделять перламутр, который обволакивает песчинку, образуя жемчужину [10]. Из подготовленного Гуттуевым отчёта становится понятно, что уже в первой экспедиции (1929) он использовал метод подсадки раздражителей на 200 раковинах [11] для последующих наблюдений за ростом жемчужин.



Рис. 1 – Отбор раковин жемчужниц в реке Казанке (июль 1929 года).

Летом 1930 года состоялась вторая экспедиция на р. Казанку, в которой принимал участие Гуттуев. На этот раз в качестве инструктора. Руководителем согласно рукописному отчёту числился П.В. Симонов. В инструкции для участников речных экспедиций тех лет указано, что именно Гуттуев обучает людей способу просмотра раковин для извлечения жемчужин, а также принимает жемчуг от ловцов и ведёт подсчёт и указывает характеристики добытых жемчужин [12].

Вероятно, группа совершала попытку уточнения точек, густонаселённых раковинами, и продолжила эксперимент с искусственным выращиванием жемчуга. В рукописи содержится информация о выполненных исследованиях, включающих схематические зарисовки, добытом в незначительном количестве жемчуге, о проведённой подсадке мелких частиц светлого кварца в 8 000 раковин, которые были помечены специальными насечками. Чтобы эксперимент завершился удачно, автор отчёта предлагает запретить лов жемчуга на Казанке в течение нескольких лет [13].

Очевидно, что сезон 1930 года был наиболее продуктивным для Гуттуева. А следующее лето стало для него роковым. Как отмечает краевед Е. Евдокимов, единственный помощник Гуттуева покинул поисковые работы раньше срока, а на его место пришёл больной работник, которого пришлось отпустить. Доставляя раковины и пробы воды для исследовательских целей в Архангельск, И.В. Гуттуев фактически подорвал свои силы и вскоре умер [9].

Драматично завершились и наблюдения за помеченными жемчужницами с подсаженными раздражителями. В результате проведённой в 1936 году экспедиции было установлено, что жемчужины в них приросли к внутренней стенке раковины и имели вид не традиционных округлых жемчужин, а наростов [14].

Тем не менее, работа Гуттуева была оценена современниками достаточно высоко. По мнению краеведов, к истощению популяций жемчужницы на Русском Севере на рубеже XIX-XX веков привела именно варварская добыча. Гуттуев знал, как добывать жемчуг с минимальным ущербом для природы, и совершил попытку восполнить утраченный ресурс.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Geist Y. Strategies for the conservation of endangered freshwater pearl mussels (*Margaritifera margaritifera* L.): a synthesis of Conservation Genetics and Ecology // *Hydrobiologia*. 2010. Режим доступа: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10750-010-0190-2> (дата обращения: 10.09.2023).
2. Вихрев И.В. Историческая динамика границ ареала жемчужницы европейской *Margaritifera margaritifera* (L.) на северо-западе России // Актуальные проблемы биологии и экологии: материалы докл. XVIII Всерос. молодеж. науч. конф., 4-8 апр. 2011 г. Сыктывкар, Респ. Коми, Россия. 2011. С. 79–81.
3. Беспалая Ю.В. Жемчуг и жемчужница в Архангельской области / Ю.В. Беспалая, И.Н. Болотов // Вестник Поморского университета. Сер. ест-е и точные науки. 2010. № 1. 30 с.
4. Красная книга Российской Федерации, том «Животные». 2-ое издание. Москва: ФГБУ «ВНИИ Экология», 2021. С. 84–86.
5. Красная книга Архангельской области / О. В. Аксёнова и [и др.]. – Архангельск: Сев. (Арктич.) федер. ун-т, 2020. 361 с.
6. Махров А.А. и др. Европейская жемчужница (*Margaritifera margaritifera* (L. 1758)): состояние изученности и пути сохранения в реках Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. 2009. № 1. С.101–113.
7. Bolotov, I.N, Makhrov, A.A., Gofarov, M.Y. et al. Climate Warming as a Possible Trigger of Keystone Mussel Population Decline in Oligotrophic Rivers at the Continental Scale // *Scientific Reports*. 2018. Режим доступа: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18873-y> (дата обращения: 15.03.2023).
8. Гуттуев И.В. Ловля жемчужниц на реке Казанке // Хозяйство в дикой природе Севера. Архангельск: Арх. книж. изд-во, 1930. С. 44–47.
9. Евдокимов А. Искатели жемчуга. Архив ГБУК Архангельской области «Архангельский краеведческий музей», д. 645/18, л. 37–42.
10. Евдокимов А. Жемчуг в Северном крае. 28 августа 1929 года. Материалы Архангельского института промышленных изысканий. Архив ГБУК Архангельской области «Архангельский краеведческий музей», д. 645/18, л. 7–8.
11. Из отчёта И.В. Гуттуева, 1929 г. Материалы Архангельского института промышленных изысканий. Архив ГБУК Архангельской области «Архангельский краеведческий музей», д. 645/18, л. 25–27.
12. Инструкция экспедиции по обследованию жемчужности речек Казанки и Солзы. Архив ГБУК Архангельской области «Архангельский краеведческий музей», д. 645/18, л. 105–107.
13. Доклад «О работе экспедиций по исследованию жемчужности реки Казанка (Приморский район) в 1930 году. Архив ГБУК Архангельской области «Архангельский краеведческий музей», д. 645/18, л. 108–114.
14. Протокол исследования реки Казанки экспедицией в составе научного сотрудника ВНИОРХа Жигло Якова Ивановича, представителя Московской пуговичной фабрики им. Баума Алехина Александра Александровича и представителя Архангельского общества краеведения Фомина Николая Петровича от 5 сентября 1936 года. Архив ГБУК Архангельской области «Архангельский краеведческий музей», д. 645/18, л. 142–144.

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЙМЕННЫХ ЛУГОВ РЕКИ МЕЗЕНЬ

Смирнова М.А.

Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН (Лаборатория географии и картографии растительности), г. Санкт-Петербург, medvedetz@gmail.com

Исследование лугов поймы р. Мезень проводилось летом 2022 г. Было выявлено типы луговых сообществ, относящихся к разным уровням поемности. Выявлены участки произрастания пойменных видов, обладающих лекарственными свойствами.

Мезень относится к бассейну Белого моря и является одной из крупнейших рек европейского Севера России. Длина реки составляет 966 км. На Мезени половодье наступает в мае, июне. Летние или осенние дождевые паводки периодически приводят к кратковременному подъему уровня воды в реке [1]. Долина реки Мезень сложена породами пермского, триассового и юрского периодов: мергелями, песчаниками и глинами [2], часто коренные породы перекрыты четвертичными отложениями. Мезень на своем пути от истока к устью пересекает три природные подзоны: среднюю, северную тайгу, лесотундру.

Долина реки со времени поселения на ней человека постепенно осваивалась под его нужды. Луга использовались как пастбища и сенокосы, а также под огороды и пашни. Начиная с 1990-х годов деятельность человека в пойме резко уменьшилась. В результате чего качество травостоя на лугах стало ухудшаться: уменьшилось разнообразие видов, появились и значительно увеличили проективное покрытие сорнотравные виды.

Пойменные луга р. Мезень были обследованы в 2022 г. в составе экспедиции по исследованию флоры и растительности севера Европейской России под руководством П. Г. Ефимова. Луга обследовались маршрутным методом в нижнем течении реки между городом Мезень и деревней Чучепала, общая протяженность маршрута составила около 250 км. Долину реки на маршруте следования слагают аллювиальные пески, галечники, дочетвертичные выходы красноцветные мергели [2].

Разные луговые сообщества зависят от экологических условий, в частности от поемности реки. Луга часто располагаются параллельно руслу реки, сменяя друг друга на градиенте поемности от короткопоемных до длительнопоемных условий.

На высоких террасах, практически не заливаемых в половодье, растут луга из овсяницы красной (*Festuca rubra*) с участием мятлика лугового (*Poa pratensis*) и лугового разнотравья: **герани луговой**<sup>1</sup> (*Geranium pratense*), **борщевика сибирского** (*Heraclium sibiricum*), лютика едкого (*Ranunculus acris*). Также на редкозаливаемых террасах часто отмечаются разнотравно-злаковые луга, в составе которых большое участие злаков: полевицы тонкой (*Agrostis tenuis*), ежи сборной (*Dactylis glomerata*), тимфеевки луговой (*Phleum pratense*), мятлика лугового и овсяницы красной. Из разнотравья в этих лугах наиболее обычны следующие виды: **тысячелистник** (*Achillea millefolium*), **астрагал датский** (*Astragalus danicus*), **бедренец-камнеломка** (*Pimpinella saxifraga*), **подорожник ланцетный** (*Plantago lanceolata*), **щавель пирамидальный** (*Rumex thyrsiflorum*).

На террасах, заливаемых непродолжительное время произрастают сообщества из костреца безостого (*Bromopsis inermis*) и лисохвоста лугового (*Alopecurus pratensis*). Кострецовые луга по гривам, а лисохвостовые по межгривным понижениям. Часто с видовом составе этих лугов отмечаются виды сорнотравья: **крапива двудомная** (*Urtica*

---

<sup>1</sup> Жирным шрифтом в тексте выделены виды травянистых растений, обладающие лекарственными свойствами, некоторые из них не включены в официальный список фармакопейных видов, но активно

*dioica*), **бутень клубненосный** (*Chaerophyllum bulbosum*), бодяк щетинистый (*Cirsium cetosum*). Последний вид – бодяк щетинистый – является злостным сорняком, а также вредным видом для питания скота. По межгрядкам также широко распространены луга из **таволги вязолистной** (*Filipendula ulmaria*) и кострцово-крупнотравные луга, из крупнотравья обильны: герань луговая, борщевик сибирский, таволга.

На самых низких речных террасах в зависимости от речного аллювия произрастают либо луговые сообщества из белокопытника ложного (*Petasites spurius*) – на песчаных отложениях, либо сообщества из белокопытника лучистого (*Petasites radiatus*) – на галечниках. По данным видам белокопытников в литературе не попадалась информации о их лечебных свойствах, хотя в целом, эти виды являются близкородственными к роду мать-и-мачеха (*Tussilago farfara*), что не исключает их использование, как потенциально лекарственных видов. На песчаных отмелях в составе белокопытниковых сообществ участвуют виды разнотравья: **хвощ полевой** (*Equisetum arvense*), **лапчатка гусиная** (*Potentilla anserina*), **пижма обыкновенная** (*Tanacetum vulgare*), **ястребинка зонтичная** (*Hieracium umbellatum*), пустореберник голый (*Cenolophium denudatum*). По отмелям из галечника периодически встречаются сообщества из белокопытника лучистого с участием **калужницы болотной** (*Caltha palustris*) и осоки водной (*Carex aquatilis*), переходящие затем в кострцово-разнотравные луга, из разнотравья: **подмаренник северный** (*Galium boreale*), **змеевик живородящий** (*Polygonum viviparum*), **кровохлебка лекарственная** (*Sanguisorba officinalis*).

Для разных субстратов и разных поемных уровней были выявлены группы видов растений, потенциально пригодных для сбора в качестве лекарственного сырья. Среди таких видов: хвощ полевой (*Equisetum arvense*), таволга (*Filipendula ulmaria*), кровохлебка лекарственная (*Sanguisorba officinalis*) и другие виды. Всего на пойменных лугах зафиксировано 18 видов растений, обладающих лекарственными свойствами. Также к потенциально лекарственным можно отнести белокопытники ложный и лучистый.

*Работа выполнена по плановой теме БИН РАН № 121032500047-1 «Растительность европейской России и Северной Азии: разнообразие, динамика, принципы организации».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Все реки. Информационный сайт о реках России. <http://vsereki.ru/severnoy-ledovityj-ocean/bassejn-belogo-morya/mezen>
2. Геологическая карта. Атлас Архангельской области. М.: ГУГК, 1976.
3. Карта: Лекарственные растения. Атлас Архангельской области. М.: ГУГК, 1976.
4. Шмидт В.М. Флора Архангельской области. СПб. Изд-во СПбГУ. 2005. 346 с.
5. Суханов А.Е., Буюклинская О.В., Кубасова Е. Д., Чеснокова Т. И., Цикина Т.С. Фармакопейные лекарственные растения, произрастающие на территории Архангельской области // *olloquium-journal*. 2021. №15 (102).

**LAOTHOE AMURENSIS ZOLOTUHINI SPITSYN, BOLOTOV & SPITSYNA, 2022 –  
НОВЫЙ ПОДВИД С О. КУНАШИР (LEPIDOPTERA: SPHINGIDAE)**

Спицына Е.А.

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, elis.spitsyna@gmail.com

Группа видов *Laothoe amurensis* sp. group включает широко распространенный вид *Laothoe amurensis* (Staudinger, 1892) (типовая местность: р. Уссури) и два эндемика южного Китая, *Laothoe selene* Zolotuhin, 2018 (Юннань и Тибет) и *Laothoe sinica* (Rothschild & Jordan, 1903) (Сычуань) [1]. Однако некоторые авторы, несмотря на существенные генетические дистанции, считают два последних вида подвидами *L. amurensis* [2]. В.В. Золотухин и С.И. Евдошенко [1] в книге «Бражники (Lepidoptera: Sphingidae) фауны России и сопредельных территорий» предположили на основе различий в морфологии маргинального края крыла наличие на Курильских островах и Японии отдельного подвида *L. amurensis*, однако из-за отсутствия генетических данных островной подвид не был описан. В 2021 году нами был собран свежий материал с острова Кунашир, что позволило провести молекулярно-генетический анализ. Островная популяция имеет существенную, сопоставимую с дистанциями между видами в видовой группе *L. amurensis* sp. group, генетическую дистанцию от материковых популяций, что позволяет ее выделить в отдельный подвид *Laothoe amurensis zolotuhini* Spitsyn, Bolotov & Spitsyna, 2022 [3]. Новый подвид отличается сильно развитой зубчатостью маргинального края крыла и более крупными размерами (рис.1А-Ф). Генетическая дистанция по гену *COI* между двумя подвидами составляет 2,12-2,45% (рис.1G). Номера нуклеотидных последовательностей гена *COI*. GenBank № OP548141 (голотип RMBH Sph0928) и OP548140 (паратип RMBH Sph0927). Подвид назван в честь Вадима Викторовича Золотухина, предположившего наличие на острове Кунашир эндемичного подвида.

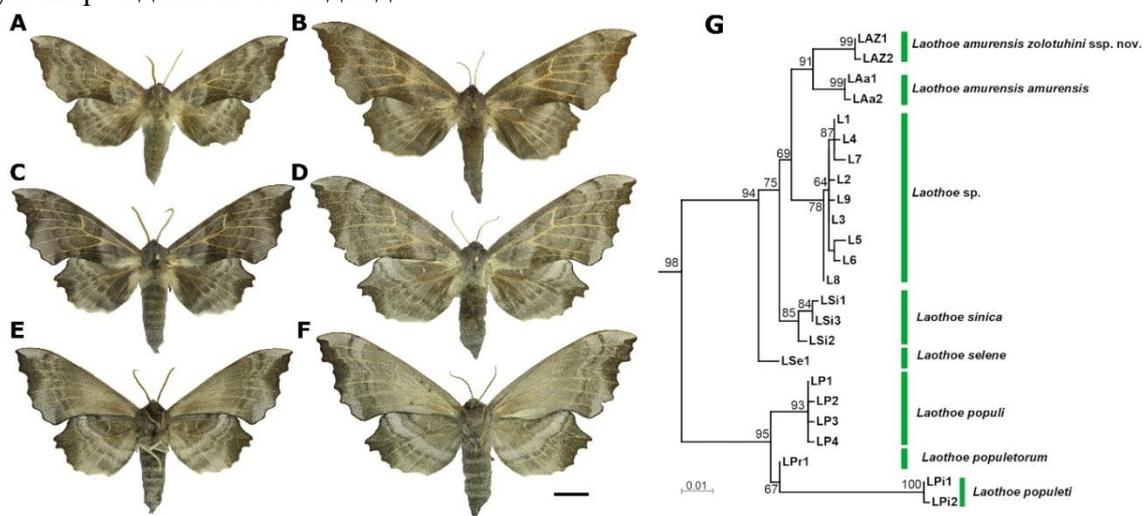


Рис.1 – А-В) *Laothoe amurensis amurensis*, Приморский край: А) Самец; В) Самка;  
С-Ф) *Laothoe amurensis zolotuhini* Spitsyn, Bolotov & Spitsyna, 2022, о. Кунашир:  
С, Е) Голотип, самец RMBH Sph0928: С) Дорсальная сторона; Е) Вентральная сторона;  
D, F) Паратип, самка RMBH Sph0927: D) Дорсальная сторона; F) Вентральная сторона;  
G) Филогения рода *Laothoe* на основе гена *cytochrome c oxidase subunit I*

Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания по теме «Систематика, жизненные циклы и климатогенная динамика ареалов насекомых в контрастных ландшафтно-зональных условиях (на примере *Lepidoptera*)» No гос.регистрации 123062300022-5 (проект No FUUW-2023-0001).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бражники (Lepidoptera: Sphingidae) Фауны России и сопредельных территорий / Золотухин В.В., Евдошенко С.И. / Ульяновск: Корпорация технологий продвижения, 2019. 480 с.
2. Kitching I. Sphingidae Taxonomic Inventory [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sphingidae.myspecies.info> (дата обращения: 27.08.2022).
3. Spitsyn V.M., Spitsyna E.A., Kondakov A.V., Tomilova A.A., Burchalovskaia P.D., Bolotov I.N. *Laothoe amurensis zolotuhini* ssp. nov. from Kunashir Island, Russia (Lepidoptera: Sphingidae) // *Ecologica Montenegrina*. 2022. Vol.57. P.118-126.

### ОСОБЕННОСТИ ПЛОДОНОШЕНИЯ ЧЕРНИКИ ОБЫКНОВЕННОЙ (*VACCINIUM MYRTILLUS* L.) В ПОДЗОНЕ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Старицын В.В., Торопова Е.В.

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, corwin87@mail.ru

Черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus* L. – сем. Ericaceae Juss.) – один из доминантов травяно-кустарничкового яруса бореальных лесов. Является ценным пищевым, кормовым, лекарственным растением. В медицине используются плоды, которые обладают мощной антиоксидантной активностью и применяются для лечения зрения и сердечно-сосудистой системы [1,2].

Для оценки современного состояния и отслеживания динамики продуктивности таких ценных ресурсных видов, как дикорастущие ягодники, проводятся многолетние мониторинговые наблюдения. Они позволяют оценить жизнеспособность, глубже понять механизмы устойчивости и приспособления отдельных видов к возрастающему антропогенному воздействию, спрогнозировать стратегию развития заросли.

Темпы хозяйственного освоения растут, роль антропогенного фактора возрастает. Рост дефрагментации лесов, увеличение площади экотонных зон (лес-вырубка) делают актуальным изучение данных природных комплексов.

Различные аспекты влияния переходных зон (экотонов) на растительность в Архангельской области рассматриваются в работах: Геникова и др. 2021 – микроклимат, обилие [3]; Бурова и др. 2012 – освещенность, температура почвы [4]; Феклистов и др. – скорость ветра, освещенность [5] и т.д.

В рамках изучения широкого круга вопросов по исследованию влияния экотонной зоны «лес - опушка (вырубочная и лесная) - вырубка» на растительность, полевые исследования на вырубке 2013 года, в средней подзоне тайги, проводятся с 2014 года (окрестности деревни Кеницы, Холмогорского района, Архангельской области, Россия). С 2014 года изучается проективное покрытие растительности на трансектах разной экспозиции, длиной 50 метров, в обе стороны от стены леса.

В 2018 году в экотонной зоне для изучения продуктивности популяции черники обыкновенной на различном удалении от стены леса были заложены 5 трансект, длиной 25 метров. Тр. I – 100 м на вырубку, Тр. II – 4 м на вырубку, Тр. III – 4 м в лес, Тр. IV – 20 м лес, Тр. V – 100 м в лес. В данном исследовании из анализа исключена трансекта

IV, т.к. она необходима для проверки однородности зоны леса - на разном расстоянии от стены леса. Трансекта западной экспозиции (50 метров), позволяет проанализировать закономерности в проективном покрытии, совместно с данными по урожайности на 25 метровых трансектах, расположенных в том же районе.

На каждой 25 метровой трансекте в шахматном порядке откладывались учетные площадки, размером 0,5 на 0,5 метров (50 шт.). Крайние точки трансект обозначались постоянными вешками. Для определения урожайности на каждой учетной площадке в период спелости проводился сплошной сбор ягод, подсчет количества, определение онтогенетического состояния для особей генеративного периода. Взвешивание проводилось в лабораторных условиях.

Максимальная урожайность черники в 2023 году отмечается в зоне леса и на лесной опушке. Аналогично изменяется среднее количество плодов на учетной площадке, увеличиваясь в среднем от 0,1 до 18,9 штук на учетной площадке. На вырубке и прилегающей к ней опушке урожайность минимальна, что связано с избыточным освещением (табл. - 1).

Таблица 1 – Показатели урожайности черники по трансектам в экотонной зоне, г./уч.пл. (Холмогорский район, 2023 г.)

Номер	Положение	Расстояние от стены леса, м	Урожайность, г./уч.пл.	Количество плодов, шт./уч.пл.
Тр. I	Вырубка	100 м на вырубку	$0,01 \pm 0,01$ 0 – 0,63	$0,1 \pm 0,1$ 0 – 3,0
Тр. II	Вырубочная опушка	4 м на вырубку	$0,11 \pm 0,06$ 0 – 2,74	$0,6 \pm 0,3$ 0 – 13,0
Тр. III	Лесная опушка	4 м в лес	$2,61 \pm 0,50$ 0 – 15,17	$8,0 \pm 1,40$ 0 – 37,0
Тр. V	Лес	100 м в лес	$4,77 \pm 0,66$ 0,21 – 18,15	$18,9 \pm 2,4$ 1,0 – 73,0

Примечание: в числителе – среднее значение, в знаменателе минимальное и максимальное значения.

В работе Курлович Т.В. (2005 год) отмечается, что оптимальная освещенность для черники составляет 50—75% освещенности открытого места, но для сохранения высокой продуктивности необходим высокий уровень влажности воздуха [6].

Сравнение полученных результатов с урожайностью за прошлые годы, позволяет сделать выводы о широком варьировании данных (рис. 1).

Низкая урожайность характерна для вырубки и вырубочной опушки. На лесной опушке и в лесу, в целом, урожайность растет (спад в 2021 году).

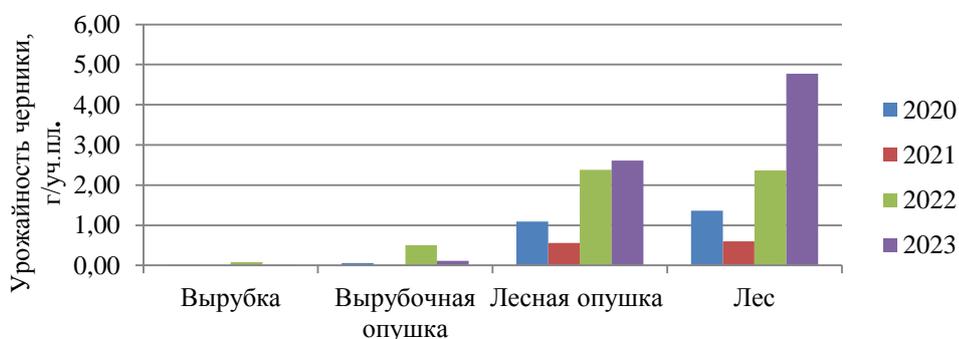


Рис. 1 – Средний показатель урожайности черники на учетной площадке, г./уч.пл. (Холмогорский район; 2020 - 2023 гг.)

Анализ динамики среднего проективного покрытия черники по сравнению с 2019 годом позволяет сделать вывод, что проективное покрытие черники сокращается

на вырубке (4,0%); в лесу и на лесной и вырубочной опушках незначительные колебания (от -0,1 до 0,2-0,5%) (рис. 2).

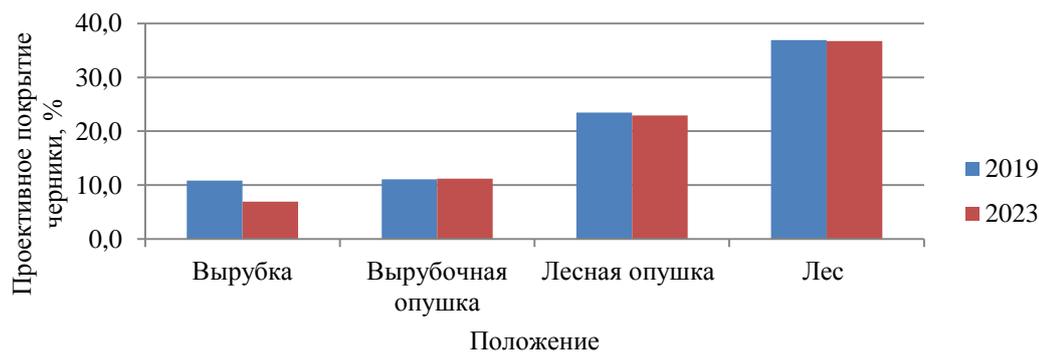


Рис. 2 – Проективное покрытие черники по трансектам, % (Холмогорский район; 2019 и 2023 г.)

Важным экологическим показателем является плотность побегов. Учет плодоносящих побегов показал, что максимум достигается в зоне леса и лесной опушке (рис. 3).

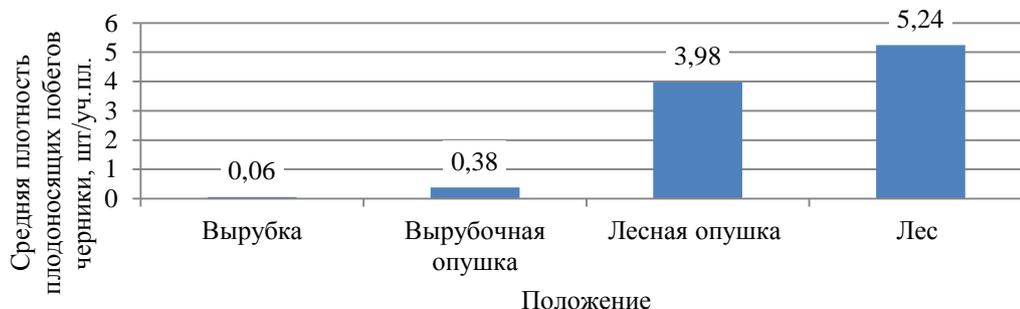


Рис. 3 – Средняя плотность плодоносящих побегов черники в экотонной зоне, шт./уч.пл. (Холмогорский район; 2023 г.)

Для генеративных побегов определялось онтогенетическое состояние: молодое - g1, зрелое - g2, старое - g3. За 100 % было принято все количество плодов для каждой выделенной зоны в пределах экотона. Накопительная диаграмма (рис. 4) показывает долю каждого из онтогенетических состояний в продуцировании плодов черники. При движении от вырубки вглубь леса роль молодых генеративных особей в формировании урожая черники сокращается и увеличивается доля средневозрастных (рис. 4).

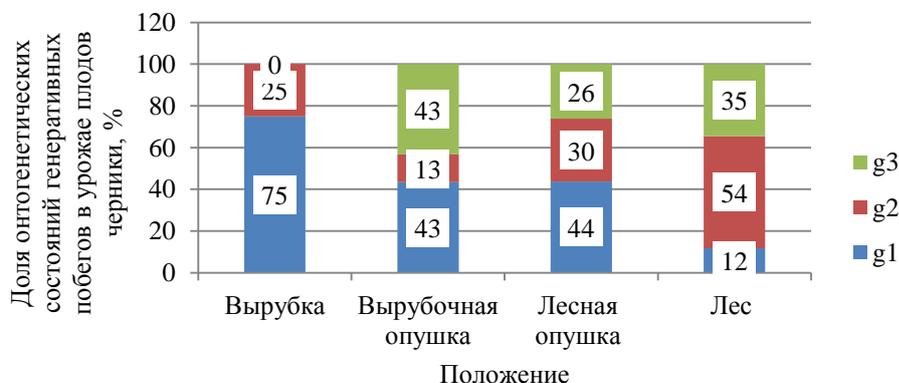


Рис. 4 – Доля генеративных побегов разного онтогенетического состояния (g1, g2, g3) в формировании урожая черники в экотонной зоне, % (Холмогорский район; 2023 г.)

Подводя итог, можно сделать следующие выводы:

- при движении от вырубki вглубь леса увеличивается урожайность, количество плодов и плотность генеративных побегов черники обыкновенной;
- проективное покрытие вида сокращается на вырубке, стабильно в опушечной и лесной зоне, по сравнению с 2019 годом;
- процентное соотношение вклада генеративных особей черники различного онтогенетического состояния (молодых, средневозрастных, или зрелых, и старых) в количественные показатели урожайности черники различаются на разных участках экотона (лес - вырубочная и лесная опушки – вырубка).

*Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания № 122011300380-5 Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук; а также при поддержке конкурса научных проектов молодых ученых ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, посвященного Десятилетию науки и технологий в Российской Федерации № 122111000008-8.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. European Pharmacopoeia. 6-th Ed. Rockville : United States Pharmacopoeial Convention. Inc., 2008. PP. 738–739.
2. Государственная фармакопея СССР: Вып. 2. Общие методы анализа. Лекарственное растительное сырье / МЗ СССР. 11-е изд., доп. М. : Медицина, 1990. 400 с.
3. Геникова, Н. В. Обилие лесных кустарничков и микроклиматические условия в экотонном комплексе ельник черничный–вырубка / Н. В. Геникова, В. Н. Мамонтов, А. М. Крышень // Растительные ресурсы. – 2021. – Т. 57, № 2. – С. 99-114. – DOI 10.31857/S0033994621020059.
4. Бурова Н.В. Влияние опушечного эффекта на состояние отдельных компонентов лесных биогеоценозов / Н. В. Бурова, А. М. Тараканов, И. И. Дроздов [и др.] // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. – 2012. – № 4. – С. 19-22.
5. Феклистов, П. А. Экотонные зоны в лесных экосистемах северной тайги / П. А. Феклистов, Б. Ю. Филиппов, И. Н. Болотов [и др.] // Вестник Поморского университета. Серия: Естественные науки. – 2011. – № 4. – С. 102-105.
6. Курлович, Т. В. Брусника, голубика, клюква, черника / Т. В. Курлович. - Москва : МСП, 2009. - 127 с.

#### **РАСПРОСТРАНЕНИЕ И СОСТОЯНИЕ ПОПУЛЯЦИЙ БОЛЬШОГО БАКЛАНА НА ЮГО-ВОСТОЧНОМ ПРЕДЕЛЕ АРЕАЛА (ПРИАМУРЬЕ, ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)**

*Тагирова В.Т.<sup>1</sup>, Елаев Э.Н.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Педагогический институт Тихоокеанского государственного университета,  
г. Хабаровск

<sup>2</sup>Бурятский государственный университет им. Д. Банзарова, г. Улан-Удэ,  
elaev967@yandex.ru

Из 6 видов рода бакланов (*Phalacrocorax*, *Phalacrocoracidae*, *Pelecaniformes*) в Приамурье обитает континентальный большой баклан (*Phalacrocorax carbo sinensis* Blumenbach, 1798) – обычный, местами многочисленный, перелетный гнездящийся вид, характеризующийся широким распространением на внутренних водоемах открытых

пойменных пространств бассейна р. Амур (озера, берега рек и речек) и побережья Татарского пролива [1,2,3].

В наших исследованиях орнитофауны с 1970-х гг. большой баклан встречался отдельными особями во внегнездовой период или небольшими по числу гнездящихся пар разрозненными колониями. Первые встречи этого вида одним из авторов настоящей работы состоялись во время студенческой экспедиции под руководством д.б.н., проф. А. П. Нечаева в августе 1959 г. в окрестностях Де-Кастри Ульчского района с выходом на Татарский пролив. По акватории залива Чихачева отдельные взрослые особи совершали перелеты по 4-6 ос. Иногда замечали сушившихся бакланов на крупных камнях-кекурах. Позднее мы встречали этих птиц в разных частях южного Приамурья, в т. ч. и на территории Еврейской автономной области в широкой пойме Амура у водохранилища бывшего рыбопроизводного завода на территории Смидовичского района (железнодорожная станция Покровский блокпост). Здесь среди разреженного древостоя в основном ивовых зарослей (высота 5-6 м) 18 июня 1972 г. с группой студентов-биологов при прохождении полевой практики встретили гнездовую колонию большого баклана из 9 гнезд. Птицы подпускали практикантов на расстоянии до 10-12 м. При нашем приближении поднимался далеко немелодичный глухой крик (своеобразное «карканье») взволнованной стаи. Обследованные гнезда состояли из веток с внутренней выстилкой из мелких и тонких прутиков. На ветвях деревьев взрослые птицы держались «столбиком», почти вертикально. В июле 1982 г. при посещении оз. Удыль в Ульчском районе, примерно в 20 км к югу от районного центра с. Богородское, на маршруте были встречены несколько стай по 3-4 особи (по всей вероятности, холостые или уже с молодыми). 28 июня 1990 г. на территории Большехецирского заповедника по протоке Казакевичевой выше слияния с рекой Уссури и нижнего течения р. Чирки обнаружена гнездовая колония большого баклана примерно с 200 гнездами на о. Цаплином<sup>2</sup>, объявленном региональным памятником природы [4]. С 1990 по 1998 гг. (с перерывами по годам и сезонам) в количественных учетах птиц в окрестностях пос. Бычиха Хабаровского района на территории санатория «Уссури» в пойменной части р. Уссури баклан входил в категорию редких видов (менее 1 ос. на км<sup>2</sup>) [5]. В черте г. Хабаровска (в районе Воронежских высот) и его ближайших урбанизированных окрестностей по результатам наших весенне-летних учетов (2000-2010 гг.) вид также характеризовался как редкий и очень редкий вид [6].

С началом 2000-х гг. птицы появились в новых районах и стали заметно увеличиваться в численности. Так, в третьей декаде июня 2005 и 2006 гг. при обследовании памятника природы регионального значения «Колония серой цапли и большого баклана», расположенного на о-в Добайчан, омываемом Старым Амуром. Во второй половине июня 2011 г. в нижнем течении р. Тунгуски обнаружена крупная смешанная колония большого баклана и серой цапли (примерно 640 жилых гнезд). По опросным данным, колония образовалась в 1992 г. и состояла только из серых цапель, в последние годы в нее стал внедряться большой баклан, причем занимает доминантное положение по численности (до 95% от общего числа гнезд). В августе 2012 г. при посещении колонии учтено 670 гнезд на 194 деревьях (в среднем на 1 дерево 3,5 гнезда). Третья часть лесного массива из монгольского дуба в результате химического воздействия экскрементов оказалась в угнетенном состоянии [9].

В последние два десятилетия наблюдалась экспансия вида на территории Нижнего Приамурья. В 80-х гг. XX столетия на оз. Эворон отмечались отдельные стайки неразмножающихся птиц (до 8 особей). В августе 2007 г. в колонии, расположенной в южной части оз. Эворон, было зарегистрировано более 100 птиц [8].

---

<sup>2</sup> при посещении этой колонии в июле 2022 г. подсчет гнезд оказался невозможным, но колония благополучно существует.

В периоды 20.07.1977 и 12–30.06.1989 гг. В. Г. Бабенко [1] было обнаружено несколько гнездовых поселений на скалистых побережьях Татарского пролива севернее пос. Датты Ульчского района.

Таким образом, судя по литературным и нашим данным, в настоящее время для большого баклана в Приамурье характерны расширение ареала в северном направлении и увеличение его численного состояния в целом по региону.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабенко В.Г. Птицы Нижнего Приамурья. М.: Прометей, 2000. 725 с.
2. Луговой А.Е. Большой баклан (*Phalacrocorax carbo* Linnaeus, 1758) // Птицы России и сопредельных регионов. Пеликанообразные, Аистообразные, Фламингообразные / С.Г. Приклонский (отв. ред.). М.: Тов-во научн. изданий КМК, 2011. С. 52-82.
3. Нечаев В.А., Гамова Т.В. Птицы Дальнего Востока России (аннотированный каталог). Владивосток: Дальнаука, 2009. 564 с.
4. Иванов С.В. Птицы // Позвоночные животные Большехехцирского заповедника. Сер. «Флора и фауна заповедников». Вып. 53. М.: ИЭМЭЖ РАН, 1993. С. 16-45.
5. Тагирова В. Т. Птицы рекреационного комплекса на примере санатория «Уссури» // Новые исследования (Биология. Экология. Образование): Сб. научн. тр. Вып. № 3. Хабаровск, 2002. С. 28-34.
6. Пронкевич В. В., Воронов Б. А., Атрохова Т. А., Антонов А. Л., Аднагулов Э. В., Олейников А. Ю. Новые данные о редких и малоизученных птицах Хабаровского края // Вестник СВНЦ ДВО РАН, 2011. № 3. С. 70-76.
7. ел В. Т. К экологическому обоснованию Памятника природы «Колония серой цапли и большого баклана». Нанайский район // Ресурсы и экологические проблемы Дальнего Востока. Хабаровск, 2006. С 127-131.
8. Тагирова В.Т., Маннанов И.А., Елаев Э.Н. Птицы города Хабаровска: фауна, структура населения и охрана. Хабаровск, 2015. 162 с.
9. Пронкевич В.В. О новой крупной смешанной колонии большого баклана *Phalacrocorax carbo* (Linnaeus, 1758) и серой цапли *Ardea cinerea* L., 1758 в окрестностях города Хабаровска // Амурский зоологический журнал. IV (4), 2012. С. 396-397.

#### БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЕДОВИТОМОРСКОЙ ЛИСИЧКИ *ASPIDOPHOROIDES OLRIKII* (AGONIDAE) КАРСКОГО МОРЯ

Токранов А.М.<sup>1</sup>, Орлов А.М.<sup>2,3</sup>, Емелин П.О.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, tok\_50@mail.ru

<sup>2</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

<sup>3</sup>Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва

<sup>4</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, г. Москва

Сокращение ледового покрова арктических морей и прилегающих вод северной части Тихого океана из-за глобального потепления создаёт в настоящее время условия для расширения рыболовства и изучения биологии различных видов рыб в этом приполярном регионе. Результаты выполненных здесь в последние годы Всероссийским научно-исследовательским институтом рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО) траловых съёмок, наряду с оценкой запасов потенциальных

объектов промысла, дали возможность получить новые данные по биологии целого ряда представителей ихтиофауны, не имеющих промыслового значения, но играющих важную роль в арктических экосистемах как связующее звено между бентосными беспозвоночными и организмами высших трофических уровней.

Одним из них является ледовитоморская лисичка *Aspidophoroides olrikii* Lütken, 1877 – представитель сем. Agonidae, распространение которого близко к циркумполярному. Этот вид встречается в арктических водах (от Белого и восточной части Баренцева моря до моря Бофорта) и прилегающих к ним районах Атлантического (у западных берегов Гренландии, у восточного побережья Канады и США на юг до Ньюфаундленда) и Тихого (по азиатскому побережью от Берингова пролива на юг до м. Наварин, по американскому – до устья р. Юкон) океанов [1-7, и др.]. Несмотря на довольно широкую область географического распространения и то, что эта лисичка во многих районах своего обитания считается достаточно обычным видом, сведения о её биологии в арктических водах на сегодняшний день крайне ограничены и фрагментарны [1, 4, 6, 8-10]. В 2019 г. во время трансарктического рейса на НИС «Профессор Леванидов» в Карском море был собран материал, позволяющий охарактеризовать некоторые черты биологии (размерно-возрастную и размерно-половую структуру, размеры и сроки полового созревания, состав пищи) ледовитоморской лисички в арктических водах.

Материал для настоящего сообщения собран в Карском море в сентябре 2019 г. во время выполнения на НИС «Профессор Леванидов» траловой съёмки донным тралом ДТ-27,1/24,4 (горизонтальное раскрытие 14–16 м, вертикальное 4–6 м, ячея в кутце 10 мм). Выловленные особи ледовитоморской лисички были заморожены, доставлены во Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), а затем переданы в Камчатский филиал Тихоокеанского института географии (КФ ТИГ) ДВО РАН для последующей камеральной обработки в лабораторных условиях. Всего исследовано 104 экз. ледовитоморской лисички общей длиной (*TL*) от 39 до 76 мм, которые были подвергнуты полному биологическому анализу с определением возраста. Длину измеряли с точностью до 1 мм, массу тела на электронных весах - с точностью до 0,01 г. Возраст всех рыб определяли по отолитам, которые предварительно разламывали поперёк с помощью скальпеля в районе центральной ложбины, затем прокаливали на электроплитке и покрывали поверхность глицерином (при необходимости слегка подшлифовывали). Обработку желудков исследованных особей ледовитоморской лисички вели в соответствии с «Методическим пособием...» [11]. Статистическую обработку полученных результатов производили согласно общепринятой методике [12].

По данным траловой съёмки, выполненной в сентябре 2019 г., ледовитоморская лисичка отмечена только на девяти из 55 станций и лишь в восточной части обследованной акватории (70°23'–77°51' с.ш., 65°14'–79°51' в.д.) на глубинах от 18 до 261 м (в среднем 76,1 м) с максимальными уловами к северу от п-ова Ямал (74°11'–74°25' с.ш., 69°27'–71°59' в.д.). Уловы результативных тралений варьировали в пределах 1–52 экз. (в среднем 13,68 экз.) или 0,01–2,28 кг (в среднем 0,78 кг), что в пересчете на часовое траление составило 0,015–0,046 кг (в среднем 0,02 кг). Средняя плотность по численности для обследованной акватории оценена в 66,43 экз./км<sup>2</sup>, по биомассе – в 0,097 кг/км<sup>2</sup>.

Согласно имеющейся в литературе информации, ледовитоморская лисичка - мелкий вид сем. Agonidae, максимальная длина которого в различных районах арктических вод достигает 85–100 мм, хотя в уловах обычно встречаются особи не более 70–80 мм [3, 4, 6, и др.]. По данным американских исследователей [10], наибольшая масса тела этой лисички – 3,696 г, отмечена в море Бофорта. Максимальная продолжительность её жизни (15 лет), по их определению, также

характерна для особей из этого моря, однако у рыб из Чукотского моря она не превышает 9 лет [10].

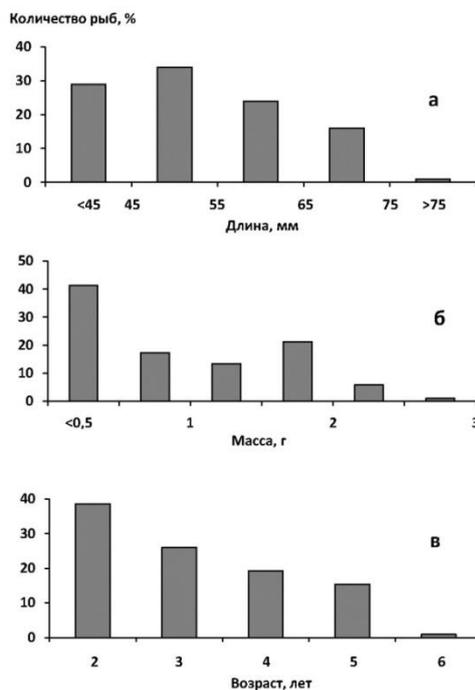


Рис. 1 - Размерный (а), весовой (б) и возрастной (в) состав ледовитоморской лисички в Карском море в сентябре 2019 г.

По нашим данным, наибольшая зарегистрированная длина ледовитоморской лисички в Карском море во время выполнения траловой съёмки в сентябре 2019 г. составила 76 мм, масса тела – 2,91 г, а возраст – 6 лет. В целом на обследованных участках Карского моря этот вид был представлен в уловах особями длиной 39-76 (в среднем  $52,7 \pm 1,0$ ) мм с массой тела 0,25-2,91 (в среднем  $0,93 \pm 0,07$ ) г в возрасте от 2 до 6 лет (рис. 1). Однако доминировали двух-трехлетние рыбы (64,5%) длиной до 50 мм (49%) с массой тела менее 0,5 г (41,3%). Более половины исследованных особей (57,6% самцов и 63,2% самок) оказались неполовозрелыми.

Самцы ледовитоморской лисички в Карском море в сентябре 2019 г. были представлены в уловах особями длиной 39-71 (в среднем  $52,5 \pm 1,2$ ) мм с массой тела 0,25-2,40 (в среднем  $0,89 \pm 0,08$ ) г в возрасте от 2 до 5 (в среднем  $3,2 \pm 0,1$ ) лет, самки – соответственно 41-76 (в среднем  $52,9 \pm 1,7$ ) мм и 0,26-2,91 (в среднем  $0,99 \pm 0,12$ ) г в возрасте от 2 до 6 (в среднем  $3,1 \pm 0,2$ ) лет. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что у ледовитоморской лисички особи обоих полов созревают на третьем году жизни: самцы при длине 47-48 мм, самки – 52-58 мм. Массовое созревание у тех и других наступает на год позже, т.е. на четвёртом году при длине самцов 52-58 мм, а самок – 61-63 мм, что ведёт к существенному увеличению доли первых из них в нерестовой части популяции. Если среди мелких экземпляров этого вида (до 44 мм) соотношение полов примерно равное, то в группе рыб длиной 45-68 мм доминируют самцы, относительное количество которых среди особей размером 51-56 мм составляет 75%. Однако, среди более крупных рыб (свыше 68 мм) доля самок начинает резко увеличиваться, достигая 100% при длине более 74 мм. Согласно имеющимся литературным данным [13], сходная размерно-половая структура характерна и для обитающего в северной части Тихого океана другого вида рода *Aspidophoroides* – тихоокеанской однопёрой лисички *A. monopterygius* (ранее известной как щитонос Бартона *A. bartoni*).

В целом же, по нашим данным, в Карском море самцы ледовитоморской лисички численно значительно преобладают (в 1,74 раза) над самками, что, возможно, обусловлено их малыми размерно-весовыми показателями, в связи с чем, для оплодотворения даже относительно небольшого количества вымётываемой самками икры (плодовитость этого вида в арктических водах варьирует от 110 до 250 икринок [1, 4, 6]), по-видимому, необходимо участие более, чем одного самца.

Согласно литературным данным [1, 4, 6, 9], по типу питания ледовитоморскую лисичку можно отнести к типичным мезобентофагам, использующим в пищу различных мелких донных беспозвоночных, среди которых доминируют бокоплавцы. Результаты наших исследований свидетельствуют, что для этого вида лисичек в Карском море характерен сравнительно узкий пищевой спектр, включающий в сентябре представителей всего 4 различных групп кормовых организмов (табл. 1).

Таблица 1 - Состав пищи (в % по массе) ледовитоморской лисички в Карском море в сентябре 2019 г.

Компонент	Длина, мм			В целом
	<50	51-60	>60	
Polychaeta	-	5,2	2,3	2,9 (3,8)*
Isopoda	-	7,2	0,9	2,2 (2,9)
Amphipoda	98,7	87,6	96,8	94,6 (52,9)
Bivalvia	1,3	-	-	0,3 (1,0)
Доля пустых желудков, %	54,9	27,8	45,7	47,1
Индекс наполнения желудков, ‰	34,4	52,4	35,6	39,9
Число рыб, экз.	51	18	35	104
Размеры потребляемых бокоплавов, мм**	2,6±0,2	4,3±0,9	6,2±1,5	3,5±0,4
	2-5	2-7	3-10	2-10

Примечание. \*В скобках указана частота встречаемости (в %) каждого пищевого компонента. \*\*Над чертой – среднее значение ± ошибка средней, под чертой – пределы колебаний.

Однако, основа биомассы (около 95%) ледовитоморской лисички формируется лишь за счет одной из этих групп пищевых объектов – бокоплавов. Сходный состав пищи у данного представителя сем. Agonidae выявлен в канадской Арктике [8] и в Карском море [9] другими исследователями.

По нашим данным, главными объектами питания всем исследованным особям ледовитоморской лисички размером 39-76 мм служат исключительно бокоплавцы, доля которых у рыб разной длины варьирует от 87,6 до 98,7% по массе (табл. 1). Кормовые организмы трёх остальных групп встречаются в её желудках единично, а потому их значение в рационе этой лисички невелико. Однако, по мере роста ледовитоморской лисички, величина потребляемых ей бокоплавов увеличивается, что, по-видимому, связано с большими линейными размерами и шириной раскрытия рта, а также с возрастающей подвижностью её крупных особей, позволяющей им захватывать добычу значительной величины. Так, если в желудках ледовитоморской лисички длиной до 50 мм встречаются бокоплавцы размером 2-5 (в среднем 2,6±0,2) мм, то у рыб длиной более 60 мм – 3-10 (в среднем 6,2±1,5) мм (табл. 1).

Имеющаяся в литературе информация [14, и др.] позволяет сравнить состав пищи ледовитоморской лисички с тихоокеанским представителем рода *Aspidophoroides* – тихоокеанской однопёрой лисичкой *A. monopterygius*. Хотя этот вид обладает большими, чем ледовитоморская лисичка размерами (его максимальная длина достигает 220 мм), он также характеризуется сравнительно узким спектром питания, включающим представителей всего 4 различных групп кормовых организмов. Основу

биомассы (около 90-95%), как и у ледовитоморской лисички, формируют исключительно бокоплавов, среди которых доминируют виды сем. *Lysanaeidae* и *Ampeliscidae*. Причём, главной пищей всем особям размером 70-180 мм также служат бокоплавов, доля которых у рыб разной длины варьирует от 87 до 99% по массе [14].

Результаты выполненных исследований позволяют сделать вывод, что ледовитоморская лисичка - мелкий, короткоциклового вид сем. *Agonidae*, который в Карском море во время выполнения траловой съёмки в сентябре 2019 г. был представлен в уловах особями в возрасте от 2 до 6 (в среднем  $3,1 \pm 0,1$ ) лет длиной 39-76 (в среднем  $52,7 \pm 1,0$ ) мм с массой тела 0,25-2,91 (в среднем  $0,93 \pm 0,07$ ) г. Однако доминировали двух-трехлетние рыбы (64,5%) размером до 50 мм (49%) с массой тела менее 0,5 г (41,3%).

Особь ледовитоморской лисички обоих полов становятся половозрелыми на третьем году жизни, самцы при длине 47-48 мм, самки – 52-58 мм. Массовое созревание у тех и других наступает на год позже, т.е. на четвёртом году при длине самцов 52-58 мм, а самок – 61-63 мм. Если среди мелких экземпляров этого вида (до 44 мм) соотношение полов примерно равное, то в группе рыб длиной 45-68 мм доминируют самцы, относительное количество которых среди особей размером 51-56 мм составляет 75%. Однако, среди более крупных рыб (свыше 68 мм) доля самок начинает резко увеличиваться, достигая 100% при длине более 74 мм. В целом же, в Карском море самцы ледовитоморской лисички численно значительно преобладают над самками, что, возможно, обусловлено их малыми размерно-весовыми показателями, в связи с чем, для оплодотворения даже относительно небольшого количества выметываемой самками икры (всего 110-250 икринок), по-видимому, необходимо участие более, чем одного самца.

По типу питания ледовитоморская лисичка в Карском море – мезобентофаг, для которого характерен довольно узкий пищевой спектр, включающий представителей 4 групп кормовых организмов. Однако, основа биомассы (около 95%) этого вида формируется исключительно за счет бокоплавов (их доля у рыб разной длины варьирует от 87,6 до 98,7% по массе), которые служат главной пищей всем её особям размером 39-76 мм. Однако, по мере роста, величина потребляемых этой лисичкой бокоплавов увеличивается (в среднем с 2,6 до 6,2 мм), что, по-видимому, связано с большими линейными размерами и шириной раскрытия рта, а также с возрастающей подвижностью её крупных особей, позволяющей им захватывать добычу значительной величины.

Авторы выражают благодарность своим коллегам из ВНИРО, ПИНРО и ТИНРО за помощь в море при сборе материалов, использованных в данной работе.

*Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания по теме Камчатского филиала ТИГ ДВО РАН «Наземные и морские экосистемы Камчатки и северо-западной части Тихоокеанского региона: изучение биоразнообразия, разработка научно-методического обеспечения устойчивого природопользования» № гос.регистрации 122011400140-4 и государственных заданий ИО РАН и ВНИРО.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрияшев А.П. Рыбы северных морей СССР. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1954. 566 с.
2. Шейко Б.А., Федоров В.В. Класс *Sephalaspidomorphi* – Миноги. Класс *Chondrichthyes* – Хрящевые рыбы. Класс *Holosephali* – Цельноголовые. Класс *Osteichthyes* – Костные рыбы // Каталог позвоночных животных Камчатки и сопредельных морских акваторий. Петропавловск-Камчатский: Камч. печатный двор, 2000. С. 7-69.
3. Mecklenburg C.W., Mecklenburg T.A., Thorsteinson L.K. Fishes of Alaska. Bethesda, Maryland: American Fisheries Society, 2002. XXXVII+1037 p. + 40 Pl.

4. Карамушко О.В. *Ulcina olrikii* (Lütken, 1877) – ледовитоморская лисичка, ульцина // Рыбы в заповедниках России. В 2-х томах. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2013. Т. 2. Морские рыбы. С. 288-290.
5. Парин Н.В., Евсеенко С.А., Васильева Е.Д. Рыбы морей России: аннотированный каталог. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2014. 733 с.
6. Долгов А.В., Новоселов А.П., Прохорова Т.А., Фукс Г.В., Прозоркевич Д.В., Чернова Н.В., Шерстков В.С., Левицкий А.Л. Атлас-определитель рыб Карского моря. Мурманск: ПИНРО, 2018. 271 с.
7. Орлов А.М., Бензик А.Н., Рыбаков М.О., Носов М.А., Горбатенко К.М., Ведищева Е.В., Орлова С.Ю. Некоторые предварительные результаты биологических исследований в Карском море на НИС «Профессор Леванидов» в сентябре 2019 г. // Тр. ВНИРО. 2020. Т. 182. С. 201-2015. <https://doi.org/10.36038/2307-3497-2020-182-201-215>
8. Atkinson E.G., Percy J.A. Diet comparison among demersal marine fish from the Canadian Arctic // *Polar Biology*. 1992. Vol. 11. P. 567–573.
9. Долгов А.В., Бензик А.Н., Четыркина О.Ю. Питание непромысловых рыб и их роль в продуктивности экосистемы Карского моря // Тр. ВНИРО. 2014. Т. 152. С. 190-208.
10. Forster C.E., Norcross D.L., Spies I. Documenting growth parameters and age in Arctic fish species in the Chukchi and Beaufort seas // *Deep-Sea Research Part II*. 2020. Vol. 177. Art. 104779. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2020.104779>
11. Методическое пособие по изучению питания и пищевых отношений рыб в естественных условиях. М.: Наука, 1974. 254 с.
12. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1980. 292 с.
13. Токранов А.М. Половой диморфизм и размерно-половая структура морских лисичек (*Agonidae*) прикамчатских вод // *Вопр. ихтиологии*. 1992. Т. 32. Вып. 6. С. 81-89.
14. Токранов А.М. Особенности питания морских лисичек (*Agonidae*) в прибрежных водах Камчатки // *Вопр. ихтиологии*. 1992. Т. 32. Вып. 4. С. 123-131.

#### **ДИНАМИКА ЯГОДНЫХ КУСТАРНИЧКОВ В ЭКОТОННОМ КОМПЛЕКСЕ «ЕЛЬНИК ЧЕРНИЧНЫЙ – ВЫРУБКА»**

*Торопова Е.В., Старицын В.В.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, [tgoropova\\_e.v@list.ru](mailto:tgoropova_e.v@list.ru)

В Архангельской области наиболее масштабной формой антропогенного воздействия являются вырубки, площадь которых возрастает с каждым годом. Рубка леса приводит к резким изменениям экологических условий в растительных сообществах и как следствие меняет структуру напочвенного покрова. В тоже время вместе с площадью вырубок возрастает и протяженность экотонов (опушек), микроклимат которых позволяет лесным видам, в том числе и кустарничкам сохранять значительную долю в структуре напочвенного покрова [1, 2]. В целях рационального использования пищевых ресурсов леса и создания прогноза урожайности ягодных кустарничков необходимо учитывать также особенности экотонных комплексов «лес-вырубка».

Исследования проводились на стационарных площадках в Холмогорском районе Архангельской области (подзона северной тайги) в вегетационный период с 2014 по 2023 г. В экотонном комплексе вырубки и ельника черничного на относительно ровных участках перпендикулярно краю леса разной экспозиции было заложено 4 постоянных трансекты шириной 0,5 м и длиной 50 м (по 25 м в обе стороны от края леса). Трансекты разбивались на микроплощадки размером 0,25 м<sup>2</sup> (50x50 см), на которых отмечалось проективное покрытие каждого вида растений (в процентах).

На основе наших предыдущих результатов [3, 4] и аналогичных данных наших коллег [5, 6] мы выделяем переходную зону между лесом и вырубкой по 8 м в обе стороны. Таким образом каждая трансекта характеризует экотонный комплекс с четырьмя зонами: собственно «лес», зона перехода от леса к вырубке с древесным ярусом «экотон-лес», зона перехода от леса к вырубке без древесного яруса «экотон-вырубка» и собственно «вырубка».

В работе представлены данные по динамике проективного покрытия *Vaccinium myrtillus* L. и *Vaccinium vitis-idaea* L. в различных зонах экотонного комплекса на 2, 5, 7 и 11 год после сведения древостоя (табл.1).

Таблица 1 – Среднее проективное покрытие доминирующих кустарничков в экотонном комплексе ельник черничный – вырубка на 2, 5, 7 и 11 год после сведения древостоя

	<i>Vaccinium myrtillus</i>				<i>Vaccinium vitis-idaea</i>			
	лес	экотон-лес	экотон-вырубка	вырубка	лес	экотон-лес	экотон-вырубка	вырубка
2 год	22.20	17.73	6.95	2.47	14.05	18.78	18.60	9.96
5 год	23.66	17.09	8.27	5.20	27.12	31.66	34.23	26.64
7 год	27.00	18.23	8.06	5.14	26.77	34.46	25.78	22.02
11 год	20.97	15.32	8.05	3.89	23.23	27.42	17.83	15.46

Проективное покрытие *Vaccinium myrtillus* в зоне «лес», «экотон-лес» и «экотон-вырубка» изменяется незначительно. Максимум отмечен на 7 год после рубки, что может быть связано с благоприятными для черники климатическими факторами 2019 г. В зоне «вырубка» покрытие *Vaccinium myrtillus* повышается со 2-го по 5-й год более чем в 2 раза, а с 7 по 11 год отмечено небольшое снижение обилия.

У *Vaccinium vitis-idaea* проективное покрытие изменяется более интенсивно во всех зонах экотонного комплекса: со 2-го по 5-й год увеличение 10-15% и более. После пятого года во всех зонах, кроме зоны «экотон-лес», отмечено снижение обилия брусники. Максимальное значение проективного покрытия отмечено на 7 год после вырубки в зоне «экотон-лес», возможно это также обусловлено благоприятным климатом этого года. Снижение обилия *Vaccinium vitis-idaea* на вырубке с 22% на 7 год до 15% на 11 год может быть обусловлено развитием подроста и разрастанием злаков.

Полученные нами данные о повышении проективного покрытия кустарничков на вырубке и опушке (экотоне) на 5-7 год соответствуют известным литературным источникам. Сокращение ПП кустарничков на вырубке было ожидаемо вследствие затенения подростом и задернения злаками. Для выявления причин уменьшения обилия черники и брусники в других зонах экотонного комплекса необходимо провести дополнительный анализ развития других ярусов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пронина Е.Л. Влияние лесохозяйственных мероприятий на урожайность черники в черничной группе типов лесов. Автореф. дис. канд. с.-х. наук. - М.: ВНИИЛМ, 1987. - 24 с.
2. Грязькин, А.В. Продуктивность *Vaccinium vitis-idaea* L. в условиях антропогенного воздействия / А.В. Грязькин, Ю.В. Павлов, А.С. Ходачек // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2010. - № 193. – С. 32-42.
3. Геникова Н.В., Торопова Е.В., Крышень А.М., Мамонтов В.Н. Изменение структуры напочвенного покрова в экотонном комплексе «лес–опушка–вырубка» в условиях ельника черничного через 10 лет после рубки древостоя // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. – 2018. – № 10. – С. 12-26.

4. Genikova N.V., Kryshen A.M., Kharitonov V.A., Moshnikov S.A., Mamontov V.N., Toropova E.V. Natural regeneration of the tree stand in the bilberry spruce forest-clear-cutting ecotone complex in the first post-logging decade // *Forests*. 2021. Vol. 12. No. 11. – P. 1542.
5. Геникова Н.В., Мамонтов В.Н., Крышень А.М. Обилие лесных кустарничков и микроклиматические условия в экотонном комплексе ельник черничный–вырубка // *Растительные ресурсы*. – 2021. – Т. 57, № 2. – С. 99-114.
6. Genikova N.V., Kryshen A.M., Obabko R.P., Karpechko A.Yu., Pekkoev A.N. Structural Features of a Post-Clear-Cutting Ecotone between 90-Year-Old Bilberry Spruce Forest and 35-Year-Old Herbs-Forbs Deciduous Stand // *Forests*. – 2022. – Vol. 13, No. 9. – P. 1468.

## **МОНИТОРИНГ МИГРАЦИИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ЛОСОСЯ И ГОРБУШИ В НИЗОВЬЯХ РЕКИ МЕЗЕНЬ**

*Торцев А.М., Фукс Г.В., Генрих Э.А.*

Северный филиал ФГБНУ «ВНИРО» («Северный»), г. Архангельск,  
torzevalex@severniro.ru

Сёмга (*Salmo salar* Linnaeus, 1758) и горбуша (*Oncorhynchus gorbusha* Walbaum, 1792), приходящие на нерест в реки Мезенского бассейна, являются одними из традиционных объектов рыболовства местного населения, проживающего в населенных пунктах, расположенных по берегам р. Мезень. Атлантический лосось и горбуша также привлекает на участки лова многих приезжих рыболовов-любителей. С одной стороны, группа популяций сёмги бассейна реки Мезень используется как ценный пищевой ресурс и обеспечивает продовольственную безопасность прибрежных поселений [1]. Акклиматизированная горбуша стала таким же ценным ресурсом [2]. С другой стороны, избыточная эксплуатация запасов горбуши, а тем более атлантического лосося, может нарушить равновесное состояние популяций и привести к истощению ценных ресурсов. При этом на сегодняшний день крайне мало опубликованных работ посвящено оценке современного состояния популяций ценных водных биоресурсов реки Мезень. Таким образом, актуальной задачей в настоящее время является мониторинг состояния популяций анадромных видов рыб - атлантического лосося и горбуши.

Река Мезень берет свое начало из болот на склонах хребта Четлаский Камень и впадает в Мезенскую губу Белого моря. Длина реки составляет 966 км. Площадь водосбора реки с притоками составляет 78000 км<sup>2</sup>. Основные притоки Мезени — Пижма (правый), Вашка (левый), Пеза (правый) [3].

Освоение рыбных ресурсов низовий р. Мезень активно началось с формированием постоянных поселений по берегам реки и на побережье Мезенского залива. В начале XIX в. уловы атлантического лосося достигали 80 т ежегодно. Максимальные уловы семги (165 т) относятся к послевоенному времени. Однако после 1956 г. отмечалось неизменное снижение уловов по причине избыточной эксплуатации запасов. В 1975 г. уловы атлантического лосося на р. Мезень составили уже 15 т, а к 1981 г. вылов его сократился до 0,9 т. В 1992 г. промысел семги был полностью закрыт в связи его нерентабельностью [4; 5].

В 50-е годы прошлого века начались работы по акклиматизации дальневосточной горбуши в Белом море. Благоприятные условия для нереста и нагула горбуши позволили сформироваться значительной по численности популяции. Отмечается, что с конца 80-х годов прошлого века в реки Белого моря заходят большие по численности стада горбуши. При этом среднегодовые уловы горбуши «нечетной линии» составляли

порядка 25 т (1989-2001 г.). В 2000-е годы уже отмечались заходы горбуши «четной линии» [6].

Материалом для исследования послужили данные мониторинговых работ, выполненных в полевой сезон 2023 г. Исследования в низовьях р. Мезень проводились в 2 этапа: с 01 по 11 июля и с 15 августа по 1 сентября. На первом этапе работы проводились в районе д. Тимощелье Мезенского муниципального округа Архангельской области на рыболовном участке «Тимощелье», а на втором – в районе п. Затон (рис. 1). Длина тони составила от 1 до 2 км. Рельеф дна был неравномерным, глубины составляли от 0,4 м до 2,5 м. Применялись плавные сети с ячейей 70 мм длиной 150 м.

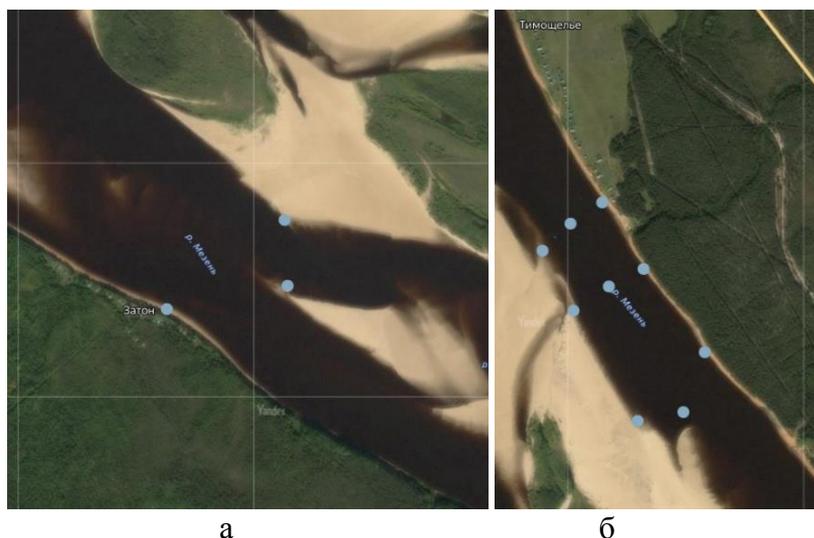


Рис. 1 - Карта-схема районов проведения мониторинга (а - рыболовный участок Затон, б - рыболовный участок Тимощелье)

Всего на биологический анализ было отобрано 21 экз. сёмги и 40 экз. горбуши. Биологический анализ проводился по общепринятым методикам. Определяли длину по Смитту (АС), полный вес и пол [7].

Средняя длина (АС) атлантического лосося составила 70,2 см, варьируя от 55,3 до 85,0 см (табл. 1, рис. 2). Средняя длина самок 64,8 см при минимальной длине 55,3 см. Средняя длина самцов 73,4 см при минимальной длине 64,3 см. При этом пределы варьирования длины самок больше, чем у самцов. Средний вес сёмги р. Мезень составила 4,93 кг, минимальная 2,01 кг, максимальная 7,84 кг. Средний вес самок атлантического лосося 3,38 кг, что в 1,38 раза меньше веса самцов, средний вес которых достигает 4,69 кг. Пределы варьирования веса у самцов выше, чем у самок. Соотношение полов (самки:самцы) составило 1,3:1.

Таблица 1 - Биологические параметры атлантического лосося по результатам мониторинга в низовьях р. Мезень, 2023 г.

Сёмга	n	АВ, см			АС, см			АД, см			Масса, кг		
		мин	макс	сред	мин	макс	сред	мин	макс	сред	мин	макс	сред
♀	12	57,3	84,0	67,2	55,3	81,0	64,8	52,8	76,0	61,5	2,01	6,18	3,38
♂	9	66,0	86,8	75,5	64,3	85,0	73,4	61,3	80,8	69,8	2,91	7,84	4,69
всего	21	57,3	86,8	72,1	55,3	85,0	70,2	52,8	80,8	66,8	2,01	7,84	4,93



Рис. 2 – Атлантический лосось из мониторинговых уловов

Сравнительный анализ полученных результатов с данными мониторинга 2022 г. показывает сохранение средней длины (АС) особей при некотором увеличении средней навески атлантического лосося на 0,7 кг. При этом средние размерно-весовые характеристики самок показали увеличение: длины на 4,8 см и массы на 0,78 кг. Аналогичная картина наблюдалась у самцов – увеличение средней длины на 2,5 см и массы на 0,37 кг. В тоже время, соотношение полов изменилось значительно с 5,4:1 до 1,3:1, что обусловлено более ранним периодом проведения исследований в 2023 г. и преобладаем в уловах летней биологической группы «тинда», которая представлена самцами. Необходимо отметить отличие представленных размерно-весовых характеристик атлантического лосося от ранее наблюдавшихся в 80-е годы прошлого века – средняя длина особей 78,7 см и масса 5,4 кг [8]. Последнее показывает, что наибольшее промысловое воздействие в ходе заключительной части промышленной добычи сёмги и расцвета браконьерского лова было оказано на старшевозрастную часть популяции, имевшими максимальную товарную стоимость.

Средняя длина (АС) особей горбуши составила 46,2 см при весе 1,18 кг (табл. 2). При этом варьирование длины самок было незначительным – от 41,0 до 47,5 см, а самцов – более выраженным (от 42,0 до 55,5 см). Аналогичная картина сложилась и по среднему весу: самки - от 0,78 до 1,34 кг, а самцы – от 0,91 до 2,08 кг. Соотношение полов (самки:самцы) составило 1:1,21.

Таблица 2 - Биологические параметры горбуши по результатам мониторинга в низовьях р. Мезень, 2023 г.

Горбуша	n	AB, см			AC, см			AD, см			Масса, кг		
		мин	макс	сред	мин	макс	сред	мин	макс	сред	мин	макс	сред
♀	19	42,0	49,0	45,7	41,0	47,5	44,4	38,0	45,0	42,3	0,78	1,34	1,02
♂	23	44,0	57,5	49,7	42,0	55,5	47,9	39,5	52,0	45,5	0,91	2,08	1,34
всего	42	43,0	53,3	47,7	41,5	51,5	46,2	38,8	48,5	43,9	0,84	1,71	1,18

Анализ полученных биологических данных с результатами мониторинга 2022 г. показывает увеличение средней длины (АС) горбуши на 1 см и веса на 0,23 кг. При этом длина самок в выборке изменилась незначительно (на 0,4 см), а самцов – на 2,1 см. Вес самок возрос на 0,2 кг, самцов – на 0,34 кг.

Таким образом, в ходе проведения мониторинга 2023 г. были получены данные о динамике нерестовых подходов атлантического лосося и горбуши, размерно-весовых характеристиках популяций и половом соотношении. Средние значения по сёмге составили: длина тела (АС) – 70,2 см, вес – 4,93 кг, соотношение полов (самки:самцы)

составило 1,3:1. Средняя длина (АС) горбуши составила 46,2 см, вес 1,18 кг. Соотношение самок и самцов 1:1,21.

Необходимо отметить, что на р. Мезень в прошлом году началось формирование рыболовных участков для организации любительского рыболовства, что позволяет обеспечить местному населению доступ к добыче атлантического лосося и горбуши, а также сократить уровень нелегального лова рыбы. Однако в силу значительного сокращения запасов атлантического лосося вследствие нерационального их использования в прошлом веке необходимо продолжение мониторинговых работ, направленных на изучение запасов вида, его сохранение и дальнейшее восстановление, а также разработку мер по регулированию рыболовства.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Торцев А.М. Освоение природных ресурсов и социально-экономическое развитие прибрежных территорий Архангельской области // Арктика: экология и экономика. - 2020 - №2(38). - С. 109-121. - DOI: 10.25283/2223-4594-2020-2-109-121.
2. Гордеев И.И., Прусов С.В., Торцев А.М., Боркичев В.С., Беляев В.А. Европейская горбуша – угроза или преимущество? // В сборнике материалов I Международной научно-практической конференции «Рыбохозяйственный комплекс России: проблемы и перспективы развития». ФГБНУ «ВНИРО». г. Москва, 2023. С. 108-114.
3. Ильина Л. Л. Реки Севера / Л. Л. Ильина, А. Н. Грахов. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. 128 с.
4. Мартынов В. Г. Атлантический лосось (*Salmo salar* L.) на Севере России / В. Г. Мартынов. – Екатеринбург: УрО РАН, 2007. – 416 с
5. Захаров, А. Б. Рыбы и рыбный промысел на реке Мезень: исторические аспекты / А. Б. Захаров, М. А. Мацук // Вестник института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. – 2015. – № 5(193). – С. 34-41.
6. Боркичев В.С., Студёнов И.И., Крылова С.С., Шаров А.А. Промысловое использование горбуши в Белом море // В книге: Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов европейского Севера. Тезисы докладов. Коми научный центр УрО РАН. 2003. С. 18-19.
7. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб / И. Ф. Правдин. – М.: Пищевая промышленность, 1966. – 376 с.
8. Торцев, А. М. Промысел лосося Атлантического (сёмги) в низовьях Р. Мезень / А. М. Торцев // II Пахтусовские чтения: арктические горизонты: сборник материалов Всероссийской очно-заочной научно-практической конференции, Архангельск, 08–09 апреля 2021 года. – Архангельск: – С. 271-276.

#### **ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И ПОПУЛЯЦИОННАЯ СТРУКТУРА ТОЛСТОЙ ПЕРЛОВИЦЫ (*UNIO CRASSUS PHILIPSSON*, 1788) НА РУССКОЙ РАВНИНЕ**

*Челпановская О.А., Вихрев И.В., Кондаков А.В., Пестова Е.П.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, [ouunitsina@mail.ru](mailto:ouunitsina@mail.ru)

Моллюски рода *Unio* являются ключевым компонентом донных сообществ многих пресноводных экосистем, оказывая положительный эффект на их биоразнообразие и функционирование [1]. Толстая перловица (*Unio crassus* Philipsson, 1788) - вид когда-то считавшийся самым многочисленным в Европе, резко сократился в численности во второй половине прошлого века, и в настоящее время занесен в

международную Красную Книгу в статусе находящегося под угрозой исчезновения и оценивается как находящийся в критическом состоянии в некоторых европейских странах [2]. На территории России данный вид также относится к сокращающимся в численности с высоким уровнем риска перехода в категорию находящихся под угрозой исчезновения. Резкое сокращение численности популяций является результатом ухудшения среды обитания, загрязнения воды и усиления хищничества со стороны инвазивных видов, а также сокращения или утраты популяций рыб-хозяев, которые являются важным компонентом жизненного цикла [3]. Кроме основных факторов, непосредственно влияющих на сокращение эффективной численности вида, небольшие и изолированные популяции сталкиваются с дополнительными рисками исчезновения. Например, снижение жизнеспособности особей, возникающее в результате инбридинга и потеря генетического разнообразия, ведут к снижению адаптационного потенциала и сокращению эффективной численности популяции. Уже многие годы *U. crassus* выступает в качестве важного объекта при сохранении пресноводных ресурсов [4]. Изучение внутривидового генетического разнообразия, имеет решающее значение для разработки комплексных стратегий сохранения вида в пресноводных экосистемах [5].

Целью нашего исследования было изучить генетическую структуру популяций пресноводных моллюсков *U. crassus* на территории Русской равнины и выделить внутри вида популяции или группы популяций, которые наиболее важные для сохранения внутривидового генетического разнообразия.

Исследуемый материал, охватывающий большую часть ареала вида на территории России (n=207), был собран в ходе полевых работ на реках Воронеж, Дон, Быстрая Сосна, Ока, Хопёр, Кубань, Пьяна, Березина, Западная Двина, Ирень, Луга и Явонь, принадлежащим к бассейнам Каспийского, Черного и Балтийского морей. Отбор образцов мягких тканей был произведен нелетальным методом. Собранные образцы фиксировались в 96%-ном этаноле. Для проведения молекулярно-генетического анализа выделение тотальной клеточной ДНК из тканей *U. crassus* осуществляли набором для выделения ДНК (QIAGEN DNA Investigator Kit). Для подтверждения видовой идентификации для всех образцов был получен фрагмент митохондриального гена первой субъединицы цитохром с-оксидазы (COI) путем амплификации с использованием стандартных праймеров Фолмера (LCO1490/HCO2198) [6].

Генетическая структура популяций была изучена с использованием 7 микросателлитных локусов (UC5, UC7, UC19, UC25 UC39, UC57 и UC77), разработанных для *U. crassus* [7]. Прямые праймеры были помечены флуорофором ROX, R6G, 6-FAM, либо TAMRA, амплификацию микросателлитных локусов проводили в соответствии с методикой, описанной в работе Sell [7]. Фрагментный анализ проводили на генетическом анализаторе НАНОФОР 05 («Синтол», Россия). Исходные данные о длине фрагментов были получены в программном обеспечении Gene Mapper v.4 («Applied Biosystems», США).

Используя программу GenAlEx v.6 [8] для каждой выборки, был проведён расчет популяционных индексов (аллельное богатство ( $A_R$ ), число эффективных аллелей ( $N_A$ ), ожидаемая ( $H_E$ ) и наблюдаемая ( $H_O$ ) гетерозиготность и коэффициент инбридинга ( $F_{IS}$ )). Отклонение от равновесия Харди-Вайнберга (HW) внутри популяций по всем локусам оценивали с помощью GlobalTest в программе GENEPOP v. 4.7.3 [9]. Степень генетической дифференциации среди популяций оценивали по показателю индекса FST и генетическим дистанциям Нея (Nei's Da) [10] при попарной кластеризации. Наиболее вероятное количество генетических кластеров было также оценено с помощью дискриминантного анализа главных компонент (DAPC), реализованного в пакете R ADEGENET [11, 12].

При генотипировании исследуемых образцов *U. crassus* во всех микросателлитных локусах наблюдался высокий полиморфизм с числом аллелей ( $N_A$ )

от 6 до 18. Наиболее высокое значение аллельного богатства ( $A_R = 7.14$ ) было отмечено в популяции реки Сосны. Популяции бассейнов рек Кубани и Волги показали сравнительно низкие уровни аллельного богатства ( $A_R = 4.71$ ). Наличие частных аллелей ( $A_p$ ) было обнаружено для всех локусов, кроме Uс39.

Наблюдаемая и ожидаемая гетерозиготности ( $H_O$  и  $H_E$ ) в популяциях составили в среднем 0.47 и 0.61 соответственно. Наблюдаемая гетерозиготность варьировалась от 0.348 в популяции Явони до 0.593 в популяции Ирени, ожидаемая от 0,51 в Пьяне до 0,67 в Сосне. Практически во всех популяциях наблюдается значительный дефицит гетерозигот ( $F_{IS}$  варьирует от 0.097 до 0.459), и лишь у популяции реки Ирени коэффициент инбридинга составил  $F_{IS} = -0,098$ , что указывает на избыток гетерозигот и, как следствие, присутствие аутбридинга в данной популяции. Вероятнее всего, популяция р. Ирени образовалась в результате слияния ранее изолированных популяций и сейчас в ней идет интенсивный обмен генами, о чем свидетельствуют отсутствие отклонения от нейтральности, отрицательный коэффициент инбридинга и высокий уровень генетического разнообразия.

В результате тестирования на равновесие Харди–Вайнберга было выявлено, что 9 популяций из 12 отклоняются от равновесия, и лишь в популяциях Дона, Кубани и Ирени отклонение не выявлено ( $p > 0,05$ ).

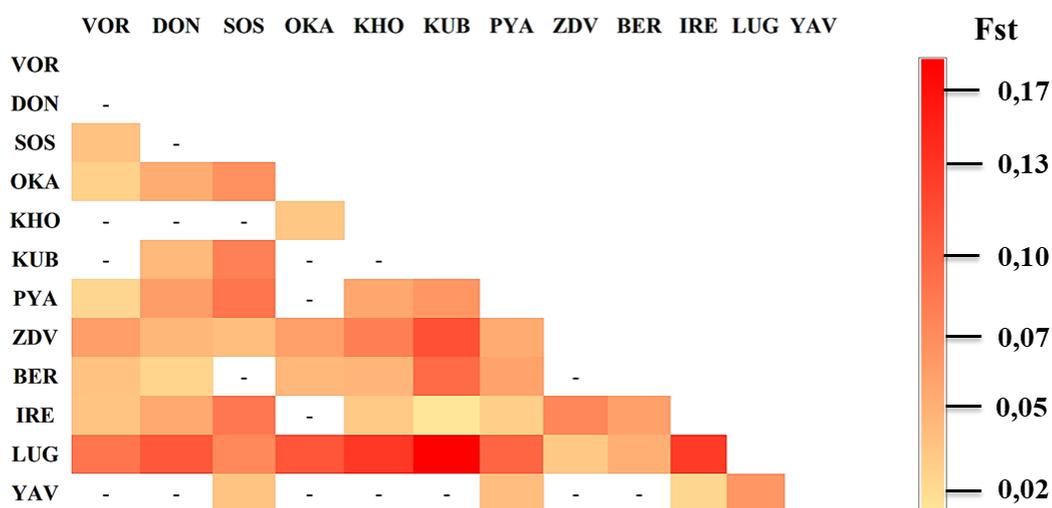


Рис. 1 - Парные оценки генетической дифференциации ( $F_{ST}$ ) между исследованными популяциями *U. crassus* по микросателлитным локусам. Области с незначимыми значениями не окрашены. Коды популяций в отдельных реках:

VOR – Воронеж; DON – Дон; SOS - Быстрая Сосна; OKA – Ока; KHO – Хопёр;  
 KUB – Кубань; PYA – Пьяна; BER – Березина; ZDV - Западная Двина; IRE – Ирень;  
 LUG – Луга; YAV – Явонь

Микросателлитные маркеры, использованные в данном исследовании, показали низкую степень генетической дифференциации по индексу  $F_{ST}$  по выборке (среднее значение  $F_{ST}=0,043$ ). Наиболее низкое значение попарной межвыборочной дифференциации зафиксировано между популяциями рек Ирень и Кубань ( $F_{ST} = 0,018$ ) (рис. 1), что свидетельствует о слабой генетической обособленности друг от друга и указывает на сравнительно недавнее соединение бассейнов Кубани и Волги. Наиболее дивергентны популяции Кубани и Луги ( $F_{ST} = 0,177$ ).

Дискриминантный анализ главных компонент подтверждает вывод о слабой генетической дифференциации исследуемых популяций и о том, что наиболее дивергентной является популяция из реки Луги (рис. 2).

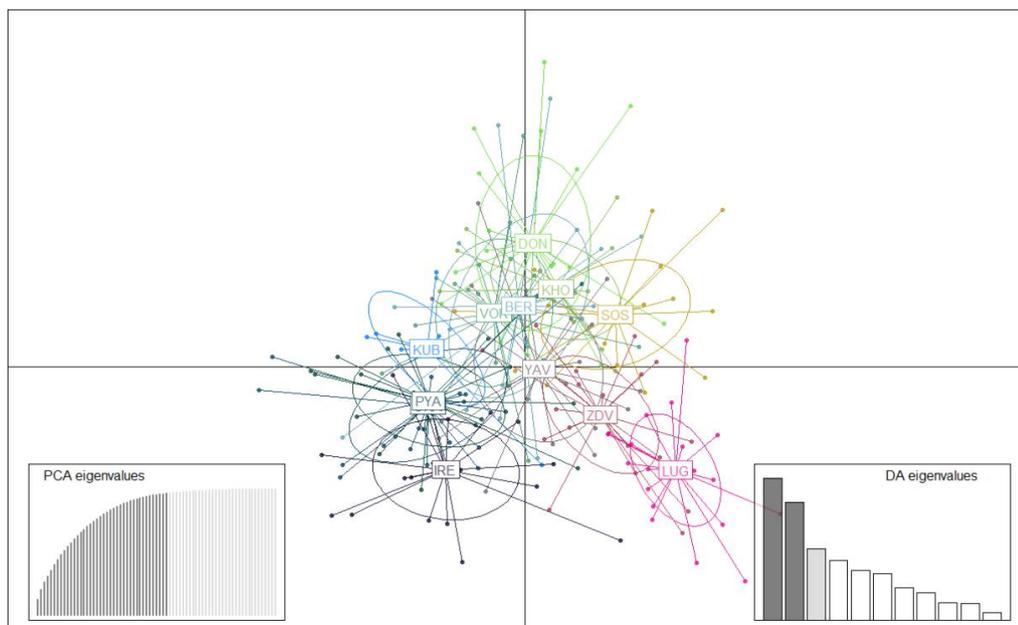


Рис. 2 - Диаграмма рассеяния дискриминантного анализа главных компонент (ДАРС) с использованием изучаемых популяций в качестве кластеров. Кластеры показаны разными цветами и эллипсами, точки представляют отдельные особи. Оси X и Y представляют собой два основных компонента

Наше исследование показало, что популяции толстой перловицы на территории Русской равнины отличаются низкими уровнями генетического разнообразия и слабо дифференцированы между собой. При этом обращает на себя сравнительно высокий уровень дивергенции популяций в реках Луги и Кубани. Таким образом, именно эти две популяции должны рассматриваться как приоритетные с точки зрения сохранения генетического разнообразия *U. crassus*.

*Исследования проведены при финансовой поддержке РНФ, проект № 21-74-10130.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zajac K., Florek J., Zajac T., Adamski P., Bielański W., Cmiel A. M. and et al. On the reintroduction of the endangered thick-shelled river mussel *Unio crassus*: The importance of the river's longitudinal profile // *Science of the Total Environment*. 2018. Vol. 624. P. 273-282.
2. Lopes-Lima M., Sousa R., Geist J., Aldridge D. C., Araujo R. and et al. Conservation status of freshwater mussels in Europe: state of the art and future challenges. // *Biological Reviews*. 2016. Vol. 92. P. 572–607.
3. Feind S., Geist J., Kuehn R. Glacial perturbations shaped the genetic population structure of the endangered thick-shelled river mussel (*Unio crassus*, Philipsson 1788) in Central and Northern Europe. // *Hydrobiologia*. 2017. Vol. 810. P. 177–189.
4. Lopes-Lima M., Teixeira A., Froufe E., Lopes A., Varandas S., Sousa R. Biology and conservation of freshwater bivalves: past, present and future perspectives // *Hydrobiologia*. 2014. Vol. 735. P. 1–13
5. Geist J., Integrative freshwater ecology and biodiversity conservation // *Ecological Indicators*. 2011. Vol. 11. P. 1507–1516.
6. Folmer O., Black M., Hoeh W., Lutz R., Vrijenhoek RC. DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates // *Mol Mar Biol Biotechnol*. 1994. Vol. 3. P. 294–9.

7. Sell J., Mioduchowska M., Kaczmarczyk A., Szymanczak R. Identification and characterization of the first microsatellite loci for the thick-shelled river mussel *Unio crassus* (Bivalvia: Unionidae) // *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological Genetics and Physiology*. 2013. Vol. 319. P.113–116.
8. Peakall R., Smouse P.E. GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research // *Molecular Ecology Notes*. 2006. Vol. 6. P. 288–295.
9. Raymond M., Rousset, F. GENEPOP (Version 1.2): Population Genetics Software for Exact Tests and Ecumenicism // *Journal of Heredity*. 1995. Vol. 86. P. 248–249.
10. Nei M. Genetic distance between populations // *American Naturalist*. 1972. Vol. 106. P. 283-392
11. Jombart T., Bateman A. Adegenet: A R Package for the Multivariate Analysis of Genetic Markers // *Bioinformatics*. 2008. Vol. 24. P. 1403–1405.
12. Jombart T., Devillard S., Balloux F. Discriminant Analysis of Principal Components: A New Method for the Analysis of Genetically Structured Populations // *BMC Genetics*. 2010.

## **ДЕГРАДАЦИЯ МЕРЗЛОТЫ В АЗИАТСКОЙ РОССИИ КАК УГРОЗА РАЗНООБРАЗИЮ ВОДНЫХ РАСТЕНИЙ**

*Чемерис Е.В.<sup>1</sup>, Бобров А.А.<sup>1</sup>, Мочалова О.А.<sup>2</sup>, Филиппова В.А.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Институт биологии внутренних вод им И. Д. Папанина РАН, пос. Борок, lechem@ibiw.yaroslavl.ru

<sup>2</sup> Институт биологических проблем севера ДВО РАН, Магадан

<sup>3</sup> Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск

Изменения климата, регистрируемые в настоящее время, как правило связывают с потеплением. В среднем за последние 100 лет на планете потеплело уже больше чем на 1°C [1, 2]. Если рассматривать территорию России, то эта цифра ещё выше – более 3°C, а в высоких широтах ещё больше. За последние десятилетия отмечены изменения циркуляции воздушных масс и распределения осадков [1]. Все эти процессы приводят к дополнительному прогреванию почв, увеличению мощности активного слоя в тёплое время года и, в конечном итоге, к деградации многолетней мерзлоты [2–4]. Это происходит неравномерно на разных территориях, с большей активностью в регионах с островной и прерывистой мерзлотой [2, 5–7]. Выделяют регионы с высоким метеогеокриологическим риском (север Западной Сибири, Север европейской части России, Чукотка) и области слабого метеогеокриологического риска (дельта р. Лены, западная и северная Якутия) [3, 4], однако признаки деградации мерзлоты наблюдаются повсеместно [6]. Мерзлотные породы в России занимают 11 млн кв. км территории, большая их часть расположена в её азиатской части – это богатые органикой почвы и дополнительное хранилище воды. Известно, что чем больше тает мерзлоты, тем больше выделяется парниковых газов (углекислого газа и метана), более активно развивается термокарст и больше воды поступает в реки и мировой океан [2, 5, 8]. Как эти процессы связаны с водными растениями?

Деградация мерзлоты приводит к дренированию и исчезновению крупных средне- и старовозрастных термокарстовых озёр, возникших в начале голоцена во времена термального оптимума, возраст которых насчитывает 10–12 тыс. лет [5]. Уменьшение площади озёр объясняется тем, что они только на стадии их образования представляли собой замкнутые системы, а в процессе деградации мерзлоты возникающий сток из озёр связывает их с существующей эрозионной системой и в

итоге – с долинной сетью крупной реки. Этот естественный для криолитозоны процесс, в настоящее время ускоряется, что подтверждается научными публикациями [5, 8, 9], рассказами местных жителей и нашими наблюдениями. Иногда процессы исчезновения озёр маскируются увеличением общей площади термокарстовых водоёмов, например, в Западной Сибири [10] и Центральной Якутии [11, 12]. Но вновь возникающие водоёмы совершенно другого качества. Это гидробиологические пустыни с непонятным в современных условиях будущим. Старовозрастных термокарстовых озёр в азиатской части России относительно немного и распределены они по территории крайне неравномерно, большая их часть связана с долинами крупных и средних рек. Экосистемы этих озёр, формировавшиеся столь продолжительное время, представляют собой настоящие «горячие точки» биоразнообразия водных растений и других гидробионтов в высоких широтах. Во многом это разнообразие ещё не изучено. С 2012 г. наш коллектив целенаправленно изучает разнообразие и экологию водных растений на труднодоступных территориях азиатской России. Каждая экспедиция – новые находки, небольшие открытия, новое знание и новые тревоги. Приведём несколько примеров из нашего опыта, касающихся водных растений.

Магаданская область. В бассейне одной р. Кавы встречается 4 вида макроводорослей и 51 вид и 4 гибрида сосудистых растений (~85% всего разнообразия водных растений области). Из них 3 вида 2 гибрида указаны для области впервые: *Aegagropilopsis moravica*, *Elatine* aff. *triandra* vel *americana*, *Potamogeton* × *vepsicus* (*P. natans* × *P. praelongus*), *Sparganium rothertii* и *S. gramineum* × *S. rothertii*. Почти все виды водных сосудистых растений (10 из 11), охраняемых в Магаданской обл., сконцентрированы и обильны в бассейне Кавы. В термокарстовых и флювиогляциальных озёрах сосредоточено 90 % этого разнообразия [13]. Здесь настораживает, что большая часть озёр с богатым флористическим составом, судя по космическим снимкам и натурным наблюдениям, значительно меньше своего исходного размера. Во флоре полностью отсутствует характерный вид глубоких чистых озёр – *Sparganium gramineum*, представлены только гибриды с его участием [13].

Восточная Чукотка. В национальном парке «Берингия» водная флора дополнена 7 новыми таксонами: *Callitriche hermaphroditica*, *Myriophyllum verticillatum*, *Ranunculus codyanus*, *Ruppia megacarpa*, *Stuckenia* × *suecica* (*S. filiformis* × *S. pectinata*), *Utricularia macrorhiza*, *U.* × *ochroleuca* (*U. intermedia* × *U. minor*), из них *Ranunculus codyanus*, *Ruppia occidentalis*, *Stuckenia* × *suecica*, *Utricularia macrorhiza* впервые указываются и для восточной Чукотки. Наибольшим разнообразием отличаются термокарстовые водоёмы расположенные на участках долин нижнего течения р. Чегитун с приморскими видами и среднего и нижнего течения р. Курупка с комплексом теплолюбивых видов в значительном отрыве от их основных ареалов. В долинах рек есть защита от ветров, мерзлота смягчается таликами, а выходы карбонатов обеспечивают необходимый баланс растворенных веществ. При этом на большей части территории в подавляющем большинстве термокарстовых тундровых водоёмов и крупных озёр встречается не более 3 таксонов на водоём или растения отсутствуют [14]. Здесь настораживает, что во время экспедиций в 2019, 2021 гг. наблюдали много водоёмов, снизивших свой уровень в самое недавнее время. Местные оленеводы жаловались, что в последние годы, происходит массовое пересыхание озёр около их стойбищ, в которых они 3–10 лет назад ловили рыбу, как правило – чира.

Северо-восточная Якутия. Водные сосудистые растения долины Колымы представлены 75 таксонами (69 видов и 6 гибридов) из 36 родов и 25 семейств. Впервые для флоры Якутии приводятся: *Elatine orthosperma*, ряд гибридных *Potamogeton* и *Sparganium*. Для Колымского флористического района указывается 9 новых таксонов: *Alisma plantago-aquatica*, *Calla palustris*, *Isoëtes asiatica*, *Potamogeton obtusifolius*, *P.* × *nitens* (*P. gramineus* × *P. perfoliatus*), *Scolochloa festucacea*, *Stuckenia*

*filiformis*, *S. pectinata*, *Utricularia minor*. Показано, что по долине Колымы многие более южные виды проникают далеко на север, но немногие северные – на юг. В крупных термокарстовых озёрах на надпойменных террасах и на участке от границы Магаданской обл. до верховья Стадухинской протоки (окр. пос. Черский) встречается наибольшее число таксонов при самом высоком обилии [15]. Здесь настораживает, что в озёрах, расположенных в долине р. Колыма ниже г. Среднеколымск, которые были изучены Е.Р. Труфановой в конце 1960-х г. [16], в 2020 г. было отмечено исчезновение нескольких крупных озёр, часть озёр существовало в виде остаточных водоёмов, появились новые. Произошли заметные изменения в видовом составе, в частности, исчез глубоководный *Potamogeton praelongus*. Описанные в XX веке стадии зарастания озёр происходят иначе (данные А.А. Боброва и О.М. Мочаловой). После тёплой зимы в 2018 г. в окр. пос. Черский вытекло оз. Паршинское, в котором водился чир, а на берегу стояла историческая казачья заимка. В долинных водоёмах р. Колыма отмечено преобладание гибридных популяций *Sparganium*: обнаружено 29 межвидовых гибридов из 45 исследованных образцов, что составляет 64 % из выборки [13].

Восточная Якутия. В 2022 г. впервые исследовано разнообразие водных макрофитов района Верхней Индигирки — Оймяконского нагорья. Видовой состав насчитывает ~84 видов (~74 сосудистых растений и более 10 криптогамных макрофитов). Исследованы 46 водоёмов разного возраста, размера и происхождения (тектонического, ледникового, речного, термокарстового и искусственного). Наиболее распространённый тип водоёмов территории – термокарстовые, для них отмечено и наибольшее флористическое разнообразие (54 вида). Впервые для Оймяконского р-на сообщается о новых находках охраняемых видов: макроводоросли *Tolypella canadensis*, сосудистых растений *Isoetes echinospora*, *Nuphar pumila*, *Nymphaea tetragona* (обычной и редкой розовоцветковой формы) и *Subularia aquatica*. В целом обнаружено удивительно высокое разнообразие и обилие водных растений на территории, известной как полюс холода. Здесь настораживает, наблюдаемое статистически значимое повышение среднегодовой температуры, смещение на более ранние сроки весеннего тепла, изменение количества и распределения осадков, участились сильные и продолжительные пожары [17]. После пожаров происходит глубокое прогревание почв и мощная оттайка мерзлоты, которая вызывает краткосрочное избыточное обводнение марей (особого типа местных травяных низинных болот с доминированием пушицы или вейника) и нетипично высокие паводки в ручьях и реках, а в последующие годы – пересыхание марей и снижение уровня воды в озёрах, расположенных рядом с пожарищем. Об этих фактах рассказывали старожилы пос. Томтор, д. Берег Юрдя и другие местные жители, которые используют мари в качестве покосных угодий. Самые уязвимые водные экосистемы – зрелые термокарстовые озёра Оймяконского нагорья. Летом 2022 г. наблюдали падение уровня термокарстового озера в окр. с. Оймякон на 1.5 м через год после обширного пожара 2021 г. [данные авторов].

Изменение климата и таяние мерзлоты влияет на многие стороны жизни водоёмов, в том числе и на водные растения. Повышение среднегодовой температуры, увеличение продолжительности вегетационного сезона в водоёмах за счёт более раннего наступления тепла. Все эти изменения опосредованно сказываются на растительном покрове водоёмов и несут в себе определённые угрозы их флористическому разнообразию. Наиболее уязвимы к таким изменениям зрелые термокарстовые озёра. Деградация мерзлоты приводит к снижению уровня зрелых термокарстовых водоёмов, которые исчезают вместе с их разнообразным составом водных растений и рыб (чира, сигов, гольцов и др.), которые традиционно использовались местным коренным населением как места рыбалок. При значительном снижении уровня воды остаточные водоёмы уже не в состоянии поддерживать исходное биоразнообразие водных растений и других гидробионтов. Несмотря на то, что возникновение новых термокарстовых озёр и постепенное зарастание старых — это

естественный процесс, как и снижение водного уровня термокарстовых водоёмов, связанного с вытаяванием жильных многолетних мерзлотных пород. С потеплением это может происходить в очень короткие сроки, что уже наблюдается в некоторых регионах [5]. При этом утрата видового разнообразия будет происходить стремительно, так как сходных по экологическим характеристикам водоёмов в нынешних условиях не формируется. При увеличении продолжительности тёплого сезона, кроме возрастания эмиссии метана из оттаивающих слоёв грунта, будет происходить повышение трофности водоёмов за счёт включения в биологический круговорот биогенов, аккумулированных в донных отложениях [9]. В зависимости от глубины и возраста это может изменить функционирование озёрных экосистем на микрофитный тип (доминирование водорослей) или приведёт к краткосрочному интенсивному зарастанию макрофитной растительностью и более быстрому прохождению сукцессии в сторону заболачивания. Первыми исчезнут микротермные узкоспециализированные виды водных сосудистых растений с низкой численностью, как вариант возможно их постепенное вытеснение более теплолюбивыми широко распространёнными видами или замещение их гибридами (как, например это уже происходит в роде *Sparganium* [13]). Произойдёт перестройка структуры сообществ, в том числе деградация погружённой растительности, увеличение площадей и продуктивности прибрежных сообществ за счёт использования недоступного при низких температурах и коротком вегетационном сезоне депонированного азота и фосфора [9]. Скорость этих процессов будет зависеть от темпов потепления, которое в азиатской части России в последние годы несколько замедлилось. Особую озабоченность вызывает тот факт, что разнообразие макрофитов водоёмов территорий с многолетней мерзлотой быстро меняется. Наблюдая современное состояние растительного покрова водоёмов и происходящие изменения, мы во многих случаях не знаем, что было в начале, так как этот вопрос ранее не изучался.

*Исследование проведено в рамках проекта РНФ № 23-24-00544 «Водные растения как индикаторы состояния водоёмов в зоне многолетней мерзлоты в условиях изменения климата».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акентьева Е.М., Александров Е.И., Алексеев Г.В. и др. 2017. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. С.-Пб.: Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова (ФГБУ «ГГО»). 106 с.
2. Зимов С.А. «Таяние мерзлоты — прямая угроза для климата» [Электронный ресурс]: Новости ООН Режим доступа: <https://news.un.org/ru/interview/2022/01/1417542> (дата обращения 20.06.2023).
3. Павлов А.В., Малкова Г.В. Мелкомасштабное картографирование трендов современных изменений температуры грунтов на севере России // Криосфера Земли, 2009. Т. XIII. No 4. С. 32–39.
4. Малкова Г.В., Павлов А.В. Геоинформационное картографирование современных изменений климата и криолитозоны на севере России // Труды 10 Международной конференции по мерзлотоведению TI COP (Салехард, 25–29 июня 2012 г.). Тюмень: ООО «Печатник», 2012. Т. 3. С. 313–318.
5. Smith L.C., Sheng Y., Macdonald G.M., Hinzman L.D. Disappearing Arctic lakes // Science. 2005. Vol. 308. No. 5727. 1429 p.
6. Romanovsky V.E., Drozdov D.S., Oberman N.G. et al. Thermal state of permafrost in Russia // Permafrost Periglacial Process. 2010. Vol. 21(2). P. 136–155.
7. Скрыльник Г.П. Термокарст как фактор разрушения и созидания в развитии геосистем юга Средней Сибири и Дальнего Востока // Успехи современного естествознания. 2018. № 11(2). С. 425–436.

8. Vonk J.E., Tank S.E., Bowden W.B., Laurion I. et al. Reviews and syntheses: Effects of permafrost thaw on Arctic aquatic ecosystems // *Biogeosciences*. 2015. 12. P. 7129–7167.
9. Walter Anthony K.M., Zimov S.A., Grosse G. et al. A shift of thermokarst lakes from carbon sources to sinks during the Holocene epoch // *Nature*. 2014. 511. P. 452–458.
10. Кравцова В.И., Быстрова А.Г. Изменения размеров термокарстовых озер в различных районах России за последние 30 лет // *Криосфера Земли*. 2009. № 2. С. 16–26.
11. Boike J., Grau T., Heim B., Günther F. et al. Satellite-derived changes in the permafrost landscapes of Central Yakutia, 2000–2011: Wetting, drying, and fires // *Global Planet. Change*. 2016. 139. P. 116–127.
12. Нестерова Н. В., Макарьева О. М., Федоров А. Н., Шихов А. Н. Геокриологические факторы динамики площади термокарстовых озер в Центральной Якутии // *Криосфера Земли*. 2021. Т. 25. № 3. С. 22–34.
13. Bobrov A. A., Volkova P. A., Mochalova O. A., Chemeris E. V. High diversity of aquatic Sparganium (*Xanthosparganium*, Typhaceae) in North Eurasia is mostly explained by recurrent hybridization // *Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst.* 2023. Vol. 60. 125746. doi: 10.1016/j.ppees.2023.125746
14. Бобров А.А., Мочалова О.А., Чемерис Е.В. Водные сосудистые растения национального парка «Берингия» (Восточная Чукотка) // *Бот. журн.* 2021. Т. 106. № 1. С. 81–99.
15. Бобров А.А., Мочалова О.А. Водные сосудистые растения долины Колымы: разнообразие, распространение, условия обитания // *Бот. журн.* 2017. Т. 102. № 10. С. 1347–1378.
16. Труфанова Е. Р. Растительность озёр долины среднего течения реки Колымы // *Почвенные и ботанические исследования в Якутии*. Якутск: Якут. книжн. изд-во, 1972. С. 110–120.
17. Воронова О.С., Гордо К.А., Зима А.Л., Феоктистова Н.В. Сильные природные пожары на территории России в 2021 г., обнаруженные по космическим данным // *Исследование Земли из космоса*. 2022. No. 1. С. 3–18.

## **ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ СОХРАНЕНИЯ БИОРАЗНООБРАЗИЯ (СБР) НА ОБЪЕКТАХ ООО «СК «РУСВЬЕТПЕТРО» В ОТНОШЕНИИ ВОДНО- БОЛОТНЫХ УГОДИЙ БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ**

*Шахин Д.А.*

ООО «ФРЭКОМ», г. Москва, d.shakhin@frecom.ru

ООО «СК «РУСВЬЕТПЕТРО» является оператором лицензионных участков, расположенных в Ненецком автономном округе. В рамках деятельности по охране окружающей среды компания разработала в 2019 году и реализует в 2020-2023 гг. «Программу сохранения биоразнообразия» для своих объектов в Ненецком АО.

В качестве приоритетных направлений Программы выбраны:

- Сохранение лесных/редколесных сообществ и контроль динамики границы лесной зоны;
- Сохранение луговых сообществ;
- Изучение и сохранение ВБУ.

Водно-болотные угодья (ВБУ) широко распространены в лесотундровых и тундровых экосистемах и представляют из себя переувлажненные болотистые

территории или территории с множеством озер и рек, имеющих большое значение для водоплавающих и околоводных птиц. Некоторые водно-болотные угодья имеют международное значение и охраняются в рамках Рамсарской конвенции. На территории объектов ООО «СК «РУСВЬЕТПЕТРО» представлены локальные ВБУ, имеющие, однако, большое значение для околоводных птиц.

На территории зарегистрировано присутствие более 60 видов птиц, в том числе включенных в Красные книги РФ и НАО – сапсан, дупель, малый лебедь, орлан-белохвост, турпан, серый сорокопут. ВБУ, расположенные на территории месторождений, являются важными местами гнездования для видов: малый лебедь и лебедь-кликун, гусь-гуменник, синьга, турпан, хохлатая и морская чернети, морянка, шилохвость, чирок-свистунок, чернозобая и краснозобая гагары, чернозобик, круглоносый плавунчик, турухтан, перевозчик и бекас

В ходе работ на исследуемой территории выделено 12 ценных участков водно-болотных угодий (ВБУ), которые будут объектом мониторинговых исследований биоразнообразия в будущем для оценки состояния орнитофауны и влияния хозяйственной деятельности на птиц.

Флаговый вид для компании – малый лебедь. Численность **малого лебедя** в районе производственной деятельности *невысока*, за все время наблюдений отмечено не более 10 единичных особей. Это южная граница ареала, в основном этот вид приурочен к приморским участкам. Здесь он гнездится не ежегодно. Однако специальные мероприятия могут способствовать закреплению популяции здесь.

ООО «СК «Русвьетпетро» уделяет особое внимание мероприятиям по предотвращению и минимизации воздействия на биоразнообразие:

- Запрет нелегальной охоты и рыбалки, запрет на свободное перемещение персонала по природным биотопам;
- Отказ от содержания домашних животных, контроль бродячих животных (собак и пр.);
- Обеспечение чистоты прибрежных территорий и акваторий водных объектов;
- Соблюдение мер пожарной безопасности;
- Регулирование движения транспорта на возможных путях миграции животных;
- Управление отходами, особенно пищевыми, во избежание привлечения диких животных к производственным объектам.

Кроме того, планируются и другие мероприятия, которые поддержат биоразнообразие в регионе:

- Продолжение мониторинга биоразнообразия в различные сезоны;
- Создание «зон покоя» в наиболее ценных участках ВБУ и формирование экологического каркаса на территории лицензионных участков;
- Создание искусственных гнездовий и убежищ, организация подкормки для водоплавающих птиц (в т.ч. лебедей) в пределах ценных участков ВБУ;
- В перспективе – мечение лебедей для оценки путей миграции;
- Информационно-просветительские мероприятия.

По результатам проведенных исследований можно утверждать, что на территории производственной деятельности ООО «СК «РУСВЬЕТПЕТРО» в Большеземельской тундре сохраняется так называемый «экологический каркас» территории, представленный малонарушенными и ненарушенными тундровыми и болотными сообществами, сохраняется фоновое биологическое разнообразие, включая редкие виды, а также значительное число важных местообитаний биоты.

**АРКТИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВО:  
ВНЕШНИЕ ВЫЗОВЫ И ВНУТРЕННИЕ  
ФАКТОРЫ РАЗВИТИЯ**

---

## ФАКТОРЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКИ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ

*Авдеева И.Л., Головина Т.А., Матвеев В.В.*

Среднерусский институт управления–филиал РАНХиГС, г. Орёл, i-avdeeva-i@yandex.ru

Нынешние темпы массового производства неизбежно приводят к изменению климата и ряду экологических проблем. Излишнее потребление требует большого количества природных ресурсов, запасы которых ограничены на Земле. В связи с этим, в последние годы модель бережливого управления отходами и ресурсами, называемая циркулярной экономикой, приобретает всё большее значение в качестве инструмента, который может способствовать достижению различных целей в области устойчивого развития.

Переход от линейной экономики к экономике замкнутого цикла требует изменений на местном, региональном, национальном и международном уровнях и совместных усилий государств, компаний и потребителей. Циркулярная экономика актуальна для всех секторов экономики. Примеры ее успешного внедрения существуют в разных странах и секторах, таких как автомобильная, пищевая, текстильная, химическая промышленности [1]. Более того, переход к циркулярной экономике способствует достижению целей устойчивого развития, а меры, направленные в настоящее время на достижение целей устойчивого развития в России, интегрированы в национальные проекты и другие стратегические и программные документы.

Циркулярная экономика предполагает максимальное извлечение ценности из продукта на протяжении всего жизненного цикла, продление срока его службы, что позволяет ему дольше оставаться в экономике, а также его полное или частичное восстановление и переработку [2]. Переход к концепции циркулярной экономики требует инновационных бизнес-моделей, предполагающих эффективное использование ресурсов и продлении срока полезного использования продуктов. Эти стратегии предполагают заложение циркулярных принципов в продукт с момента его проектирования [3].

Основные характеристики циркулярной экономики:

- замкнутый характер экономики, предполагающий обратную логистику, то есть продукт после потребления возвращается на вторичное производство;
- минимизация потребления первичного сырья, вместо этого использование восстанавливаемых источников энергии и вторичных ресурсов;
- обеспечение максимальной эффективности от каждого процесса в жизненном цикле продукта, то есть максимальное извлечение ценности от использования товара, а также максимальное продление срока его службы (путем ремонта, восстановления);
- предполагает внедрение на всех экономических уровнях от отдельных фирм до государств;
- строится на принципе сокращения, повторного использования, переработки и восстановления материалов и продуктов;
- цели внедрения концепции: обеспечение долгосрочной устойчивости, сохранение природных ресурсов, снижение отходов и негативных экологических эффектов, достижение экономического процветания, получение социальных выгод.

Для циркулярной экономики характерны [4,5]: обратная логистика; использование восстанавливаемых источников энергии и вторичных ресурсов; извлечение максимальной ценности из продукта на каждом этапе его жизненного цикла; продление срока службы товаров путем ремонта, восстановления, реконструкции; строится на принципах сокращения, повторного использования, переработки и восстановления материалов и продуктов. Представим основные факторы развития циркулярной экономики в Арктической зоне (рис.1).



Рис. 1 – Факторы развития циркулярной экономики в Арктической зоне

Необходимо отметить, что тема циркулярной экономики актуальна для Российской Федерации ввиду ее глобальных экологических проблем [6]. Страна является одной из самых загрязненных в мире. Только Северный Ледовитый океан имеет ледовое покрытие и поэтому любое крупное загрязнение может привести к экологической катастрофе. Северный Ледовитый океан имеет побережье пяти государств (Россия, Канада, Норвегия, Дания, США).

Безусловно, освоение Арктики является одной из ключевых задач таких стран, как: Россия, США, Канада, Дания, Исландия, Финляндия, Норвегия, Швеция, Китай. Исторически сформировался особый правовой статус Арктики [7]. Правовой режим способствует стабильности в регионе, а также уменьшению конфликтности в Арктике. Правовой режим Арктики складывался длительное время в течение веков. Правовой режим в основном составляют не нормы международного права, а региональные и двусторонние договоры, а также национально законодательные нормы прибрежных арктических стран [8]. Арктическим странам выгодно мирное решение вопроса между собой для того, чтобы получить как можно больше национальных преимуществ. Многостороннее сотрудничество осуществляется путем проведения переговоров, а также создания международных организаций.

Арктическая стратегия России впервые носит характер не общих пожеланий, а конкретных задач и определенных сроки выполнения, целью её реализации является обеспечение национальных интересов России в Арктической зоне, а также достижение целей, определённых в основах государственной политики в Арктике [9]. В документе указано на введении в регионе специального экономического режима, а также переход к экономике замкнутого цикла [10].

Одним из главных интересов России в Арктике является разведка и добыча углеводородов на континентальном шельфе, организация Северного морского пути и соответствующей инфраструктуры на основе современного атомного флота. Россия имеет важнейший интерес к военной составляющей, развитию пограничных войск, противовоздушная оборона, военно-морского флота, строительству военных городков. Россия заинтересована в разработке месторождений в Арктической зоне России.

Арктическая зона Российской Федерации, включающая 9 регионов, в ближайшее десятилетие может стать основным драйвером роста отечественной промышленности [11]. Арктическая зона Российской Федерации обеспечивает десятую часть валового внутреннего продукта (ВВП) страны, а к 2030 году объем ВВП от арктических проектов, осуществляющих перевозки Северным морским путем (СМП), может вырасти практически в 2 раза, то есть достичь 31,5 трлн. рублей.

Переход к циркулярной экономике в российской Арктике только начинает зарождаться за счет роста инвестиций в соответствующие отрасли промышленности [12]. При этом важность такого перехода заключается в стимулировании экоинноваций, которые ведут к сокращению затрачиваемых ресурсов (энергетических, сырьевых, природных) на производство арктической продукции, сокращают негативное влияние на окружающую среду.

На рисунке 2 представлена нормативно-правовая база по обеспечению устойчивого развития Арктической зоны РФ в эпоху перехода к циркулярной экономике.

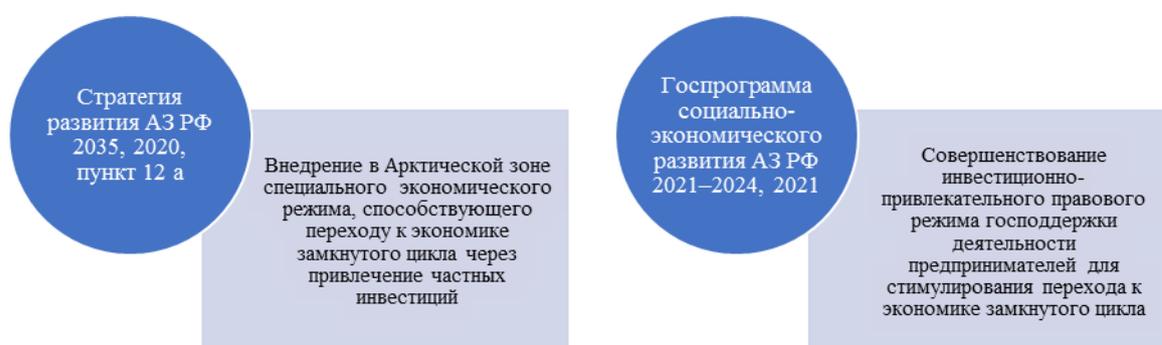


Рис. 2 - Нормативно-правовая база по обеспечению устойчивого развития Арктической зоны РФ в эпоху перехода к циркулярной экономике

Стоит отметить, что в современных условиях развития российской Арктики интерес крупного бизнеса к инвестированию в развитие территории велик, но, вместе с тем, имеется явный перекос в сторону западных регионов (Ямало-Ненецкого автономного округа, Мурманской области, Ненецкого округа) в части не только населения, но финансирования крупных проектов. Особенную обеспокоенность вызывают темпы роста экономики Чукотского автономного округа, а, следовательно, его социальной сферы. Специфическим элементом выстраивания отношений между бизнесом и иными заинтересованными акторами в Арктике является включение в процесс как отдельного актора коренных малочисленных народов Севера (КМНС). Названный фактор имеет важное имиджевое значение для компаний (как в России, так и за рубежом), обеспечивает легитимность деятельности компании на территории присутствия (в случае её совпадения с территорией традиционного проживания КМНС).

Современное развитие Арктической зоны РФ в частности и Арктики в целом указывает на чрезвычайную значимость и важность региона. Значительные человеческий, ресурсный, логистический потенциал Арктики привлекает и иные государства (КНР, Сингапур, Индия, Австралия и иные) [13]. Важно понимать оборонное и стратегическое значение региона для РФ, ведь Арктика – наша самая протяжённая граница, на которой сосредоточено столь много различных интересов.

Необходимо усиление хозяйствования в Арктике, развитие социальной, экономической и культурной сфер, для дальнейшего повышения качества жизни, а значит и улучшения качества человеческого капитала региона, перехода большей

части населения от вахтового проживания в постоянному.

Таким образом, концепция циркулярной экономики, отвечающая ценностям ресурсосбережения и ресурсоэффективности и формирующая конкретные организационно-экономические инструменты развития циклических технологий и производств, становится частью парадигмы устойчивого развития и экологизации, и в той или иной мере, является важным перспективным направлением в стратегических программах эколого-сбалансированного развития Арктической зоны.

Концепция циркулярной экономики постепенно проникает в различные сферы производства и потребления как часть идеологии «зеленого курса», обеспечивая устойчивое развитие экономики в долгосрочной перспективе. Реализация принципов циркулярной экономика выдвигает на первый план проекты безотходной технологии, при которой реализуется полный цикл, а именно «ресурсы – производство – потребление – вовлечение вторичных ресурсов в переработку».

Экономическая эффективность реализации природоохранных проектов в Арктической зоне зависит от институтов развития. Большинство проектов требуют мер господдержки и не являются прибыльным бизнесом, как для промышленных, так и для компаний эмитентов. В перспективе коммерческая эффективность внедрения технологий циркулярной экономики в данном регионе будет зависеть от создания и функционирования реально действующего углеродного национального рынка и степени развития инноваций на всей цепочке CC(U)S.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда, проект № 23-28-00659, <https://rscf.ru/en/project/23-28-00659/>.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Королева Е.Д., Колчина В.В. Циркулярная экономика: отечественный опыт, основные бизнес-модели и проблемы их внедрения в Российской Федерации // Вестник молодежной науки. 2021. № 2 (29).
2. Демченко А.А. Циркулярная экономика и устойчивое развитие: на пути к экологизации и повышению эффективности использования вторичных ресурсов / А.А. Демченко, Г.А. Есенкова, Т.П. Алдохина // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2020. Т. 8. № 3 (50). С. 105-109.
3. Сотникова О.А. Циркулярная экономика как движущая сила устойчивого развития хозяйствующих субъектов / О.А. Сотникова, Е.А. Жидко, М.М. Алферов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. 2021. Т. 11. № 3. С. 115-124.
4. Михаленко Е. Циркулярная экономика как модель экономики будущего / Е. Михаленко, Д. Климова, И. Маньковский // Банковский вестник. 2020. № 12 (689). С. 42-51.
5. Бекмурзаева Р.Х., Джандарова Л.Х. Концепция циркулярной экономики в контексте обеспечения устойчивого развития экономики региона // Журнал прикладных исследований. 2022. Т. 9. № 6. С. 824-830.
6. Попова Е.В. Экологизация экономики: практические аспекты перехода к бизнес-модели циркулярной экономики // Современные аспекты экономики. 2021. № 4 (284). С. 15-22.
7. Барменкова Н.А. К вопросу о геостратегической роли Арктической зоны Российской Федерации // Самоуправление. 2022. № 3 (131). С. 169-171.
8. Сахарова С.М., Долгова С.А., Боброва Е.А., Овсянникова С.И. Стратегические мероприятия государственного управления социально-экономическим развитием территории Арктической зоны // Экономика и предпринимательство. 2021. № 5 (130). С. 423-432.

9. Тугачева Л.В., Сахарова С.М. Стратегические направления государственного управления социально-экономическим развитием территории Арктической зоны // Вестник Академии знаний. 2021. № 45 (4). С. 263-270.
10. Тугачева Л.В., Сахарова С.М. Стратегические направления государственного управления социально-экономическим развитием территории Арктической зоны // Вестник Академии знаний. 2021. № 45 (4). С. 263-270.
11. Сахарова С.М., Павлова А.В. Комплексное развитие территории Арктической зоны Российской Федерации на основе кластерного подхода // Вестник Поволжского государственного университета сервиса. Серия: Экономика. 2022. Т. 18. № 2 (69). С. 35-40.
12. Сахарова С.М. Стратегическое государственное планирование развития территории Арктической зоны на основе системы сбалансированных показателей // Среднерусский вестник общественных наук. 2021. Т. 16. № 6. С. 209-223.
13. Репичев А.И., Сахарова С.М. Организационно-управленческие механизмы государственно-частного партнерства для развития опорной инфраструктуры в Арктической зоне // Естественно-гуманитарные исследования. 2021. № 37 (5). С. 242-249.

## **ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА В АРКТИКЕ**

*Александр А.И., Алексанина М.Г., Бабяк П.В., Дьяков С.Е., Ким В., Левин В.А.,  
Фомин Е.В.*

Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, г. Владивосток,  
margeo@mail.ru

Одна из основных решаемых задач в Арктике — это изучение природных рисков, которые существуют вдоль Северного морского пути. Наибольшие риски в Арктике связаны с ледовыми условиями. А также есть риски, связанные с климатическими изменениями, загрязнением моря и суши, сейсмической опасностью, таянием вечной мерзлоты. Необходимо изучать и отслеживать эти процессы, чтобы уметь прогнозировать возможные риски и создавать сценарии их предупреждения.

*Информационное обеспечение данными спутникового дистанционного зондирования Земли.* Самая массовая одномоментная информация об огромных территориях – это информация с бесплатных метеорологических спутников Земли в видимом и инфракрасном диапазонах спектра. Однако даже крупные центры не располагают всем спектром необходимых данных и продуктов их обработки. Разнообразие и сложность технологий обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) не позволяют обеспечить запросы пользователей в полном объеме в рамках одного спутникового центра. Довольно часто пользователь имеет собственные технологии обработки спутниковых данных ДЗЗ, которые требуется встраивать в существующие схемы обработки. Перспективным подходом к предоставлению спутниковых данных ДЗЗ является создание каталогов и их интеграция в единую систему. В результате у пользователя появляется возможность получить доступ к данным различных организаций через единую точку доступа. То есть решение состоит в переходе к распределенной обработке данных через глобальные информационные системы [1; 2]. Глобальная информационная система на основе сервисов обработки данных (Web Processing Service), в которой накапливаются технологии обработки спутниковых данных и предоставляется доступ к ним как со

стороны разработчиков таких технологий, так и со стороны потребителей, обеспечит развитие и более широкое использование разрабатываемых технологий.

Возможной реализацией такой концепции может стать информационная система Роскосмоса – Государственная информационная система оперативной поставки данных дистанционного зондирования Земли (ГИС ОПД ДЗЗ). Целью разработки Государственной информационной системы оперативной поставки данных дистанционного зондирования Земли (ГИС ОПД ДЗЗ) является обеспечение потребителей информационными продуктами обработки данных дистанционного зондирования Земли из космоса на основе интеграции различных поставщиков информационных продуктов и сервисов. Примером такой интеграции может служить опыт Центра коллективного пользования «Региональный спутниковый мониторинг окружающей среды» Дальневосточного отделения Российской академии наук (далее Спутниковый центр ИАПУ ДВО РАН) в ГИС ОПД ДЗЗ [3].

*Имеющиеся технологии спутникового мониторинга поверхности моря.* С точки зрения комплексного подхода к информационному обеспечению безопасности вдоль Северного морского пути в Арктике необходимо наиболее востребованными являются методики расчёта скоростей течений, дрейфа льда, приводного ветра, ежедневных, не зависящих от облачности, композиционных карт температуры поверхности океана, карт синоптических объектов моря (вихрей, струйных течений) и прогноз их положения.

Центр коллективного пользования Регионального спутникового мониторинга ДВО РАН в Институте автоматизации и процессов управления ДВО РАН почти 30 лет занимается разработкой новых технологий первичной и тематической обработки данных дистанционного зондирования Земли со спутников [4]. Спутниковый центр ИАПУ ДВО РАН – это современный четырёх-антенный комплекс приёма метеорологических спутников Земли, передающих на частотах около 1.7ГГц и 8ГГц. Здесь же ведётся обработка, архивирование и поставка потребителям требуемой информации в режиме реального времени. Круглосуточно работают службы приёма и поставки спутниковой информации.

Одной из задач Спутникового центра ИАПУ ДВО РАН является создание новых технологий обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и организация информационного обеспечения потребителей северо-восточного сектора Арктики. Спутниковый Центр ИАПУ ДВО РАН прошел международную регистрацию как SML/IACP/RAS (Satellite Monitoring Laboratory, Institute of Automation and Control Processes, Russian Academy of Sciences). На сегодняшний день созданы средства и методы автоматического приёма, накопления, распределенной обработки и поставки данных через сеть ИНТЕРНЕТ базовых видов информации, принимаемой с метеорологических полярно-орбитальных и геостационарных спутников. Реализованы автоматические цепочки обработки спутниковых данных на основе международных пакетов программ AAPP, SeaDAS, RTTOV, MetOffice-1Dvar, CSPP, IMAPP и собственных программных разработок [5].

Спутниковый центр Дальневосточного отделения Российской академии наук накопил технологии и проводит следующие виды работ:

1. оперативная поставка изображений ледовых полей с разделением льда и облачности для выбора оптимального пути проведения ледоколом каравана судов;
2. расчёт кромки льда;
3. расчёт дрейфа льда автоматическими методами по последовательности спутниковых изображений в инфракрасном (ИК) и видимом диапазонах спектра;
4. расчёт сплочённости льда под облачностью по данным пассивных микроволновых измерений радиометров (AMSR-2); и расчёт дрейфа льда под облачностью по картам сплочённости или отдельных спектральных каналов (89ГГц);
5. построение композиционных карт температуры поверхности океана;

6. автоматическое выделение и прослеживание синоптических вихрей океана;
7. расчёт скоростей течений океана.

Расчёт скоростей течений в море - одна из наиболее актуальных и сложных научных и практических задач. В Спутниковом центре ИАПУ ДВО РАН для автоматического расчёта скоростей перемещений объектов на море в качестве базового метода используется оригинальный метод, являющийся аналогом метода максимума кросс-корреляции, дающий априорно точность расчёта скорости [6,7,8]. Метод даёт большее количество корректных векторов и избегает появления векторов-«выбросов». Высокая точность и надёжность алгоритма расчёта скоростей дрейфа позволили его применять для расчёта характеристик сжатия льда (Рис.1) [9]. Сжатие характеризуется направлением и величиной. В окрестности заданной точки рассчитываются направления максимального сжатия/растяжения, и его величина при заданной статистической значимости результата. В конкретной точке могут наблюдаться одновременно как процессы сжатия, так и растяжения. Алгоритм сжатия близок к визуальным оценкам, применяемых на практике методологий, и даёт близкие с ними результаты.

Спутниковый центр ДВО РАН имеет опыт информационного обеспечения проводки судов в порт Магадан в Охотском море [10].

*Опыт оперативного спутникового мониторинга ледовой обстановки на примере Охотского моря.* Охотского море является частью Северного морского пути. Зимняя навигация в Охотском море начинается в конце декабря - начале января. Именно в это время бухты покрываются прочной ледовой коркой. Суда из Приморья, Сахалина и Хабаровского края самостоятельно доходят только до так называемой кромки льда, откуда начинается плотное белое полотно морского льда. В ожидании ледокола в одном месте иногда собираются целые караваны. Для проводки судов во льдах необходима следующая информация, поступающая в режиме реального времени: 1) детальные изображения структуры льда с оценкой его толщины и указания трещин во льдах; 2) оценка скорости движения ледовых полей и зон сжатия льда; 3) прогноз детального изображения льда на заданное время.

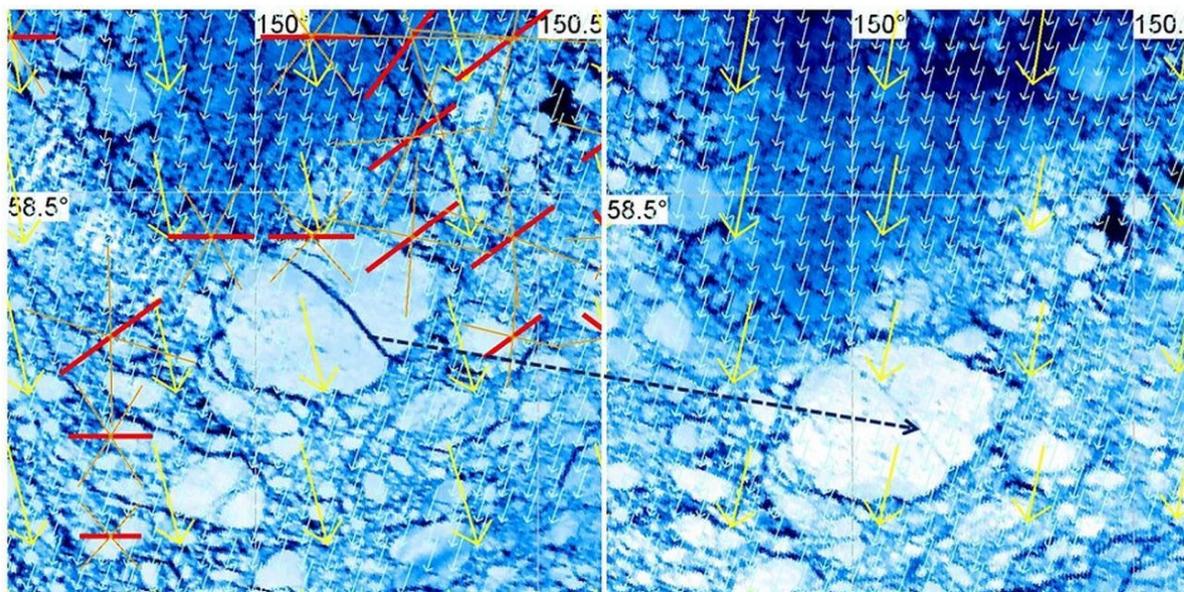


Рис. 1 - Фрагмент ледового покрова на спутниковом изображении за 5-6 апреля 2010 года в Охотском море около льдины с трещиной, сомкнувшейся за сутки. Голубые стрелки показывают дрейф льда. Жёлтые стрелки - ветер. Красные отрезки показывают ориентацию оси сжатия ледяного покрова.

Спутниковым центром ИАПУ ДВО РАН для обеспечения информационной поддержки ледовой проводки судов к порту Магадан с 2010 года ежегодно для администрации морского порта Магадан с 1 января по 31 мая оперативно через FTP-сервер поставляются продукты обработки с радиометра MODIS (AQUA-TERRA). Данные выкладываются на ftp для скачивания в течение часа после их приёма.

*Заключение.* Сегодня основные усилия в области спутникового информационного обеспечения идут в направлении развития технологий обработки и поставки спутниковой информации с требуемыми параметрами съёмки (пространственное, временное, спектральное разрешение) [11]. Для эффективного применения возможностей спутникового мониторинга вдоль Северного морского пути необходимо обеспечить три составляющие: 1) Наличие спутниковых данных с требуемым пространственным и временным разрешением. 2) Наличие специалистов и технологий извлечения из данных ДЗЗ полезной информации. 3) Наличие развитых информационно – коммуникационных ресурсов. Это позволит решать научные и практические задачи, как на море, так и на суше: 1) ледокольное обеспечение судоходства; 2) проведение работ по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на трассах; 3) проводка судов по Северному морскому пути; 4) взаимодействие с аварийно-спасательными службами федеральных органов исполнительной власти и иностранных государств при проведении работ (операций) по предотвращению и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера на трассах.

*Исследования проведены при поддержке государственной программы поддержки университетов «Приоритеты-2030».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шокин Ю.И., Жижимов О.Л., Пестунов И.А., Синявский Ю.Н., Смирнов В.В. Распределенная информационно-аналитическая система для поиска, обработки и анализа пространственных данных // Вычислительные технологии. 2007. Т.12. Спец.выпуск № 3. С.108-115.
2. Лупян Е.А., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Флитман Е.В. Технология построения автоматизированных информационных систем сбора, обработки, хранения и распространения спутниковых данных для решения научных и прикладных задач // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2004. Т.1. №1. С.81-88.
3. Алексанин А.И., Дьяков С.Е., Бабяк П.В., Алексанина М.Г. Интеграция технологий обработки спутниковых данных внешних поставщиков в информационную систему Роскосмоса на примере Спутникового центра ДВО РАН // Геоинформатика. 2022. №4. С.44-53
4. Левин В.А., Алексанин А.И., Алексанина М.Г., Бабяк П.В., Дьяков С.Е., Загумённов А.А., Ерёменко А.С., Ерёменко В.С., Катаманов С.Н., Ким В., Качур В.А., Недолужко И.В., Фомин Е.В. Технологические возможности спутникового Центра ДВО РАН // Вестник ДВО РАН. 2016. №4(188). С.142-150.
5. Алексанин А.И., Алексанина М.Г., Левин В.А. Развитие спутникового мониторинга в ИАПУ ДВО РАН // Вестник ДВО РАН. 2021. №4(218). С. 129-138.
6. Алексанин А.И., Алексанина М.Г., Карнацкий А.Ю. Автоматический расчёт скоростей перемещений ледовых полей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т.8. № 2. С.9–17.
7. Алексанин А.И., Алексанина М.Г., Карнацкий А.Ю. Автоматический расчёт скоростей поверхностных течений океана по последовательности спутниковых изображений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т.10. № 2. С.131—142.

8. Алексанин А.И., Стопкин М.В., Качур В.А. Автоматический расчёт дрейфа льда по данным радиометров AMSR // Исследование Земли из космоса. 2017. №1. С.13-23.
9. Алексанин А.И., Алексанина М.Г., Карнацкий А.Ю. Расчёт сжатия ледяного покрова моря по спутниковым изображениям // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2017. Т.14. №7. С.210-224.
10. Левин В.А., Алексанин А.И., Алексанина М.Г., Бабяк П.В., Громов А.В., Наумкин Ю.В., Фомин Е.В., Стопкин М. В. Спутниковый мониторинг ледовой обстановки в Охотском море // Земля из космоса – наиболее эффективные решения. 2011. №10. С.44–49.
11. Алексанин А.И., Кубряков А.А., Левин В.А., Станичный С.В. Спутниковое информационное обеспечение для организации разведки и эксплуатации нефтегазовых месторождений в арктических морях // Арктика: экология и экономика. 2015 №1(17). С. 52-63.

## **СОЦИАЛЬНОЕ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИИ: ПРАВОВАЯ ПРИРОДА И СПЕЦИФИКА РЕАЛИЗАЦИИ**

*Баттахов П.П.*

Институт государства и права РАН, г. Москва, [battakhov@mail.ru](mailto:battakhov@mail.ru);

В работе рассматривается правовое регулирование хозяйственной деятельности на Арктической территории. Изучено понятие социального предпринимательства в качестве института предпринимательского права. Исследованы перспективы развития социального предпринимательства в Арктической зоне России. Предложено дополнить перечень лиц, с трудоустройством которых связан статус социального предприятия: участники боевых действий в СВО, студенты и коренные малочисленные народы Арктики.

Арктика – это неповторимая территория России. Арктическая зона, несомненно, имеет нереализованный потенциал циркумполярного права. В настоящее время на государственном уровне разработаны и внедрены в практику различные программы стратегического развития арктического региона. Останавливаться на достигнутом не стоит, так как развитие Арктики должно интенсифицироваться. Новыми перспективными проектами должны быть охвачены все девять регионов страны, которые включены в Арктическую зону.

Территория Арктики богата на уникальные природные зоны с исключительными ландшафтами, разнообразной экосистемой и экономическим и людским потенциалами. Арктика представляет собой практически неисчерпаемую базу для добычи особо ценных природных ресурсов, площадку для проведения самых актуальных научных исследований и передовых технических и экономических разработок. В связи с этим роль арктического региона с каждым годом неуклонно возрастает.

Одним из наиболее перспективных направлений развития российской Арктики является так называемая социальная предпринимательская деятельность [1]. Такой вид бизнеса является настоящим спасением для выхода из тупика по интенсификации развития арктических территорий как в экономическом, так и в общественном планах. Социальное предпринимательство представляет собой взаимовыгодное объединение государственных ресурсов и частной предпринимательской инициативы, которое, несомненно, не только выгодно обеим сторонам такого взаимодействия, но и способно принести значительную пользу местному населению. Таким образом, данное направление экономического развития станет толчком к решению многих социальных проблем северных территорий и позволит инвестировать в Арктику.

На данный момент социальное предпринимательство в Арктической зоне России находится на начальном этапе своего развития, поэтому для планомерного и эффективного совершенствования столь нового для данной части страны способа социального и экономического взаимодействия необходимо активно и вдумчиво использовать опыт подобной работы, показавший свою эффективность в других регионах нашей страны. Стоит отметить, что государственное снабжение и регулирование ни в коем случае не должно отворачиваться от арктических территорий. Несомненно, есть сферы, в которых без помощи государства обойтись не получится. Но, одновременно с этим, существуют направления, где работа государственных служб оказывается не в полной мере эффективной. Именно в такие сферы и должен внедряться социально ориентированный бизнес. В сфере ответственности социальных предприятий в арктическом регионе могут находиться многие вещи, среди которых центры обучения и всестороннего развития местного населения, коммерческие учреждения дошкольного образования, некоторые разновидности бизнеса по оказанию услуг местному населению. Самое главное – развитие описанных инициатив позволит предельно повысить уровень предпринимательской активности в Арктике.

Востребованность социальной предпринимательской деятельности в нашей стране обусловлена рядом объективных факторов, среди которых можно отметить появление значительного количества людей с низкими доходами. Такие граждане обычно не в состоянии найти достойного заработка в распространенных видах хозяйствующих субъектов. Государственные структуры, особенно в арктическом регионе, не способны обеспечить необходимый уровень занятости населения. Именно поэтому социальное предпринимательство способно не только поддержать значительные слои населения, но и ускорить экономическое развитие территорий.

Социальное предприятие представляет собой современный субъект экономической деятельности, который базируется на свободной предпринимательской деятельности, однако социально ориентирован. Последнее особенно важно как в смысле повышения уровня благосостояния местного населения, так и для получения прибыли субъектом экономической деятельности, стабильной работы и дальнейшего развития объекта социального предпринимательства.

Несомненно и то, что важным критерием общественной направленности, организованным в Арктической зоне социального предприятия, должно быть замечено то, что по результатам каждого года в среднесписочной численности работников категории сотрудников, указанные выше, должны составлять не менее 50 % от общего штата. Затраты на оплату их труда должны составлять не менее 25% всего фонда оплаты труда. Также таких работников в организации должно быть не менее двух[2].

Поэтому для реального развития социального предпринимательства в Арктической зоне необходимо продолжить совершенствование соответствующей нормативно-правовой базы. В частности, требуется внести изменения в федеральный закон «О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации». Дополнения требует перечень категорий лиц, которые обязаны получить работу. Это следующие группы граждан: обучающиеся в высших и профессиональных учебных заведениях, участники вооруженных конфликтов и, конечно, представители коренных малочисленных народов. Представители этих групп населения должны иметь приоритетное право на получение работы и, соответственно, трудового дохода. В результате социальное предпринимательство получит дополнительный импульс к развитию, в том числе в Арктике.

Таким образом, что перспективы развития сферы социального предпринимательства в Арктической зоне России велики и требуют особого внимания. Работа в этом направлении даст толчок для интенсивного развития не только Арктики,

но и всей Российской Федерации. Но важно понимать, что для ускорения темпов роста социального предпринимательства на арктических территориях важно дальнейшее совершенствование соответствующей нормативно-правовой базы. Важно, чтобы учитывались интересы наиболее уязвимых групп населения, в том числе коренных малочисленных народов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Занковский С.С. Понятие и правовое регулирование социального предпринимательства // Предпринимательское право. 2020. № 4. С. 51 - 56.
2. Мотуренко, С. М. Правовое регулирование социального предпринимательства в России: основные аспекты // Право и государство: теория и практика. 2022. № 12(216). С. 207-210.

### **ВНУТРЕННИЕ ФАКТОРЫ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ АЛМАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ**

*Варфоломеев А.А.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, ayksis@yandex.ru

Россия занимает ведущее место в мире по добыче и экспорту природных ресурсов. Вместе с тем, влияние различных факторов на деятельность отдельных предприятий, отраслей и национальную экономику в целом весьма велико. В этой связи изучение влияния внешних и внутренних факторов является особо актуальным не только для отдельных предприятий, но и для экономики целых регионов, в структуре которой значительное место занимают добывающие компании.

Успешная адаптация предприятий к кризисным условиям является залогом их устойчивого развития. Адаптационный потенциал предприятия формируется на основе внутренней среды предприятия, его внутренних факторов под воздействием внешней среды. В рамках данного исследования особый интерес представляет изучение внутренних факторов, оказывающих влияние на деятельность алмазодобывающей компании.

На территории Российской Федерации промышленная добыча алмазов ведется в двух основных регионах: в Республике Саха (Якутия) добывается 77% алмазов и в Архангельской области 23% соответственно. При этом 5 млн. карат приходится на компанию АО «АГД ДАЙМОНДС», весь остальной объем (около 37 млн. карат) ПАО «АК «АЛРОСА» и её дочерние компании.

Согласно государственному докладу Минприроды России, основной объем добычи алмазов в нашей стране обеспечивает Группа АЛРОСА, в которую входят непосредственно ПАО АК «АЛРОСА» и две её дочерние компании АО «Алмазы Анабара» и АО «Севералмаз» [1]. Еще одной алмазодобывающей компанией, не входящей в Группу АЛРОСА, является компания АО «АГД ДАЙМОНДС» (ранее – АО «Архангельскгеолдобыча»).

Алмазодобывающую отрасль Российской Федерации формируют четыре основные компании:

- ПАО «АК «АЛРОСА» - российская алмазодобывающая компания, созданная в 1992 году, является правопреемницей треста «Якуталмаз». В настоящее время ПАО «АК «АЛРОСА» эксплуатирует четыре горно-обогатительных комбината в Республике

Саха (Якутия), это Айхальский, Мирнинский, Удачный и Нюрбинский ГОКи [6].

- АО «СЕВЕРАЛМАЗ» - российская алмазодобывающая компания, созданная в 1992 году, дочернее общество ПАО АК «АЛРОСА». Осуществляет разработку алмазного месторождения имени Михаила Ломоносова в Приморском районе Архангельской области. Месторождение включает в себя шесть кимберлитовых трубок. Эксплуатирует один горно-обогажительный комбинат [5].

- АО «АЛМАЗЫ АНБАРА» - российская алмазодобывающая компания, созданная в 1998 году, дочернее общество ПАО АК «АЛРОСА». Осуществляет разработку на россыпных алмазных месторождениях в Республике Саха (Якутия). Разработка месторождений осуществляется 2-мя приисками «Маят» и «Молодо» [4].

- АО «АГД ДАЙМОНДС» - российская алмазодобывающая компания, созданная в 1995 году. Осуществляет разработку алмазного месторождения имени Владимира Гриба в Мезенском районе Архангельской области. Месторождение включает в себя одну кимберлитовую трубку. Эксплуатирует один горно-обогажительный комбинат [3].

Указанные выше алмазодобывающие компании имеют также свои зависимые и дочерние общества, которые специализируются на поиске и разведке, добыче алмазного сырья, обслуживании производства, реализации алмазной продукции, огранке и т.д.

Организационно-правой формой всех четырех алмазодобывающих компаний является акционерное общество. Акционерная компания «АЛРОСА» является публичным акционерным обществом, её акции и ценные бумаги публично размещаются и обращаются на рынке.

По своей организационно-управленческой структуре все компании являются вертикально интегрированными компаниями. Органы управления компаний осуществляют оперативное, корпоративное и стратегическое управление. Структура и организация управления, компетенция органов и распределение полномочий закреплены в уставных документах компаний.

Высшим органом управления во всех алмазодобывающих компаниях является общее собрание акционеров. Общее руководство деятельностью компании осуществляет Совет директоров, в ПАО «АК «АЛРОСА» эту функцию выполняет Наблюдательный совет. Руководство текущей деятельности компании осуществляет единоличный исполнительный орган – Генеральный директор. В ПАО «АК «АЛРОСА» кроме единоличного исполнительного органа существует коллегиальный исполнительный орган – Правление.

Основные направления деятельности алмазодобывающей компании составляют разведка, добыча, обогащение и продажа алмазов.

Непосредственно добыче предшествует значительный объем геологоразведочных работ, геологическая съемка, поиска и разведка.

Разведка алмазного месторождения необходима для выявления ключевых параметров месторождения, строение месторождения, количество руды и т.д.

Ключевые параметры в свою очередь влияют на дальнейшие условия эксплуатации будущего месторождения [2].

Месторождения является главным природным фактором, формирующим сырьевую базу, горно-обогажительный комбинат относится к основному производственному фактору. К основному сбытовому фактору можно отнести подразделение, осуществляющее реализацию алмазной продукции. Остальные факторы, связанные с управлением и финансами, можно отнести к дополнительным факторам.

Месторождение характеризуется количеством полезного ископаемого, находящегося в недрах, запасы делят на балансовые и забалансовые.

Забалансовые запасы – это запасы, которые разведаны и изучены, но их

отработка является нецелесообразной.

Балансовые запасы – это запасы которые уже разведаны и изучены, и их отработка целесообразна уже сейчас.

Выделяют три способа разработки алмазных месторождений:

- карьерный, открытый способ;
- аллювиальные месторождения (речные), открытый способ;
- шахтный, закрытый способ.

В зависимости от способа разработки применяется та или иная технология добычи, которая может корректироваться по мере отработки алмазоносной трубки (к примеру, строительство подземного рудника на отработанной открытым способом трубке). Выбранный способ разработки влияет на сроки реализации проекта, объем капитальных и эксплуатационных затрат, и соответственно на себестоимость продукции и сроки окупаемости проекта.

При открытой разработке месторождений горные работы предполагают проведение вскрышных работ (выемка, перемещение и размещение вскрышных пород) и добычные работы (выемка, перемещение и складирование или разгрузка полезного ископаемого).

Закрытая разработка месторождения осуществляется для извлечения твердых полезных ископаемых, залегающих на большой глубине под землей при помощи построения подземных сооружений - шахт.

Основными параметрами алмаза при его оценке являются вес, форма, характер поверхности и дефектность камня.

После сортировки, оценки и аттестации, алмазное сырье представляет собой готовую продукцию, подлежащую реализации. Реализация алмазного сырья производится как на внутреннем рынке, так и поставляется на международный рынок.

В настоящий момент основными покупателями российских алмазов являются такие страны как Бельгия, Индия, ОАЭ, Китай и Израиль.

На основе проведенного исследования основными внутренними факторами, влияющими на деятельность алмазодобывающей компании, являются:

- месторождение, формирующее сырьевую базу (включающее в себя разведку месторождения и его разработку);
- производство (обогащение руды, сортировка и оценка алмазной продукции);
- реализация (продвижение и сбыт алмазной продукции).

В свою очередь дополнительными факторами, обеспечивающими деятельность алмазодобывающего предприятия, являются:

- финансы (финансовое обеспечение деятельности предприятия);
- управление (оперативное, корпоративное и стратегическое управление).

Сделанные в ходе настоящего исследования выводы помогут в дальнейшем при изучении влияния внутренних и внешних факторов на деятельность алмазодобывающих предприятий, а также на формирование и оценку их адаптационного потенциала.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 году» [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.mnr.gov.ru/press/news/na\\_sayte\\_minprirody\\_rossii\\_opublikovan\\_gosdoklad\\_o\\_ostoyanii\\_i\\_ispolzovanii\\_mineralno\\_syrevykh\\_resu/](https://www.mnr.gov.ru/press/news/na_sayte_minprirody_rossii_opublikovan_gosdoklad_o_ostoyanii_i_ispolzovanii_mineralno_syrevykh_resu/).
2. Минина, Н. Н. Влияние разведки и добычи полезных ископаемых на окружающую среду / Н. Н. Минина [Текст] // Наука и общество на пути к модернизации: современные взгляды, новые горизонты. — Калуга:ООО "Манускрипт", 2023. — С. 161-166.

3. Официальный сайт АО «АГД ДАЙМОНДС»: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.agddiamonds.ru/> (дата обращения: 08.09.2023).
4. Официальный сайт АО «АЛМАЗЫ АНБАРА»: [Электронный ресурс]. URL: <https://almazyanabara.ru/> (дата обращения: 08.09.2023).
5. Официальный сайт АО «Севералмаз»: [Электронный ресурс]. URL: <http://www.severalmaz.ru/> (дата обращения: 08.09.2023).
6. Официальный сайт ПАО «АК «АЛРОСА»: [Электронный ресурс]. URL: <https://alrosa.ru/> (дата обращения: 08.09.2023).

## **ВЗАИМОСВЯЗИ ЭКОЛОГИЗАЦИИ И РИСКОВ ИНДУСТРИАЛЬНОЙ АРКТИКИ: ПРОТИВОРЕЧИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ**

*Воронина Е.П.*

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, г. Москва,  
ver73@rambler.ru

Актуальность исследования взаимосвязей в системе «природа-население-хозяйство» в последнее десятилетие не только не ослабла, но, напротив, обострилась. По мере развития цивилизации прямые и обратные связи с окружающей природной средой, взаимосвязи между человеком и его трудовой деятельностью становятся все более тесными. Продолжается наращивание объемов и территориальной экспансии природопользования, нарастает промышленное продвижение в районы с неблагоприятными природными условиями. Всё вышеуказанное актуализирует проблемы совершенствования взаимосвязей природы и общества.

Для решения проблем охраны окружающей среды и рационального природопользования необходим междисциплинарный синтез знаний. При таком подходе сбалансированное социально-экономическое развитие регионов, для которого выбираются рациональные принципы и методы управления, рассматривается как коэволюционное развитие природы и общества [1, 2]. Важнейшими принципами такого развития считаются: сохранение высокого качества окружающей среды, экономический рост при равновесном природопользовании. Равновесное природопользование ориентировано на сбалансированное потребление и воспроизводство природных ресурсов, качество социальной среды выражается в повышении благосостояния, улучшении качества жизни при выделении необходимых ресурсов для поддержания экологического баланса, что возможно лишь на основе эффективного, экологически безопасного экономического развития, которые определяют способность поддерживать устойчивость, вернее коэволюционное развитие природы и общества.

Вполне очевидно, что данное утверждение особенно важно для российской Арктики. Арктическая зона РФ представляет собой уникальный географический, экологический и климатический регион, формируемый пространственной интеграцией территории и акватории, отличается особенными свойствами и качествами: сложными природно-климатическими условиями, исключительной уязвимостью окружающей среды, неравномерностью заселения, высокой урбанизированностью, историческим опытом освоения территорий, особыми компетенциями, отраслевой спецификой, неравномерностью обеспечения основными факторами производства, инфраструктуры и трудовыми ресурсами, слабой диверсификацией экономики.

Существует целый ряд экономических аспектов арктического развития:

- 1) промышленно-ресурсный (освоение ресурсов углеводородов Арктики и

морского шельфа),

2) промышленно-транспортный (комплексное развитие транспортных коммуникаций, в том числе Северного морского пути, самого короткого пути из Европы к странам Тихоокеанского региона),

3) информационно-коммуникационный (создание единой системы геоинформационного обеспечения для решения циркумполярных задач, в том числе - предотвращения природных и техногенных катастроф).

Соответственно, с одной стороны, мощный природно-ресурсный, территориальный и транспортный ресурс является резервом устойчивого развития, с другой – экстремальные условия жизни и производственной деятельности обуславливают появление экологических проблем и связанных с ними рисков, характеризующихся возможностью наступления негативных событий, ведущих к нарушению устойчивости и нанесению ущерба окружающей среде. Вопрос экологических рисков наряду с возросшей опасностью техногенных катастроф становится насущной реальностью арктических территорий, особенно там, где высока концентрация промышленных и нефтегазовых объектов (табл. 1).

Таблица 1 – Идентификация рисков при реализации инфраструктурно-производственных проектов на территории Арктической зоны РФ

Рискообразующие факторы	Виды риска
<ul style="list-style-type: none"> <li>• экстремальные природно-климатические условия в сочетании с пространственно-географическим фактором;</li> <li>• неопределенность климатических изменений, усиление контрастности погодных условий;</li> <li>• вертикальная и горизонтальная (широтная и меридиональная) инверсия температур воздуха;</li> <li>• изменения физико-механических свойств почв</li> </ul>	Природно-естественные
<ul style="list-style-type: none"> <li>• низкий уровень технологического развития;</li> <li>• сложность во внедрении наукоемкого и высокотехнологичного оборудования для реализации проектов;</li> <li>• неопределенность с качеством оборудования и его эксплуатации, а также совместимостью установленного оборудования;</li> <li>• устаревшая технология строительно-монтажных работ, отсутствие резерва мощности и так далее</li> </ul>	Технические: строит.-монтажные, эксплуатационные и производственные (сопутствуют строительству новых объектов и их эксплуатации)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• недостаточность и неравномерность транспортной обеспеченности, диспропорция пространственной структуры транспортной системы;</li> <li>• слабая взаимозависимость и взаимодействие видов транспорта;</li> <li>• высокая степень износа и устаревания действующих транспортных средств;</li> <li>• сезонный характер работ</li> </ul>	Транспортные
<ul style="list-style-type: none"> <li>• высокая капиталоемкость проекта, длительный срок окупаемости инвестиций;</li> <li>• высокая себестоимость хозяйственной деятельности в арктическом регионе;</li> <li>• финансирование проекта из различных источников инвестиционных ресурсов (государственные, коммерческие(частные));</li> <li>• изменение волатильности ставки процента по кредитам;</li> <li>• неопределенность условий распределения финансовых ресурсов между участвующими сторонами проекта</li> </ul>	Финансовые (инвестиционные, кредитные, ценовые, процентные)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• влияние динамики конъюнктуры рынков;</li> <li>• высокие издержки производства, связанные с удаленностью рынков сбыта;</li> <li>• экономическое развитие арктических регионов имеет большое влияние на рыночный риск проекта, особенно когда рассматривается в долгосрочной перспективе</li> </ul>	Коммерческие (рыночные, экономические, отраслевые)

<ul style="list-style-type: none"> <li>• недооценка рисков, слабая проработанность и некорректное планирование проектов;</li> <li>• недостаточный уровень научно-технического взаимодействия с бизнес-структурами;</li> <li>• несогласованная координация деятельности исполнителей проектов и регламентация зон ответственности;</li> <li>• дефицит квалифицированных кадровых ресурсов</li> </ul>	Организационно-управленческие
<ul style="list-style-type: none"> <li>• негативные антропогенные и техногенные воздействия на арктическую среду обитания;</li> <li>• низкий уровень самоочищения природы;</li> <li>• несовершенство нормативно-правовой базы по жестким критериям охраны окружающей среды Арктики;</li> <li>• несогласованность деятельности основных стейкхолдеров экологической политики;</li> <li>• недостаточный уровень природоохранной деятельности и экологической безопасности;</li> <li>• несовершенства системы управления ресурсопользованием</li> </ul>	Экологические

*Источник: составлено автором*

Для решения проблем возможности снижения противоречий между экологизацией и рисками индустриальной Арктики необходимо применение комплексного и системного подхода к разрешению экологически опасных и конфликтных ситуаций на основе рационализации системы природопользования в условиях рисков промышленного освоения арктических территорий, предупреждения их возникновения, то есть существенной коррекции и даже перестройки взаимосвязей общества и природы, на основе поиска путей территориальной организации, взаимной адаптации природных и хозяйственных систем. Данное утверждение особенно важно для российской Арктики. Арктика чрезвычайно сложный регион для хозяйственной деятельности в экстремальных природно-климатических условиях, здесь очень тесные связи между составляющими: экономической, социальной и экологической.

Какое будет дальнейшее развитие арктических регионов, когда промышленные нагрузки на экосистемы будут только многократно возрастать? При оценке последствий промышленного воздействия на природу важное значение имеет выявление допустимых масштабов этого воздействия, при которых оно не причиняло бы вреда человеку и природе. Любое воздействие (техногенное или антропогенное) на природу характеризуется ответной реакцией со стороны окружающей среды. Анализ рисков свидетельствует о том, что в связи с особой уязвимостью экосистем этого региона и проблемами безопасной эксплуатации промышленных объектов необходим постоянный мониторинг состояния среды, применение специально адаптированных методов и средств по предотвращению негативного воздействия и оснащению средствами ликвидации последствий нештатных ситуаций.

Серьезным барьером на пути развития арктической зоны России является ее чрезвычайно ранимая природа и связанные с этим экологические ограничения хозяйственной деятельности. Этим обусловлена необходимость использования адаптированных к арктическим условиям дорогостоящих современных технологий и экологически дружественных систем природопользования. Соблюдение всех требований экологичности хозяйствования в Арктике обуславливает значимость экологически ответственного хозяйственного поведения, соблюдения требований охраны природной среды и требует значительных затрат на внедрение технологических новаций и технологическое обновление.

Существенной угрозой экологической безопасности во многом является слабая нормативно-правовая база, которая не оказывает должного воздействия на хозяйственную практику, к тому же нарушения законодательства по охране окружающей среды наблюдаются все чаще. Ежегодно растет уровень правонарушений

и преступлений в сфере экологии, наносящих существенный ущерб природе Арктики. Существующие правовые нормативы в этой сфере практически не применяются. Не выполняет в полной мере своих регулирующих функций система платежей за загрязнение окружающей среды, недостаточна и неудовлетворительна координация деятельности федеральных и региональных природоохранных служб.

В этой связи необходимо разработать систему мер институционального, регуляторного и административного характера в целях более эффективной организации защиты окружающей среды и ликвидации техногенных загрязнений (рис.1).

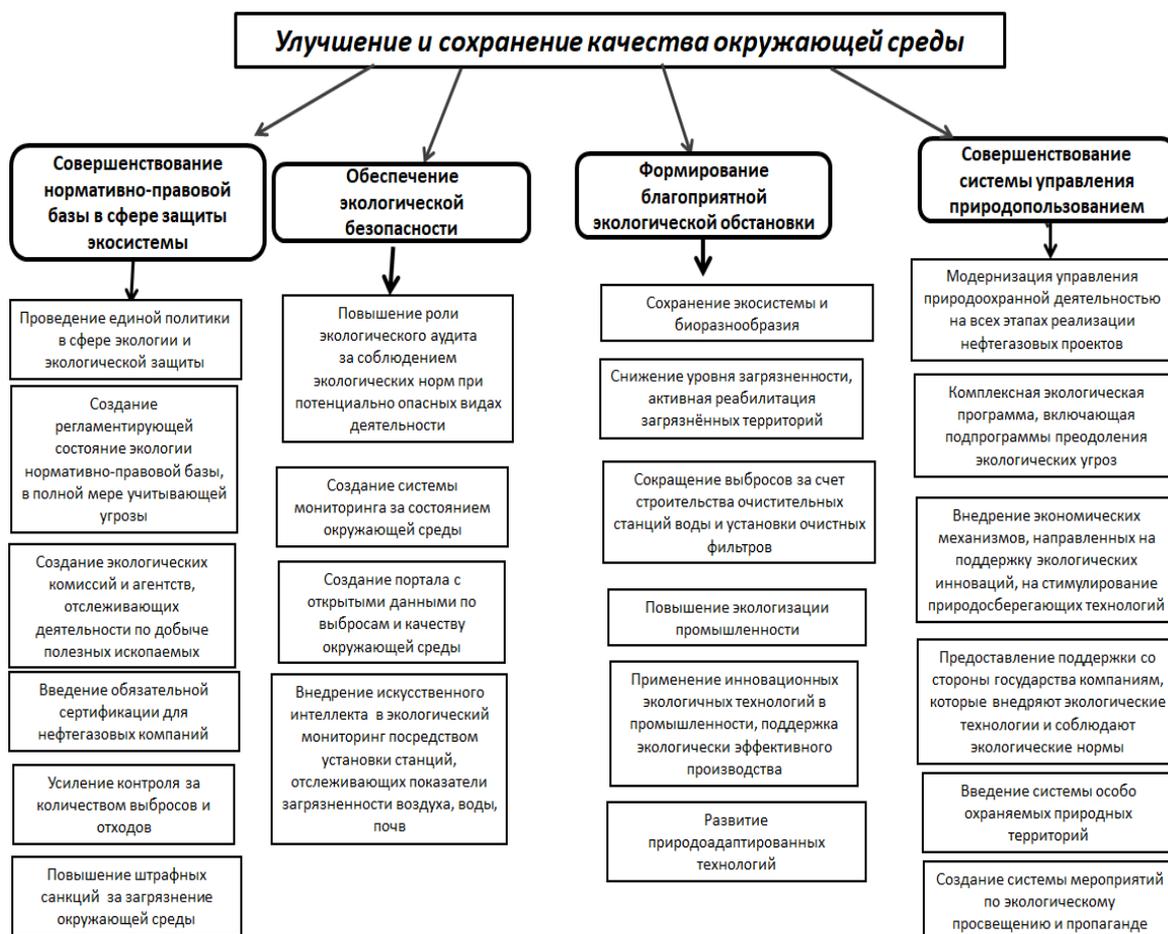


Рис. 1 – Детерминанты экологизации в контексте рисков промышленного освоения арктических территорий РФ

*Источник: составлено автором*

В связи с этим возникают новые задачи для экономической деятельности в Арктике в соответствии современным требованиям по защите окружающей среды в целях поддержания природного потенциала и экологичности процессов производства, необходимо формирование комплекса мероприятий, основанного на объединении сил и средств государства, регионов, органов местного самоуправления, производственных компаний, в том числе с использованием механизмов государственно-частного партнерства для поддержки и внедрения ресурсосберегающих и природоохранных технологий, координации деятельности хозяйствующих субъектов, их взаимодействия при разработке программ экономического развития и перспективного планирования (рис. 2).

Необходима общегосударственная политика, ориентированная на комплексный подход и административно-правовой контроль за эффективностью использования ресурсов. Экономика арктических территорий должна в большей мере основываться на

прогрессивных научно-технических достижениях в области химии, физики, микробиологии, наук о Земле и других наук. Решение задач по освоению Арктики с экстремальным и сложным климатом выражается не столько в увеличении ВРП, сколько в активной работе по освоению и использованию новых знаний, во внедрении прогрессивных технологий. Необходимо усиление связи в системе «наука-производство» - организации научно-технической и инновационной деятельности, в своевременной реакции на научно-технические достижения и использовании их для оптимизации осуществления арктических проектов.



Рис. 2 – Драйверы экологизации экономического развития АЗРФ  
 Источник: составлено автором

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моисеев Н.Н. Экологическое образование и экологизация образования / Н.Н. Моисеев // Труды Н.Н. Моисеева по вопросам современного образования. Академия МНЭПУ, 2012. с.52-57
2. Лаженцев В.Н. Методологические подходы к стратегическому планированию устойчивого развития территориальных хозяйственных систем. // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2013. № 1(13). С. 107-113

#### ПЕРСПЕКТИВЫ ЧУКОТСКОГО АО ПО ДОБЫЧЕ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Гальцева Н.В.

Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН, г. Магадан, galtseva@neisi.ru

Одна из главных задач Министерства природных ресурсов и экологии РФ – обеспечить стабильное функционирование отрасли недропользования и её развитие, в том числе - в условиях неблагоприятной для России внешнеэкономической и геополитической ситуации. Для преодоления рисков в области производства и потребления минерального сырья необходимо добиться реализации сценария полного

импортозамещения и самообеспечения страны. В планах Министерства сосредоточить бюджетное финансирование по двум основным направлениям: на объектах импортозависимого сырья и переоценке крупных объектов нераспределенного фонда [1].

По ряду полезных ископаемых (результатов их переработки) Россия высокочувствительна от импорта, хотя по ресурсной обеспеченности ими же занимает лидирующие места в мире. Такое положение дел может быть обусловлено отсутствием производственных цепочек в стране, наличием более дешевого импортного продукта (сырья), сложностью процесса извлечения некоторых полезных компонентов. По более широкому перечню ископаемых страна в достаточной степени обеспечена как собственными ресурсами, так и их добычей.

Экономика арктического Чукотского АО традиционно базируется на добыче золота (с недавнего времени произошло масштабное наращивание добычи угля), хотя ресурсный потенциал региона (с учётом разведанных запасов и ресурсов) характеризуется и наличием цветных металлов, редкоземельных металлов (РЗМ). В современных условиях диверсификация минерально-сырьевого комплекса Чукотского АО необходима и региону для устойчивости развития, и стране в целом – для импортозамещения по ряду полезных ископаемых (ПИ).

Охарактеризуем возможности добычи стратегических видов ресурсов на Чукотке в порядке убывания их дефицитности в стране.

**Третья группа обеспеченности запасами в РФ** – дефицитные ПИ, внутреннее потребление которых в значительной степени обеспечивается вынужденным импортом и (или) складированными запасами.

**Уран.** К 2030–2035 гг. с истощением запасов разрабатываемых урановых месторождений в России возможен дефицит уранового сырья, и это уже сейчас требует активного поиска новых месторождений [2, с.103-104]. Ресурсный потенциал урана Чукотского АО оценивается в 5 тыс. т., добыча уже велась в 1951–1953 гг., всего 2 года.

**РЗМ.** Россия располагает одной из крупнейших сырьевых баз редкоземельных металлов в мире. Основной проблемой их рынка является невозможность получения нужного количества отдельных металлов без добычи пропорционального количества других РЗМ, входящих в состав руды.

В Чукотском АО запасы рения (0,2 тыс. т) учтены в медно-порфировом месторождении Песчанка, которое готовится к освоению.

**Вторая группа обеспеченности** – достигнутые уровни добычи недостаточно обеспечены запасами разрабатываемых месторождений на период до 2035 г.

**Золото.** В распределенном фонде РФ на начало 2022 г. находится 88,1% балансовых запасов золота [2, с. 404]. Ресурсный потенциал золота Чукотского АО – 1,3 тыс. т (53% – запасы). Золотодобывающая отрасль является базовой для этого региона, поэтому поддержание и наращивание объемов добычи входит в число приоритетов регионального сообщества.

**Серебро.** Россия занимает 2-е место в мире по количеству запасов серебра и входит в пятерку его крупнейших продуцентов, обеспечивая около 6% мирового производства. В Чукотском АО серебро добывается в качестве попутного из золотосеребряных месторождений. Ресурсы серебра составляют 5,9 тыс. т. с долей запасов 67%.

**Первая группа обеспеченности** – сырьевая база достаточна для обеспечения потребностей экономики в долгосрочной перспективе.

**Медь.** Россия располагает крупной сырьевой базой меди, характеризующейся высокой степенью освоения – выше 90%, обеспеченность прогнозными ресурсами запасов составляет лишь 9 лет [3, с. 183], поэтому необходим поиск перспективных месторождений. Понимание данной ситуации привело к наращиванию геологоразведочных работ (ГРР), в результате прирост запасов в 2021 г. увеличился в

16 раз относительно 2020 г. Масштабный проект по освоению медно-порфирового месторождения Песчанка Баимской рудной зоны в Чукотском АО реализует казахстанская KAZ Minerals plc. Ввод в эксплуатацию запланирован в 2027 г., мощность составит 320 тыс. т/год меди в концентрате, включающем попутные золото, серебро и молибден, который планируется экспортировать в страны АТР, преимущественно в Китай. Общий ресурсный потенциал меди Чукотского АО – 11,2 млн т, в том числе 57% запасы.

**Олово.** Россия располагает одной из крупнейших сырьевых баз олова в мире, однако вследствие слабой развитости металлургического сектора и отсутствия интереса у инвесторов уровень ее вовлеченности в эксплуатацию низкий – всего 11% запасов [4]. В Чукотском АО ресурсный потенциал олова оценивается в 833,4 тыс. т, с долей запасов 46%. До настоящего времени не осваивается крупнейшее в России оловянное месторождение Пыркакай (запасы – 347 тыс. т) в связи с высокой капиталоемкостью проекта и низким содержанием олова в рудах (0,29%) [5]. Перспективные оловянные прибрежно-морские россыпи Чукотки могут рассматриваться как первоочередные объекты оловодобычи в России ввиду обеспеченности инфраструктурой, высокой доступности, использованием морской дражной отработки [6].

**Вольфрам.** Россия имеет одну из крупнейших в мире сырьевых баз вольфрама и занимает 3-е место по объёмам его добычи. При этом в разработку вовлечено всего 3,9% запасов металла [3, С. 279], поскольку при существующих технологиях, добыча его на отечественных месторождениях нерентабельна. В нераспределенном фонде недр Чукотского АО учитывается 25 вольфрамсодержащих месторождений (11 коренных и 14 россыпных) с общими запасами 68,3 тыс. т. Все рудные месторождения являются комплексными олововольфрамовыми с вольфрамитом в качестве основного рудного минерала.

**Условия вовлечения в отработку ресурсного потенциала.** Для вовлечения в отработку ресурсного потенциала стратегического сырья в регионах Крайнего Северо-Востока России необходимы определенные меры и условия в зависимости от группы обеспеченности запасами.

**Третья группа:** по РЗМ необходимо дополнительное изучение имеющихся месторождений, определение перспектив их использования и их встраивание в планы государства; по урану – актуализация данных о ранее открытых месторождениях и активизация поисковых работ для обнаружения новых месторождений.

**Вторая группа:** по благородным металлам требуется наращивание объемов геологоразведочных работ для компенсации добываемых запасов (в том числе за счет федеральных средств), стабилизация ситуации в отношении закупок Центробанка и экспорта, легализация так называемого «вольного приноса» и утверждение реального статуса техногенных месторождений.

**Первая группа:** по вольфраму необходимо доизучение объектов с целью перевода ресурсов в запасы; по олову – поиск инвесторов для организации добычи и переработки. С учетом быстрого исчерпания мировой сырьевой базы возможен интерес к российским месторождениям, в том числе находящимся в регионах Крайнего Северо-Востока со стороны иностранных компаний, при условии создания на Дальнем Востоке горно-обогачительного и металлургического производства.

Поиск и освоение новых месторождений в удаленных и малоосвоенных районах Чукотского АО требует опережающего создания объектов транспортной и энергетической инфраструктуры. Очень важны институциональные условия, которые способствуют активизации процесса освоения традиционных полезных ископаемых, возрождения добычи ранее извлекаемых видов сырья, начала освоения новых.

С 2014 г. приняты различные форматы преференциальных мер. Росту добычи минеральных ресурсов способствуют льготные налоговые режимы, устанавливаемые в отношении конкретных территорий и отдельных полезных ископаемых – Территория

опережающего развития (ТОР) «Чукотка», Льготный режим для Арктической зоны РФ (АЗРФ), а также бюджетное софинансирование инфраструктуры инвестиционных проектов в рамках государственных программ. В отношении отдельных видов минерального сырья с целью активизации их добычи использовались следующие адресные преференции (олово, вольфрам, РЗМ). Есть единичные случаи адресного введения льготного режима для проектов по добыче полезных компонентов на отдельных территориях (Хакасия).

Несмотря на то, что Чукотский АО не располагает остродефицитными полезными ископаемыми, такими как литий, титан, марганец, плавиковый шпат, характеристика его минерально-сырьевого потенциала свидетельствует о перспективности участия в процессе наращивания объемов добычи и начала освоения месторождений стратегических ресурсов. Реализация этого потенциала будет способствовать наряду с обеспечением минерально-сырьевой безопасности страны, повышению устойчивости региональной экономики. Санкционное давление 2022 г. на золотодобывающую отрасль показало уязвимость моноресурсных регионов и усилило актуальность диверсификации минерально-сырьевой базы крайнего регионов Северо-Востока России.

Для этого необходимо организовать доизучение ресурсного потенциала с целью перевода ресурсов в запасы промышленных категорий; перемещение геологоразведки в малоосвоенные районы для поиска новых перспективных объектов; опережающее строительство энергетической и транспортной инфраструктуры для разработки уже открытых месторождений; освоение новых месторождений с условием организации перерабатывающего производства и получением продукции с высокой добавленной стоимостью.

С учетом востребованности, степени изученности, инфраструктурной обеспеченности первоочередными для добычи полезными ископаемыми (за исключением традиционных – золота и угля) в Чукотском АО являются медь, олово, вольфрам, в более отдаленной перспективе – нефть, газ, уран, РЗМ.

Для привлечения внимания инвесторов и повышения эффективности отработки месторождений крайне важны благоприятные институциональные условия, создаваемые как для целых регионов, так и для отдельных видов ресурсов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Официальный сайт [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.mnr.gov.ru/press/news/voprosy\\_importozameshcheniya\\_i\\_razvitiya\\_mineralno\\_syrevoy\\_bazy\\_obsudili\\_na\\_polyakh\\_pmef\\_/?sphrase\\_id=506709](https://www.mnr.gov.ru/press/news/voprosy_importozameshcheniya_i_razvitiya_mineralno_syrevoy_bazy_obsudili_na_polyakh_pmef_/?sphrase_id=506709) (дата обращения 07.07.2023 г.)
2. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2021 г. / под ред. Тетенькина Д.Д., Петрова Е.И. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра). Москва, 2022. 623 с.
3. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 г. / под ред. Петрова Е.И., Тетенькина Д.Д. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра). Москва, 2021. 569 с.
4. Генвосток Медиа [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://genvostok.media/news/novoe-predpriyatie-po-pererabotke-olovyannyh-konzentratov-planiruetsya-otkryt-v-habarovskom-krae/> (дата обращения 07.07.2023 г.)
5. Инвестиционный портал Чукотского автономного округа. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://invest-chukotka.ru/news/investiczionnyie-proektyi> (дата обращения 07.07.2023 г.)

6. Лаломов А. В., Бочнева А. А., Чефранов Р. М., Чефранова А. В. Россыпные месторождения Арктической зоны России: современное состояние и пути развития минерально-сырьевой базы // Арктика: экология и экономика. 2015. № 2. С. 66–77.

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОРЕННЫХ НАРОДОВ И НЕДРОПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ ПРОМЫШЛЕННОМ ОСВОЕНИИ АРКТИКИ

Гассий В.В.<sup>1</sup>, Слепцов А.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Кубанский государственный университет, г. Краснодар, [vgassiy@mail.ru](mailto:vgassiy@mail.ru)

<sup>2</sup> Северо-Восточный федеральный университет, г. Якутск, [uyandi@mail.ru](mailto:uyandi@mail.ru)

В настоящее время промышленное освоение Арктики рассматривается как новая национальная идея, которая базируется на принципах экономической безопасности национального хозяйства, обеспечения интересов государства в высоких широтах, инновационности и принципиально новых технологических и управленческих решениях. Именно Арктический регион становится площадкой внедрения передовых технологий и апробации новых подходов к реализации инвестиционных проектов в сфере добычи полезных ископаемых, а также программ, нацеленных на улучшение качества жизни местного населения. Экстремальные температуры, суровый климат и труднодоступность мест освоения являются основными стимулами инноваций в арктической промышленности. Экономическая эффективность добычи напрямую связана с вопросом материалоотдачи, повышения производительности при рациональном использовании ресурсов [1]. Поэтому проблеме внедрения инноваций в промышленное производство посвящено значительное количество публикаций отечественных ученых, изучающих арктическую тематику. Бизнес, как правило, не готов нести существенные затраты на дорогостоящее оборудование, редко сознательно идет на инновационные улучшения. Внедрение новых производственных технологий, сокращающих потерю ценного сырья, безопасных по отношению к окружающей среде, осуществляется преимущественно крупными компаниями с государственным участием.

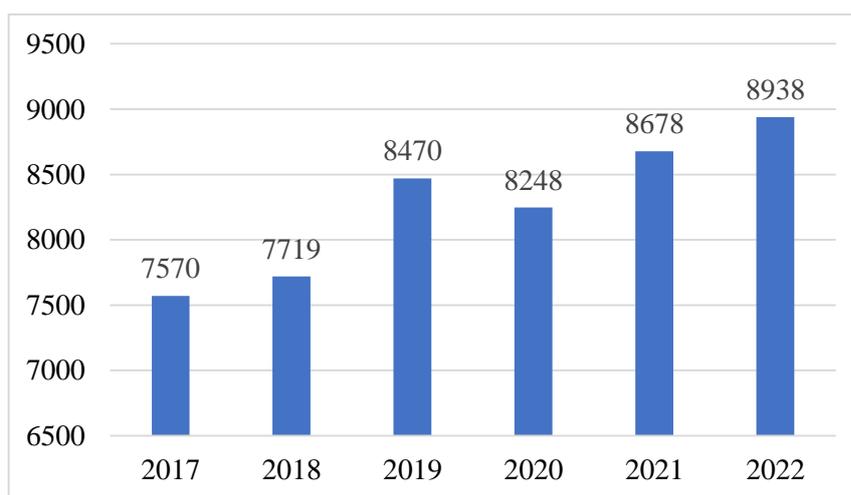


Рис. 1 – Число используемых передовых производственных технологий в Арктической зоне Российской Федерации, ед. [2]

По данным федеральной службы государственной статистики, в Арктических регионах страны наблюдается устойчивый рост количества используемых передовых производственных технологий (рис. 1). Это связано, прежде всего, с совершенствованием оборудования в сфере нефте- и газодобычи, недропользования в

целом, а также ужесточением экологических требований к недропользователям. Обеспечение устойчивости арктической экосистемы является приоритетным направлением деятельности государства, поэтому вопросы развития и промышленного освоения территорий Заполярья неразрывно связаны с экологической безопасностью флоры и фауны, а также самого человека.

Следует отметить, что численность постоянно проживающего населения Арктики нестабильна и подвержена колебаниям, что видно из данных, представленных в Таб.1. Согласно прогнозу, этот показатель в 2023 г. продолжит снижение и составит предварительно 2362591 чел. (2046950 – городское, 315641 – сельское население). Наиболее сложной ситуация в сельской местности: там отмечается стабильная убыль населения. Как правило, такие территории характеризуются низким уровнем жизни, отсутствием развитой инфраструктуры [3]. В этой связи промышленное освоение, которое затрагивает преимущественно интересы сельского населения (например, Республика Саха (Якутия)) может и должно рассматриваться как фактор социально-экономического развития, обеспечения занятости, снижения социальной напряженности.

Таблица 1 – Численность постоянного населения Арктической зоны Российской Федерации, чел. [4]

Годы	Все население	Городское население	Сельское население
2022	2 377 271	2 059 418	317 853
2021	2 605 769	2 257 148	348 621
2020	2 431 518	2 138 852	292 666
2019	2 439 220	2 145 297	293 923
2018	2 406 420	2 139 620	266 800

По подсчетам Министерства энергетики РФ для обеспечения промышленных предприятий нефтегазовой отрасли, действующих в арктическом регионе, современным оборудованием машиностроения, а транспортную отрасль - технологиями для работы на шельфе, перевозки добытого сырья, необходимо 5 трлн руб. Эта сумма включает также реализацию проектов по промышленному развитию и комплексному освоению территории Арктики [5]. Согласно российской арктической Стратегии, высокая ресурсоемкость промышленного производства и жизни населения являются особенностями социально-экономического развития этого региона [6]. Поэтому в будущем предполагается реализация проектов, направленных как на промышленное освоение новых месторождений с применением инновационных технологий, так и осуществление мер поддержки населения в целях недопущения оттока населения и совершенствования человеческого капитала Арктики. Следует отметить, что технологический прорыв в Арктической зоне является одним из приоритетов реализуемой государственной политики. Примером значительного сдвига в технологиях и цифровой среде может служить проект «Синергия Арктики», согласно которому все арктические районы Республики Саха (Якутия) получат оптоволоконный Интернет к 2025 году. Данный проект призван значительно улучшить качество жизни 72 тыс. чел., что связано с равным доступом к государственным услугам, медицинскому консультированию, социальным коммуникациям.

Помимо необходимого перевооружения промышленных предприятий, а также внедрения технологий добычи, позволяющих не нарушать чувствительную экосистему Арктики, в Стратегии обозначается цель обеспечения достойного уровня жизни местного населения. В целом, на основе анализа публикаций отечественных исследователей, можно констатировать переосмысление в научном сообществе России

роль человека в Арктике [7, 8, 9]. В работах данных авторов рассматривается человеческий капитал как основа устойчивого развития российской Арктики, обеспечения целей промышленного освоения. Более того, сам процесс освоения природно-ресурсного потенциала представляется в качестве фактора трансформации как самого человека, наделенного знаниями и компетенциями, так и усложнения социального взаимодействия целевых групп внутри региона. Под целевыми группами следует понимать субъектов социально-экономических отношений, действующих в пределах арктических региональных систем. Обобщенно такими целевыми группами являются органы государственной и муниципальной власти, бизнес, включая все его категории, население арктических городов, сельских поселений, коренные малочисленные народы Севера, их родовые общины, некоммерческие организации различного рода [10].

Развитие взаимоотношений недропользователей и коренных малочисленных народов Севера является отдельным направлением изучения социально-экономических процессов в Арктике, так как специфика северных территорий обуславливает факторы и условия их осуществления. Территории традиционного природопользования представляют собой такую категорию земель, на которых действует особый правовой режим. Промышленное освоение Арктики, продвигающееся вглубь ранее недоступных территорий, все больше затрагивает традиционный образ жизни и виды хозяйствования коренных малочисленных народов Севера. Угроза потери уникального нематериального культурного наследия, многовековых традиций с одной стороны и необходимость реализации национальных интересов страны заставляют органы власти, бизнес, научное и экспертное сообщество разрабатывать подходы для соблюдения балансов интересов всех заинтересованных сторон [11].

Значительным шагом на пути преодоления конфликтов в Арктике между недропользователями и коренными народами явилось принятие закона об этнологической экспертизе, призванного перевести такие отношения в правовое поле [12]. Следует отметить, что Республика Саха (Якутия) стала первым регионом в Российской Федерации, где был принят закон, защищающий права коренных народов. Спустя более чем десятилетие его реализации, механизмы проведения этнологической экспертизы претерпели серьезные изменения, процедуры усовершенствовались, а сумма, выплаченных компенсаций родовым общинам превысила 800 млн руб.

В настоящее время задача проведения этнологической экспертизы понимается намного шире, чем расчет и выплата компенсаций за утраченные возможности осуществлять традиционное хозяйство на родовых землях. Оценка воздействия на исконную среду обитания, традиционный образ жизни и традиционное природопользование коренных малочисленных народов Российской Федерации представляет собой комплексную проблему, связанную с реализацией корпоративной социальной ответственности недропользователей на землях родовых общин. В Якутии существует множество примеров, когда наряду с компенсационными выплатами, промышленные компании реализуют специальные программы по строительству объектов социальной и транспортной инфраструктуры, поддержке традиционных отраслей хозяйствования и культуры коренных народов, а также проекты в сфере образования и трудоустройства местного населения.

Опыт Якутии успешно перенимается другими арктическими регионами, где также существует необходимость поддержки и защиты коренных малочисленных народов Севера. С развитием Северного морского пути, промышленного освоения, а также внутреннего арктического туризма, территории традиционного природопользования будут значительно меняться. Управление изменениями, а также обеспечение устойчивого социально-экономического развития должно быть основано на партнерском взаимодействии бизнеса и населения Арктики, прежде всего, коренных малочисленных народов Севера.

*Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ, проект № 21-510-22001 «Государственное регулирование недропользования и охраны окружающей среды во Франции и в арктической зоне Российской Федерации: сравнительное исследование, методология и практика».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инновационное развитие промышленности регионов Арктики: проблемы и перспективы: монография / научный редактор В. А. Цукерман. Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2022. 138 с.
2. Число используемых передовых производственных технологий в Арктической зоне Российской Федерации // Федеральная служба государственной статистики. Режим доступа: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/pok\\_66\\_Calendar1\\_2023.xlsx](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/pok_66_Calendar1_2023.xlsx) (дата обращения 25.08.2023 г.)
3. Яшалова Н.Н., Потравный И.М.. Возможности применения ESG-принципов и методов климатического финансирования в управленческой практике предприятий черной металлургии // Черные металлы. 2023. № 5. С. 76-81.
4. Оценка численности постоянного населения сухопутных территорий Арктической зоны Российской Федерации // Федеральная служба государственной статистики. Режим доступа: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/pok\\_67\\_Calendar1\\_2023.xlsx](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/pok_67_Calendar1_2023.xlsx) (дата обращения 26.08.2023 г.)
5. Освоение Арктики в перспективе // ЦДУ ТЭК. Режим доступа: [https://www.cdu.ru/tek\\_russia/issue/2020/1/705/](https://www.cdu.ru/tek_russia/issue/2020/1/705/) (дата обращения 02.09.2023 г.)
6. Указ Президента Российской Федерации от 26 октября 2020 г. № 645 «Об утверждении Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года». Режим доступа <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45972> (дата обращения 30.08.2023 г.)
7. Соколова И.Б., Сморгачева В.И., Юсов А.Б. Человеческие ресурсы Российской Арктики // Государственная служба. 2017. №3 (107). С.86-93
8. Никифоров Н.В., Осипова В.И., Татарина Д.А. Вахтовые поселки нового типа в условиях Крайнего Севера // Человеческий ресурс как фактор развития Арктики и северных территорий [электронный ресурс] : сборник материалов Международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, г. Якутск, 29-30 ноября 2018 г. / [Науч. ред. Н.В. Малышева]. – Якутск : Издательский дом СВФУ, 2018. – с.113-117.
9. Маркин В.В., Силин А.Н., Малинина К.О. Воспроизводство человеческого капитала в арктических регионах России: социокультурный контекст // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2021. Т. 14. № 5. С. 220–243. DOI: 10.15838/esc.2021.5.77.13
10. Стойков В.Ф., Гассий В.В., Постников А.В. Социально-экономическое развитие арктических регионов России в современных условиях: возможности и ограничения // Бизнес. Образование. Право. 2022. № 3 (60). С. 13-18.
11. Слепцов А.Н., Потравная Е.В., Кривошапкина О.А. Как учесть мнение населения при промышленном освоении Арктики // Вестник Российского фонда фундаментальных исследований. Гуманитарные и общественные науки. 2023. № 2 (113). С. 35-48.
12. Закон РС (Я) 820-3 №537-IV от 14.04.2010 «Об этнологической экспертизе в местах традиционного проживания и традиционной хозяйственной деятельности КМНС» // официальный сайт Министерства по развитию Арктики и делам народов Севера Республики Саха (Якутия). Режим доступа: [https://arktika.sakha.gov.ru/\\_etnologicheskaja-ekspertiza\\_](https://arktika.sakha.gov.ru/_etnologicheskaja-ekspertiza_) (дата обращения: 28.08.2023 г.).

## РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИНСТИТУТЫ В РАМКАХ РЕАЛИЗАЦИИ ГОСУДАРСТВЕННОЙ АРКТИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ

*Гомелаури А.С.*

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,  
gomelauri@yandex.ru

Арктика является сложным, но, несомненно, перспективным регионом. Существенные запасы ресурсных богатств, которые хранят арктические земли, представляют немалый экономический интерес для Российской Федерации, что во многом обуславливает стремление государства к освоению территорий. Политическая стратегия, декларируемая на федеральном уровне, отчетливо демонстрирует намерения Российской Федерации активно развивать Арктику, [1, с. 97-100] однако, возможность реализовывать идеи федерального центра на уровне субъектов зачастую оказывается ограничена, в том числе и институционально.

### **Арктическая политика Российской Федерации**

О том, что арктическое направление имеет высокий приоритет в контексте политики Российской Федерации, ставшей правопреемником Союза Советских Социалистических Республик, стало известно еще в 1990-х годах. В 1998 году на федеральном уровне была предпринята попытка рассмотреть законопроект «Об арктической зоне Российской Федерации», необходимость которого, с точки зрения законодателей, обуславливалась ухудшившейся экономической ситуацией в регионе, снижением частоты использования Северного морского пути, неразвитостью предпринимательства, а также существенными проблемами коренных жителей [2]. Однако упомянутый закон так и не был принят, что отчасти объяснялось значительным дефицитом бюджета и невозможностью обеспечить меры поддержки арктической зоны [2]. Только в 2008 году основные цели государства в области Арктики и механизмы их реализации были определены на законодательном уровне, причем особое внимание уделялось непосредственно расширению изучения и освоения ресурсной базы, формированию научно-исследовательского кластера для изучения арктических территорий, обеспечению экологической и военной безопасности [3]. Следует отметить, что в тот же период были охарактеризованы и ключевые вызовы, с которыми надлежит справляться для достижения устойчивого развития арктического региона: в числе таковых назывались специфические природные и климатические условия, высокая зависимость от поставок продовольственных, бытовых, технологических и иных важных товаров, недостаточная оснащенность промышленных предприятий и научно-исследовательских организаций и пр. [4]. Кроме того, немалые опасения вызывала проблема человеческого капитала: в сложные для страны 1990-е годы арктический регион столкнулся с оттоком населения, мигрирующего в более благополучные части России, что привело к демографическим сложностям и дисбалансу на рынке труда [4]. Таким образом, Арктика, освоение которой обещало немалые экономические выгоды, оказалась «проблемной зоной», нуждавшейся в пристальном внимании со стороны государства.

Работа по всестороннему развитию региона продолжилась: в 2014 году на законодательном уровне были обозначены территории, отнесенные к зоне Арктики [5], в 2015 году была создана Государственная комиссия по вопросам развития Арктики, на которую возлагались функции по уточнению требующих решения арктических задач, мониторингу эффективности реализуемых программ и проектов, координированию деятельности федеральных и субъектных органов власти, осуществляющих арктическую политику и т.д. [6]. Не прекратилась разработка нормативно-правовой базы и после формирования упомянутого института. Так, в 2020 году были принят акт, предопределивший вектор арктической политики государства до 2035 года: Стратегия

развития Арктической зоны Российской Федерации (далее – АЗРФ) [7]. Не лишним будет отметить, что упомянутая стратегия установила основные черты, характеризующие территории, включенные в арктическую зону: Мурманская область, Ямало-Ненецкий, Ненецкий и Чукотский автономные округа, а также отдельные территории республик Коми, Саха (Якутия), Карелия, Красноярского края и Архангельской области определялись экстремальными природно-климатическими условиями, подверженными изменениям в результате глобальных трендов к повышению температуры, чувствительностью экологических систем, сложностями промышленно-хозяйственного освоения, ресурсоемкостью и пр. [7]. И, как следствие, в рамках обеспечения устойчивого развития территорий должны были быть предприняты меры внешнеполитического (в рамках международных отношений) и внутривнутриполитического направления (адаптация экономического состояния и инфраструктуры к трансформирующимся условиям Арктики, организация системы защиты экологии региона и т.д.) [7], которые смягчили бы негативные эффекты.

Современные кризисные обстоятельства требуют патерналистской модели поведения [8, с. 38] со стороны государства, а также централизованного политического управления [9, с. 29], и это в полной мере демонстрирует анализ упомянутой Стратегии, позволяющий говорить о том, что федеральный центр определяет систему целей и задач, которые должны быть реализованы каждым конкретным арктическим субъектом, таким образом задавая жесткие рамки для региональной активности [7]. Между тем, и в таком формате распределения полномочий спектр региональных вопросов, требующих решения для обеспечения комплексного развития Арктики, оказывается объемным, включая хозяйственно-экономические, инфраструктурные, социальные, научно-образовательные и иные проблемы.

#### **Арктическая политика Российской Федерации: региональный аспект**

Субъекты, включенные в состав Арктической зоны Российской Федерации, как уже указывалось выше, сходны по многим параметрам, однако невозможно отрицать и то, что каждый из них имеет свою специфику. Более того, не будет преувеличением сказать, что эта индивидуальность оказывает значимое влияние на путь развития субъектов. Исследователи указывают, что арктические субъекты различаются по географическому положению, выделяя европейскую Арктику, а также центральную и восточную зоны, по наличию человеческого капитала – численности и плотности населения (в настоящее время самым населенным является Красноярский край, где проживает 2,85 млн. человек, а наименее населенным – Ненецкий автономный округ с 41,4 тысячами жителей) [10], по степени административно-территориальной включенности в АЗРФ (полностью, либо частично включенные), вовлеченности в промышленную деятельность и т.д. [11, с. 462-465]. Соответственно, каждый субъект обладает особыми чертами, которые предопределяют степень его развития и готовность преодолевать возникающие проблемы.

В числе экономически развитых арктических регионов, о чем свидетельствуют данные об уровне ВРП, находятся Ямало-Ненецкий автономный округ, республика Саха (Якутия) и Красноярский край, несколько хуже обстоят дела в Мурманской и Архангельской областях, а также республике Коми, наконец, республика Карелия, Ненецкий и Чукотский автономные округа демонстрируют худшие показатели не только среди субъектов АЗРФ, но и в целом по России [12]. Характерно, что подобное разделение сложно объяснить исключительно географическими и населенческими факторами, а также степенью инфраструктурного развития. Субъекты, относящиеся к европейской Арктике [11, с. 462] и, как следствие, территориально близкие к европейской части России, отличаются высоким уровнем инфраструктурного развития, имеют тесную связь с Северным морским путем, и, в случае Мурманской области и республики Карелия – граничат с развитыми зарубежными государствами, однако не входят в первую категорию. Между тем, можно выделить нечто общее, что позволяет

очертить круг наиболее успешных регионов – ресурсная база, в основе которой лежит добыча и обработка полезных ископаемых.

Прогресс республики Саха (Якутия) – самого масштабного из субъектов Российской Федерации, опирается на ресурсные богатства, включая запасы нефти, газа, каменного угля, железных руд, алмазов и пр. [13, с. 97] – добыча полезных ископаемых обеспечивает 1/2 ВРП региона [12]. Сходную картину демонстрирует и Ямало-Ненецкий автономный округ: разработка месторождений нефти, газа и других полезных ископаемых предопределила его промышленное и инфраструктурное развитие – добыча и переработка сырья предполагает наличие налаженной транспортной сети – аэропортов (при крупных городах и вахтовых поселках), железных дорог для перевозки грузов, морских портов для развития товарооборота по Северному морскому пути. Красноярский край – второй по площади субъект России, территория которого только частично относится к АЗРФ, не обладает столь объемными запасами нефти и газа, однако там находится 95 % российских запасов никеля и платиноидов, а также значительные залежи угля и металлов [13, с. 87], что обеспечивает почти половину ВРП. [12]

В Мурманской области налажена добыча апатитов, никелевых и железных руд и других металлов [13, с. 56-57], значимый вклад в развитие Архангельской области вносит освоение лесопромышленного комплекса, добыча алмазов, бокситов, свинцово-цинковых руд [13, с. 26-27] – однако в обоих случаях добыча полезных ископаемых и деятельность обрабатывающих производств менее чем на треть вносят вклад в ВРП субъектов [12]. Республика Коми обладает запасами нефти (3 % от общероссийских), газа, каменного угля, титана, бокситов, что сформировало базу, дающую почти половину ВРП. [12]

На территории Карелии отсутствуют месторождения нефти и газа, которые зачастую вносят значимый вклад в экономику арктических регионов. В республике находятся месторождения железных, никелевых и медных руд, золота, титана и иных полезных ископаемых [13, с. 36-37], что формирует треть ВРП субъекта. [12] Экономика Ненецкого автономного округа опирается на нефтегазодобывающий сектор, Чукотского – на горнодобывающую промышленность [13, с. 66-67; 106-107], что обеспечивает, в первом случае, более половины ВРП региона, и, во втором, более трети [12].

Итак, субъекты, чье благосостояние за редким исключением базируется на добыче и обработке полезных ископаемых, имеют и соответствующие нужды научно-исследовательского, инвестиционного, технологического и другого характера. Иными словами, регионы, включенные в зону Арктики, обладают широким кругом потребностей, которые не способны в полной мере удовлетворить самостоятельно, поскольку этому препятствуют суровые климатические условия, что затрудняет или делает невозможным ведение сельскохозяйственной деятельности, специфика структуры населения, приведшая к дисбалансу на рынке труда и необходимости вахтового завоза специалистов, невозможность своими силами обеспечить инновационные решения и инвестиционные вливания для расширения промышленного производства и пр. Подобные проблемы требуют скоординированного подхода, и попыткой ответить на существующие вызовы является создание соответствующих институтов.

Представляется весьма интересным, что не каждый субъект имеет институт, позволяющий комплексно оценивать работу в арктическом направлении. Из 9 субъектов АЗРФ только в трех созданы органы исполнительной власти, в той или иной степени задействованные в сфере планирования и осуществления региональной арктической политики. В республике Саха – Министерство по развитию Арктики и делам народов Севера, сформированное в конце 2018 года путем преобразования существовавшего ранее Государственного комитета по делам Арктики, что

предопределило передачу полномочий с учетом их расширения: Министерство наделялось функциями в области формирования и координации политики, затрагивающей вопросы развития арктических территорий субъекта, проблемы социально-экономической сферы, инвестиционной деятельности, положения коренных малочисленных народов Севера, а также преодоления негативных последствий в результате хозяйственной активности человека в зоне Арктики. В Мурманской области – Министерство развития Арктики и экономики Мурманской области, созданное в 2021 году, на которое возлагаются обязанности по выработке политики преимущественно в экономической сфере, причем основной акцент делается на промышленное развитие, предпринимательскую и инвестиционную деятельность, торговлю, международные и межрегиональные связи. В Красноярском крае – Совет по развитию Севера и Арктики, сформированный в 2023 году как совещательный орган при Губернаторе, в чьи функции входит координация деятельности исполнительных органов субъекта, а также внесение предложений, направленных на обеспечение устойчивого развития арктических территорий субъекта в социальной, экономической, инфраструктурной и экологической сферах. Таким образом, можно прийти к выводу, что компетенции исполнительных органов субъектов, задействованных в выработке и реализации арктической политики, различны по объему. Кроме того, указанные институты имеют разные возможности в осуществлении политики, затрагивающей развитие арктических территорий.

Следует отметить, что помимо трех субъектов, входящих в АЗРФ, где существуют институты, наделенные арктическими компетенциями, такой орган имеет и один неарктический регион – город федерального значения Санкт-Петербург, где действует Комитет Санкт-Петербурга по делам Арктики, созданный в 2018 году. Его ключевой целью является согласование деятельности исполнительных органов власти региона, что уже становилось предметом критики: как указывалось в заключении Контрольно-счетной палаты, Комитет де-факто дублирует функции других органов, а реализуемые им программы напрямую не отвечают нуждам АЗРФ. Действительно, несмотря на возможности Санкт-Петербурга, как крупного экономического, научно-технологического, образовательного центра, способного содействовать делу развития Арктики, город непосредственно не входит в зону Арктики и, хотя нацелен на межрегиональное сотрудничество, представляется в большей степени хорошим партнером для представителей АЗРФ, нежели непосредственным участником, сталкивающимся с теми же вызовами, что и арктические субъекты.

Итак, на государственном уровне уделяется немалое внимание арктическому направлению политики и обеспечению устойчивого развития АЗРФ, при этом федеральный центр осуществляет патерналистское влияние на регионы, обеспечивающее координацию региональной активности, направленной на улучшение ситуации в Арктике. Вместе с тем, субъекты имеют значительное количество задач, требующих решения, что обеспечивается спецификой их положения и стоящими перед ними проблемами экономического, социального и иного толка. Однако только один субъект, полностью включенный в АЗРФ, два, чьи территории частично отнесены к арктическим, и один неарктический имеют институты, в том или ином объеме участвующие в осуществлении арктической политики, что может сдерживать комплексное развитие Арктики в результате отсутствия целенаправленной стратегии, охватывающей все сферы деятельности органов власти, необходимой координации между действующими институтами для своевременного решения возникающих проблем и т.д.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Журавель В.П. Арктика в 2022 г.: итоги и перспективы // Научно-аналитический вестник ИЕ РАН. 2023. № 1. С. 95-102.

2. Об арктической зоне Российской Федерации. [Электронный ресурс]: Система обеспечения законодательной деятельности: Законопроект № 98061514-2. Режим доступа: <https://sozd.duma.gov.ru/bill/98061514-2> (дата обращения: 14.07.2023).
3. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу. [Электронный ресурс]: Законы, кодексы и нормативно-правовые акты Российской Федерации: Приказ от 18.09.2008 № 1969. Режим доступа: <https://legalacts.ru/doc/osnovy-gosudarstvennoi-politiki-rossiiskoi-federatsii-v-arktike/> (дата обращения: 14.07.2023).
4. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года. [Электронный ресурс]: Правительство России. Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/2RpSA3sctElhAGn4RN9dHrtzk0A3wZm8.pdf> (дата обращения: 14.07.2023).
5. О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации. [Электронный ресурс]: Официальный сайт президента России. Режим доступа: <http://static.kremlin.ru/media/events/files/41d4d8e8206d56fc949d.pdf> (дата обращения: 14.07.2023).
6. О Государственной комиссии по вопросам развития Арктики. [Электронный ресурс]: Нормативно-правовая база «Гарант». Режим доступа: <https://base.garant.ru/70901032/> (дата обращения: 14.07.2023).
7. О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года. [Электронный ресурс]: Официальный сайт президента России. Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45972> (дата обращения: 14.07.2023).
8. Деревянко В.А., Василенко С.В., Слинко А.А. 2022. Новые реалии региональной политики. Регион: системы, экономика, управление. № 1 (56). С. 36-40.
9. Травин Д.Г. О некоторых вопросах региональной политики. Государственная служба. 2021. № 5 (23). С. 26-30.
10. Численность постоянного населения Российской Федерации в среднем за год. [Электронный ресурс]: Росстат. Режим доступа: <https://showdata.gks.ru/report/278930/> (дата обращения: 16.07.2023).
11. Глухов В.В., Детгер Г.Ф., Туккель И.Л. Типологизация регионов Арктической зоны Российской Федерации и формирование локальных инновационных систем. Россия в Глобальном мире. 2016. № 8 (31). С. 458-486.
12. Валовой региональный продукт (с 2016 года) в 2021 году. [Электронный ресурс]: Росстат. Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/statistics/accounts> (дата обращения: 16.07.2023).
13. Комплексное исследование регионов Арктической зоны Российской Федерации. Основные направления сотрудничества Санкт-Петербурга в Арктике. 2020. СПб.: НИУ ВШЭ, 305 с.
14. Проверки органов государственной власти: Комитет Санкт-Петербурга по делам Арктики (2019–2020 годы и истекший период 2021 года). [Электронный ресурс]: Контрольно-счетная палата Санкт-Петербурга. Режим доступа: [https://ksp.org.ru/deyatelnost-organizatsii/rezultaty-proverok-kontrolnaya-deyatelnost/organy-gosudarstvennoy-vlasti/?ELEMENT\\_ID=966](https://ksp.org.ru/deyatelnost-organizatsii/rezultaty-proverok-kontrolnaya-deyatelnost/organy-gosudarstvennoy-vlasti/?ELEMENT_ID=966) (дата обращения: 19.07.2023).

## ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНАХ РОССИИ

Гурьев М.И.

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, guryev.m.i@gmail.com

Сегодня арктическая зона Российской Федерации является одним из приоритетных направлений социально-экономического развития нашей страны. Во многом это обусловлено тем, что в регионе располагаются крупнейшие природные ресурсы, возможности для транспортного пути и сотрудничеству с другими странами [3]. К Арктическим регионам России относятся следующие регионы: Мурманская и Архангельская области, республики Саха (Якутия), Коми и Карелия, Красноярский край, Ямало-Ненецкий, Ненецкий, Чукотский автономные округа (рис. 1).

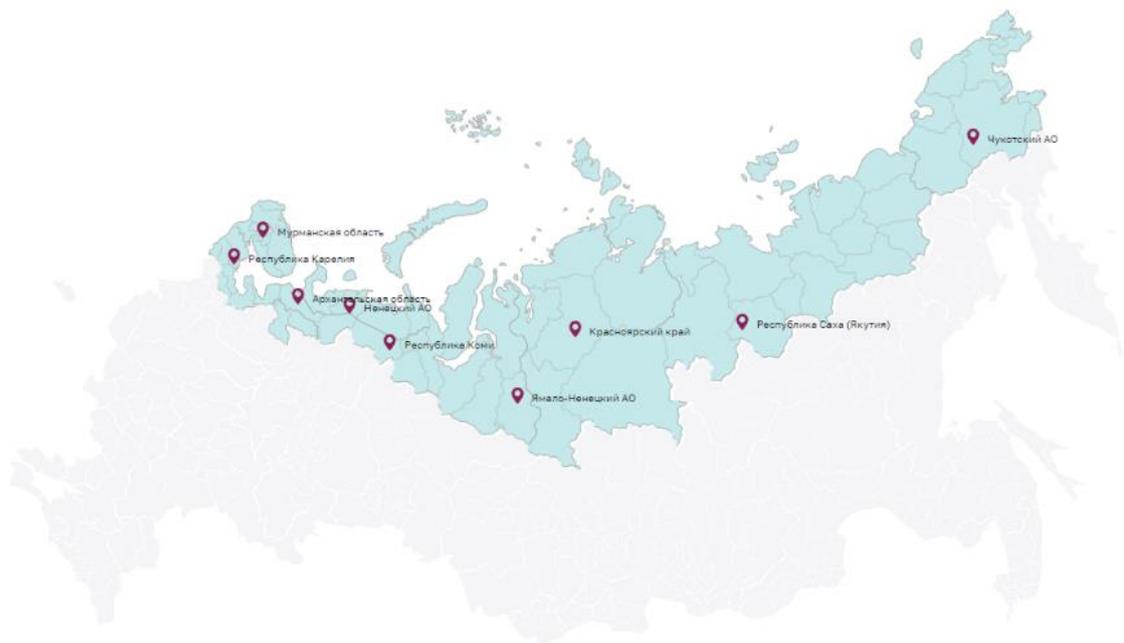


Рис. 1 – Расположение регионов, входящих в состав Арктической зоны России

Осенью 2020 г. Президентом России была утверждена стратегия развития Арктической зоны до 2035 года, в которой отражены основные риски и угрозы, направления, цели, задачи, методы и механизмы их достижения. Исходя из стратегии, в настоящее время наиболее актуальны проблемы, связанные с низким уровнем и качеством жизни населения арктических регионов и его сокращением, ухудшение климатических условий, отдалённостью и труднодоступностью территорий, а также с высоким уровнем профессионального риска [10].

Одной из ключевых проблем Арктики является электроснабжение, несмотря на крупные запасы углеводородов, сосредоточенных на данной территории. В данный момент северные регионы арктической зоны до сих пор не подключены к централизованной системе энергообеспечения из-за своей отдаленности, большой протяженности и особых природных климатических условий. При этом себестоимость дизельного топлива достаточно высокая, что вызвано его сложной транспортировкой по средствам «северного завоза», которая усложняется природно-климатическими условиями и удаленностью субъектов [5].

Однако несмотря на все вышперечисленное, все регионы, входящие в состав арктической зоны, продолжают использовать данный вид топлива при том, что

регулярно наблюдаются перебои в его поставке, а коэффициент полезного действия дизельных электростанций достаточно низкий [8]. Далее рассмотрим показатели производства, передачи и распределения электроэнергии на основе дизельного топлива по субъектам (табл. 1). В таблице 1 представлены показатели производства, передачи и распределения электроэнергии по средствам дизельного топлива по регионам в период с 2017 по 2022 годы.

Таблица 1 – Производство, передача и распределение электроэнергии на дизельном топливе, тонны

Регион	Период					
	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Республика Саха (Якутия)	78753	101516	105186	100576	101807	104140
Красноярский край	13837	15719	18973	23029	26578	35084
Архангельская область	17333	16857	22081	17495	16100	15280
Ненецкий автономный округ	-	-	-	12862	15719	15645
Ямало-Ненецкий округ	31948	20678	18868	17322	10091	8252
Республика Коми	7271	8285	5185	5451	5725	7231
Республика Карелия	1981	2121	2183	2157	1902	1723
Мурманская область	1119	1255	1140	1611	1221	1551
Чукотский автономный округ	1389	1082	1031	1091	1070	1284

Абсолютным лидером среди регионов является Республика Саха, чьи показатели за шесть лет увеличились на 25 387 тонн. Данная тенденция связана с удаленностью региона от центра страны, что затрудняет ее включение в централизованную систему энергоснабжения. При этом значительное влияние оказывают природно-климатические условия и большая протяженность территории [2].

На второй позиции в таблице 1 расположен Красноярский край, являющийся вторым по площади субъектом в Российской Федерации, что напрямую влияет на производство, передачу и распределение энергии.

Рассматривая показатели остальных регионов можно отметить, что использование дизельного топлива с каждым годом снижается, однако до сих пор остаются достаточно высокими.

Еще одной проблемой в сфере энергетической деятельности арктической зоны является изношенность инфраструктуры, что напрямую сказывается на эффективности производства электроэнергии (табл. 2).

Исходя из данных, представленных в таблице 2, можно отметить тенденцию повышения процента изношенности энергетических фондов по всем субъектам, кроме Красноярского края, в котором наблюдается положительная динамика изменения энергетической инфраструктуры региона. Наблюдаются и небольшие изменения в Республике Саха (Якутия). Можно предположить, что это связано с тем, что большую часть фондов составляют объекты, построенные еще во времена Советского Союза, а эффективная энергетическая деятельность требует современных технологичных производств [1]. Если в 2012 г. наибольшая изношенность наблюдалась в Мурманской области (43,6%), Красноярском крае (41,5%) и Республике Саха (Якутия) (46,8 %), то к 2022 году на лидирующие позиции вышли Архангельская область (57,7%) и Республика Карелия (52,3%). При этом Мурманская область сохраняет негативную динамику с 2012 по 2022 годы.

Решить существующие проблемы можно по средствам внедрения современных инновационных технологий с учетом территориальных особенностей и природно-климатических условий. Одним из методов, соответствующих всем показателям регионов, являются возобновляемые источники энергии, реализация которых позволит сократить использование дизельного топлива [4].

Таблица 2 – Степень износа основных фондов предприятий, занимающихся обеспечением электрической энергией газом и паром, %

Субъект	Период										
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Республика Карелия	27,6	34,3	39,5	44	47,1	50,2	54,4	58,1	47,2	54,7	52,3
Республика Коми	26,8	27,3	31,8	31,8	36,2	40,9	41,5	44,2	46,4	44,3	45,7
Архангельская область	35,2	36,1	44,4	51,9	53,2	49,9	50,2	49,6	50,7	53,6	57,7
Ненецкий автономный округ	28,1	27,2	28,7	30,7	34,6	39	43,4	46,4	47,5	45,1	43,7
Мурманская область	43,6	44,2	48,2	48	49,9	52,5	54,6	56,8	47,6	50,8	53,2
Ямало-Ненецкий автономный округ	34,7	31,1	29,2	32,8	30,6	32,4	40,4	41,8	43,9	45,2	47
Красноярский край	41,5	41,1	38,4	34,3	23,4	27,3	27,3	31,7	31,9	30,6	29,4
Республика Саха (Якутия)	46,8	47,2	42,4	39,4	41	44,5	44,6	45,9	39,9	42,4	46,1
Чукотский автономный округ	38,1	41,6	45	47,4	48,5	49,8	47,6	49,4	52,2	39,6	42

Наиболее привлекательным источником возобновляемой энергии является ветер в условиях арктической зоны. Однако в настоящее время в России отсутствуют необходимые технологии для масштабного распространения ветровых станций, а импорт из других стран невозможен в силу несоответствия климатических условий. Но в настоящее время предпринимаются попытки внедрения данных установок. Например, в декабре 2022 года в Мурманской области была запущена Кольская ветроэлектростанция, которая уже демонстрирует высокую производительность [10].

Еще одним источником является солнечная энергия, использование которой позволит снизить затраты на электроэнергию, но ее применение будет носить сезонный характер в связи с особенностями природных условий. Так в 2021 году были запущены первые энергоустановки на солнечных батареях в отдаленных селах Чукотского автономного округа.

Будущим перспективным направлением в сфере энергетики может стать использование газогидратов, которыми богата арктическая зона. Однако их использование в промышленности на данный момент невозможно, в виду недостаточного изучения и применения на экспериментальном уровне [6].

Последним рассматриваемым источником возобновляемой энергии является водород, который отличается экологичностью и высокой энергетической плотностью. При этом в Арктике запасы этого ресурса достаточно обширны, что дает возможность использовать его не только в качестве топлива, но и как накопитель энергии.

Сегодня развитие энергетики с использованием возобновляемых источников энергии носит точечный характер. Зачастую строительство таких энергетических объектов связано с проведением экспериментов, поэтому говорить о их эффективности и обеспечении нужд арктических регионов не предоставляется возможным. При этом проектов с применением возобновляемых источников электроэнергии на сегодняшний день достаточно мало из-за нехватки финансирования, необходимых технологий и высокопрофессиональных кадров, несмотря на их перспективность и эффективность использования в суровых климатических условиях и территориальной отдаленности [7].

В заключении можно отметить, что в настоящее время совершенствование энергетической деятельности является одной из приоритетных задач развития регионов арктической зоны [9]. При существовании ряда серьезных проблем в данной сфере

таких, как использование дорогостоящего топлива, отдаленность от централизованной системы энергообеспечения, отсутствия нормативного правового обеспечения, недостаточного финансирования, высокого процента изношенности фондов и нехватки высококвалифицированных кадров, разрабатываются и внедряются перспективные и эффективные энергетические проекты с использованием источников возобновляемой энергии, способные сократить экономические расходы, решить вопрос с транспортировкой топлива, обеспечить потребности субъектов арктической зоны, а также снизить негативное влияние на экологию Арктики и повысить ее привлекательность для проживания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Агарков С.А., Козьменко С.Ю., Ульченко М.В. Геоэкономика и политика в современном развитии арктических коммуникаций // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2017. № 4 (106). С. 19–26.
- 2 Моисеев Н.Н., Львов Д.С., Петров А.А., Питерский В.М. Укрепление российской государственности: экономика, ресурсы, геополитика. М.: Геоинформарк, 2020. - С. 74 – 75.
- 3 Савенков, А.Н. Арктика: правовое обеспечение устойчивого развития и сотрудничества // Труды Института государства и права РАН. 2018. №1. С. 22–42.
- 4 Скотаренко, О.В. Исследование социально-экономических процессов в Арктической зоне на основе региональной квалиметрической концепции // Арктика: общество и экономика. 2019. № 14(14). С. 42–44.
- 5 Смоленцев, Д.О., Ивина, О.Н. Сравнительная оценка энергоустановок малой мощности для децентрализованного энергоснабжения // Атомная энергия. 2018. № 5. С. 281–284.
- 6 Соловьев Д.А. Энергетика в Арктике: проблемы адаптации и риски [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://temp/01\\_\(2\)\\_Соловьёв\\_I8.pdf?ysclid=197478](https://temp/01_(2)_Соловьёв_I8.pdf?ysclid=197478).
- 7 Государственная программа «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://government.ru/rugovclassifier/830/ts/>.
- 8 Государство вплотную занялось энергетикой Арктики [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://publico.ru/news/gosudarstvo-vplotnyu-zanyalos-energetikoj-arktiki/>.
- 9 Лахно П.Г. Энергия, энергетика и право [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://wiselawyer.ru/poleznoe/19776-ehnergiya-ehnergetika-pravo>.
- 10 Энергетические инновации в условиях Арктики [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://energypolicy.ru/energeticheskie-innovaczii-v-usloviyah-arktiki/neft/2021/13/15/?ysclid=lhuq1671>.

#### ЭКОНОМИКА РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ: НОВЫЙ ВЕКТОР РАЗВИТИЯ

*Данилин К.П., Иванова М.В., Данилина В.Г.*

Институт экономических проблем им. Г.П. Лузина, г. Апатиты, [k.danilin@ksc.ru](mailto:k.danilin@ksc.ru)

Арктическая экономика никогда не определялась только физико-географическими характеристиками. Суровые условия арктического региона всегда были связаны с существенными издержками в ведении хозяйственной деятельности, а экономика – представляла и представляет сложный комплекс взаимодействия социальных, политических, организационных и технологических процессов. Вопросы согласования интересов различных акторов в процессе экономического освоения Арктики находятся в фокусе публикаций современных исследователей арктической

экономики [1, 2, 3], где подчеркивается связь государственных интересов с арктическими исследованиями и экономическим развитием. Освоение Арктики всегда было дорогостоящим проектом, что подтверждается основными вехами истории и позволяет выделить несколько основных направлений (векторов) развития: советский, постсоветский и «новый».

Важным методическим ограничением настоящего исследования будет служить тот факт, что историю экономического освоения Арктики мы начинаем проследить с начала XX века. Все основные процессы освоения Арктики начинались с поиска экономических ресурсов и вовлечения их в хозяйственный оборот государства. Историю освоения Арктики до XX можно рассматривать, как нулевой этап освоения или нулевой вектор. С точки зрения математической теории нулевой вектор представляет собой точку. Можно сказать, экономика Мангазеи [4], основанная на торговле пушниной и солеварные, китобойные и рыболовецкие промыслы, которыми славились Арктика до XX века, были обусловлены возможностью получения сверхприбылей отдельных компаний, как отечественных, так и иностранных, в определённых точках. [5] Но именно системный подход к развитию Арктических территорий наблюдается с начала XX века. Отдельным вопросом, нужно рассматривать интересы коренных народов, которые не всегда учитывались на этом этапе развития, что было характерно как для отечественного, так и для зарубежного освоения Арктики. При этом отечественные практики взаимодействия с коренными народами были более гуманными, и, как правило, основывались на организации товарного обмена с аборигенным населением Севера. Обмен происходил с частными лицами и домохозяйствами, объединёнными по национальному признаку в промысловые и сельскохозяйственные группы, которые занимались традиционной деятельностью, такой как оленеводство, охота, рыбная ловля, транспортные услуги.

**Первый вектор** — это период, когда Советский Союз предпринял решительные шаги по изучению и развитию этого стратегически важного региона, достигнув высоких результатов. Именно за счёт данного прорыва появились критические арктические технологии (например, ледокольный флот и строительство капитальных строений в условиях вечной мерзлоты), были проложены важнейшие пути арктической логистики, которые обеспечивают связность Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) и сегодня (главным примером здесь является Северный морской путь (СМП)), основана сеть арктических городов. Это привело к тому, что на 1989 год население отечественного сегмента Арктики достигло 3.3 миллионов человек. [6]

Важно отметить, что данный период был связан с необходимостью освоения минеральных ресурсов Арктики в условиях глобальной конкуренции двух систем: социалистической и капиталистической. Подвиги советских геологов по открытию и изучению месторождений Арктики и горняков по их освоению позволяли получить необходимые для страны ресурсы во время индустриализации, Великой Отечественной войны, Холодной войны и далее.

Активное освоение новых земель повлияло на образ жизни коренных народов Севера. В связи с промышленным использованием арктических территорий в период коллективизации индустриализации, стал невозможен доступ коренного населения к местам, ранее доступным для охоты, рыбалки, собирательства и т.д. Проходили добровольные и принудительные переселения. В связи с этим для части северных народов полукочевой образ жизни сменился на оседлый. Традиционная экономическая жизнь и быт подверглись значительному видоизменениям, а создание коллективных хозяйств негативно сказалось на ряде традиционных северных промыслов. В тоже время, на государственном уровне активно поддерживалась культура коренных народов Севера: издавалась литература на национальных языках, существовали специальные образовательные программы, изучался фольклор.

В начале 90-х, начался переход социалистической системы хозяйствования к новой, постсоветской [7]. Десятилетний переходный период привел к застою в арктических проектах, в том числе и поддержке СМП, постепенно разрушалась невостребованная экономикой инфраструктура. Экономические проблемы испытывали и крупные горнодобывающие предприятия, например, Ловозёрский ГОК в Мурманской области [8]. Распад СССР привел к разрыву многих технологических циклов, в том числе по выпуску тантала, ниобия, редкоземельных металлов. За границами России остались заводы, производившие редкоземельные металлы (Казахстан, Киргизия, Эстония), металлический ниобий и тантал. Возникли перебои с потреблением и переработкой лопаритового концентрата. Это только один пример того, как рушились сложные цепочки и высокотехнологическое производство приходило в упадок.

**Второй вектор** развития Арктики начался в 2000-ых, когда новая хозяйственная система страны стала более устойчивой и началась эпоха новых арктических проектов. Арктика снова начала восприниматься как территория необходимая государству в экономическом и геополитическом смысле, был принят перечень важных документов стратегического развития АЗРФ.

Однако отток населения остановить не удастся, более того население АЗРФ сокращается быстрее, чем в остальной России. По оценкам экспертов, АЗРФ на протяжении последних лет снижается доля населения трудоспособного возраста при росте доли населения старше трудоспособного возраста. Миграция населения сама по себе не представляет угрозы для демографической ситуации, фактически рынок труда саморегулируется: нет предложения — люди уезжают в другие регионы. Однако важно отметить, что, как правило, за пределы регионов выезжает наиболее мобильное население — молодежь. Миграционная убыль молодежи усугубляет естественную убыль, поскольку сокращается доля населения детородного возраста. Как следствие, сокращение доли населения трудоспособного возраста и, соответственно, трудовых ресурсов и замедление экономического роста [9].

Несмотря на миграционные потери арктического населения активно развиваются новые и временно «забытые» старые проекты, которые были расконсервированы в 2000-ые годы. Например, это Ямальская железная дорога, которая теперь доходит до Надыма, построены Варандейской нефтяной терминал, добыча угля на Таймыре, плавучая атомная тепловыделяющая установка «Академик Ломоносов» в Певеке и т.д. Возрождается проект «Северный широтный ход». Реализуется масштабный проект «Восток Ойл», «Ямал СПГ», Баимский медно-золотой проект и другие. Реализован проект добычи на месторождении «Приразломное». Это первый в мировой практике кейс по добыче нефти в Арктике. Всё это привело к тому, что арктическая экономика стала составлять около 12% ВВП России, а доля АЗРФ в экспорте находится на уровне около 25% [10].

В Арктике активно начали внедряться новые технологии. Особенно в части информационно-коммуникационных, что для арктического региона особенно актуально т.к. связность с «большой землёй» является критически важным фактором в том числе и социальной стабильности. Можно привести несколько примеров из совершенно разных областей: от технологии дистанционного бурения, которые использует ряд горнодобывающих компаний до возможностей, которые открывает телемедицина для удалённых регионов. И конечно, стоит отдельно отметить развитие уникальных технологий подводного бурения на арктическом шельфе.

Коренные малочисленные народы Севера в этот период получили свободу объединения в некоммерческие организации для представления своих интересов. Созданы программы государственной поддержки культурных традиций и хозяйствования коренных малочисленных народов Севера.

Подводя итоги за период реализации второго вектора развития Российской Арктики, следует отметить: Россия существенно укрепила свои позиции в мировой

арктической повестке, активно отстаивая и реализуя свои экономические и политические интересы в рамках международных организаций, таких как Арктический совет, Арктический экономический совет, Совет Баренцева/Евроарктического региона и других. [11] Также страны Запада были не только основными потребителями арктических ресурсов, но и осуществляли совместную деятельность по разработке новых месторождений. Был дан новый старт развитию Северного морского пути в качестве конкурентоспособной на мировом рынке национальной транспортной коммуникации РФ. СМП фактически стал точкой сборки экономического пространства Арктического региона, где осуществляли свою деятельность крупнейшие представители ресурсоэксплуатирующих компаний [2].

Новые геополитические условия определили **третий вектор** развития арктической экономики. На данный момент он только формируется, но уже сейчас можно представить прогноз некоторых основных параметров, которые будут лежать в основании данного направления.

Во-первых, уже происходит переориентация поставок Арктических ресурсов в страны АТР. Это создаёт определённую турбулентность, но можно привести пример с углём Сарыдасайского месторождения, который уже сейчас поставляется в Китай, хотя изначально планировалось, что поставки будут идти в том числе и в Роттердам. Кроме того, планируются поставки по СМП в Бразилию, Турцию, Индию и другие страны. [12] Во-вторых, происходит процесс импортозамещения арктических технологий и использование в Арктике технологий из дружественных государств, что вовлекает в арктическую повестку новые регионы. В горнодобывающей отрасли уже применяют решения из дружественных стран, которые разработаны специально для Арктики.

В-третьих, государство будет играть более значительную роль в арктической экономике, чем раньше. Примером государственного влияния может служить ГК «Росатом», которая занимается не только непосредственно ядерными технологиями, но и является оператором СМП и участвует в проектах по разработке полезных ископаемых в Арктике.

В-четвёртых, можно утверждать, что в сравнении с первым периодом будет уделено большее внимание экологическим вопросам. Об этом свидетельствует кейс с рекордными экологическими штрафами, которые стали накладывать на некоторые горнодобывающие компании.

Поддержка коренных народов и сохранение традиционных промыслов станет важной экономической и культурной составляющей этого этапа развития Арктики.

Таким образом период геополитической турбулентности, весьма вероятно, станет периодом активной интенсификации экономического развития АЗРФ, которое приведёт не к простой эксплуатации природных ресурсов Арктики (хотя добыча природных ископаемых определённо останется ключевым драйвером освоения труднодоступных территорий), а к целостному устойчивому социально-экономическому развитию пространства в российском секторе Заполярья.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Потравный, И. М. Методы согласования интересов заинтересованных сторон при обосновании и реализации проектов промышленного освоения Арктики / И. М. Потравный, Е. В. Черноградская // Стратегии и инструменты экологически устойчивого развития экономики : сборник трудов XV Международной научно-практической конференции Российского общества экологической экономики, Ставрополь, 02–05 июля 2019 года. – Ставрополь: Издательство "АГРУС", 2019. – С. 60-67.
2. Иванова, М. В. Северный морской путь как пространство согласования интересов для устойчивого социально-экономического развития Арктики / М. В. Иванова, К. П. Данилин, М. В. Кошкарёв // Арктика: экология и экономика. – 2022. – Т. 12, № 4. – С. 538-550. – DOI 10.25283/2223-4594-2022-4-538-550.

3. Прокопова, С. М. Городская среда Арктики: оптимизация и цифровизация / С. М. Прокопова, С. Г. Кравчук, Н. П. Гарин // Академический вестник УралНИИПроект РААСН. – 2021. – № 3(50). – С. 40-44. – DOI 10.25628/UNIP.2021.50.3.007.
4. Реут, Г. А. Роль Мангазейского пути в движении русских на восток / Г. А. Реут // Арктика 2019: традиции, инновации, экология, безопасность, проблемы коренных малочисленных народов : Материалы международной научно-практической конференции, Красноярск, 17–18 мая 2019 года. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2019. – С. 144-148.
5. Гагиева, А. К. Роль купеческого элемента в освоении арктических территорий Европейского Севера России во второй половине XIX - начале XX века. К постановке проблемы / А. К. Гагиева, Н. Н. Гагиев // Историческая демография. – 2020. – № 1(25). – С. 50-53. – DOI 10.19110/2304-5922-2020-1-50-53.
6. Соколова, Ф. Х. Этнодемографические процессы в Российской Арктике / Ф. Х. Соколова // Арктика и Север. – 2015. – № 21. – С. 151-164. – DOI 10.17238/issn2221-2698.2015.21.151. – EDN UYYENT.
7. Лексин, В. Н. Социально-экономические проблемы Российской Арктики. Между прошлым и будущим / В. Н. Лексин // Российский экономический журнал. – 2018. – № 5. – С. 3-25. – EDN PIRVQS.
8. Нечаев, А. В. Потенциал и реалии редкоземельного сырья Кольского полуострова / А. В. Нечаев, Е. Г. Поляков // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. – 2023. – Т. 14, № 1. – С. 64-68. – DOI 10.37614/2949-1215.2023.14.1.011. – EDN UTUEIT.
9. Влияние миграционных процессов на социально-экономическое развитие территорий Арктической зоны Российской Федерации / Л.В. Воронина, А. Г. Шеломенцев, Е. В. Смиреникова, А. В. Уханова // Север и рынок: формирование экономического порядка. – 2019. – № 3(65). – С. 122-132. – DOI 10.25702/KSC.2220-802X.2019.65.3.122-132.
10. Люкевич, И. Н. Системная социально-экономическая диагностика мегарегиона арктической зоны российской Федерации / И. Н. Люкевич, А. С. Микуленок // Экономические науки. – 2023. – № 218. – С. 67-83. – DOI 10.14451/1.218.146.
11. Салыгин, В. И. Задачи развития российской Арктики в новой международной обстановке / В. И. Салыгин, А. К. Криворотов // Север и рынок: формирование экономического порядка. – 2022. – Т. 25, № 3(77). – С. 7-18. – DOI 10.37614/2220-802X.3.2022.77.001.
12. Кошкарев, М. В. Значение освоения ресурсов угля в развитии арктического региона / М. В. Кошкарев, К. П. Данилин // Север и рынок: формирование экономического порядка. – 2022. – Т. 25, № 4(78). – С. 72-85. – DOI 10.37614/2220-802X.4.2022.78.005.

## **К ВОПРОСУ О РАЗВИТИИ СИСТЕМЫ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)**

*Заостровских Е.А.*

Институт экономических исследований ДВО РАН, г. Хабаровск, zaost@ecrin.ru

Растущий интерес к внутреннему водному транспорту в рамках развития Северного морского пути объясняется возможностью создания единой водной системы страны, сочетающей широтное и меридиональные направления<sup>1</sup>. Это позволит создать устойчивую регулярную транспортную связь с отдалёнными и труднодоступными

---

<sup>1</sup> План развития Северного морского пути на период до 2035 года. Распоряжение Правительства РФ. № 2115-р. 01.08.2022.

территориями, развивать Северный морской путь, а также даст возможность формировать альтернативные транспортные коридоры [1]. Идея такова, что развитие производственных объектов обеспечит загрузку транспорта, снимет инфраструктурные ограничения, а также привлечёт дополнительные перевозки, в том числе транзит.

Республика Саха (Якутия) имеет такую возможность. На её территории находится Ленский бассейн, общей протяжённостью 21,7 тыс. км, который имеет разветвлённую сеть водных путей и выход на арктический порт Тикси.

Понимание новой роли водного транспорта в развитии Якутии, безусловно, требует пересмотра. Это, в том числе, ведёт к переосмыслению не только условий перевозок «северного завоза» и транзитных перевозок, но и взаимодействия со смежными видами транспорта (железнодорожным, автомобильным, морским).

Особенно это актуально в новых экономических условиях, когда перекраиваются стратегические ориентиры развития транспорта страны. Одним из таких решений явился Указ Президента РФ №474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года», что позволит равномерно распределить финансовую нагрузку, путём отбора наиболее важных и стратегически значимых инфраструктурных проектов<sup>2</sup>.

Кроме того, важно понимать, что меняется конфигурация международных морских магистралей. Это выражается в том, что меняются транспортные артерии в мире в сторону стран Востока [2]. При этом зреют некоторые ключевые неопределённости, которые окажут существенное влияние на то каким образом будут формироваться международные морские магистрали, а также создадут возможную развилку событий:

- 1) скорость ужесточения климатического регулирования;
- 2) степень разворота мировой экономики от глобализации к регионализации.

В настоящее время водным транспортом Якутии завозится более 80% грузов. Доставка грузов в арктические пункты имеет свою специфику – грузы формируют в большие партии для их дальнейшей отправки судоходными компаниями [3]. ЛОРП является самой крупной компанией по перевозке грузов (53%) на балансе, в которой находится 295 ед. флота средним возрастом 35,4 лет. Наиболее крупный порт Якутск перерабатывает основную часть региональных грузов различного назначения для северных регионов. Завоз грузов традиционно осуществляется по трём направлениям (рис. 1).

В системе завоза отмечаются изменения в географии отправки грузов. Если в 2014 г. ввоз грузов по первому направлению составлял – 45%, по второму – 36% и по третьему – 19% [4], то в 2021 г. – 9,6%, 45,2% и 45,2%, соответственно. Изменение логистики доставки грузов связано с обмелением верховий р. Лена и снижением перевалки грузов в порту Осетрово, вводом в эксплуатацию железнодорожной линии Беркакит – Н. Бестях.

Если говорить в целом о работе водного транспорта Якутии, то нельзя не отметить снижение его показателей. Так за последние 9-ть лет (2014-2022 гг.) сократился объём пассажирских перевозок на 27,4% и составил 141,2 тыс. человек. Снизился пассажирооборот на 26,2% и составил 12,7 млн пасс. км. Упали объёмы перевозки грузов на 11,4% и достигли отметки 3,1 млн т. Такое снижение, в первую очередь, связано с развитием альтернативной транспортной инфраструктуры (трубопроводного и железнодорожного видов транспорта), а также с интенсивным выбытием флота, слабой технической оснащённостью портов, отсутствием слаженной системы перевозки грузов [5].

---

<sup>2</sup> Указ Президента РФ №474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года»

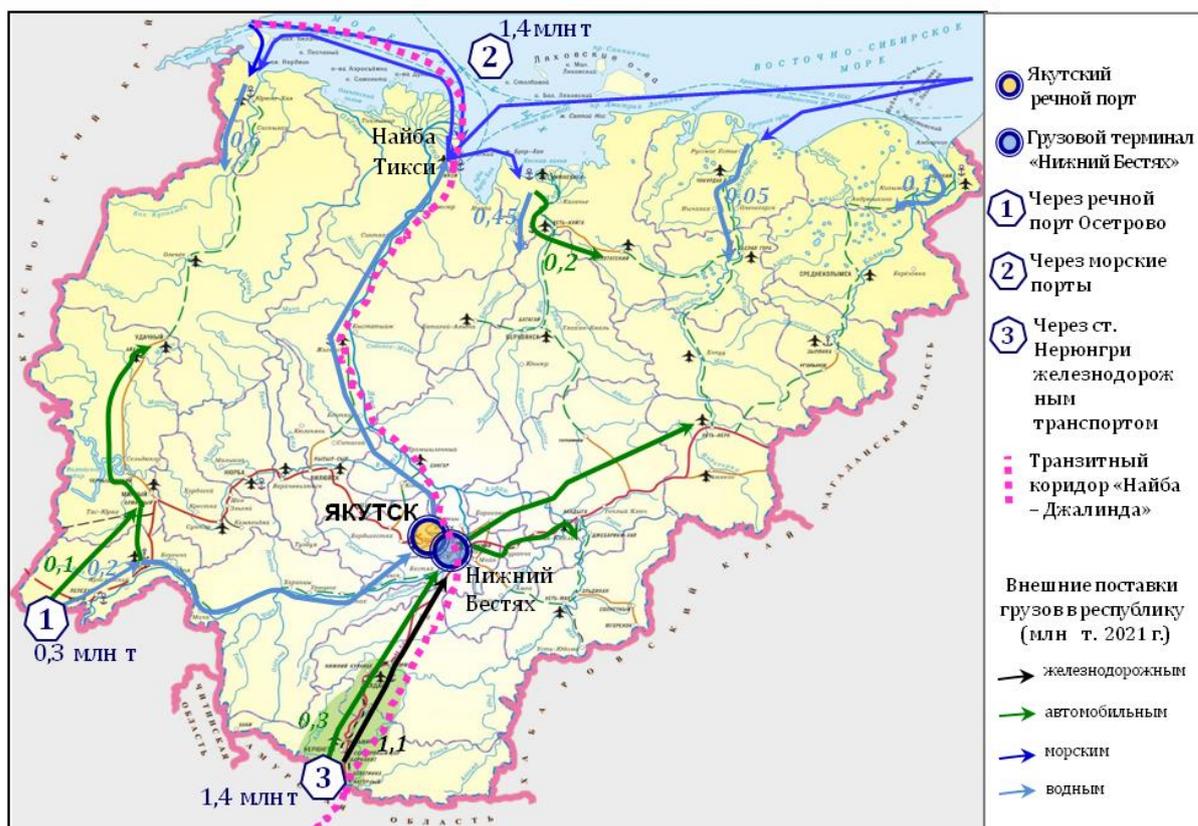


Рис 1. - Схема организации завоза грузов в Якутии

Источник: составлено автором.

Согласно Стратегии развития транспортно-логистического узла в посёлке Нижний Бестях планируется создать мультимодальный хаб с обработкой до 6,3 млн т грузов различного назначения. На первом этапе будет создана инфраструктура водного транспорта для обеспечения доставки грузов на север в объёме 3,7 млн т. На втором этапе, с учётом строительства Ленского моста, будет сформирован транзитный коридор «Найба – Джалинда», где объёмы перевозок составят в районе 2,6 млн т.

Вместе с тем перспективы развития сырьевых и инфраструктурных проектов Якутии<sup>3</sup>, которые приходятся на один и тот же период (2022-2023 гг.), что может привести к «инвестиционной усталости» и негативно сказаться на экономическом развитии региона [6].

Более того, в Республике Саха (Якутия) в среднесрочной перспективе надлежит реализовать сразу же несколько крупных инфраструктурных проектов: строительство автомобильного моста через реку Лена, строительство морского порта Найба, создание логистического терминала в посёлке Нижний Бестях, а также строительство Жатайской судовой верфи.

Реализация таких крупных проектов, в первую очередь, потребует реализации проектов, которые формируют транспортный каркас Якутии. Во вторую – проекты, которые направлены на развитие отраслевой структуры экономики. А также выявить проекты, которые отложены на неопределённый срок, имеют небольшой объём мощностей, поэтому они несущественны для развития экономики в настоящее время. Такая классификация подразумевает смещение финансовой нагрузки с одного и того же инвестиционного периода.

<sup>3</sup> Развитие внутреннего водного транспорта Республики Саха (Якутия) и внутренних водных путей Ленского бассейна. Распоряжение Правительства РС (Я) от 29.06.2017 г., № 812-р; Стратегия развития Якутского транспортно-логистического узла Республики Саха (Якутия) до 2032 г., Распоряжение Правительства РС(Я) от 28.12.2020 № 1250-р.

Кроме того важное значение будут иметь: формирование современных портовых сооружений и судов река-море ледового класса, создание объектов инфраструктуры (плавсредств, дноуглубительной техники, кранового хозяйства, включая портовые и причальные сооружения), а также проведение инженерных геодезических изысканий в руслах рек Ленского бассейна.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зачёсов А.В. Организация завоза грузов речным транспортом в арктические районы Сибири с учётом особенностей транспортных путей северо-востока страны // Заметки Ученого. 2023. № 3. С.256-261.
2. Заостровских Е.А. VII Восточный экономический форум // Регионалистика. 2022. Т. 9. № 5. С. 88–91. <http://dx.doi.org/10.14530/reg.2022.5.88>
3. Омуков В. В. Формирование регулярного судоходства в Ленском бассейне // Транспорт и логистика в Арктике. Северный морской путь: курс – Дальний Восток. Альманах. Том 2. – Москва: "Техносфера". 2016. С. 57-62.
4. Егорова Т. П., Пантилов Э. И. Трансформация региональной транспортно-логистической системы в целях устойчивого развития северного региона // Устойчивый Север: общество, экономика, экология, политика. Сборник трудов VII Всероссийской научно-практической конференции. – Якутск: Издательский дом СВФУ, – 2022. – С. 366–375.
5. Заостровских Е. А. Внутренний водный транспорт Дальневосточного региона в современных условиях // Транспортное дело России. 2022. № 5. С. 175-177. DOI 10.52375/20728689\_2022\_5\_175.
6. Пилясов А. Н. Региональная промышленная политика В арктических территориях: какая она есть и какой ей быть? // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2021. Т. 24, № 3(73). С. 7-29. DOI 10.37614/2220-802X.3.2021.73.001.

### СВЯЗНОСТЬ ПРОСТРАНСТВА СЕВЕРА РОССИИ КАК ОДИН ИЗ КЛЮЧЕВЫХ ПРИОРИТЕТОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ ГЕОПОЛИТИЧЕСКИХ ТРАНСФОРМАЦИЙ

*Ильин В.А., Кожевников С.А.*

Вологодский научный центр РАН, г. Вологда, [kozhevnikov\\_sa@bk.ru](mailto:kozhevnikov_sa@bk.ru).

**1. Введение.** В условиях обострения геополитического противостояния России со странами коллективного Запада, нарастания санкционного давления остро встает задача повышения эффективности использования *внутреннего потенциала страны*, к числу наиболее важных составляющих которого относится огромный и в значительной степени нереализуемый пространственный потенциал. Ее решение актуализирует необходимость создания условий для обеспечения *связности пространства*. Эти проблемы являются крайне важными для Севера и Арктики России, которые составляют 2/3 площади страны.

*Целью* доклада является исследование вызовов и проблем обеспечения связности пространства Севера России в условиях геополитических трансформаций. В качестве объекта исследования были взяты территории *Европейского Севера России* (ЕСР). Исследование опирается на общенаучные и специальные методы (сравнительно-географический, анализ нормативно-правовой базы, экспертные опросы, ГИС-методы). Информационной базой выступили исследования по пространственной экономике; основные положения стратегических документов пространственного развития России;

данные Росстата, Росавтодора, сервисов СПАРК, Контур.Фокус, опросов ФГБУН ВолНЦ РАН.

**2. Теоретический аспект.** Для России вопросы *связности пространства* находятся в числе приоритетных. Как отмечают авторы, «слабо интегрированная технологически, экономически, инфраструктурно, социально и этнически страна не может быть великой» [1, с. 44]. Под связностью ими понимается степень и эффективность сопряжения частей пространства, синергию природно-ресурсного, человеческого потенциала регионов, транспортной доступности и расширяющегося пространства межрегиональных взаимодействий. Гранберг [2, с. 25] трактовал ее с позиции «интенсивности связей между частями и элементами пространства».

Анализ литературы, а также мирового опыта свидетельствует, что *связность является многоаспектной категорией*. Синтез частных связностей приводит к понятию «интегральной связности пространства», фактически означающей единство протекающих в регионе социально-экономических, институциональных и иных коммуникационных процессов и отождествляется с комплексностью пространственного развития (рис. 1). Анализу этих компонентов связности и посвящена работа.

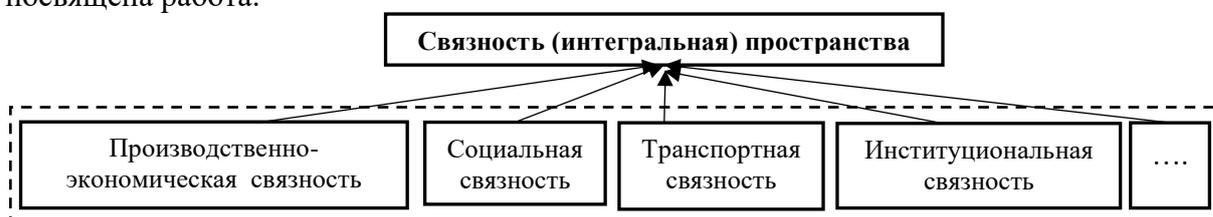


Рис. 1 – Компоненты категории «связность пространства»

Источник: составлено авторами на основе анализа научной литературы.

### 3. Оценка связности пространства Европейского Севера России

**3.1. Производственно-экономическая связность.** В период СССР здесь был сформирован ряд крупных *территориально-производственных комплексов (ТПК)*. Именно в рамках данных ТПК сложились основные производственно-экономические связи, которые в значительной степени сохранились и к настоящему времени. Об этом свидетельствуют данные о стоимостных объемах межрегионального ввоза-вывоза товаров. Так, в Вологодскую область направлялась почти 1/3 вывозимой из Коми в другие регионы продукции; из Мурманской области – 60%. Здесь прослеживаются технологические цепочки Северстали, Фосагро и других крупных хозяйствующих субъектов, подразделения которых располагаются в разных субъектах ЕСР.

На снижение внутренней связности повлияла переориентация товарных потоков на внешние рынки в ходе активизация экспортной деятельности за последние 20 лет. Так, до 2022 г. экспортировалось (преимущественно, в Европу) 70-75% продукции, произведенной в Карелии, 50-55% – в Мурманской области, 40% – Коми. После введения санкций в экспортной деятельности ЕСР произошел «поворот на восток»: в 2022 г. доля Китая в общем объеме экспорта из Карелии выросла с 8 до 18%, Индии и Турции – в 2 раза<sup>4</sup>. Эти процессы, связанные с экспортом продукции низших переделов, *ограничивает возможности развития длинных цепочек создания добавленной стоимости, внутреннего рынка страны как факторов повышения связности ее пространства*.

Другим ключевым барьером обеспечения связности является также *упрощение в рыночных условиях структуры хозяйства городов Севера*, приводящее к разрушению сложившейся системы разделения труда. Так, в СССР экономическое ядро

<sup>4</sup> Официальный сайт Фонда развития промышленности Республики Карелия. URL: <https://karelia.news/analitika/10081009/rost-yeksporta-bum-v-turizme-razvitie-arktiki-kak-perezkhilayekonomika-karelii-trudnyu-2022-y/> (дата обращения: 12.04.2023 г.)

значительной части средних/малых городов составляли несколько ведущих отраслей специализации. Это способствовало развитию устойчивых кооперационных связей между северными территориями. Однако переход к рынку запустил негативные процессы, произошло *разрушение отраслей, связанных с обеспечением устойчивости северных городов, их встраиванием в региональные и национальные цепочки добавленной стоимости.*

По итогам сопряженного анализа развития малых и средних городов ЕСР и деятельности предприятий, составляющих базис их экономики (на основе ресурсов КонтурФокус и СПАРК), можно сделать следующие выводы. Наибольший потенциал для развития и модернизации имеют малые города (г. Усинск, Сегежа), вовлеченные в производственные цепочки ВИК, перерабатывающих ресурс, востребованный на национальном и мировом рынках (нефть, лес, химическая промышленность). Для ряда городов (Инта, Кондопога) снижение спроса на определенные сырьевые ресурсы (уголь, газетная бумага и др.) или же «отсечение» от цепочек создания стоимости стало фактором стагнации их экономики. В постсоветский период имело место упрощение экономики малых городов за счет разрушения ряда обслуживающих/вспомогательных производств, экономических связей «малый город-село».

О наличии данных проблем свидетельствуют и опросы глав муниципальных образований субъектов ЕСР, проведенных ФГБУН ВолНЦ РАН в 2021 году. В частности, настоящее время практика межмуниципального сотрудничества сводится, прежде всего, к обмену муниципалитетами опытом деятельности по решению вопросов и проблем местного значения (на это указали 98% глав сельских поселений и 86% - городских), организации и проведения совместных мероприятий (69 и 71%); заключению договоров, соглашений между муниципалитетами о передаче полномочий (62 и 57%). На наличие межмуниципальных производственно-экономических связей указали не более 17% руководителей (табл. 1). В то же время, по мнению глав, приоритетными направлениями сотрудничества являются развитие межмуниципальных производственно-экономических связей в ЛПК (40%), туризме (35-43%), АПК (27,5%), создании и развитие общих звеньев, объектов.

Таким образом, важной задачей является создание благоприятных институциональных, организационно-экономических условий для развития межмуниципального сотрудничества в реальном секторе экономики Севера.

Таблица 1 – Распределение ответов респондентов на вопрос «В каких формах осуществляется взаимодействие Вашего муниципального образования с соседними муниципальными образованиями?», % от числа ответивших

Варианты ответов	Сельские поселения	Городские поселения
Обмен опытом деятельности органов власти по решению вопросов и проблем местного значения	97,6	85,7
Организация и проведение совместных мероприятий	69,0	71,4
Заключение договоров, соглашений между муниципалитетами о передаче полномочий по линии «поселение – район», «район – поселение»	61,9	57,1
<b>Наличие производственно-экономических связей между предприятиями, организациями из соседних муниципалитетов</b>	<b>16,7</b>	<b>14,3</b>
Учреждение межмуниципальных организаций в форме НАО, ООО, АНО	4,8	0,0
Заключение договоров, соглашений о реализации совместных долгосрочных проектов	0,0	0,0
<i>Примечание.</i> Анкета была разослана во все муниципальные образования. Число заполненных и полученных анкет позволяет обеспечить ошибку выборки не более 4%.		

**3.2. Социальная связность.** Социальная связность измеряется через показатели наличия и движения населения. В 1990-2021 гг. Европейский Север потерял более ¼ жителей (с 6,2 до 4,4 млн. чел.). В результате депопуляции доля «умирающих» сел и

деревень (обезлюдённых и с населением менее 10 чел.) возросла с 51,0 до 64,0%. К 2020 г. удельный вес подобных сельских поселений был в пределах от 26,3 (Республика Коми) до 69,8% (Вологодская область). Данные процессы ведут к разрушению расселенческого каркаса, увеличению удаленности между его элементами и затрат на обеспечение их взаимодействий. Одна из ключевых причин депопуляции – это не только естественный, но и существенный центростремительный вектор миграции в субъекты СФЗО (г. Санкт-Петербург, Ленинградская область) и ЦФО (г. Москва и Московская область). Эти процессы обуславливают ослабление внутренней связности пространства Севера. При этом по результатам наших расчетов выявлено, что относительно сбалансированные миграционные потоки сложились лишь между субъектами Карело-Кольского и Двино-Печорского субрегионов ЕСР. Однако их масштаб не позволяет обеспечить сбалансированность и связность их рынков труда. Миграция в значительной степени обусловлена низким уровнем жизни. Это связано с тем, что многие компенсаторные механизмы поддержки северян потеряли свой масштаб, и поэтому доля населения с доходами ниже прожиточного минимума в большинстве субъектов Севера была выше, чем в среднем по стране (в среднем – 12,7%, по РФ – 11%).

### **3.3. Транспортная связность**

Территории Европейского Севера России имеют общую транспортную инфраструктуру. Однако с точки зрения обеспечения *внутренней связности* особо значение приобретает развитие автомобильного транспорта. Поэтому в работе проведем исследование связности именно с фокусом на данный вид транспорта.

О низкой инфраструктурной обеспеченности ЕСР свидетельствуют и проведенные нами расчеты коэффициентов Энгеля, Гольца и Успенского по автомобильным дорогам (Энгеля – от 0,01 (Коми) до 0,07 (Вологодская область); Норвегия – 0,07; Гольца – от 0,04 (Коми) до 0,42 – Архангельская область; Норвегия – 15,1; Финляндия – 7,6). При этом особенно *низкая инфраструктурная обеспеченность, а также качество автодорог характерны для сельских территорий*. В частности, почти 1/2 сельских населённых пунктов Архангельской области не имеют связи по дорогам с твердым покрытием с сетью дорог общего пользования; в Республике Коми и Вологодской области – почти 1/3. В Архангельской области лишь 6% дорог местного значения отвечают нормативам требованиям, в Вологодской области – 1/3.

Пропускную способность автодорог можно оценить через их *класс*. В 2022 году на Севере преобладали дороги IV и V категорий. Расчетная скорость движения автомобилей по таким дорогам – не более 60 км/ч. К таким категориям в Архангельской области относится 87,2% автодорог, в Вологодской области – 82,8% (в среднем по стране – 69,8%). Иными словами, существующая обеспеченность и качество автодорог существенно ограничивают связность экономического пространства Севера России.

Для картографического отображения данного вывода воспользуемся инструментарием ГИС-технологий и построим *изохроны транспортной доступности (30 и 60 минут)* территорий Архангельской области до административных центров муниципальных образований. Выбор такого временного периода опирается не только на теоретические предпосылки, но и нормативы транспортной доступности объектов инфраструктуры на муниципальном уровне<sup>5</sup>. По результатам расчетов следует, что

---

<sup>5</sup> Напр.: Приказ Минздрава России от 27.02.2016 № 132н «О Требованиях к размещению медицинских организаций государственной системы здравоохранения и муниципальной системы здравоохранения исходя из потребностей населения»; Распоряжение Минкультуры России от 02.08.2017 №Р-965 «Об утверждении Методических рекомендаций субъектам РФ и органам местного самоуправления по развитию сети организаций культуры и обеспеченности населения услугами организаций культуры» и др.

именно северо-восточная и северная часть области имеет наихудшую доступность и, соответственно, связность. Так, почти 1/3 населения МО «Виноградовский», МР «Пинежский», МО «Мезенский» проживает за пределами часовой доступности до административного центра, что свидетельствует об ограниченном потенциале доступности для населения ключевых социальных услуг, повышенных издержках на производство товаров, а также их доставку с внешних рынков и др. Таким образом, барьерами, ограничивающими транспортную связность Севера, является *не только низкий уровень обеспеченности объектами инфраструктуры, но и их неудовлетворительное состояние, слабая пропускная способность*, что ведет к повышенным временным и экономическим издержкам на преодоление расстояний.

### 3.4. Институциональная связность

Процессы повышения связности сдерживаются также барьерами институционального и нормативно-правового характера (табл. 2).

Таблица 2 – Институты управления межрегиональной связностью Европейского Севера России

Институт	Особенности функционирования
АНО «Стратегическое партнерство «Северо-Запад»	<ul style="list-style-type: none"> <li>- в связи с централизацией управления и созданием в начале 2000-х гг. федеральных округов роль таких структур существенно снизилась;</li> <li>- Партнерство фактически выполняет функции площадки для обмена опытом, анализа лучших практик; куратора при обращении в федеральные органы власти, а также выполняет экспертные функции при реализации проектов;</li> <li>- однако такие проекты являются больше организационными, просветительскими и носят преимущественно концептуальную степень проработки.</li> </ul>
Федеральные округа	<ul style="list-style-type: none"> <li>- не имеют «хозяйственных» инструментов управления развитием входящих в его состав субъектов (бюджета и иных «собственных» финансовых инструментов);</li> <li>- функции полномочного представителя Президента РФ носят преимущественно контрольный и церемониальный характер;</li> <li>- созданные округа разрушили целостность пространства экономических районов</li> </ul>
Северный и Северо-Западный макрорегионы	Не сформирована специальная государственная политика по отношению к макрорегионам и механизм ее реализации (отсутствуют организационные структуры управления, стратегии развития макрорегионов, перечень проектов и мероприятий межрегионального характера в экономике и социальной сфере).
НОЦ мирового уровня «Российская Арктика:....» (создан в 2019 г.)	Эффективность данной структуры как института интеграции научно-технологического и экономического пространства региона, на наш взгляд, будет связана с формированием благоприятной институциональной среды в рамках его деятельности (бизнес-инкубаторов и акселераторов, технологических предпринимателей, проектного финансирования).

Ограниченный потенциал данных структур усугубляется их слабым инструментальным обеспечением. Так, практически не используются возможности разработки стратегических документов развития и территориального планирования нескольких субъектов РФ; стратегии развития части субъекта РФ, что закреплено в ФЗ-172. Система межбюджетных отношений также является тормозом для развития данных процессов. Лишь в 2019 г. в законодательстве был закреплен механизм *горизонтальных субсидий*, который может выступить основой для финансирования совместных проектов. Однако практика их использования имеет ограниченный характер [3].

### 4. Выводы и предложения.

Выявленные тенденции актуализируют необходимость разработки и внедрения в практику управления *форм, методов и инструментов*, направленных на устранение существующих барьеров, так и скоординированное развитие субъектов ЕСР в целях активизации процессов повышения связности пространства:

#### а) в экономической сфере:

–снятие инфраструктурных ограничений в целях повышения связности пространства: модернизация и расшивка «узких мест» в развитии инфраструктуры; согласованное развитие ключевых транспортных коридоров ЕСР, различных видов транспорта; развитие альтернативных видов транспорта в периферийных районах;

–организационная и коммуникационная поддержка реализации как малых и средних проектов по приоритетным направлениям региональной кооперации в рамках межмуниципального сотрудничества (северный и арктический туризм), так и осуществление бюджетных инвестиций в форме ГЧП, использование механизма горизонтальных субсидий и кредитов для реализации совместных проектов;

–поддержка коммуникации стейкхолдеров, процессов формирования и развития межрегиональных кластеров на базе имеющихся заделов (например, биотехнологии);

– кооперация предприятий для поддержки проектов освоения Арктики;

***б) в социальной сфере:***

– снижение диспропорций в качестве жизни населения, человеческого капитала Севера по линии «север-юг», «город-село» за счет инвестирования в сферы здравоохранения, образования, науки, культуры;

– поддержка социальной сплоченности, оказание информационной, научной, экспертной поддержки инициативы «снизу» при разработке и реализации проектов ТОС в сфере культуры, образования, туризма, управления и т.п. [4];

***в) в институционально-правовом регулировании:***

– разработка и принятие стратегии и программы развития СЗФО и его северной широтной проекции, конкретных межрегиональных проектов, в т.ч. согласованных со стратегиями развития крупных корпораций (ОАО «РЖД», ПАО «Газпром» и др.);

– разработка в соответствии документов стратегического развития и территориального планирования нескольких субъектов ЕСР; части субъекта РФ;

– формирование благоприятной институционально-правовой среды, способствующей повышению эффективности деятельности межрегиональных институтов развития субъектов РФ.

Реализация комплекса данных мероприятий создаст благоприятные предпосылки для повышения связности пространства на внутри- и межрегиональном уровнях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крюков В.А., Селиверстов В.Е. Экономика Сибири: трудный путь к синергии природного и человеческого потенциала, связности пространства и интересов федерального центра и регионов – Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2022. 124 с.
2. Основы региональной экономики: учеб. для вузов / под ред. А.Г. Гранберга. М.: Изд. дом ГУ ВШЭ, 2004. 495 с.
3. Григоров В.Э. Опыт использования горизонтальных межбюджетных трансфертов в российской федерации на региональном и муниципальном уровне // Актуальные вопросы современной экономики. 2020. №8. С. 242-253.
4. Лукин Ю.Ф. Арктические проекты межрегиональной интеграции // Арктика и Север. 2013. № 13. С. 14-32.

## К ВОПРОСУ ОБ ИНФРАСТРУКТУРЕ В ПРОСТРАНСТВЕ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ И ВЛИЯНИИ НА НЕЁ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

*Козлов С.В.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, kozlovsergvic@yandex.ru

В наше время особую актуальность приобретают вопросы повышения эффективности пространственного развития в России. Они вызваны поиском новых механизмов стимулирования экономического роста нашей страны.

Осознание важности актуальных проблем и аспектов развития пространства на уровне государства выражается в формировании специальных институциональных условий, основанных на комплексном, фундаментальном и неистощительном подходе к освоению. Роль инфраструктуры в организации арктического пространства и обеспечении жизнедеятельности человека является системообразующей. Возможность освоения природных ресурсов, обеспечение связности пространства и мобильности населения определяется уровнем развития инфраструктуры. Успех перехода арктического макрорегиона к устойчивому инновационному социально-экономическому развитию, определяемый как важнейшая задача государственной политики России в Арктике, зависит от уровня развития инфраструктуры, внедрения новых технологий и оборудования в этой области.

Влияние глобального изменения климата, которое в арктической циркумполярной зоне проявляется особенно остро, предопределяет необходимость проведения оценки последствий данного влияния на экономику и человека с формированием управленческого ответа на данные вызовы. По данным Минприроды России, прямые и косвенные последствия изменения климата в России до 2030 г. достигнут ежегодных потерь в среднем до 1–2% ВВП. Наиболее значимые угрозы, связанные с изменением климата проявляются в экономических убытках для климатозависимых отраслей хозяйства, значительном социальном ущербе от экстремальных природных явлений, в ухудшении экологической и продовольственной безопасности, в возникновении природно-очаговых заболеваний, появлении межгосударственных конфликтов природопользования, снижении уровня национальной обороны в связи с изменением ледовой обстановки в Арктике и ухудшении условий эксплуатации военного оборудования.

В этой связи, так называемый «климатический фактор» государственного управления в Арктике будет заключаться в мониторинге, экспертизе и принятии решений при реализации различного рода проектов, в том числе инфраструктурных, в данном макрорегионе. Анализ факторов уязвимостей, прогнозирование рисков и оценка соответствующих издержек трансформации арктической инфраструктуры вследствие изменения климата являются основой разработки эффективных стратегий адаптации и принятия мер в области социально-экономической политики государства в отношении развития арктических территорий.

Терминология, характеризующая инфраструктуру и ее развитие, прочно вошла в экономический оборот в середине XX в. Основная смысловая нагрузка данного определения заключается в формировании основы (фундамента), состоящей из таких отраслей хозяйства, которые обеспечивают надежное функционирование промышленного и сельскохозяйственного производства. Базовая обеспечивающая функция инфраструктуры при этом рассматривается как двойственная в связи с тем, что без развития инфраструктурных объектов невозможно существование отраслей хозяйства по производству товаров с высокой добавленной стоимостью. Причем, чем лучше развита инфраструктура, тем выше темпы экономического развития [8,3] и выше

конкурентоспособность экономики. В связи с чем необходимым условием развития инфраструктуры становится инвестирование [9].

В то же время, само создание инфраструктурных объектов является менее прибыльным и приносящим доход видом хозяйственной деятельности, что снижает ее инвестиционную привлекательность. В этом проявляется другая сторона функциональной особенности инфраструктуры. В связи с чем исторически сложившейся тенденцией становится процесс инвестирования в создание инфраструктуры, бремя которого ложится на государство [1]. Основным фактором здесь является необходимый значительный объем финансирования для реализации масштабных инфраструктурных проектов. Но с середины 70-х годов XX в. начал возрастать интерес и со стороны частных инвесторов [2], что не столь явно было заметно в истории отечественной экономики в связи с высокой долей присутствия в ней государственного сектора, но на мировом уровне стало преобладающим трендом.

Отечественная экономическая наука предусматривает разделение инфраструктуры на производственную и социальную. Критическое отношение отечественных специалистов к зарубежным подходам к определению инфраструктуры позволило сформулировать концепцию социальной инфраструктуры, которая предполагает создание определенных условий для улучшения качества жизни проживающего населения посредством улучшения жизнедеятельности человека и удовлетворения его общественных потребностей.

Предназначение первой группы объектов заключается в обслуживании отраслей материального производства. К таким объектам относятся дороги (железные, шоссейные), связь, транспорт, совокупность складских сооружений, энергоснабжение, водоснабжение. Социальная инфраструктура, как правило, включает отрасли, опосредованно связанные с производственными процессами, и чаще ассоциируется с учреждениями сферы образования и науки, здравоохранения, культуры и спорта, предприятиями по обслуживанию населения. Современной тенденцией стало отнесение к инфраструктуре объектов благоустройства городской среды и озеленение.

Более детальное подразделение производственной инфраструктуры на отдельные отрасли или виды предполагает также наличие энергетической, транспортной инфраструктуры. Зачастую выделяют промышленную инфраструктуру, подразумевая под ней совокупность объектов недвижимого имущества для производства промышленной продукции. Актуальным и объективно необходимым в связи с обеспечением целей устойчивого развития в регионах стало выделение экологической инфраструктуры, которая представляет собой совокупность основных фондов по охране окружающей природной среды.

В зависимости от функционального предназначения также выделяют такие виды инфраструктуры как информационная, инновационная, инженерно-строительная, финансовая и др. [12,14].

В условиях необходимости обеспечения устойчивого и сбалансированного пространственного развития Российской Федерации возникает необходимость интеграции усилий регионов в данном направлении [15]. Интеграция пространства предопределяет эффективное вовлечение региональной инфраструктуры как фактора обеспечения его устойчивого сбалансированного развития [11].

Рациональная организация социально-экономического пространства в настоящее время во многом определяет эффективность решения проблем регионального развития. Понимание специфики и особенностей отдельных ее территорий ведет к выстраиванию эффективной региональной социально-экономической политики, направленной на выравнивание межрегиональных экономических и социальных различий и повышение благосостояния населения.

В настоящее время большинство исследователей говорят о «переосвоении» Арктики. Для пространственного развития арктических территорий крайне важно

применение передовых технологий в различных сферах экономики и жизнедеятельности. Вместе с тем, новые концепции освоения строятся на таких способах организации пространства «как опорный каркас арктических поселений, транспортная сеть «полярное кружево», опорные зоны, локальные полюса роста, малые экономические районы» [10].

Важно отметить ключевую роль инфраструктурной составляющей в организации арктического пространства. Изменение климата оказывает значительное влияние на инфраструктуру в Арктическом регионе России, причём как в позитивном, так и в негативном аспекте.

**Положительные эффекты.** К положительным эффектам можно отнести ускорение таяния льда в Арктике, которое способствует созданию более коротких и эффективных маршрутов для морской перевозки грузов между главными рынками Азии, Европы и Северной Америки [5]. В основном, экономическое преимущество связано с предсказуемым уменьшением расходов при использовании арктических маршрутов по сравнению с традиционными, такими как Панамский и Суэцкий каналы.

Уменьшается отопительный период (за 10 лет сократился на 5 дней), вследствие чего сокращаются расходы на отопление.

Изменение климата способствует увеличению растительности в экосистеме АЗРФ, что создаёт лучшие условия для различных видов экономической деятельности таких как земледелие, животноводство, лесопереработка и др.

Объём воды в сибирских реках растёт, благодаря более теплым зимам, сток становится более сбалансированным в течение всего календарного года, что оказывает положительное воздействие на использование воды и гидроэнергетику[7].

Изменение климата в Арктике способствует развитию туризма в этом регионе. Круизный туризм, особенно туризм «последнего шанса», становится все более популярным, так как люди хотят увидеть исчезающие пейзажи и природное наследие Арктики. Мурманская область является самым посещаемым местом в Арктической зоне Российской Федерации, за ней следуют Архангельская область, Карелия и Ямал. В летнее время организуются круизы к Северному полюсу.

Облегчается доступ к месторождениям полезных ископаемых, что способствует развитию добывающих отраслей, таких как нефте- и газодобыча на шельфе и производство СПГ. В настоящее время Арктика является ключевым источником природного газа и значительной части нефти для России[6].

При рассмотрении климата как неисчерпаемого природного ресурса становится ясно, что Россия, в отличие от многих стран, имеет новые потенциальные возможности использования климата для улучшения природопользования, экономики и социальных условий жизни, несмотря на наличие рисков[7].

**Отрицательные эффекты.** Вместе с положительным эффектом развитие навигации по северным путям может негативно сказаться на экологии и социокультурной сфере Севера из-за возможных техногенных катастроф из-за недостаточного развития инфраструктуры. Несмотря на облегчение ледовой обстановки, не стоит рассматривать это как улучшение условий для судоходства. Откалывающиеся от ледников айсберги представляют серьёзную угрозу для судов, особенно в узких проливах, что может усложнить или заблокировать их проход.

Изменчивость климата может серьезно повлиять на состояние береговой инфраструктуры и транспортных услуг. При шторме сильный нагон воды может парализовать порты, из-за затопления побережья, что приведет к невозможности использовать их на время наводнения и нанесет ущерб терминалам, логистическим центрам, складам и транспортируемому грузу, нарушив тем самым поставки [13]. Повышение продолжительности безлёдного периода ведет к значительному усилению эрозии берегов, быстро развиваются овраги, интенсифицируются оползни, разрушаются склоны. Все эти процессы ведут к разрушению транспортной

инфраструктуры и средств навигации, которые находятся на побережьях северных морей [4].

Проблема таяния многолетнемерзлых грунтов особо актуальна для российской Арктики. В России многолетняя мерзлота имеет сплошное распространение на 7 млн кв. км., где находится 61 речной порт и 20 аэропортов [4]. На ее территории проходят железнодорожные пути и федеральные дороги по которым осуществляется доставка различных грузов в регионы Русского Севера, а также в морские порты для дальнейшего экспорта.

Безопасность эксплуатации транспортных инфраструктурных объектов, находящихся на вечной мерзлоте, зависит от несущей способности грунта, которая снижается под влиянием повышения температуры. Последствиями деградации многолетней мерзлоты являются разрушение дорог и насыпей, уменьшение количества дней, подходящих для движения, ограничение массы транспортных средств и рост аварийности. Проблема таяния вечной мерзлоты ухудшается недостаточным количеством легкой авиации, способной работать в условиях арктических регионов и удовлетворять потребности перевозок.

Изменения в Арктике, вызванные потеплением, могут привести к сдвигам циклов таяния и замерзания, что, в свою очередь, может разрушить фундаменты, деформировать дорожное покрытие из-за криогенного вспучивания и создать серьезную угрозу целостности мостов и других транспортных сооружений. Значительные проблемы могут возникнуть в связи с сокращением срока эксплуатации зимников, что ведет за собой изменение обычных периодов перевозки грузов, в том числе «северного завоза».

Следствием изменения климата является нестабильность осадков, которые могут воздействовать на динамику речных стоков. Такие явления способны причинять ущерб наземному транспорту, портам и аэропортам. Постоянные частые осадки и паводки могут привести к увеличению числа аварий и задержек в работе транспортных маршрутов. Эксплуатация внутренних водных путей может быть затруднена проблемами, включая остановку судоходства, забив каналов, изменение геометрии рек, разрушение берегов и противопаводковых сооружений. В аэропортах могут возникнуть трудности, связанные с разрушением инфраструктуры, более частыми задержками и отменами рейсов [13].

Ураганные ветры могут нанести вред портовым зданиям и сооружениям (таким как краны и грузовые терминалы), портить оборудование в аэропортах, нарушить воздушное сообщение и затруднить функционирование автотранспорта и железных дорог.

Проблема изменения климата в Арктике приводит к трансформации арктической транспортной, энергетической, промышленной инфраструктуры и изменению связности арктического пространства. Все это требует глубокого анализа социально-экономических последствий и разработки соответствующих экономических и управленческих решений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kessidies I. Reforming Infrastructure: Privatisation, Regulation and Competition. Wash. DC, World bank Institute and Oxford University Press, 2004.
2. Noll R. Note on privatization Infrastructure Industries // World Bank Working Papers. 2000.
3. Бедняков А.С. Роль инфраструктуры в обеспечении устойчивого социально-экономического развития и конкурентоспособности: актуальные вопросы в России и за рубежом // Известия СПбГЭУ. 2021. №1 (127). С. 155-161.
4. Воронцова С.Д. Влияние климатических изменений на транспортную инфраструктуру в Арктической зоне и на территориях распространения вечной

- мерзлоты // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2017. № 4 (71). С. 33-39.
5. Ерохин В.Л. Влияние изменения климата на открытие морских транспортных путей в морях Северного Ледовитого океана // Маркетинг и логистика. 2018. №5 (19). С. 32-45.
  6. Жилина И.Ю. Потепление в Арктике: возможности и риски // Экономические и социальные проблемы России. – Москва, 2021. – № 1. – С. 66–87
  7. Изменения климата в Российской Арктике: риски и новые возможности. М.: Сколково, 2022. - 105 с.
  8. Комаров М.П. Инфраструктура регионов мира. Изд. Михайлова, 2000 г.
  9. Кондратьев В.Б. Инфраструктура как фактор экономического роста // Российское предпринимательство. 2010. №11-2. С. 29-36.
  10. Крюков В.А. Арктика – каким приоритетам отдать предпочтение? // Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право. – 2014. № 6 (38). С. 45-66.
  11. Лаженцев В.Н. Пространственное развитие (примеры Севера и Арктики) // Известия Коми научного центра УРО РАН. 2010. Вып. 1. С. 97-104
  12. Никитская Е.Ф., Пойкин А.Е. Концептуальные подходы к сущностной характеристике экономической и инновационной инфраструктуры // Вестник евразийской науки. 2016. №2 (33). С. 1-15.
  13. Последствия изменения климата для международных транспортных сетей и адаптация к ним [Электронный ресурс]: доклад группы экспертов. ООН. Нью-Йорк, Женева, 2013. – Режим доступа: [https://unesc.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp5/publications/climate\\_change\\_2014r.pdf](https://unesc.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp5/publications/climate_change_2014r.pdf) (дата обращения: 07.09.2023 г.)
  14. Ускова Т.В. Транспортная инфраструктура как фактор развития территорий и связанности экономического пространства // Проблемы развития территории. 2021. Т. 25. № 3. С. 7-22.
  15. Экономическая интеграция: пространственный аспект / под общ. ред. П.А. Минакира. М.: Экономика, 2004. 360 с.

## **ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ В РАМКАХ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ**

*Корчак Е.А.*

Институт экономических проблем им. Г.П. Лузина КНЦ РАН, г. Апатиты,  
[elenakorchak@mail.ru](mailto:elenakorchak@mail.ru)

Вектор российской арктической политики составляет использование ресурсной базы арктических территорий, освоение которых неразрывно связано с необходимостью регулирования процессов развития человеческого капитала. Такое утверждение обосновано тем, что именно человеческий капитал обеспечивает реализацию масштабных проектов по освоению природных ресурсов Арктики. Цель настоящего исследования составил анализ процессов формирования человеческого капитала в рамках реализации государственной политики РФ в Арктике.

Каждая стадия формирования пространственной структуры Арктики и соответствующего человеческого капитала определялась задачами комплексного освоения, создания транспортной инфраструктуры, а также военно-стратегическими целями государства.

Задачами I этапа хозяйственного освоения арктических территорий (20-е гг. прошлого века) стало создание специальных интегрально-хозяйственных комплексов,

подчинивших все хозяйствующие субъекты арктических территорий (например, Мурманский промышленно-транспортно-колониальный комбинат). Фактически в этот период были заложены рыночные принципы и основы корпоративного освоения арктических территорий страны, а привлечение трудовых ресурсов осуществлялось вахтовым и экспедиционным методами. В частности, в 30-40е гг. прошлого века комсомольские организации Ленинграда и Новгорода мобилизовывали своих лучших представителей на строительство в Хибинскую тундру (трест «Апатит»).

На II этапе (30-60-е гг. прошлого века) развитие арктических экономик носило военно-стратегический характер, а человеческий капитал формировался за счет массовых репрессий. Например, перед началом Великой Отечественной Войны промышленное освоение Аллуайвского месторождения в Ковдорском районе Мурманской области осуществлялось вольнонаемными, в 1941 г. на стройку металлургического завода по переработке лопаритового концентрата были направлены заключенные - военнопленные, побывавшие в плену во время финской войны. После Войны широкое распространение получили обращения партийных, комсомольских и профсоюзных организаций промышленных предприятий к демобилизуемым воинам Советской Армии. В дальнейшем распространение получили индивидуальные приглашения заинтересованных в работе в Арктике специалистов из других регионов страны и переселение трудоспособного населения по собственной инициативе. Формирование человеческого капитала арктических территорий молодыми специалистами осуществлялось в централизованном порядке в соответствии с государственным планом. Воздействие государства на формирование человеческого капитала арктических территорий осуществлялось средствами плановой организации хозяйства, в частности нормативному регулированию стимулов материальной заинтересованности – прав на пользование материальными и др. видами преимуществ, установленных дополнительно к общим нормам трудового законодательства СССР. Объем таких льгот определялся суровостью природно-климатических условий и степенью территориальной освоенности. Доля выплат по районному коэффициенту и процентным надбавкам в структуре фонда заработной платы составляла более 40%.

III этап (60-90-е гг. прошлого века) связан с комплексным хозяйственным освоением и формированием разветвленной системы расселения с постоянным населением. Положительной тенденцией процессов формирования человеческого капитала арктических регионов страны в 1970-1989 гг. стал рост показателей образовательного уровня населения. С середины 60-х гг. XX в. основной целью государства стало обеспечение индустриального комплекса страны ресурсами Арктики. Максимизация объемов добычи сопровождалась сдерживанием затрат на инфраструктурное обустройство арктических территорий. Социальная сфера формировалась на остаточном принципе финансирования. Отрицательное влияние на развитие социальной инфраструктуры оказало отсутствие научно обоснованных нормативов товарного обеспечения платежеспособного спроса, рациональных потребительских бюджетов. Узость местных сетей специального профессионального образования не способствовала закреплению местной молодежи в Арктике. Окончившие профессионально-технические учреждения молодые специалисты распределялись по районам страны в плановом порядке, редко возвращаясь в регионы своего проживания. Такое положение негативно отразилось на миграционных настроениях. Немаловажную роль в потерях человеческого капитала сыграло снижение экономической привлекательности трудовой деятельности в регионе: к концу 80-х гг. прошлого века северные надбавки в значительной мере утратили стимулирующую приток и закрепление рабочих кадров функцию. Главным мотивом увольнений стала низкая заработная плата. В профилирующих отраслях промышленности стал нарастать дефицит квалифицированных рабочих кадров.

В условиях переходной экономики на IV этапе (1990-2000-е гг.) начались процессы перераспределения государственных полномочий между федеральным и региональными уровнями управления [1, с. 170] (в частности в условиях дефицита федерального бюджета на региональный уровень перешла значительная часть социальных расходов [2, с. 26]). Начались процессы деградации расселенческого каркаса и сжатия обжитой части [3, с. 142] и фактически деградации человеческого капитала арктических территорий. Переход к рыночным отношениям привел к снижению объемов производства на действующих предприятиях, закрытию убыточных и неперспективных предприятий и поселков при них. Сокращение доходов местных бюджетов затруднило муниципализацию и эксплуатацию объектов социальной инфраструктуры и ЖКХ. Резкий рост потребительских цен, ухудшение продовольственного снабжения, обесценивание сбережений, рост безработицы и снижение трудовых доходов спродуцировали миграционный отток населения, существенную часть которого составило трудоспособное население. В 1989-1999 гг. численность населения Чукотского АО снизилась в 2,3 раза, Ненецкого АО – в 1,3 раза. В Мурманской области снижение численности населения составило 16%. Характерными чертами демографического развития регионов стали малодетность и рост внебрачных рождений. Ситуация на региональных рынках труда в 1989-2000 гг. характеризовалась постоянным ростом напряженности: социальная напряженность на рынке труда Ненецкого АО в этот период выросла в 15 раз, в Чукотском АО – 6,8 раза. Ориентированность арктических экономик на рыночные отношения усилила процесс стратификации профессиональной занятости, сопровождавшийся формированием групп новых рыночных профессий (коммерческие агенты, торговые представители). Такая ситуация привела к формированию тенденции сегментации рынков труда появились профессиональные группы риска, отличающиеся высоким уровнем безработицы – работники сфер строительства, работники низкой квалификации и т.п. С другой стороны, дефицит средств Федерального фонда поддержки занятости привел к сокращению масштабов профессионального обучения и подготовки и, соответственно, ограничению возможностей территориальных служб занятости в оказании содействия трудоустройству безработных. Государство фактически ушло из социальной сферы, что привело к появлению таких негативно отразившихся на человеческом капитале тенденций, как усиливающееся социальное расслоение населения, деградация потребительских стандартов, значительный уровень бедности. Дефицит федерального бюджета усилил тенденцию регионализации государственной социальной политики. Объемы финансирования федеральных программ развития Арктики в 1993-2000 гг. составил лишь 20%; усилилась дифференциация социально-экономического положения арктических регионов [4, с. 167-170]. Проявилась тенденция снижения образовательного уровня населения, особенно его молодежной составляющей.

С формированием неолиберальной модели государственного регулирования был связан V этап (2001-2008 гг.): государственный протекционизм в Арктике достиг минимального уровня, значительно сократились объемы федеральных обязательств в сфере возмещения удорожания функционирования систем жизнеобеспечения. В этот период в качестве основных субъектов арктической промышленности утвердились крупные ресурсные корпорации [5, с. 75], вокруг производственных филиалов которых сконцентрировались энергетическая, производственная и транспортная инфраструктуры. С 2004 г. регулирование оплаты труда было передано непосредственно регионам, муниципалитетам и предприятиям. В результате эффективность действующей системы гарантий и компенсаций для лиц, работающих в арктических регионах, существенно снизилась. В бюджетной сфере при низком уровне оплаты труда районные коэффициенты перестали компенсировать затраты на воспроизводство рабочей силы, что усугубило различия в уровне заработной платы работников бюджетного и внебюджетного секторов арктических экономик. Более того,

большинство предприятий частной сферы стали устанавливать оплату труда в фиксированных размерах без учета районного коэффициента и процентной надбавки. По сути, начался процесс «вымывания» северных гарантий по оплате труда. Так, в Ямало-Ненецком АО среднемесячная заработная плата в 2000 г. превышала среднероссийскую в 4,03 раза, в 2008 г. – в 2,55 раза. В этот период сформировались крупнейшие корпоративные сектора в базовых отраслях арктических экономик. Лидерами промышленного роста стали нефтегазовые регионы: развитие нефтегазодобычи значительно увеличили объемы промышленного производства в Ненецком и Ямало-Ненецком автономных округах [4, с. 172]. Динамика среднедушевых денежных доходов населения в этот период была неоднородной: наиболее высокими темпами их прироста за счет роста заработной платы нефтяников и золотодобытчиков отличались автономные округа российской Арктики, среди аутсайдеров оказалась Мурманская область «по причине низких темпов роста заработной платы из-за доминирования обрабатывающих отраслей и сокращения скрытых доходов [6]». В целом, проводимая в этот период политика концентрации финансовых ресурсов в федеральном бюджете для арктических регионов стала пагубной. В 2008 г. около 70% налогов и сборов в бюджетной системе арктических регионов поступили в федеральный бюджет. При этом обеспеченность бюджетов арктических регионов собственными доходами заметно снизилась: в 1990-х гг. в консолидированных региональных бюджетах сосредотачивалось до 85% всех платежей за использование природных ресурсов, в 2002 г. эта доля упала до 35%, в 2008 г. – до 20% [7, с. 48]. Среди негативных тенденций в этот период оставалась миграционная убыль населения.

На VI этапе (2008-2021 гг.), сопровождающемся частыми глобальными кризисными явлениями, практически завершились процессы замещения государственной промышленной политики корпоративной [5, с. 76], цель которой состояла в эксплуатации человеческого капитала арктических территорий в целях освоения ресурсной базы Арктической зоны для общегосударственных нужд [8, с. 73]. Этот период сопровождался кризисными явлениями, обострившими проблемы участия корпораций в социально-экономическом развитии регионов российской Арктики [7, с. 46]. Так, мировой финансовый кризис 2008 г. спродуцировал снижение спроса на угольную продукцию АО «Воркутауголь» в 2012 г. и, как следствие, сокращение выручки предприятий и объемов налоговых поступлений в бюджетную систему Республики Коми. Среднесписочная численность АО «Воркутауголь» в 2009 г. снизилась на 19%, численность зарегистрированных безработных граждан увеличилась в 2008-2009 гг. на 29%. На фоне снижения экономической привлекательности жизнедеятельности в Арктике обострилась социальная напряженность на рынках труда регионов российской Арктики. С участвовавшими в 2008-2021 гг. кризисными явлениями глобального характера обострились структурные дисбалансы на рынках труда регионов российской Арктики – в половозрастной структуре населения наиболее пострадала молодежь. Негативным образом на ситуацию с безработицей в регионах российской Арктики оказало и распространение коронавирусной инфекции COVID-19: в связи с введением ограничительных мероприятий динамика уровня безработицы ухудшилась, произошел значительный рост уровня регистрируемой безработицы (май, июнь 2020 г.). Обусловленный пандемией коронавируса COVID-19 экономический кризис вызвал значительный рост уровня безработицы молодежи. В целом, в условиях пандемии COVID-19 ситуация на рынках труда регионов российской Арктики оставалась контролируемой за счет реализации региональными органами государственной власти мероприятий по созданию временных рабочих мест. В 2021 г. регионы российской Арктики по уровню безработицы, в т.ч. среди молодежи, вышли на допандемийный уровень. Однако авторы исследования согласны с позицией известного североведа Лаженцева В.Н. о том, что такие мероприятия носили лишь

временный характер (как экстренной реакции на уже случившиеся события): «после окончания антикризисной поддержки местные производства снова станут неконкурентоспособными [9, с. 361]», проблемы безработицы также не исчезнут.

Сегодня формирование пространственной структуры Арктики и соответствующего человеческого капитала осуществляется в рамках Стратегии развития Арктической зоны РФ и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 г., в качестве цели реализации которой определено «обеспечение национальных интересов России в Арктической зоне [10]». Основную угрозу достижения такой цели составляет несоответствие системы среднего (СПО) и высшего профессионального (ВПО) образования потребностям арктических экономик и отраслей социальной сферы в квалифицированных кадрах. Так [11], в Чукотском АО доля выпускников с ВПО, сталкивающимся с трудностями при поиске работы, составляет 100% (среди основных причин – отсутствие или недостаточный опыт работы – 80,5%), в Мурманской области – 97,2% (среди причин – недостаток или отсутствие подходящих вакансий – 69,7%). Доля выпускников со СПО по программам подготовки специалистов среднего звена, сталкивающимся с трудностями при поиске работы, в Чукотском АО составляет 100% (отсутствие или недостаточный опыт работы – 65,9%), в Ненецком АО – 97,3% (68%). 100% выпускников Чукотского АО, имеющих СПО по программам подготовки квалифицированных рабочих и служащих, сталкиваются с трудностями при поиске работы (основная причина – недостаток или отсутствие необходимых умений, знаний и навыков), 92,4% – Ямало-Ненецкого АО (отсутствие или недостаточный опыт работы), 90,1% – Ненецкого АО (отсутствие или недостаточный опыт работы, а также недостаток или отсутствие подходящих вакансий). В Ненецком АО удельный вес выпускников, трудоустроившихся на первую работу, связанную с полученной профессией или специальностью, составляет лишь 44,8%, из них имеющие СПО по программам подготовки специалистов среднего звена, – 53,2%, по программам подготовки квалифицированных рабочих и служащих – 29%. Уровень безработицы среди выпускников образовательных организаций в 2021 г. в Ненецком АО составил 9,2% (среди выпускников, имеющих СПО по программам подготовки квалифицированных рабочих и служащих, – 20,7%), в Чукотском АО – 6,5% (среди выпускников, имеющих ВПО, – 8,6%), в Мурманской области – 6,2% (среди выпускников, имеющих СПО по программам подготовки квалифицированных рабочих и служащих, – 12,7%), в Ямало-Ненецком АО – 4,1% (среди выпускников, имеющих СПО по программам подготовки квалифицированных рабочих и служащих, – 16,7%). Доля занятых выпускников, не удовлетворенных текущей работой из-за низкой заработной платы, в Мурманской области составляет 89%, в Ненецком АО – 70,7%; из-за отсутствия перспектив и карьерного роста в Ненецком АО – 74,5%, в Мурманской области – 74,3%.

*Исследования проведены при финансовой поддержке РНФ, проект № 19- 18-00025 «Социально-экономическая динамика и перспективы развития российской Арктики с учетом геополитических, макроэкономических, экологических, минерально-сырьевых факторов».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Логинов В.Г. Особенности развития северных регионов сырьевой ориентации // Экономика региона. 2008. № 4. С. 161-172.
2. Камышанченко А.М. Реализация региональной экономической политики с использованием кластерных подходов на примере Белгородской области // Научные ведомости БелГУ. Серия Истрия. Политология. Экономика. Информатика. 2013. № 22 (165). Вып. 28/1. С. 25-32.

3. Кожевников С.А., Патракова С.С. Интеграционные процессы на Европейском Севере в ракурсе межрегиональных миграций населения // Проблемы развития территории. 2020. № 5 (109). С. 134-150. DOI: 10.15838/ptd.2020.5.109.9.
4. Харитоновна В.Н., Вижина И.А. Трансформация государственной социально-экономической политики на Севере // Регион: экономика и социология. 2007. № 2. С. 164-176.
5. Пилясов А.Н. Промышленная политика в Арктике: новые приоритеты федерального уровня // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2020. № 2 (68). С.73–83. DOI: 10.37614/2220-802X.2.2020.68.007
6. Гаджиев Ю. А., Акопов В. И. Формирование денежных доходов населения в северных регионах России// Региональная экономика и управление: электронный научный журнал. 2013. №1 (33). URL: <https://eee-region.ru/article/3318/>.
7. Лаженцев В.Н. Социально-экономические проблемы Севера // ЭКО. 2010. № 12. С. 40-53.
8. Панкова Ю.В., Тарасова О.В. О сценариях развития арктической экономики // Проблемы прогнозирования. 2020. № 5 (182). С. 72-82. DOI: 10.1134/S1075700720050147.
9. Лаженцев В. Н. Социально-экономическое пространство и территориальное развитие Севера и Арктики России // Экономика региона. 2018. Т. 14, вып. 2. С. 353-365. DOI: 10.17059/2018-2-2.
10. О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года [Электронный ресурс]: Указ Президента РФ от 26 октября марта 2020 г. № 645. Режим доступа: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения 10.12.2022).
11. Итоги выборочного наблюдения трудоустройства выпускников, получивших среднее профессиональное и высшее образование, в 2021 году [Электронный ресурс]: Федеральная служба государственной статистики. Режим доступа: [https://gks.ru/free\\_doc/new\\_site/population/trud/itog\\_trudoustr\\_2021/index.html](https://gks.ru/free_doc/new_site/population/trud/itog_trudoustr_2021/index.html) (дата обращения 17.05.2023).

## **ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РФ**

*Кочуняева Н.В.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, [n.koshunyaeva@narfu.ru](mailto:n.koshunyaeva@narfu.ru)

Транспортная логистика представляет собой сложную экономическую систему, для построения и управления которой необходимо учитывать множество факторов. Математическое моделирование является одним из основных методов для анализа и исследования таких систем. Однако, использование аналитических методов моделирования не представляется возможным из-за необходимости учета множества факторов, влияющих на систему, а также из-за большого количества взаимосвязей между элементами. Поэтому для построения таких моделей необходимо использовать имитационные подходы к моделированию, позволяющие изучить поведение таких сложных экономических систем с учетом вероятностных факторов и иррационального поведения агентов.

Учет характерных особенностей транспортно-логистических систем в Арктической зоне РФ играет первостепенную роль. Это один из ключевых принципов моделирования логистической системы.

Во-первых, необходимо учитывать географическое положение региона. Учет данного фактора подробно изучается в монографии [1], где раскрывается вопрос эффективного управления перевозками в Арктическом регионе. В результате статистического анализа в данной работе установлено, что ориентация порта в регионе направлена на переработку наливного груза, помимо этого, здесь присутствует неоднородность местонахождения портов по высокоширотной морской магистрали, преимущество в использовании отдается каботажным перевозкам, а также выявлена однополярная ориентированность перевозок.

Во-вторых, для получения адекватной модели следует учитывать особенности видов транспорта, используемых в регионе. Так, в [1] описано, что основным типом транспорта в Арктическом регионе является трубопроводный, доля которого составляет 50%, используются также железнодорожный, автомобильный, авиационный, водный транспорт.

В-третьих, необходим учет природных факторов, экологической ситуации региона. Именно они влияют на размещение и развитие транспортной инфраструктуры в регионе. Так в [1] установлено, что в Арктическом регионе к ключевым особенностям относятся: низкий температурный режим, наличие сильных ветров, присутствие ледяного покрова на большей части водных объектов, высокая уязвимость экологической системы.

Перед моделированием необходимо также выявить проблемы и ограничения, накладываемые на стандартные модели логистических систем. В работах [1,2] выявляются следующие трудности, которые необходимо учитывать при создании модели логистической системы в Арктической зоне РФ:

- необходимость учета сроков проведения операций, так как, например, использование водного транспорта возможно лишь в летне-осенний период;
- необходимость учета условий и способов погрузочно-разгрузочных работ, также связанных с природными особенностями региона;
- проблема, связанная с развитостью транспортной инфраструктуры, так как в данной местности находится чуть более десяти портов и портопунктов, что влечет за собой их перегрузку, а также дополнительные затраты на доставку грузов в нужные точки;
- сложность, связанная с выгрузкой крупнотоннажных грузов на берег, характерная для заболоченных местностей;
- проблемы, связанные с нехваткой и износом грузовых судов и ледоколов;
- проблемы методологического характера, связанные с моделированием транспортной инфраструктуры, среди которых выделяются проблема недостатка информационной составляющей; трудности, связанные с экспертным оцениванием факторов, оказывающих влияние на модель; трудности, связанные с необходимостью адаптации логистической модели.

Таким образом, для моделирования логистических операций в транспортной логистике необходимо применение концептуально новых подходов, позволяющих учитывать особенности систем. Этому в наилучшей степени соответствует мультиагентное моделирование, позволяющее строить модель «снизу-вверх».

Изучением поведения и взаимодействия агентов занимались многие ученые, которые построили карты ограниченной рациональности [3], описали поведенческий подход экономических агентов [4], определили возможности агентов в модели [5] и так далее. Исследования ученых позволили создать поведенческую экономику, как отдельную область экономической науки. В связи с этим, мультиагентные методы получили большую популярности среди различных подходов для анализа и исследования сложных систем.

Особенность мультиагентного подхода к моделированию заключается в том, что элементом исследуемой системы является агент, как некоторая сущность, способная к

восприятию окружающей среды посредством датчиков, и воздействию на внешнюю среду посредством исполнительных механизмов [6]. Моделирование производится «снизу-вверх», то есть от взаимодействия агентов между собой и с внешней средой возникает свойство эмерджентности, таким образом, отображается поведение системы в целом.

Структура любой транспортной системы представляется в виде сети, поэтому при создании модели логистической системы удобно сформировать граф. Его вершинами будут рассматриваемые объекты транспортной системы, а дуги, с соответствующими интенсивностями будут представлять собой транспорт с соответствующими характеристиками.

Одной из основных задач оптимизации транспортных систем является задача нахождения пути минимальной стоимости при обходе необходимого количества пунктов с возвратом в исходную точку. Это так называемая задача коммивояжера, которая является NP-трудной, поэтому её точного решения с достаточно большим количеством вершин нет. Для решения указанной задачи используют приближенные методы решения, среди которых выделяют жадные алгоритмы, эвристические алгоритмы, алгоритмы роевого интеллекта и другие.

Алгоритмы роевого интеллекта являются мультиагентными методами моделирования. Примерами таких алгоритмов являются муравьиный алгоритм и алгоритм роя частиц. Муравьиный алгоритм заключается в проведении аналогии между поведением настоящих муравьев, ищущими пищу, и алгоритма, решающего некоторые комбинаторные оптимизационные задачи, то есть в проведении аналогии между настоящими муравьями и агентами некоторой информационной системы, между количеством пищи и некоторой целевой функцией, между феромонным следом и матрицей, отражающей предыдущие решения агентов в некотором виде. При этом в алгоритме используются два основных параметра: количество оставшегося феромона и видимость дальнейшего маршрута. При использовании данного алгоритма в моделировании транспортных систем Арктической зоны параметр количества оставшегося феромона интерпретируется как возможность движения с точки зрения ледовой обстановки, а видимость дальнейшего маршрута определяется как возможность движения с точки зрения туманности.

Для построения эксперимента была рассмотрена система со 100 вершинами, расположенными на случайном расстоянии друг от друга. При этом расстояние между каждой вершиной представляет собой случайное равномерно распределенное значение от 0 до 1. Модель системы была построена и визуализирована с использованием языка программирования Python и библиотек numpy, scipy, pandas и matplotlib. Результаты экспериментов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Стоимости пути в зависимости от параметров  $\alpha$  и  $\beta$

$\beta$	$\alpha$	0	0,5	1	1,5	2	2,5
0		41,04	36,81	28,15	21,13	16,42	13,38
0,5		43,37	28,75	42,9	12,24	9,93	8,87
1		42,9	10,87	9,44	8,71	8,50	8,64
1,5		9,30	9,70	8,59	8,25	8,49	8,37
2		44,53	10,23	9,26	8,82	8,85	8,97
2,5		45,38	10,65	8,85	8,77	9,43	8,39

Таким образом, наименьшее значение стоимости пути достигается, когда оба параметра имеют значения 1,5. Стоимость маршрута в значительной степени зависит от значений указанных параметров.

Алгоритм имитации роя представляет собой аналогию между агентами информационной системы и стаей птиц, где параметрами являются вектора скорости и

направления. При проведении эксперимента с теми же начальными условиями результаты максимальной стоимости пути практически не изменились, то есть, оказались равными примерно 44, а минимальный путь оказался равным 20. Сравнительная характеристика роевых алгоритмов представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика роевых алгоритмов

	Алгоритм муравьиной колонии	Алгоритм роя частиц
Преимущества	<ul style="list-style-type: none"> <li>– удобен в использовании в приложениях, умеющих адаптироваться к изменениям;</li> <li>– гарантируется сходимость;</li> <li>– наиболее удобный метод по сходимости для решения задачи коммивояжера</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– очень низкая алгоритмическая сложность;</li> <li>– эффективен при использовании для глобальной оптимизации</li> </ul>
Недостатки	<ul style="list-style-type: none"> <li>– при большом количестве вершин сходимость задачи определяется по экспоненциальной функции;</li> <li>– часто в решении необходимо применение дополнительных методов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– менее эффективен при решении задачи коммивояжера;</li> <li>– более низкая скорость сходимости по сравнению с муравьиным алгоритмом</li> </ul>

Таким образом, мультиагентные методы являются наиболее подходящими для моделирования и решения задач оптимизации логистических систем. Они обладают низкой временной сложностью, позволяют учитывать множество вероятностных факторов, влияющих на транспортную систему, а также иррациональное поведение агентов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тутыгин, А.Г., Антипов Е.О., Коробов В.Б. Проблемы моделирования логистических операций в Арктической зоне Российской Федерации / Архангельск: КИРА, 2020. 244 с.
2. Тутыгин, А. Г. Концепция создания комплекса моделей развития транспортной инфраструктуры Арктической зоны Российской Федерации / Научное обозрение. 2016. № 24. С. 182-186.
3. Kahneman, Daniel. Maps of Bounded Rationality: a Perspective on Intuitive Judgement and Choice. Nobel Prize lecture, December 8, 2002; Kahneman D., Tversky, A. Prospect theory: An analysis of decisions under risk. *Econometrica*, 47. 1979. Pp. 313-327
4. Arthur, W.B. Designing Economic Agents that act like human agents: A Behavioral Approach to Bounded Rationality. *The American Economic Review* 81(2). 1991. Pp. 353-359
5. Abutair H.Y.A., Belghith A., A multi-agent case-based reasoning architecture for phishing detection, *Procedia Comput. Sci.* 110 (2017) 492–497.
6. Ландсберг С.Е., Хованских А.А. Особенности построения информационных систем с использованием мультиагентных технологий / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2014. № 3-1. С.37-39.

## **БОЛЬШИЕ ТРАНСПОРТНЫЕ ПРОЕКТЫ УРАЛЬСКОЙ АРКТИКИ КАК ФАКТОР ОБЕСПЕЧЕНИЯ СВЯЗАННОСТИ АРКТИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА**

*Лаврикова Ю.Г., Петров М.Б.*

Институт экономики УрО РАН, г. Екатеринбург, Petrov.mb@uiec.ru

Освоение Арктики, форсированное развитие инфраструктуры, усиление связанности территорий Российской Федерации включены в число основных приоритетов развития страны [1, 2]. При этом нигде в такой мере как в Арктике не проявляется столь жесткая зависимость освоения территорий и акваторий от принципиально новой транспортной и энергетической инфраструктуры. Социально-экономическое освоение арктического побережья и арктических территорий станет тем эффективнее с позиции системной экономики, чем в большей мере активизирует развитие меридиональной инфраструктуры, коридоров транспортной сети, которые обеспечат связь побережья, в первую очередь, портов Северного морского пути с внутренними территориями России.

Необходимость и актуальность перехода на новый уровень освоения арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) обусловлены следующими фундаментальными обстоятельствами [3]:

1) Геостратегические факторы дальнейшего укрепления обороноспособности в условиях обострения угроз в адрес России при переходе к многополярному мироустройству. Россия – страна с самой протяженной из пяти арктических государств береговой линией морей Северного Ледовитого океана с кратчайшими траекториями через него до территорий многих государств;

2) Геоэкономические факторы, связанные с расширением мирохозяйственных связей России и необходимостью обеспечения логистики международного обмена практически по всему миру, беспрепятственного выхода грузовых потоков на морские пути через порты северных морей, а также надежного и безопасного использования Россией своего огромного транзитного потенциала;

3) Ресурсные факторы – экономически обоснованное вовлечение в производственно-экономический оборот ресурсов Севера и Арктики;

4) Технологические факторы – новые технологические возможности организации жизнедеятельности и хозяйствования в Арктике, транспортно-энергетического и иного инфраструктурного обеспечения, лежащего в основе пространственного освоения, особенно в экстремальных арктических условиях;

5) Социально-экономические факторы – целесообразность задействования арктических территорий и акваторий при усилении вовлеченности в экономический оборот обширных и пока малоосвоенных территорий севера и востока страны, распространение приоритета связанности на эти территории, а также для эффективной диверсификации социально-экономической роли традиционных территориальных зон хозяйствования в России.

Таким образом, круг причин для интеграции арктических пространств России в режим активного и эффективного функционирования становится чрезвычайно широким. Принципиально важно, что остро актуализированы все пять групп причин. При переходе к новой фазе развития России и мирового сообщества, в условиях переоценки и пересмотра парадигмы стратегического развития России, для созревания которых потребовались длительные временные периоды, сформировалась ситуация сочетания и синергии столь разнородных факторов. В таких условиях с российской Арктикой связан огромный потенциал развития, и она является долгосрочным и стратегическим источником развития российского общества.

Этим определяется и особый характер ведущих арктических проектов. Для получения конечного экономического результата этих проектов требуются особо высокие первоначальные вложения, поэтому они не могут быть независимыми друг от друга. Наоборот, пакеты экономических проектов должны быть комплементарными с сильными прямыми и обратными связями с их инфраструктурным окружением.

Рассмотрим подробнее особенности арктических проектов в сфере инфраструктуры транспортной.

Ее исходная и определяющая роль связана как с нередко полным отсутствием транспортной обеспеченности арктических пространств, так и в перспективе грузоемким характером хозяйствования в Арктике за счет его ресурсной и капиталоемкой специфики. При этом и в технологическом отношении это принципиально новая сеть и принципиально новые транспортные средства. В силу этих обстоятельств арктические транспортные проекты – это большие комплексные проекты. Их подготовка, обоснование, организация и осуществление принципиально не могут рассматриваться в узко экономической логике. Это не просто инвестиционные проекты с отложенными эффектами, каковыми могут быть транспортные проекты на освоенных территориях. Даже там коммерческая окупаемость не может быть поставлена во главу, и нужно системное обоснование эффективности с рассмотрением в качестве приоритетных стратегических общеэкономических критериев с исследованием ресурсно-технологических и других специфических нетранспортных эффектов. Такие обосновывающие предпроектные исследования должны завершаться разработкой организационно-экономических форм реализации проектов с формированием адекватных инвестиционных источников и схем их применения. На Севере и в Арктике в основе освоения и дальнейшего развития пространств лежат именно большие проекты стратегического многоцелевого характера. Важно, чтобы рассматривался соответствующий этому набор критериев и показателей.

Для арктических транспортных проектов – порты, арктические сухопутные магистрали, транспортные узлы транспортная сеть подходов к ним из неарктических регионов позволяет включить сооружаемые в Арктике транспортные объекты в транспортно-логистические системы макроуровня и единую транспортно-логистическую систему (ЕТЛС) страны, обеспечивая долгосрочный дополнительный прирост грузопотоков по СМП.

Для отражения роли в реализации больших арктических проектов освоенных регионов в глубине территории страны, промышленных регионов, а также и наоборот, роли Арктики в развитии неарктических регионов большие проекты рассматриваются как трансрегиональные и внутренне комплементарные в технологическом и территориальном отношении. Проекты освоения связаны, в первую очередь, с добычей, переработкой и экспортом углеводородов, возрождением Северного морского пути и портовой инфраструктуры, подготовкой новых месторождений полезных ископаемых, реализацией глобальной стратегии России на вовлечение Арктического побережья в более интенсивное использование в доминирующих аспектах развития страны. Эти проекты на этапе их активной эксплуатации, а также дальнейшие инициативы создают качественно новую ситуацию в Арктике, когда конечная результативность и эффективность с позиций нашей страны будет все в большей мере зависеть от сопряженности и связности пространств не только в широтном, но и меридиональном измерении. То есть, частью больших проектов по освоению Арктики являются межрегиональные и межотраслевые связи. Их организационно-техническая и экономико-технологическая реализация возможна на основе сочетанного во времени усиления транспортной сети между центрами производства и потребления в неарктических регионах и Арктикой. Связанность с внутренними территориями страны становится предпосылкой развития обширных полярных территорий и подходов к ним,

с одной стороны, и условием воздействия программ деятельности в Арктике на успешное развитие производительных сил традиционных регионов, с другой.

Внутренний транспортный потенциал Большого Урала для освоения Арктики определяется развитием транспортных сообщений между индустриальной частью Уральского макрорегиона и территориями нового освоения, в первую очередь, северными и полярными. [4] Этим целям отвечает, в частности, транспортное обустройство так называемого северного широтного экономического пояса (Архангельск – Коми – Север Урала – Сибирь). Крупнейшим уже сооружаемым транспортным проектом полярного экономического пояса является Северный широтный ход (СШХ) на основе полярной железной дороги Лабытнанги – мост через низовье Оби – Салехард – Уренгой – Норильск. С Уральскими освоенными регионами СШХ связан действующей железной дорогой Тюмень – Уренгой. СШХ актуализирует ранее остановленный проект «Урал промышленный – Урал Полярный». И, наконец, принятое весной 2022 г. правительственное решение по ускоренному развитию нового порта Индига на Баренцевом море в Ненецком АО предполагает развивать этот порт СМП как крупнейший универсальный порт в восточной части европейской Арктики. Это означает замыкание на него основного меридионального транспортного коридора, который позволит связать Индигу с крупнейшими логистическими центрами вдоль полосы Транссибирской магистрали в европейской части страны и на Урале.

В связи с перспективой организации транзитного коридора из центральной России через Средний и Южный Урал в регион Каспия и далее в страны Юга Азии несколько крупнейших транспортных узлов вблизи Урала получают возможность претендовать на транспортно-экономический статус «сухого порта». Там будет концентрироваться максимальный объем по перевалке, хранению, распределению и разветвлению потока контейнеров. Такой «сухой порт» должен иметь сильную железнодорожную связь с Индигой как наиболее универсальным портом СМП. Это потребует сооружения новой железнодорожной магистрали от порта Индига в направлении Среднего Урала. Вероятная точка дислокации «сухого порта» – город Екатеринбург.

Комплементарность крупных транспортных проектов в этом случае будет проявляться во взаимной обусловленности портовой линейной (железнодорожной и автомобильной) инфраструктуры и сети логистических терминалов.

Пожалуй, самым масштабным комплексным проектом может оказаться иницилируемый регионом Кузбасса коридор «Кедровый путь». Предполагается, что он будет связывать Кемеровский регион, где добывается почти 90 % российского угля с портом Индига, пересекая Уральские горы выше Свердловской области, усиливая транспортную связанность не только Арктической зоны (в данном случае, район порта Индига), но и обширных территорий Коми, Северного Урала, Западной Сибири.

На среднесрочную и долгосрочную перспективу будет актуальным развитие хозяйственного комплекса всего Большого Урала усиление его кооперационных связей с Коми республикой. В ближайшей перспективе прогнозируется ускоренное развитие Тимано-Печорского производственного комплекса на базе нефтегазовых месторождений соответствующей нефтегазовой провинции, бокситов Тимана, месторождений титановых и магнетитовых руд, баритов, марганца, хрома, а также железных и никелевых руд Приполярного Урала в секторе Коми республики. Это обстоятельство также станет мощным обосновывающим фактором притяжения наиболее мощной новой транспортной инфраструктуры к Уралу. Эта инфраструктура обеспечит и связанность Арктической зоны с индустриальным и ресурсным Уралом и окружающими его ресурсными территориями.

Формируемые транспортные системы освоения Арктики должны обеспечивать выполнение двустороннего комплекса задач. С одной стороны, комплексное освоение

Арктики, с другой – сбалансированное развитие обеспечивающих это освоение базовых регионов.

Тем самым формируется транспортный каркас Уральского сектора Арктики. Такая задача предлагается в качестве одной из важнейших стратегем формирования Урало-Арктического сегмента развития.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации. Утв. Указом Президента Российской Федерации от 01.02.2016 г. № 662.
2. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 г. Проект / Правительство РФ, 2021.
3. Транспортная и энергетическая инфраструктура в развитии производительных сил макрорегиона / Под ред. д.т.н. М.Б. Петрова. – Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2022. – 275 с.
4. Приоритеты научно-технологического развития регионов: механизмы реализации / Под ред. д.э.н. Лавриковой Ю.Г. – Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2020. – 603 с.

### **ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКАЯ АКТИВНОСТЬ КАК ДРАЙВЕР ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАНЯТОСТИ НАСЕЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ РЫНКА ТРУДА В РЕГИОНЕ**

*Ласкин А.А.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, laskinalexeya@gmail.com

Сегодня экономическая политика всех регионов России ориентирована на выполнение целевых показателей национальных проектов. Так, в соответствии с Указом Президента РФ от 7 мая 2018 года № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» первым и, видимо, наиболее важным из ключевых показателей национального проекта «Малое предпринимательство и поддержка индивидуальной предпринимательской инициативы» является увеличение численности занятых в сфере малого и среднего предпринимательства (МСП), включая индивидуальных предпринимателей, с 19,2 млн человек в 2018 году до 25,0 млн человек в 2024 году [1]. Однако, в настоящих условиях, во многих регионах России (особенно в северных и арктических) достижение указанных показателей находится под угрозой в виду наличия целого ряда системных проблем в экономике, ухудшения демографической составляющей и, безусловно, присутствия внешних угроз, в том числе санкционного давления [2; 3].

В данной связи вопрос стимулирования предпринимательской активности, способствующей росту занятости в сфере малого и среднего предпринимательства (МСП) и оказывающей позитивное влияние на развитие регионального рынка труда, является актуальным и практически значимым.

Прежде чем перейти к практическим аспектам стимулирования предпринимательской активности, рассмотрим некоторые теоретико-методологические особенности и взаимосвязь таких терминов как «рынок труда», «занятость населения» и «предпринимательская активность».

Под термином «рынок труда» принято понимать систему общественных отношений, связанных с наймом и предложением рабочей силы, или с ее куплей и продажей [4]. Согласно статье 1 федерального закона №1032-1 от 19 апреля 1991 г. «занятость граждан» – это деятельность, связанная с удовлетворением их личных и

общественных потребностей, не противоречащая законодательству РФ и приносящая, как правило, им заработок, трудовой доход [5]. Одними из основных задач государственного регулирования рынка труда выступают обеспечение занятости населения, рациональное распределение трудовых ресурсов по отраслям и сферам деятельности, защита прав и гарантий трудящихся граждан. При этом само обеспечение занятости заключается не только в создании новых рабочих мест, но и в формировании условий для трудоустройства населения.

Термин «предпринимательская активность» достаточно прочно вошел в научный оборот и трактуется как особая форма экономической активности человека или группы людей (т.е. ведение бизнеса индивидуальным или групповым способами), связанная с распределением ограниченных ресурсов, стремлением к материальной выгоде, сопряженным с факторами риска [6]. Отметим, что предпринимательская активность является движущей силой инноваций, новых технологий, создания рабочих мест и улучшения качества жизни населения, влияет не только на занятость, но и на уровень доходов, общий экономический климат в регионе, играет важную роль в стимулировании экономического роста и развитии регионального рынка труда [7, 8].

Предпринимательская активность также стимулирует спрос на рабочую силу, так как предприятия и компании нуждаются в сотрудниках с различными навыками и квалификацией. Это может привести к увеличению зарплат и улучшению условий труда для работников [9]. Для успешной предпринимательской деятельности часто необходимы высококвалифицированные специалисты. Поэтому повышение предпринимательской активности может стимулировать развитие системы образования и профессиональной подготовки, чтобы обеспечить рынок труда квалифицированными кадрами [3].

Таким образом, все три рассмотренных выше термина (концепта) находятся в логической, каузальной и системной взаимосвязи. При этом на практике изменение одного из них неизбежно приводит к изменениям остальных. Например, на рисунке 1 схематично представлено как стимулирование предпринимательской активности может оказать влияние на изменение показателей рынка труда [10].

Далее рассмотрим некоторые проблемы и особенности регионального рынка труда, а также механизмы стимулирования предпринимательской активности на примере Архангельской области.

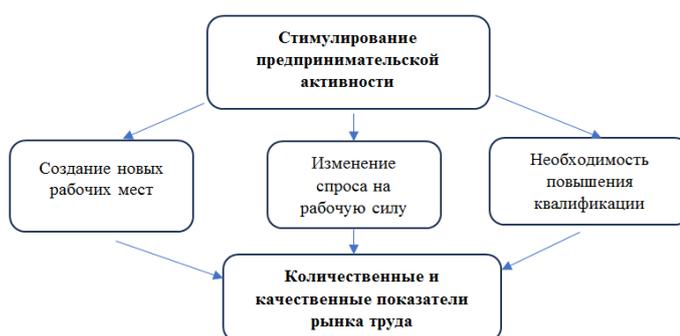


Рис. 1 - Влияние предпринимательской активности на показатели рынка труда

Отметим, что сегодня существует острая необходимость в обосновании новых решений, направленных на стимулирование предпринимательской активности. Это особенно актуально для северных и арктических регионов России, к которым относится Архангельская область, где ведение предпринимательской деятельности сопряжено с рядом специфических условий - низкой плотностью населения, суровыми природно-климатическими условиями, отсутствием инфраструктуры и т.д. [11].

На рисунке 2 представлена динамика доли занятых граждан среди экономически активного населения региона.

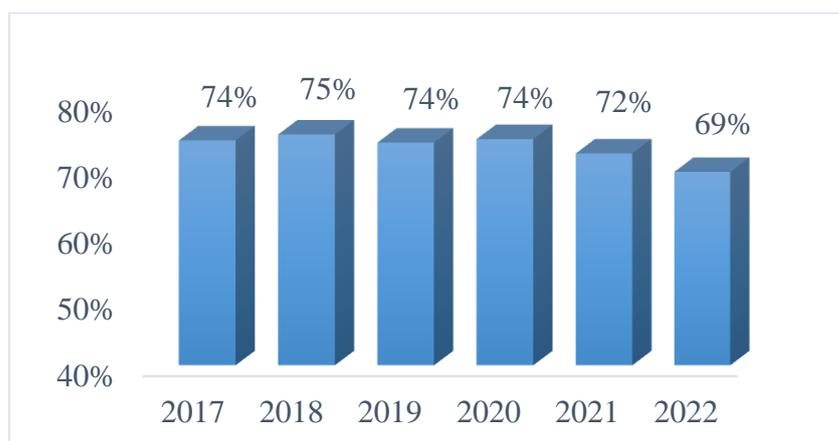


Рис. 2 – Доля занятых граждан в составе экономически активного населения Архангельской области, %

В рассматриваемом периоде с 2017 по 2022 год доля занятых граждан в составе экономически активного населения в Архангельской области находилась в диапазоне от 69% до 75% с тенденцией к уменьшению. Рисунок 3 характеризует структуру занятых граждан в МСП региона и в остальных секторах экономики (государственных предприятиях и в крупном бизнесе) в составе экономически активного населения [12].

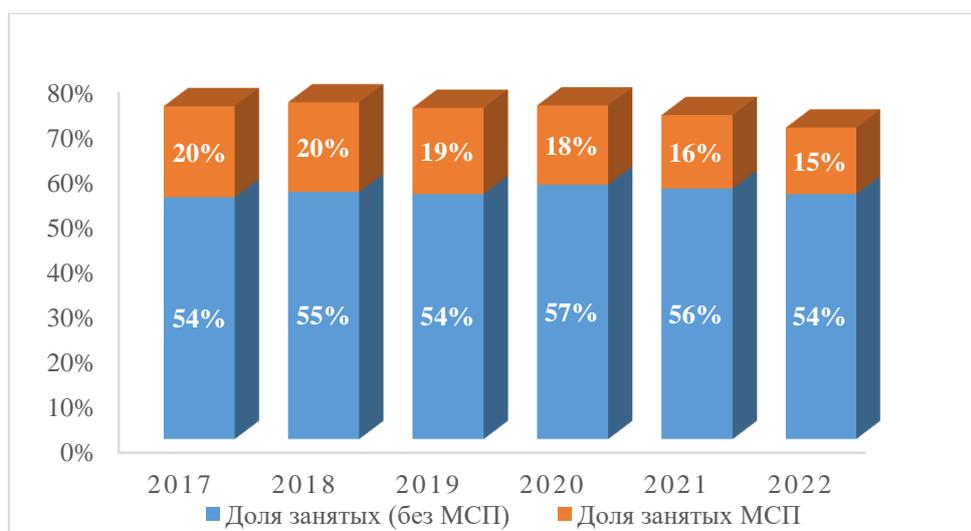


Рис. 3 – Структура занятости в МСП и других секторах экономики в составе экономически активного населения Архангельской области, %

Из рисунка 3 следует, что с 2017 по 2022 годы доля занятых на субъектах малого и среднего бизнеса снизилась с 20% до 15%. Это с одной стороны, может говорить о сложностях, с которыми сталкиваются малые и средние предприятия в виду падения платежеспособного спроса населения и ухудшения общей экономической ситуации в стране в связи с проведением специальной военной операции и беспрецедентным санкционным давлением со стороны недружественных государств. Однако, с другой стороны, стабильность доли занятых в государственном секторе экономики и крупном бизнесе выступает положительным фактором, способствующим обеспечению устойчивости регионального рынка труда.

По данным Федеральной налоговой службы количество субъектов МСП в Архангельской области на 10 марта 2023 г. составляло 33 481, что на 1,86% меньше, чем в 10 марта 2022 года (34 114 единиц). Это почти на 16% меньше, чем в 2017 году (39 884 единицы). Динамика численности субъектов МСП в Архангельской области в период 2017-2023 годы - отрицательная (рис. 4) [13].

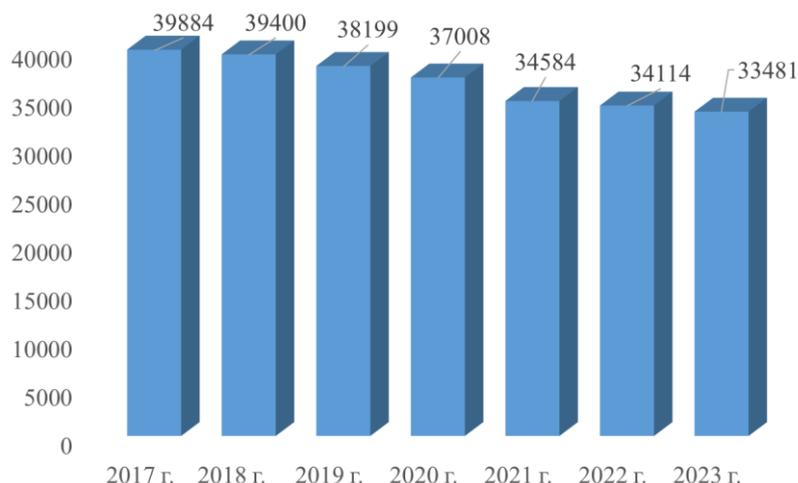


Рис. 4 – Динамика численности субъектов МСП в Архангельской области

Таким образом, на рынке труда Архангельской области наблюдается как снижение численности субъектов МСП, так и численности занятых в секторе МСП. По мнению автора, эти изменения свидетельствуют о нарастающих проблемах в сфере занятости и функционировании регионального рынка труда. Скорее всего, сокращение числа занятых в МСП и доступных трудовых ресурсов будет оставаться довольно острым вопросом в течение продолжительного времени в будущем.

Учитывая изложенное выше, Архангельской области может потребоваться усиленная поддержка и стимулирование этого сектора для создания рабочих мест и поддержания предпринимательской активности. Чтобы содействовать развитию регионального рынка труда через предпринимательскую активность, по мнению автора, региональные власти должны:

- изучить лучшие практики стимулирования предпринимательства всех регионов России, разработать с их учетом свои программы, адаптированные к условиям жизнедеятельности на Севере [14] и к современной геополитической обстановке,
- по максимуму упростить процедуры регистрации, лицензирования и контроля деятельности субъектов МСП;
- пересмотреть механизм финансовой поддержки и льгот для представителей МСП;
- организовать бесплатные образовательные программы и курсы для будущих предпринимателей в удобном формате (онлайн и офлайн);
- обеспечить инвестиционную привлекательность территории;
- создать условия для интеграции и кооперации представителей бизнес-сообщества [15].

В заключение отметим, что своевременный пересмотр и переформатирование механизмов поддержки предпринимательской активности на региональном уровне могут стать ключевым фактором и, по сути, драйвером повышения уровня занятости в секторе МСП и развития рынка труда.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Паспорт национального проекта «Малое и среднее предпринимательство и поддержка индивидуальной предпринимательской инициативы» (утв. президиумом

- Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24.12.2018 № 16) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://government.ru/info/35563/> (дата обращения: 11.08.2023)
2. Тутьгин А.Г., Чижова Л.А., Ананьина О.В. Увеличение численности занятых в малом бизнесе - системная проблема или достижимый результат? // Государство и бизнес. Экосистема цифровой экономики. Материалы XI Международной научно-практической конференции. Северо-Западный институт управления РАНХиГС при Президенте РФ. 2019. С. 191-196.
  3. Лец О.В. Вопросы реализации мер поддержки занятости населения в малом и среднем предпринимательстве России // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2022. Т. 10. № 3 (58). С. 85-110. DOI: 10.34220/2308-8877-2022-10-3-85-110
  4. Васяйчева В.А., Слатов Д.Г. Рынок труда и трудовая миграция: учеб. пособие. Самара: Изд-во Самарского университета, 2018. - 96 с.
  5. Федеральный закон №1032-І от 19 апреля 1991 г. «О занятости населения в Российской Федерации». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mintrud.gov.ru/docs/laws/89> (дата обращения: 11.08.2023)
  6. Асаул А.Н. Организация предпринимательской деятельности: учебник для вузов. - 4-е изд. СПб.: Питер, 2013. - 352 с.
  7. Чижова Л.А., Ласкин А.А., Лец О.В. Индивидуальная предпринимательская активность как индикатор региональной экономической политики // Фундаментальные исследования. 2021. № 4. С. 102-110.
  8. Тутьгин А.Г., Чижова Л.А., Ловдин Е.Н. Оценка социально-экономической ситуации в арктических муниципальных районах Архангельской области на основе целевой модели // Арктика и Север. 2022. № 46. С. 170-189. DOI: 10.37482/issn2221-2698.2022.46.170
  9. Социально-экономическое развитие арктического макрорегиона: комплексный подход: монография / Л.А. Чижова, А.Г. Тутьгин, А.О. Подоплекин и др.; отв. ред. Чижова Л.А. Архангельск: КИРА, 2022. 292 с.
  10. Терентьева М.А. Роль малого предпринимательства в обеспечении занятости на Российском Севере // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2020. Т. 13. № 4. С. 108-124. DOI: 10.15838/esc.2020.4.70.6
  11. Тутьгин А.Г., Чижова Л.А. Индивидуальные и общесистемные проблемы регионов Арктической зоны Российской Федерации: возможности совместного решения // Научное обозрение. 2016. № 24. С. 193-197.
  12. База данных «Показатели муниципальных образований». 2022. Федеральная служба государственной статистики (Росстат). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Munst.htm> (дата обращения 10.09.2023).
  13. Единый реестр субъектов малого и среднего предпринимательства. Федеральная налоговая служба. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rmsp.nalog.ru/> (дата обращения: 11.07.2023).
  14. Иванова И.А., Пуляева В.Н. Лучшие региональные практики содействия трудоустройству населения // Креативная экономика. 2021. Том 15. № 4. С. 1539-1556. DOI: 10.18334/ce.15.4.111983
  15. Ласкин А.А. Поддержка кооперации и интеграции как приоритетное направление стимулирования предпринимательской активности // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2023. № 7 (часть 2). С. 168-176. DOI: 10.17513/vaael.2916

## ОЛЕНЕВОДСТВО КАК ОСНОВА ТРАДИЦИОННОГО ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ КОРЕННЫХ ЭТНОСОВ

*Логинов В.Г., Лаврикова Ю.Г., Максимчик М.А.*

Институт экономики УрО РАН, г. Екатеринбург, log-wg@ Rambler.ru

В жизнедеятельности коренных малочисленных народов Севера (КМНС) особенно высока роль традиционных отраслей хозяйствования, без которых они не представляют себя как этнос. Важнейшей из них и самой широко охватывающей пространство и вместе с тем самой этносохраняющей отраслью является оленеводство.

Домашнее северное оленеводство – отрасль хозяйствования, для которой характерна полная зависимость от природных условий и эпизоотической обстановки. Являясь наиболее экстенсивной формой сельскохозяйственного производства, оленеводство для своего развития требует больших географических пространств – огромного количества сменяемых по сезонам года пастбищ. Они располагаются в тундровой, лесотундровой и таежной зонах, занимая 339,8 млн га, из которых 318,8 млн га располагаются в районах Севера (93,8%), в том числе 214,3 млн га, или 67,2% в Арктической зоне страны. Здесь на протяжении столетий сложилась своеобразная оленеводческая цивилизация с кочевым и полукочевым населением, к числу которого относятся коренные малочисленные народы Севера (ненцы, ханты, чукчи, эвенки и др.) и представители более крупных северных этносов – коми и якуты. Для этих народов оленеводство является образом жизни, представляя собой непрерывный каждодневный рутинный процесс с периодической сменой используемых пастбищ [1]. Именно оно обеспечивает КМНС их существование, способствует поддержанию здоровья и работоспособности в специфических условиях Севера и Арктики.

Оленеводство является составной частью традиционного комплекса, структура которого имеет также региональные отличия. Являясь ядром традиционной экономики, оно развивается или в симбиозе с другими традиционными отраслями, имеет конкурентное преимущество или испытывает конкуренцию с их стороны. На Чукотке – со стороны морского и зверобойного промысла, на Ямале – со стороны рыболовства, в Саха (Якутия) и Красноярском крае – охотничьего промысла.

Таблица 1 - Поголовье северных оленей в регионах Севера, на конец года, тыс. гол.

Регион	1960	1970	1980.	1990г.	1996	2000.	2003	2013	2018
<b>Всего</b>	2084,0	2449,2	2250,4	2250,3	1588,0	1196,4	1245,7	1641,9	1783,7
<i>Уд. вес, %</i>	13,8	13,2	12,8	19,0	40,1	47,1	47,9	31,1	48,5
Европейский	379,7	421,5	367,5	391,5	396,9	296,4	270,6	333,3	335,2
<i>Уд.вес, %</i>	9,6	11,4	10,7	13,1	19,4	26,3	25,9	20,9	24,6
Уральский	400,5	480,9	418,0	537,6	554,0	531,2	603,3	778,0	957,3
<i>Уд. вес, %</i>	28,4	33,0	34,5	47,9	59,8	67,3	70,9	49,4	73,8
Сибирский	152,2	191,3	138,9	120,4	66,3	49,3	52,8	104,9	141,2
<i>Уд. вес, %</i>	12,0	13,4	13,8	22,0	62,3	68,0	86,0	17,4	40,9
Дальне-восточный	1148,1	1355,5	1326,1	1200,8	583,6	319,5	317,4	425,7	350,0
<i>Уд. вес, %</i>	10,3	6,8	6,4	9,8	32,6	29,1	17,0	7,0	5,3

Примечание: уд. вес, % – доля поголовья личного (частного) сектора и фермерские х-ва.

Расчитано по источникам: Экономика и культура районов Крайнего Севера и местностей, приравненных к районам Крайнего Севера за 1940-1985 гг. М.: ЦСУ РСФСР, 1986. С. 85,87; Экономические и социальные показатели районов Крайнего Севера и приравненных к ним местностей в 1998-2010 годах: [Электронный ресурс]. URL: [http://www.gks.ru/bgd/regl/b1\\_22/Main.htm](http://www.gks.ru/bgd/regl/b1_22/Main.htm); Экономические и социальные показатели районов Крайнего Севера и приравненных к ним местностей в 2008-2012 годах: [Электронный ресурс]. URL: [http://www.gks.ru/bgd/regl/b14\\_22/Main.htm](http://www.gks.ru/bgd/regl/b14_22/Main.htm); Экономические и социальные показатели районов Крайнего Севера и приравненных к ним местностей в 2000-2017 годах: [Электронный ресурс]. URL: [www.gks.ru/bgd/regl/b18\\_22/Main.htm](http://www.gks.ru/bgd/regl/b18_22/Main.htm) (дата обращения 12.11.2018)

В XX столетии на развитие отрасли оказали влияние: коллективизация 30-х гг., промышленно-транспортное освоение северных и арктических районов 60-80 гг. и рыночные реформы 90-х гг. Это проявилось как в изменении численности поголовья животных, так и в изменении форм собственности. Последнее было связано с ростом общественных стад и снижением личных (частных) в 30-80-е годы. В 90-е гг., до начала 2000-х, наблюдалась обратная картина (табл. 1).

Переход к коллективному хозяйству в 1930-е годы вызвал общее снижение поголовья оленей, которое было восстановлено лишь в 1950-е гг. Воздействие техногенных отраслей на развитие оленеводства до конца 1960-х гг. в большинстве северных регионов было минимальным. С 1970-х гг. начался процесс широкомасштабного освоения территории Севера, интенсивность которого постепенно возрастала с запада на восток, в том же направлении шел процесс снижения поголовья оленей. Однако следует отметить, что промышленное освоение территории Севера, несмотря на все негативные моменты, в целом по России существенного воздействия на численность оленепоголовья до начала 1990-х гг. не оказывал. Накануне рыночных реформ поголовье северных оленей в стране превышало 2 млн голов. Самые крупные стада находились в Магаданской области – 568,1 тыс. гол., в Тюменской области – 552,6 тыс. и Якутии – 348,8 тыс. гол. (1991 г.).

Кризисное положение в оленеводстве сложилось в период реформирования экономики страны. Особенно пострадало таежное оленеводство. Отдельные регионы, такие как Республика Бурятия, Забайкальский край, Иркутская и Сахалинская области, в настоящее время можно отнести к территориям с исчезающим оленеводством.

Ведущее место в отрасли принадлежит арктическим территориям страны. В арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ), где выпасается 87% от его общего количества более 1,5 млн гол. (1505,4 тыс. гол., 2019 г.), сосредоточено основное оленепоголовье (табл.2).

Таблица 2 - Оленеводство АЗРФ, тыс. гол. на конец года

Показатель	2008	2010	2012 .	2014.	2016	2018.	2019.
<b>Всего Север РФ</b>	<b>1520,4</b>	<b>1570,6</b>	<b>1596,1</b>	<b>1531,2</b>	<b>1650,4</b>	<b>1783,7</b>	<b>1734,4</b>
<i>Общественные х-ва</i>	<i>1003,0</i>	<i>1059,9</i>	<i>1086,2</i>	<i>1025,6</i>	<i>1038,8</i>	<i>918,0</i>	<i>904,1</i>
<i>Частные х-ва*</i>	<i>517,4</i>	<i>510,7</i>	<i>509,9</i>	<i>505,6</i>	<i>616,6</i>	<i>865,7</i>	<i>830,4</i>
<i>Уд. вес, частных х-в, %</i>	<i>34,0</i>	<i>32,5</i>	<i>31,9</i>	<i>33,0</i>	<i>37,4</i>	<i>48,5</i>	<i>47,9</i>
<b>АЗРФ</b>	<b>1221,3</b>	<b>1258,5</b>	<b>1287,1</b>	<b>1250,5</b>	<b>1374,1</b>	<b>1520,5</b>	<b>1505,4</b>
<i>Общественные х-ва</i>	<i>763,6</i>	<i>814,2</i>	<i>844,2</i>	<i>801,7</i>	<i>810,1</i>	<i>722,0</i>	<i>733,9</i>
<i>Частные х-ва*</i>	<i>457,7</i>	<i>444,3</i>	<i>442,9</i>	<i>448,8</i>	<i>564,0</i>	<i>798,5</i>	<i>771,6</i>
<i>Уд. вес, частных х-в, %</i>	<i>37,5</i>	<i>35,3</i>	<i>34,4</i>	<i>35,9</i>	<i>41,0</i>	<i>52,5</i>	<i>51,3</i>
<b>Уд. вес АЗРФ, всего, %</b>	<b>80,3</b>	<b>80,1</b>	<b>80,6</b>	<b>81,7</b>	<b>83,3</b>	<b>85,2</b>	<b>86,8</b>
<i>в т.ч. общественные х-ва</i>	<i>76,1</i>	<i>76,8</i>	<i>77,7</i>	<i>78,2</i>	<i>78,0</i>	<i>78,6</i>	<i>81,2</i>
<i>частные х-ва</i>	<i>88,5</i>	<i>87,0</i>	<i>86,9</i>	<i>88,8</i>	<i>91,5</i>	<i>92,2</i>	<i>93,1</i>
<b>Север без АЗРФ</b>	<b>299,1</b>	<b>312,1</b>	<b>309,0</b>	<b>280,7</b>	<b>276,3</b>	<b>263,2</b>	<b>229,0</b>
<i>Общественные</i>	<i>239,4</i>	<i>245,7</i>	<i>242,0</i>	<i>223,9</i>	<i>228,7</i>	<i>196,0</i>	<i>170,2</i>
<i>Частные х-ва</i>	<i>59,7</i>	<i>66,4</i>	<i>67,0</i>	<i>56,8</i>	<i>52,6</i>	<i>67,2</i>	<i>49,3</i>
<i>Уд. вес, частных х-в, %</i>	<i>20,0</i>	<i>21,3</i>	<i>21,7</i>	<i>20,2</i>	<i>19,0</i>	<i>25,5</i>	<i>21,5</i>

\* вместе с коллективными фермерским хозяйствами и малыми предприятиями

Важным моментом развития оленеводства являются региональные ограничения для развития отрасли: пастбища – их площадь и качество кормовой базы. Обеспеченность ими отличается чрезвычайной дифференциацией – от 19 га на 1 оленя в Воркутинском районе (Республика Коми)<sup>6</sup>, до 453 га – Республика Саха (Якутия).

<sup>6</sup> Выпас оленей осуществляется и за пределами субрегиона на сопредельных территориях Ненецкого автономного округа и соседних МР Республики Коми.

Высокой долей оленьих пастбищ отличаются автономные округа (1048,4 тыс. кв. км), которая составляет 57% от их общей площади, которые используются для выпаса 1237, тыс. гол. оленей, или 81,4% от их общего поголовья, что обуславливает высокую среднюю степень нагрузки на пастбища, которая каждым из этих субъектов Федерации имеет значительные отличия, изменяясь от 54 гол. на га в ЯНАО до 281 гол. на га на Чукотке, что оказывает существенное влияние на воспроизводство кормовой базы.

К другим важным элементам развития оленеводства относятся трудовые ресурсы – их постоянное воспроизводство в необходимом количестве, а также формы и методы государственной поддержки. В рыночных условиях эта ситуация сохранилась в одних, или даже усилилась в других, что повлияло на воспроизводства поголовья оленей, обусловив полюса роста в одних субъектах Федерации, и снижение его в других. Таким образом, триада пастбища – человек – олень оказывает влияние на данный процесс в ту или иную сторону.

Вследствие этого можно выделить районы с растущим поголовьем, стабильным и исчезающим оленеводством. Территорию АЗРФ в этом отношении можно разбить на **три крупных региона: Западный** (Европейский): Республика Коми, Архангельская область с Ненецким АО и Мурманская область – **территории стабильного оленеводства: Срединный** (ЯНАО и арктические районы Красноярского края) – **территории растущего поголовья** и **Восточный** (арктические районы Республики Саха (Якутия) и Чукотский АО) – **территории, где поголовье по сравнению с советским периодом сократилось**. Ведущее место в развитии этой отрасли принадлежит Срединному арктическому региону (САР) [2] (табл. 3).

Таблица 3 - Поголовье северных оленей в САР, на конец года, тыс. гол.

Регион	1970.	1980	1990.	1996.	2000	2003	2008.	2013.	2017
Всего РФ	2449,2	2250,4	2250,3	1588,0	1196,4	1245,7	1522,8	1641,9	1687,3
В т.ч. частн. х-ва	324,5	287,6	426,9	636,1*	563,0	597,1	519,8	511,1	674,0
Уд. вес, %	13,2	12,8	19,0	40,1	47,1	47,9	34,1	31,1	39,95
ЯНАО	414,2	363,2	490,5	517,7	504,7	574,5	651,1	739,9	788,6
В т.ч. частн. х-ва	143,7	131,3	245,1	319,8	346,4	415,5	379,1	365,3	496,3
Уд. вес, %	34,7	36,2	50,0	61,8	68,6	72,3	58,2	49,4	62,9
Таймырский МР	123,0	88,0	77,1	50,6	40,6	43,4	62,4	96,2	124,5
В т.ч. частн. х-ва	н.д.	14,7*	22,4*	35,7	28,4	41,3	1,0	16,4	47,4
Уд. вес, %	н.д.	19,4	29,1	70,6	70,0	95,1	1,6	17,0	38,1
Итого САР	537,2	451,2	567,6	568,3	545,3	617,9	713,5	834,9	913,1
Уд. вес в АЗРФ, %	21,9	20,0	25,2	35,8	45,6	49,6	46,9	50,85	54,1
Частн. хоз-ва	-	146,0	267,5	355,5	374,8	456,8	380,1	377,4	543,7
Уд. вес в РФ, %	-	50,8	62,7	55,9	66,6	76,5	73,1	73,8	80,7

Примечание. В 1940 г. поголовье оленей составляло: Россия – 1372 тыс. гол., ЯНАО – 362, Таймыр – 78 тыс. гол.

\*Оценка.

На фоне общего снижения поголовья в северных и арктических районах страны здесь общее поголовье оленей за период с 1991 по 2018 гг. увеличилось в 1,6 раза. Соответственно выросла их доля в АЗРФ с 38,3 до 64,6% (табл. 4).

В этом отношении несомненный лидер Ямал, где треть населения автономного округа ведет кочевой образ жизни (17 тыс. чел.). В ЯНАО, несмотря на непрекращающийся процесс освоения газовых ресурсов в тундровой зоне, большое количество уничтоженных и браконьерство, оленье стадо в 1991 г., даже по сравнению с высоким уровнем 1970 г., увеличилось на 71,7 тыс. гол., а с 1991 по 2018 гг. – на 298 тыс. гол.

Таблица 4 - Поголовье оленей в регионах и субрегионах АЗРФ, на 1 января

Регион, субрегион	1991 .		2019г.		2019 г. к 1991 г., (+) (-)/%
	тыс. гол.	уд. вес, %	тыс. гол.	уд. вес, %	
Республика Коми	18,1	1,2	26,0	1,7	7,9/143,6
Архангельская обл.	190,7	12,8	181,1	11,9	-9,6/95,0
<i>в т.ч. Ненецкий АО</i>	<i>186,3</i>	<i>12,5</i>	<i>179,6</i>	<i>11,8</i>	<i>-6,7/96,4</i>
Мурманская обл.	77,3	5,2	57,1	3,8	-20,2/73,9
<b>Западный</b>	<b>286,1</b>	<b>19,2</b>	<b>264,2</b>	<b>17,4</b>	<b>-21,9/92,3</b>
Ямало-Ненецкий АО	490,5	33,0	905,6	59,6	415,1/184,6
Красноярский край	77,4	5,2	128,4	8,4	47,1/165,9
<b>Срединный</b>	<b>567,9</b>	<b>38,2</b>	<b>1034,0</b>	<b>68,0</b>	<b>466,8/182,2</b>
Р-ка Саха (Якутия) <sup>7</sup>	142,3	9,6	69,1	4,6	-72,2/48,6
Чукотский АО	491,0	33,0	152,3	10,0	-338,7/31,0
<b>Дальневосточный</b>	<b>633,3</b>	<b>42,6</b>	<b>221,4</b>	<b>14,6</b>	<b>-411,9/35,0</b>
Основной ареал*	379,3	25,5	817,8	53,8	438,5/215,6
<b>АЗРФ</b>	<b>1487,3</b>	<b>100,0</b>	<b>1520,4</b>	<b>100,0</b>	<b>33,2/105,0</b>

\*Основной ареал оленеводства РФ (Приуральский, Тазовский и Ямальский МР, ГО Салехард и Лабытнанги, ЯНАО).

В 1990-е гг. это произошло благодаря увеличению поголовья оленей в личных подсобных хозяйствах коренного населения. Общественное стадо здесь на протяжении трех последних десятилетий снижалось, а в личных хозяйствах росло (за период с 1970 по 2001 гг. поголовье оленей в личном секторе увеличилось в 2,6 раза). Начиная с 2007 г. наблюдается обратная картина – рост общественных хозяйств. В 2010 г., по статистическим данным, формально общественное стадо превысило уровень советского периода. Однако это произошло в результате объединения стад частных в общины. Данный процесс шел на фоне безудержного роста общего поголовья, которое с 2000 по 2018 гг. увеличилось на 284,6 тыс. гол., достигнув 788,6 тыс. гол, тем самым превысив проектную оленеемкость пастбищ в 1,7 раза. Несколько смягчило ситуацию снижение поголовья в последние годы – до 656,3 тыс. гол. в связи с введением нового порядка предоставления субсидии из окружного бюджета на заготовку мяса северного оленя.

Основными причинами уменьшения общественного стада явились рыночные преобразования, связанные с изменениями форм собственности (приватизация) и социально-экономические последствия переходного периода. Свою лепту внесло промышленно-транспортное освоение территории, способствующее деградация оленьих пастбищ, неблагоприятные погодные условия весеннего периода последних лет XX столетия и др.

Промышленное освоение территории оказало негативное влияние на развитие оленеводства, особенно в районах интенсивного недропользования северо-таежной зоны, где возможности его функционирования были всегда более ограничены по сравнению с тундровым оленеводством. В настоящее время продовольственное значение отрасли здесь уменьшилось в связи с сокращением поголовья и значительным ростом пришлого населения. Однако возросла его социальная и продовольственная значимость для коренного населения при снижении товарности, что позволило в большей степени удовлетворять собственные потребности КМНС в оленеводческой продукции.

В самом развитом оленеводческом регионе – ЯНАО трансформация хозяйственного уклада КМНС и субсидии из регионального бюджета в 1990-е гг. способствовали, с одной стороны, не только сохранению, но и увеличению поголовья за счет роста частных стад. Государственная поддержка как общественного, так и

<sup>7</sup> Поголовье оленей в расширенных границах арктических районов Саха (Якутия) на 1.01.991 г. составляло 265,6 тыс. гол.; на 1.01.2018 г. – 106,3 тыс. гол. Снижение в 2,5 раза.

частного оленеводства позволило повысить товарность отрасли. Эндогенный рост в этом регионе повлиял на повышение товарности отрасли, связанной с развитием сети убойно-перерабатывающих и мясоперерабатывающих комплексов. После спада производства оленины в 1990-е гг. со второго пятилетия 2000-х гг. идет ее постепенный рост, вплотную приблизившись к показателям советского времени.

Дальнейшее развитие оленеводства требует комплексного решения проблемы: с одной стороны, – охват всей жизненной цепочки от разведения оленей до получения дохода от проданной продукции, получаемой от переработки мяса, отходов, крови и др. С другой стороны, – вовлечение в сферу регулирования оленеводства всех форм организации хозяйств с учетом специфики ведения хозяйственной деятельности, ориентации на развитие предпринимательства, отражающие тренд современной ситуации в развитии оленеводства [3]. Стратегии развития с обоснованием ее целевой направленности предполагает реальное ресурсное обеспечение, в первую очередь, финансовое, хотя, как показывает практика, при наличии некомпетентной команды управленцев в выполнении поставленных задач не поможет и финансирование.

В целом, несмотря на небольшие объемы товарной продукции, отрасль вносит свой вклад в продовольственное обеспечение коренного населения, особенно в местах его традиционного проживания, в рационе питания которого мясо оленины, являющееся по своим свойствам диетическим, по-прежнему занимает важное место. Охватывая небольшой сегмент продовольственного рынка, в качественном отношении продукты оленеводства обеспечивают организм необходимыми микроэлементами, способствующими адаптации аборигенного населения к суровым природно-климатическим условиям. Помимо этого продукция оленеводства используется для пошива обуви и одежды, шкура является материалом для строительства чума, сам олень используется как транспортное средство. Олень обеспечивает коренное население необходимым материалом для жилищ, одеждой и пищей. Излишки продукции обмениваются на необходимые для оленеводов товары: металлические изделия, ткани и др. Олени являются движимым капиталом, от величины которого зависит благосостояние семей кочевников.

В социальном плане сохранение этой отрасли позволяет представителям коренных народов ощущать себя самостоятельным этносом, обеспечивая устойчивое социально-экономическое развитие в рыночных условиях.

*Статья подготовлена на основе исследований, финансируемых в соответствии с планом научно-исследовательских работ Института экономики Уральского отделения Российской академии наук на 2021–2023 гг.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Логинов В.Г. Оленеводство как базовая отрасль традиционного сектора АПК Севера // Аграрный вестник Урала. 2014. №11 (129). С.74-77.
2. Loginov V. G., Ignatyeva M. N., Naumov I.V. Reindeer Husbandry as A Basic Sector of The Traditional Economy of Indigenous Ethnic Groups: Present and Future // Regional Science, Policy and Practice 05.11.2020. doi: 10.1111/rsp3.12370
3. Пилясов А. Н., Кибенко В. А. Феномен предпринимательства в оленеводстве Ямало-Ненецкого автономного округа: оценка ситуации, парадоксы и противоречия, выбор будущего // Арктика: экология и экономика. 2020. № 1 (37). С. 122–137. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-1-122-137.

## ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК РЕСУРС СОХРАНЕНИЯ ЭТНОКУЛЬТУРНОГО ПОТЕНЦИАЛА КОРЕННЫХ НАРОДОВ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

*Маклашова Е.Г., Захарова А.Е., Степанова Ю.Г.*

Институт гуманитарных исследований и проблем малочисленных народов Севера СО РАН, г.Якутск, maklashova@mail.ru

В условиях усиления интеграции науки, власти и бизнеса на фоне гуманитаризации образования и труда значим акцент на инновационные решения гуманитарных наук.

В рамках деятельности Научно-образовательного центра мирового уровня «Север - территория устойчивого развития» (далее - НОЦ «Север») разрабатывается проект «Технологическое обеспечение социальной стабильности полиэтнических сообществ на Северо-Востоке России» (далее - ТП9), направленный на внедрение научных результатов Института гуманитарных исследований и проблем малочисленных народов Севера СО РАН (далее - ИГИиПМНС СО РАН).

Перед учеными были поставлены задачи поиска актуальных технологических решений, которые бы помогли бизнес-партнерам безболезненно встроиться в социальную систему, сохраняющую языковое и этнокультурное разнообразие многонационального народа России.

ИГИиПМНС СО РАН обладает огромной базой данных по этнокультурному и языковому развитию коренных народов Якутии. Накопленный за 85 лет работы института массив данных включает такие основные продукты ученых, как научные публикации, полевые дневники, аудио-видео материалы экспедиций, аналитические записки органам власти, экспертизы проектов нормативно-правовых актов и т.д. и требует соответствующей цифровой обработки в целях повышения сохранности и увеличения его общедоступности, последующей обработки для создания конкурентноспособных технологий, компенсирующих пробелы в области гуманизации процесса коммуникации бизнеса и коренных сообществ.

В частности, как нам кажется, наиболее уязвимой в этом отношении является вопрос сохранения устойчивого развития коренных малочисленных народов Севера в ходе решения проблем взаимодействия малочисленных народов и бизнеса, осуществляющего хозяйственную деятельность в местах традиционного проживания коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока.

Социологическими исследованиями отдела этносоциологии ИГИиПМНС СО РАН выявлена дифференциация в восприятии факторов единения у этнических групп, проживающих в Якутии: русских, якутов и коренных малочисленных народов Севера. Так для русских респондентов ключевым и основным фактором сплочения выступает язык (72,8%). Культура как объединяющий маркер отмечен 44,6% респондентами. Такие элементы единения, как родная земля и природа, родственные связи, обычаи и обряды весомы лишь для четверти респондентов. Для респондентов якутов первостепенным фактором единения также выступает язык (73,0%), кроме языка высокий процент набрал маркер родная природа и земля (50,7%). Культура как элемент единения среди якутов также отмечен только 44,9% респондентов. Представители коренных малочисленных народов Севера не выделили какой-то один ведущий и первостепенный элемент, а напротив, указали на целый комплекс факторов: 1) родная земля и природа (56,8%); 2) язык (52,5%); 3) обычаи и обряды (48,3%). Еще для трети респондентов этот комплекс дополняется факторами «культура» (35,6%) и «родственные связи» (30,5%). Такие данные фиксируют границы социальной устойчивости сообществ в системе межэтнической коммуникации на основе близости/дальности «принятия» этнических факторов. Нарушение этих границ влечет

риск возникновения конфликтных ситуаций. Характерным примером тому ситуация в отношении организации образования и преподавания на родном языке в Якутии. В отношении малых народов Севера наблюдается постоянное посягательство по ряду факторов (культура, обычаи, земля, природа) со стороны промышленных предприятий, занимающихся хозяйственной деятельностью в местах традиционной хозяйственной деятельности коренных малочисленных народов Севера, что вносит в жизнь малочисленных народов высокий уровень неустойчивости и риск конфликтов.

Глубинные интервью с представителями коренных малочисленных народов Севера, проживающих в Нерюнгринском и Алданском районах Якутии, показали высокую значимость этнокультурных факторов таких, как: земля и природа; оленеводство; традиции и обычаи, навыки и умения. По результатам интервью, установлено, что состояние этих элементов предопределяло дальнейший жизненный путь человека и даже уровень их социального самочувствия. Выявлено, что уровень жизни коренных малочисленных народов Севера в Нерюнгринском и Алданском районах, где образованы места их традиционного проживания, в большей мере зависит от состояния оленеводства, в которое вовлечен человек; сплоченности родственников вокруг поддержки этой деятельности, т.е. в этом случае мы говорим о существовании жизненной модели вокруг такого индикатора устойчивости как оленеводство. При этом, исходя из практики в обследуемых районах, существуют следующие типы включения в деятельность, связанную с оленеводством:

- прямое (владение оленями и/ или работа в стаде);
- второстепенное (временная помощь в стаде, принадлежащего родственникам, например во время отпуска по основной деятельности или на время безработицы);
- косвенное (любая финансовая, материальная и иная помощь родственникам, имеющим оленей стада, кочевые родовые общины (КРО), в том числе в виде услуг, например, оформление отчетных документов, грантов и т.д.).

Так из интервью с представителями коренных малочисленных народов Севера, проживающих в Южной Якутии, при оценке ими своего самочувствия, удовлетворённости жизненными обстоятельствами, установлено, что обладающие земельными участками и оленями, несмотря на трудности жизни, недостаточность материального обеспечения и низкое качество жизни в селах, высказывались более позитивно в отношении своего самочувствия и будущности рода и своего народа.

Обладающие возможностью прибывать время от времени на природе, имеющие второстепенное или косвенное отношение к ресурсу «олeneводство», также были уверены и в меру удовлетворены своим положением.

Выделяя степени включения человека в оленеводческую деятельность как этнокультурного ресурса развития, отдельно выделяется группа лиц (временная), которую можно классифицировать как «отстраненные» от оленеводства. Это достаточно распространённая в районах практика, когда род, некогда имеющий оленей, по разным причинам: личным; внешним, связанным с утратой земли, близостью промышленных объектов и/или разработок, хищниками и т.д. теряет их. Лица, классифицированные нами как отстраненные испытывают некоторую неуверенность в жизни в связи с потерей хозяйства.

Стоит отметить, что среди коренных малочисленных народов Севера распространена и практика «не включения» в традиционный образ жизни, т.е. в этом случае фактор «олeneводство» не входит в основу жизненной модели. «Отречение» от традиционного образа жизни и ориентирование на оседлый, городской образ жизни происходит по разным причинам: возраст; здоровье; отсутствие мотивации к жизни с ведением традиционного хозяйства (причины могут быть весьма разные: от семейно-родственных (отсутствие родственников, ведущих традиционный образ жизни) и материальных до исторических, связанных с переводом в советское время на оседлый образ жизни и с созданием интернатов для детей. Однако из анализа интервью мы

понимаем, что, несмотря на вроде устоявшуюся оседлую жизнь, такие лица испытывают духовную потребность в возвращении к традиционному образу жизни, которую невозможно реализовать в силу разных причин (например, отсутствие и потеря советующих навыков и умений). Кроме того, у некоторых лиц, некогда занятых в оленеводстве, но прекративших эту деятельность в силу разных, порой, независящих от них причины (прежде всего возраст, потеря оленей, отсутствие возможности оформить землю и т.д.) значительно упал уровень жизни, даже вплоть до «бомжевания» (пример существующей ситуации в г. Томмот).

Обладая соответствующими знаниями о взаимосвязи социального самочувствия и состояния этнических ресурсов у коренных народов Севера, авторский коллектив ТП9 принялся за сложную работу по созданию ГИС базы данных социокультурной устойчивости коренных малочисленных народов Севера Республики Саха (Якутия).

В ходе неоднократных мозговых штурмов группой было решено отказаться от создания серии карт в пользу более сложного и дорогостоящего процесса, связанного с созданием интерактивной карты данных социокультурной устойчивости коренных малочисленных народов Севера Республики Саха (Якутия). Идея создания веб-карты, фиксирующей информацию о национально-культурных процессах среди коренных малочисленных народов Севера Якутии, была обусловленная рядом причин:

- 1) слабая информированность промышленных компаний, муниципальных органов и жителей мест традиционного проживания и традиционной хозяйственной деятельности коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока о целях и задачах этнологической экспертизы, методике ее проведения;

- 2) отсутствие единства в методике оценки этнокультурного и социально-экономического развития коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока;

- 3) разрозненность данных о состоянии этнокультурных ресурсов коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока;

- 4) отсутствие статистических социально-демографических данных по каждой этнической группе коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока;

- 5) необходимость проведения мониторинга и сравнительных исследований, фиксирующих этнокультурное и этносоциальное развитие коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока.

На карте фиксации подлежат как имеющиеся официальные статистические данные, так и данные социологических обследований на территориях традиционного проживания и традиционной хозяйственной деятельности коренных малочисленных народов Севера РС(Я). Однако, группа столкнулась с рядом технических проблем, которые имеют существенное значения не только для проведения исследования, но и для управления и обеспечения управленческой деятельности органов власти и бизнес-структур. Одна из проблем была связана с поиском программ, позволяющим выполнять картографирование гуманитарных данных (количественных, графических, аудио-видео материалов, текстовых данных и т.д.), что актуализировалось в период санкций, который дал толчок развитию российского рынка программных технологий. Другую проблему преодолеть оказалось сложно, в виду отказа от фиксации статистической информации в отношении коренных малочисленных народов Севера (экономические и социальные показатели районов проживания коренных малочисленных народов Севера собирались до 2010 году), но возможно, хотя трудоемко и долго по времени, посредством сбора данных непосредственно на местах.

Мониторинг отечественного рынка программных продуктов позволил сделать выбор в пользу российской веб-ГИС-платформы FlexGIS, позволяющей осуществлять веб-картографию.

Интерактивная карта на базе FlexGIS позволяет включать разные виджеты и вносить разного рода информацию. В частности, на первом этапе будет размещена база правовых, статистических и социологических данных, информирующих об особенностях этнологической экспертизе в Якутии и создающих оценку этнокультурной устойчивости коренных малочисленных народов Севера, проживающих в Республике Саха (Якутия).

Карта предполагает возможность отслеживания и ведения мониторинга устойчивого развития коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока в местах традиционного проживания и традиционной хозяйственной деятельности.

Данный цифровой продукт позволяет:

- 1) сократить время проведения этнологической экспертизы;
- 2) разработать единую методику оценки этнокультурного и социально-экономического развития коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока для проведения оценки воздействия на этнологическую среду и этнологической экспертизы;
- 3) повысить культуру взаимодействия между недропользователями и жителями мест традиционного проживания и традиционной хозяйственной деятельности коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока;
- 4) осуществить давно заявленную органами власти цель - мониторинг качества жизни и этнокультурного положения коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока.

Безусловно, агрегация данных о социокультурном развитии народов является не только научно и общественно значимой, но и напрямую связана с интересами добывающих компаний, осуществляющих хозяйственную деятельность на территории Якутии, муниципальных и государственных органов власти Республики Саха (Якутия), Ассоциации коренных малочисленных народов Севера Республики Саха (Якутия), компаний и учреждений, осуществляющих управленческую и хозяйственную деятельность на территориях традиционного проживания и традиционной хозяйственной деятельности коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока, и конечно, общественных организаций в сфере защиты прав коренных малочисленных народов России.

*Исследование проведено в ходе выполнения научных исследований Научно-образовательным центром мирового уровня «Север - территория устойчивого развития» (далее - НОЦ «Север») по проекту 9 «Технологическое обеспечение социальной стабильности полиэтнических сообществ на Северо-Востоке России» и государственного задания по теме «Республика Саха (Якутия) и большие вызовы: социальное самочувствие, мобильность и стратегии адаптации» № 121031300008-7.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильева О.В. Этничность и общество в Республике Саха (Якутия): социологический анализ. Якутск, 2020. 151 с.
2. Идентичность, язык и культура молодежи коренных народов Севера: итоги исследования в Якутии. Новосибирск, 2022. 272с.
3. Захарова А.Е., Алексеева Г.Г., Явловская П.Е. Особенности цифровизации образовательного процесса в спортивном вузе // Педагогика и просвещение. 2022. № 4. С. 82-91.

4. Маклашова Е.Г. Социальное самочувствие коренных малочисленных народов Севера: к вопросу о методологии изучения (на материалах Республики Саха (Якутия)) // *Respublica Literaria*. 2023. Т. 4. № 2. С. 59-75.
5. Маклашова Е.Г. Этнокультурные факторы в условиях больших вызовов (по материалам социологических исследований Республики Саха (Якутия)) // *Respublica Literaria*. 2023. Т. 4. № 3. С. 122-135.
6. Местникова А.Е. Этноязыковая идентичность долган Таймыра (по результатам социологического исследования) // *Социодинамика*. 2021. № 12. С. 8-19.
7. Осипова О.В., Маклашова Е.Г. Молодёжь Арктики: миграционные намерения и социальные ожидания // *Journal of Siberian and Far Eastern Studies*. 2014. № 10. С. 6-44.
8. Томаска А.Г. Этнокультурные ресурсы интеграции трудовых мигрантов Якутии // *Теория и практика общественного развития*. 2019. № 7 (137). С. 13-17.
9. Томаска А.Г. Особенности территориальной мобильности населения Якутии в условиях пандемии COVID-19 // *Арктика и Север*. 2022. № 47. С. 206-235.
10. Этносоциальные процессы в Якутии: современный ракурс и перспективы развития. Новосибирск, 2022. 296 с.

## **К ВОПРОСУ О СТРУКТУРИРОВАНИИ СОЦИОКУЛЬТУРНОГО ПРОСТРАНСТВА АРКТИЧЕСКОГО МАКРОРЕГИОНА РОССИИ**

*Малинина К.О., Блынская Т.А.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, t\_blynskaya@mail.ru

Арктическая зона Российской Федерации охватывает территории с различным этническим и конфессиональным составом, экономической специализацией и формами организации региональной политической власти. Большие, труднодоступные, слабонаселённые территории, суровые климатические условия, пересечение разных культур – все это предопределяет динамику социокультурных процессов в Арктике. Несмотря на различающиеся характеристики населения, Российская Арктика рассматривается как единый макрорегион в составе России, вследствие преобладания в его населении русского мегаядра. По мнению исследователей у большинства жителей северных территорий РФ общероссийское самосознание доминирует над этническим и региональным [1]. Но, не стоит упускать из виду, что, единое для населения социокультурное пространство имеет определенные особенности и, соответственно, оказывается двустороннее влияние, как со стороны народонаселения, на формирование пространства, так и со стороны пространства на формирование личности. Исходя из этого, рассматривая российские арктические территории как некое единство, необходимо изучать объединяющее их пространство, исходя из социокультурных характеристик.

Интерпретируя понятие «социокультурное пространство» акцентируем внимание на его сущности. Ряд исследователей, определяя данную дефиницию, опираются на понятия «пространство» и «социальное пространство» [2].

Безусловно, определить «социокультурное пространство» невозможно без чёткого представления о значении понятия «социальное пространство». Так, в социологическом словаре под социальным пространством понимается «поле социальной деятельности, включающее совокупность значимых социальных групп, индивидов, объектов в том или ином их взаимном расположении» [3]. Термин «социальное пространство» имеет многообразие значений и, проанализировав имеющиеся определения, социолог М.Н. Ремизова приходит к выводу, что социальное

пространство представляет собой как определенную территорию, так и совокупность социальных статусов, а также, форму развития общества [4]. В трудах П.А. Сорокина, социальное пространство представляется многомерным, исходя из того, что вариантов группировки людей по социальным признакам огромное количество и в каждой из групп они специфичны, например: группирование людей по таким признакам как принадлежность к полу, возрасту, профессии, религии, национальности и т.д. [5].

Однако, анализируя социокультурное пространство, стоит не забывать и о его культурной составляющей. Культурное пространство представляется исследователями не только как некая форма хранения процессов, явлений, предметов и пр., а как пространство, в том числе, регулирующее взаимодействия культурных субъектов. Культурное пространство формируется культурными процессами, и одновременно является условием их формирования и развития. А. С. Кармин определяет культурное пространство как «пространство, образованное множеством феноменов культуры, переплетающихся и взаимодействующих между собой». Все культурные феномены, входящие в структуру культурного пространства, служат цели социокультурной организации [6].

В социологии и социальной философии «культурное» часто рассматривалось как вторичное по отношению к «социальному». Проблему единства культурного и социального развития подняли в своих трудах в начале XX века А. Тойнби, О. Шпенглер, М. Вебер, Л. Гумилев, П. Сорокин и др. В работах данных авторов появились теории, где объектом исследования стали конкретные культуры, развивающиеся по социальным правилам, а не культура человечества в целом. Благодаря этому, понимание неразрывной связи социальных и культурных компонентов общественного бытия в дальнейшем дало возможность применять многофакторный подход к анализу жизненных реалий [7].

Так, П.Сорокин структуру социокультурного взаимодействия представляет тремя аспектами, которые неотделимы друг от друга (рис.1):

- личность как субъект взаимодействия;
- общество как совокупность взаимодействующих личностей вкупе с их социокультурными связями;
- культура как совокупность значений, ценностей и норм, которыми обладают взаимодействующие личности, и носителей - объективирующих, социализирующих и передающих эти значения [8].



Рис.1 - Структура социокультурного взаимодействия (по П.Сорокину)

Итак, личность, общество и культура – неразрывное триединство, соответственно, культурное и социальное пространства не могут функционировать в отрыве друг от друга. Объединяя социальное и культурное в единое целое, попытаемся структурировать объем понятия «социокультурное пространство». В научных публикациях мы встречаем разнообразные варианты определения структуры социокультурного пространства: совокупность множества внутренних культурных миров (монад) [9], физически и ментально конструируемая человеком пространственная среда и мн.др. [7].

Однако, стоит отметить, что, несмотря на большое разнообразие попыток систематизировать социокультурное пространство, в том числе, существующий Атлас, включающий в себя социокультурные портреты регионов России [10], они не отвечают, на наш взгляд, положению дел на настоящий момент развития территорий и отражают тенденции социокультурного состояния лишь отчасти. Нам представляется необходимым внести ясность в существующий хаос векторов изучения социокультурного пространства, предложив более четкую систему структурирования.

На основе проведенного анализа научных публикаций предлагаем определение социокультурного пространства региона, применимое, в том числе, к арктическому макрорегиону России. Социокультурное пространство региона представляет собой конгломерат взаимодействий между личностью, обществом и культурой, связываемых единой территорией нахождения и функционирования.

Сформулируем основные свойства социокультурного пространства региона:

1. Социокультурное пространство региона представляет собой определенную общность, состоящую из народонаселения – носителей культуры соответствующего региона, и являющуюся, в свою очередь, подпространством страны местонахождения и всей планеты (это подразделение, в зависимости от целей исследования, представляется возможным детализировать, исходя из культур-географических характеристик).

2. Социокультурное пространство пронизано переплетением социокультурных взаимоотношений между индивидом, социальными группами и проводниками.

3. В качестве точки отсчета (точки на системе координат) для определения положения в социокультурном пространстве (социокультурные координаты) может выступать как социальное явление, социальная группа (или же совокупность групп), так и отдельный индивид, обладающий определенными характеристиками (значимыми фактами), как то, например: семейное положение, гражданство, национальность, религиозная конфессия, профессия, нормы, ценности и пр.

4. Координаты в социокультурном пространстве не равны местоположению в пространстве физическом. То есть, люди, территориально находящиеся рядом друг с другом, в социокультурном пространстве могут быть значительно отделены друг от друга (самый яркий пример – правитель и обсуживающий персонал). Люди же, которые находятся друг от друга далеко, могут при этом в социокультурном пространстве иметь близкую связь (например – родственники, единомышленники). Невзирая на, возможно, общий культурный код, социокультурные координаты людей могут значительно отличаться и наоборот.

5. Социокультурное положение (социокультурный статус) каждого индивида оценивается через выявление установленных им связей с другими индивидами и социальными группами. Общность социальных групп, а также внутригруппового статуса человека в каждой из них является системой социокультурного координирования, которая позволяет определить социокультурный статус каждого индивида.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шапаров А.Е. Этнонациональная политика России в Арктике: основные подходы и принципы // *АиС*. 2015. №21. С. 98-117.
2. Шакурова М. В. Социокультурное пространство как условие становления социокультурной идентичности личности. Режим доступа: <http://www.eculture.ru/Articles/2007/Shakurova.pdf> (Дата обращения 05.08.2023).
3. Социологический энциклопедический словарь: на русском, английском, немецком, французском и чешском языках /ред.-координатор Г. В. Осипов. М.: ИНФРА-М–НОРМА, 1998. 488 с.

4. Ремизова М.Н. Интерпретация понятия «Социокультурное пространство» в классической социологии. Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики. Тамбов: Грамота, 2012. № 10 (24): в 2-х ч. Ч. I. С. 158-162.
5. Сорокин П.А. Социальная мобильность /Пер. с англ. М.В. Соколовой. Под общей ред. В.В. Сапова. М.: Academia. 2005. 588 с.
6. Кармин А. С. Основы культурологии: морфология культуры. СПб.: Лань, 1997. 512 с.
7. Орлова Е.В. Социокультурное пространство: к определению понятия // Манускрипт. 2017. №7 (81). С.149-152.
8. Сорокин П.А. Общество, культура и личность: их структура и динамика. Система общей социологии / Перевод и вступ. ст. Н.Ф. Зюзева, сост., коммент. и научное ред. В.В. Сапова. Сыктывкар: ООО «Анбур», 2022. 1048 с.
9. Моль А. Социодинамика культуры. М.: ЛКИ. 2007. 404 с.
10. Атлас модернизации России и ее регионов: социоэкономические и социокультурные тенденции и проблемы. Сост. Н.И. Лапин. М. Весь мир. 2016. 347 с.

## **СБОР И ОБРАБОТКА ДАННЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ В Г. АРХАНГЕЛЬСК**

*Мигаль Ю.В.*

Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова,  
г. Архангельск, migaly@list.ru

**Аннотация:** В статье рассматривается актуальная проблема отсутствия структурированных данных о качестве жизни в городе Архангельск. Отсутствие такой информации препятствует проведению анализа и разработке методик для улучшения жизненных условий. Статья будет посвящена рассмотрению данной проблемы и поиску путей ее решения.

**Ключевые слова:** качество жизни, Архангельск, Google Карты, отзывы, сбор данных, разметка информации.

В настоящее время актуальна ситуация затруднительного проведения анализа по качеству жизни в регионах, в силу наличия огромного пласта неструктурированной информации. В результате специалистам трудно разрабатывать методики, концепции и возможные стратегии по улучшению качества жизни. Обзор открытых источников показал, что в общем доступе нет обработанной информации для анализа данных о качестве жизни населения города Архангельск, поэтому важно рассмотреть данную проблему.

В современном обществе понимание качества жизни является необходимым фактором для его развития. Люди всё чаще пользуются различными услугами и посещают разнообразные заведения. Они находятся в некотором информационном поле, в котором происходит большая часть коммуникации, обсуждения пережитых негативных или позитивных эмоций. Естественно, в сети интернет, всё имеет свой след. Именно такая информация, как написанный отзыв, просмотры, оценка поста, реакция на него и т. д. несут огромный вклад в качество сбора данных, их дальнейшего использования и систематизирования. Такая информация, в дальнейшем, откроет уникальные возможности для улучшения качества жизни, а также для более глубокого понимания того, как цифровая эра влияет на нашу жизнь и общество в целом.

В рамках производственной практики от университета была поставлена задача проанализировать качество жизни в городе Архангельск. Для этого совместными

усилиями, в пределах группы, сформированной на время данной деятельности, был разработан план по поиску нужной информации. Были выделены категории информации, которое относится к таким сферам жизни, как здравоохранение, ЖКХ, сфера образования, инфраструктура, культура, экологическая обстановка, безопасность, социальное обеспечение, политика, доступность товаров и услуг, официальные заявления и туризм [1]. Также были выделены основные источники информации: социальная сеть «ВКонтакте», Telegram, новостные сайты города и Google Карты.

Карты являются отличным источником информации, так как за последнее время, люди всё чаще опираются на этот ресурс при выборе услуги или заведения. Их комфортно использовать, так как каждая организация привязана к определенной локации. Удобный поиск, просмотр и наличие графы «отзыв», является благоприятной средой для высказывания своего мнения и ознакомления с уже имеющимся.

Целью данной работы является сбор и обработка данных с Google Карт для анализа качества жизни в городе Архангельск. Для осуществления цели работы были поставлены следующие задачи:

- 1) анализ веб-ресурса;
- 2) сбор данных;
- 3) начальная разметка информации.

Первым этапом работы является анализ Google Карт. При поисковом запросе «сфера образования» можно столкнуться с проблемой – это слишком широкое понятие, ресурс не может найти по нему нужные данные. Для успешного сбора информации нужно было определиться с источниками, а именно с теми организациями, которые бы подходили под категории исследования. Для этого была проведена работа в сети Интернет для поиска развертки определенного тезиса и нахождения его слов синонимов. Для примера можно взять одну из категорий, выделенных ранее – «сфера образования». Важно выделить, что именно в неё включено. По результатам исследования были определены такие слова как школа, гимназия, университет, техникум, колледж, детский сад и дошкольное образование. Именно по ним далее проводился поиск организаций.

После выявления ключевых слов был проведен анализ интерфейса Google Карт для настройки программы-парсера. В результате выписаны ключевые особенности интерфейса: при вводе появлялся выпадающий список организаций с их кратким описанием; каждая организация содержала свою уникальную адресную строку; для того, чтобы просмотреть отзывы об организации нужно также перейти на новую адресную строку, которая являлась добавочной к адресной строке организации; рейтинг организации, название и сфера деятельности находились как на главной странице организации, так и на странице с отзывами; рейтинг отзыва и его дата и время написания находились на странице с отзывами.

Далее осмотр стал более углублённый, нужно было выяснить, под какими тегами хранятся нужные нам данные и выписать их. В итоге, по такому принципу составлялся код программы, шаг за шагом записывались нужные теги и их обозначения на странице сайта в итоговую таблицу. После получения данных, была поставлена задача в их частичной разметке.

Основной задачей разметки является определение тональности отзывов. Было выделено три основных категории: позитивная, негативная и нейтральная [2]. Данное деление упрощает дальнейшую обработку результатов исследования тем, что помогает в более быстрой форме просмотреть отношение людей к той или иной сфере жизни и, соответственно, сделать выводы по уровню жизни населения. Из полученных трёх с половиной тысяч записей вручную было размечено две сотни строк категории «сфера образования». При выборе позитивной оценки внимание было сосредоточено на словах: отлично, здорово и т. п. Для негативной: плохо, ужасно и т. п. В случае с

нейтральной оценкой, либо это был безоценочный отзыв, либо он имел как позитивное, так и негативное окрашивание. По итогу было выявлено, что большая часть размеченных данных имеет положительный окрас (рис.1).

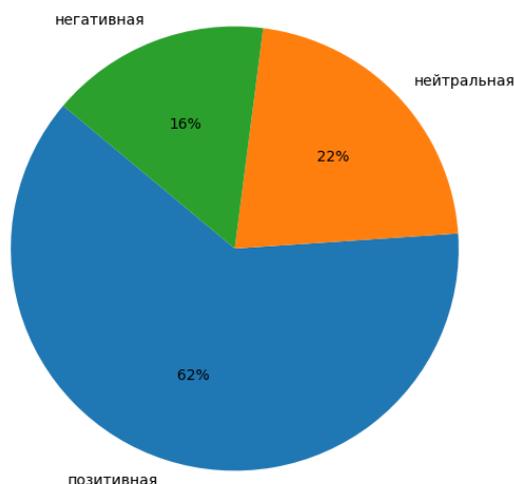


Рис. 1 – Круговая диаграмма тональности для категории «сфера образования»

В то же время разметить несколько тысяч строк затруднительно и занимает слишком много времени, поэтому в будущем, эта небольшая часть размеченных данных, может послужить для дальнейшего использования в обучение модели и предсказании оценки на необработанных участках информации.

В результате, можно сказать, что поставленные задачи в начале исследования были выполнены: проведён анализ веб-ресурса, собраны необходимые данные и произведена начальная разметка информации. Следовательно, поставленная цель была достигнута. На основе полученных данных, в дальнейшем можно будет применить алгоритмы кластеризации, определить конкретные моменты положительных и негативных сторон качества жизни в регионе. Также визуализировать полученный результат, после сделать выводы о качестве жизни в определённых категориях для перспективы их улучшения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щекотин Е. В., Мягков М. Г., Гойко В. Л., Кашпур В. В., Коварж Г. Ю. Субъективная оценка (не)благополучия населения регионов РФ на основе данных социальных сетей // Мониторинг общественного мнения: Экономические и социальные перемены. 2020. № 1. С. 78-116.
2. Shchekotin E., Goiko V., Myagkov M., Dunaeva D. Assessment of quality of life in regions of Russia based on social media data // Journal of Eurasian Studies. 2021.

## ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ИНФРАСТРУКТУРНОГО ПОТЕНЦИАЛА АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА (НА ПРИМЕРЕ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ)

*Молодцова В.Н.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г.Архангельск, value29@mail.ru

Перспективы развития регионов российской Арктики зависят от множества факторов, имеющих политическое, экономическое, социальное, природное (экологическое), технико-инновационное происхождение. При этом одну из ключевых позиций в списке факторов и показателей социально-экономического развития арктических территорий занимает состояние объектов инфраструктуры (энергетической, производственной, транспортной, социальной и пр.), что подробно описано в ряде научных работ [1-3].

Инфраструктурный потенциал территории (региона) представляет собой совокупность расположенных на ней объектов инфраструктуры в виде основных производственных и непроизводственных фондов, обеспечивающих устойчивое развитие и эффективное функционирование всего регионального хозяйственного комплекса, а также улучшение качества жизни населения [8].

Инфраструктура как фактор экономического развития существенно влияет на модернизацию производства и инновационное развитие территорий, а также оказывает влияние на формирование кластерных образований. Впервые прямая связь между уровнем развития инфраструктуры и ростом объемов производства была обнаружена в конце 1980-х гг. учеными, исследовавшими взаимосвязи экономических процессов на национальном уровне в США [11]. Отсутствие или недостаточность развития инфраструктуры может привести к снижению темпов экономического роста, а зачастую и обусловить стагнацию национальной (или региональной) экономической системы вследствие увеличения издержек производства и ухудшения качества услуг.

В экономической системе любого региона России (в том числе и арктического) присутствует агропромышленный комплекс (АПК), одной из основных задач функционирования которого является обеспечение продовольственной безопасности населения. АПК по условиям производства и задачам, стоящим перед ним, значительно отличается от других отраслей реального сектора. Во-первых, необходимостью дополнительных производственных издержек, отсутствующих у предприятий других отраслей, таких как, например, затраты на поддержание и повышение продуктивности земельных, водных и других естественных ресурсов. Во-вторых, наряду с дополнительными затратами в АПК достаточно высок уровень амортизационных отчислений на восстановление и покупку техники, оборудования, на ремонт и постройку производственных зданий и т.д. Поэтому в аграрном хозяйстве всегда выше затраты на единицу основных средств, чем в других производствах [4, с. 425].

На сегодняшний день в российской экономической литературе представлено множество вариантов классификации инфраструктурного потенциала АПК, во многом они схожи по своему логическому построению, отличаясь лишь индивидуальностью интерпретации [10]. Приведем классификацию элементов инфраструктурного потенциала АПК по основным признакам в таблице 1.

К межотраслевой инфраструктуре АПК относятся объекты, предоставляющие услуги отраслям промышленности, производства и переработки продукции сельского хозяйства. В состав ее объектов включают: дорожные, транспортные, финансовые, правовые, торговые, ремонтные, строительные и другие организации, способствующие

улучшению количественных и качественных характеристик продукции, производимой в данных отраслях, и ускорению темпов ее коммерческой реализации.

Таблица 1 - Классификация элементов инфраструктурного потенциала АПК

Признаки инфраструктурного потенциала			
Отраслевой	Территориальный	Функциональный	Роль в производственном процессе
Межотраслевая Внутриотраслевая	Федеральная Региональная Локальная	Рыночная Экологическая Финансовая Институциональная Информационная Инновационная Инженерная Транспортная	Производственная Социальная Многофункциональная

К внутриотраслевой инфраструктуре АПК относятся объекты конкретной отраслевой специализации, в животноводстве - это, например, ветеринарные службы, в растениеводстве - станции мелиорации, агрохимические службы и др.

По территориальному признаку определяют следующие виды и объекты инфраструктуры:

- федеральная - инфраструктура, созданная для обеспечения эффективного функционирования народного хозяйства на всей территории страны (магистральные сооружения, линии электропередач, линии связи и т.п.);
- региональная - обеспечивает деятельность различных отраслей, в том числе и аграрного производства в рамках конкретного экономического или географического региона, учитывая его специфические особенности (региональные энергетические системы, различные производственно-управленческие структуры, технопарки и т.п.);
- локальная - инфраструктура отдельных агропромышленных предприятий (ремонтные, транспортные, складские помещения, дренажные и оросительные системы и т.п.)

По функциональному признаку выделяют:

- рыночную инфраструктуру (организации оптово-розничной торговли сельскохозяйственной продукцией и ресурсами: торговые базы, логистические центры и т.п.);
- экологическую инфраструктуру (организации и объекты мониторинга и защиты окружающей среды; средства фильтрации отработанных газов и других продуктов горения и переработки; системы очистки воды);
- финансовую инфраструктуру (сеть государственных и частных организаций обеспечивающих финансовую деятельность АПК: банки, кредитные союзы, страховые, лизинговые компании и т.д.);
- институциональную инфраструктуру (система государственных организаций регулирующих хозяйственную деятельность АПК, юридические и нотариальные фирмы);
- информационную инфраструктуру (совокупность информационных устройств и средств связи, необходимых для сбора, хранения, обработки и передачи информации: теле-, радио и телефонная связь, сеть интернет);
- инновационную инфраструктуру (специализированные банки развития, предоставляющие инвестиционные кредиты; научно-производственные комплексы, осуществляющие разработку и продвижение приоритетных научно-исследовательских проектов; фонды венчурного финансирования, бизнес-инкубаторы и др.);

- инженерную инфраструктуру (совокупность сооружений, обеспечивающих аккумуляцию и передачу производственных ресурсов и услуг в АПК: линии электро-, водо-, тепло-, газоснабжения);

- транспортную инфраструктуру (объекты, обеспечивающие движение товаров и способствующие развитию сельских территорий: дороги, транспорт, мосты, переправы и т.п.).

Далее от теоретико-методологических вопросов перейдем в практическую плоскость, в качестве которой здесь рассматривается Архангельская область и её агропромышленный комплекс. При этом отметим, что Архангельская область является частью российского сектора Арктики, играющего важную роль в геополитической, оборонной и ресурсной стратегии всего государства [5, с. 135].

АПК Архангельской области условно может быть представлен в виде четырех основных составляющих: земельные ресурсы; производство сельскохозяйственной продукции и продовольствия; рынок сбыта продукции (торговля); инфраструктура.

По данным министерства агропромышленного комплекса и торговли Архангельской области производством продукции сельского хозяйства в регионе занимаются порядка 40 сельхозорганизаций, 70 крестьянских (фермерских) хозяйств, свыше 80 тысяч личных подсобных хозяйств. Средняя численность работающих в отрасли составляет 2,2 тысячи человек [6]. Приоритетной отраслью АПК региона является молочное животноводство, параллельно которому развивается растениеводство (как база для производства сочных и грубых кормов собственного производства), достаточно развито в области товарное и семенное картофелеводство. Доля АПК в валовом региональном продукте составляет 4 % (порядка 26 млрд. руб.). Объем производства продукции сельского хозяйства (в хозяйствах всех категорий, в сопоставимых ценах) за 2022 год составил порядка 12 млрд. руб. (100,3 % к уровню предыдущего года) [7].

В коллективном секторе растениеводство представлено, в основном, кормопроизводством, картофелеводством и семеноводством картофеля, поскольку Архангельская область находится в зоне рискованного земледелия.

Валовой сбор основных сельскохозяйственных культур в хозяйствах всех категорий составил:

- ✓ Сбор зерна - 1,0 тыс. тонн или 166,7 % к уровню 2021 года;
- ✓ Сбор картофеля - 89 тыс. тонн или 101,1 % к уровню 2021 года;
- ✓ Сбор овощей 25,6 тыс. тонн овощей открытого грунта или 99,6 % к уровню 2021 года.

В регионе функционирует одно крупное тепличное хозяйство ООО «Северодвинский Агрокомбинат» (объем производства овощей - 1,03 тыс. тонн). Обеспеченность кормами собственного производства в коллективном секторе на одну условную голову крупного рогатого скота составила 24,8 центнера, с учетом запасов кормов урожая 2021 года, достаточно под полную потребность для успешной перезимовки скота в зимне-стойловый период.

В 2022 году валовой надой молока в коллективном секторе составил 129,7 тыс. тонн или 103,6 % к уровню 2021 года. Рост объемов производства молока отмечен в сельскохозяйственных организациях на 104,0 %. Производство яиц составило 52,7 млн. штук. Сокращение производства товарного яйца (на 12,3 % к уровню 2021 года) связано с плановым сокращением старого поголовья кур-несушек ООО «ПТФ Котласская».

Общая численность крупного рогатого скота в хозяйствах всех категорий составила 40,1 тыс. голов (99,7 % к уровню 2021 года), в том числе коров 18,4 тыс. голов (97,2 %). Сокращение поголовья связано с прекращением производственно-хозяйственной деятельности и снижением численности коров в хозяйствах с мощностью до 150 коров, а также сокращением поголовья скота в хозяйствах

населения. В сельскохозяйственных организациях численность скота составляет 32,2 тыс. голов (102,0 %), в том числе коров 14,6 тыс. голов (98,5 %). Численность племенного поголовья в хозяйствах Архангельской области составляет 23,2 тыс. голов крупного рогатого скота, в том числе коров 10,5 тыс. голов.

В регионе активно реализуются инвестиционные проекты в молочном животноводстве, ежегодно в отрасль привлекается порядка 900 млн. рублей инвестиций (в 2022 - 2024 годах начата реализации инвестиционного проекта в Устьянском районе, ежегодный объем инвестиций превысил 2 млрд. рублей). В 2022 году в агропромышленном комплексе Архангельской области завершена реализация 3 инвестиционных проектов в животноводстве на 869 скотомест: строительство телятника на 324 головы ООО «Пежма»; реконструкция животноводческого двора № 2 АО «Важское» на 345 голов; строительство коровника на 200 голов КФХ Виноградов В.С. В стадии реализации в деревне Черновская Устьянского района находится масштабный инвестиционный проект «Строительство животноводческого комплекса на 3,2 тысячи дойных коров, который будет осуществлен в два этапа ООО «Устьянская молочная компания» до 2025 года. Общий объем инвестиций составит порядка 6 млрд. рублей.

В 2022 году Минсельхозом России отобраны для предоставления федеральных субсидий на компенсацию части прямых понесенных инвестиционных затрат четыре инвестиционных проекта, реализованных в предыдущие годы, в том числе: строительство животноводческого комплекса на 750 голов ООО «Пежма»; строительство коровника на 240 голов с отделением для телят на 48 голов ООО «Агрофирма Судромская»; строительство животноводческого комплекса для содержания ремонтного молодняка от 420 коров ООО «Агропромышленная компания»; строительство животноводческой фермы на 400 голов ООО «Ростово». Общий объем инвестиций составил 395 млн. руб., размер государственной поддержки из федерального и областного бюджета - 111,1 млн. руб.

В 2022 году с использованием субсидий из областного бюджета сельскохозяйственными товаропроизводителями малых форм хозяйствования приобретено 110 единиц (в 2021 году - 61 единица) сельскохозяйственной техники и оборудования, 6 единиц оборудования для переработки и фасовки молока, а также средств маркировки молочной продукции [7].

Несмотря на поддержку государства в сфере АПК Архангельской области имеются негативные тенденции:

- Значительный (опережающий инфляцию) рост цен на товары и услуги, приобретаемые с/х товаропроизводителями для осуществления производственных процессов;
- Низкие закупочные цены на с/х продукцию на региональном рынке;
- Ежегодный непропорциональный рост расходов на коммунальные услуги с/х предприятий;
- Высокая себестоимость продукции, производимая с/х товаропроизводителями, что затрудняет ее реализацию на продовольственном рынке региона;
- Продукты питания, производимые за пределами Архангельской области, наиболее востребованы жителями региона по причине их более низкой стоимости;
- Недостаточное количество инвестиционных проектов в сфере АПК Архангельской области;
- Низкий уровень обеспеченности инфраструктурой АПК (производственных и непроизводственных фондов).

Многие из перечисленных выше особенностей и тенденций в сфере АПК характерны не только для Архангельской области, но и для всех арктических регионов. Так, например, в целом в арктическом макрорегионе проблемой является состояние и

динамика потребительского рынка, зачастую ориентированного на завозную продукцию и потому зависящего от целого ряда внешних влияний. При этом незначительная доля присутствия на региональном потребительском рынке местных товаропроизводителей делает в современных жёстких условиях эту проблему системной [9, с. 89].

Для того, чтобы переломить негативные тенденции лица принимающие решения должны быть обеспечены полной и релевантной информацией о современном состоянии имущественного комплекса АПК региона, о его инфраструктурном потенциале. В настоящее время все методы оценки имущественных комплексов принято группировать в три методических подхода: затратный, доходный и рыночный (сравнительный). Каждый из указанных подходов предполагает возможность использования целого ряда методов оценки элементов и всего имущественного комплекса (таблица 2). При этом выбор метода определяется характеристикой совокупности факторов, описывающей различные аспекты функционирования и состояния элементов оценки

Таблица 2 - Подходы и методы оценки инфраструктурного потенциала (на примере оценки имущественного комплекса)

Характер объекта	Цель и функция оценки	Подход	Метод
Отдельные элементы крупных имущественных комплексов, имущественные комплексы, не приносящие дохода, относящиеся к пассивному рынку недвижимости	Налогообложение физических лиц, арест объектов недвижимости, налогообложение прибыли	Затратный	Удельной стоимости; Поэлементный; Сметный; Индексный
Элементы имущественных комплексов и имущественные комплексы, приносящие доход	Оценка, объекта, приносящего доход	Доходный	Капитализации; Дисконтирования денежных потоков
Объекты, относящиеся к развитому рынку	Налогообложение физических лиц, арест объектов недвижимости, налогообложение прибыли	Сравнительный	Прямого сравнительного анализа продаж; Валового рентного мультипликатора

В современных реалиях методы оценки инфраструктурного потенциала территории разнообразны, отсутствует единая общепринятая методика его оценки, в том числе и в АПК. Поэтому для обеспечения устойчивого развития региона в сфере АПК необходимо разработать систему оценки как количественных, так и качественных показателей основных категорий объектов инфраструктуры сельскохозяйственного назначения, включая инженерные сооружения, дорожную сеть, инженерные коммуникации и автономные источники ресурсообеспечения. Это позволит более точно измерять эффективность и доступность инфраструктуры, облегчит управление ресурсами, будет способствовать устойчивому развитию сельского хозяйства. Кроме того, необходимо сформировать обобщающие критерии развития инфраструктуры, которые будут служить важным инструментом для мониторинга и планирования развития сельского хозяйства в регионах с суровыми природно-климатическими условиями. Эти задачи остаются актуальными и требуют дальнейших исследований и

практической реализации с целью улучшения управления и развития сельскохозяйственной инфраструктуры в арктических регионах России.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Социально-экономическое развитие арктического макрорегиона: комплексный подход: монография / Л.А. Чижова, А.Г. Тутьгин, А.О. Подоплекин и др.; отв. ред. Чижова Л.А. – Архангельск: КИРА, 2022. – 292 с.
2. Чижова Л.А., Тутьгин А.Г. Концептуальная основа управления сбалансированным развитием территорий Арктической зоны Российской Федерации // *Фундаментальные исследования*. 2021. № 12. С. 209-214.
3. Тутьгин А.Г., Чижова Л.А., Ловдин Е.Н. Оценка социально-экономической ситуации в арктических муниципальных районах Архангельской области на основе целевой модели // *Арктика и Север*. 2022. № 46. С. 170-189.
4. Мезоэкономика России: стратегия разбега: монография / под ред. чл.-корр. РАН Г. Б. Клейнера; Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Центральный экономико-математический институт Российской академии наук. – М.: Издательский дом «НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА», 2022. – 808 с.
5. Носырев Н.С., Урыков В.А., Чижова Л.А. Трансформация транспортно-логистических схем арктических городов и приоритеты промышленной политики региона (на примере архангельской агломерации) // *Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития*. 2022. № 3 (70). С. 133-141.
6. Министерство агропромышленного комплекса и торговли Архангельской области. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dvinaland.ru/gov/iogv/minapk/> (дата обращения 10.09.2023)
7. Письмо министерства агропромышленного комплекса и торговли Архангельской области от 07.03.2023 № 205-03/1032.
8. Плисецкий Е.Л. Инфраструктурный потенциал территории как фактор устойчивого регионального развития // Плисецкий Е.Л., Плисецкий Е.Е. // *Вопросы государственного и муниципального управления*, 2020 №3. – С. 165-186 - URL: <http://elib.fa.ru/art2020/bv1862.pdf>.
9. Тутьгин А.Г., Чижова Л.А., Урыков В.А. Промышленная политика и трансформация потребительского рынка арктических регионов России // *Арктика и Север*. 2022. № 48. С. 75-90.
10. Шамин Р.Р. Модернизация многофункциональных элементов инфраструктуры как фактор развития сельского хозяйства и сельских территорий: дисс... канд. экон. наук., 2018.
11. Aschauer D. A. Is public expenditure productive? // *Journal of Monetary Economics*. 1989 Vol. 23 P. 177–200.

#### **ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Мураев И.Г.*

Министерство природных ресурсов и лесопромышленного комплекса Архангельской области, г. Архангельск, [igmuraev@gmail.com](mailto:igmuraev@gmail.com)

**Лесосырьевой потенциал Архангельской области.** Архангельская область – один из наиболее развитых лесохозяйственных и лесопромышленных центров РФ с большими запасами древесины (2,6 млрд. куб. м). В границы Арктической зоны

включаются города Архангельск, Северодвинск, Новодвинск и 5 муниципальных образований районов области, куда входят 10 лесничеств площадью 12,7 млн. га с запасом древесины 1 млрд. куб. м. Ежегодная расчетная лесосека по Арктической зоне составляет порядка 6,5 млн. куб. метров (общая по области 27,8 млн. куб. м). Фактическое использование расчетной лесосеки за 2022 год составило 3,5 млн. куб. метров или 53 %. Более 21 млн. га лесной площади области находится в аренде. Ежегодно заготавливается 14 – 16 млн. куб. м древесины. Это 2-е место по Северо-Западу и 4-е по стране по объемам заготовки.

**Лесной комплекс Архангельской области (вклад Архангельской области в производство Российской Федерации и Северо-Западного федерального округа).** За последние 10 лет отрасль практически полностью модернизирована – созданы современные производства. Область занимает лидирующие позиции в стране по производству лесопроductии (табл.1).

Таблица 1 – Доля Архангельской области в общих объемах произведенной продукции ЛПК

Вид продукции	2021 год		2022 год	
	доля	место	доля	место
<b>В Российской Федерации</b>				
Лесоматериалы необработанные	9,1	4	8,9	4
Пиломатериалы	8,3	3	8,3	3
Фанера	3,0	16	2,9	13
Гранулы топливные	22,0	1	17,1	1
Целлюлоза по варке	26,2	2	25,7	2
Бумага и картон	16,6	1	16,3	1
<b>В Северо-Западном Федеральном округе</b>				
Лесоматериалы необработанные	26,9	2	27,8	2
Пиломатериалы	30,2	1	32,1	1
Фанера	10,4	5	10,1	5
Гранулы топливные	47,8	1	45,6	1
Целлюлоза по варке	43,6	1	44,6	1
Бумага и картон	31,5	1	31,7	1

Антироссийские санкции оказали негативное влияние на деятельность всех промышленных предприятий. Однако ЛПК Архангельской области продолжает занимать лидирующие позиции.

**Вклад ЛПК в экономику Архангельской области.** Доля отгрузки ЛПК в объеме отгруженной продукции региона в 2021 г. составила 43 % в структуре регионального продукта – 14 %, в 2022 г. показатели увеличились на 8% и на 3% соответственно. В I п/г текущего года доля отгруженной лесопромышленной продукции в общем объеме отгрузки продукции обрабатывающих отраслей составила 57%, что на 14% ниже I п/г прошлого года (табл. 2).

Таблица 2 – Доля ЛПК в объеме отгруженной продукции обрабатывающих производств Архангельской области

Объем отгруженных товаров	2021 год	2022 год	В % к 2021 г.	I п/г. 2022 г.	I п/г. 2023 г.	В % к I п/г. 2022 г.
Обрабатывающие производства, млн. рублей	418 149,1	316 197,9	76	127 566,3	117 707,6	92
в том числе:						
деревообработка, млн. рублей	65 576,5	44 527,2	68	26 508,9	19 499,7	74
ЦБП, млн. рублей	114 447,8	114 865,4	100	63 538,0	49 446,1	78
Итого ЛПК, млн. рублей	180 024,3	159 392,6	89	90 046,9	68 945,7	77
Удельный вес ЛПК в объеме отгрузки обрабатывающих производств, %	43,1	50,4	х	70,6	58,6	х

**Динамика объемов производства продукции ЛПК Архангельской области.** 2021 г. для нашего ЛПК был самым успешным, отрасль произвела максимальные объемы продукции за последние 20 лет – и по объемам, и по финансовым показателям, что также необходимо учитывать (таб.3).

Таблица 3. Динамика объемов производства основных видов продукции ЛПК за период 2021 год – I полугодие 2023 года

№ п/п	Наименование показателя	Ед.изм.	2021 г.	% к 2020 г.	2022 г.	% к 2021 г.	I п/г 2023 г.	% к I п/г 2022 г.
	<b>Производство</b>							
1	Пиломатериалы	тыс. м <sup>3</sup>	2687	102	2395	89	1185	95
2	Фанера клееная	тыс. м <sup>3</sup>	134	103	95	71	48	76
3	Гранулы топливные	тыс. тонн	570	123	356	62	23	10
4	Целлюлоза по варке	тыс. тонн	2313	100	2253	97	1085	96
5	Целлюлоза товарная	тыс. тонн	588	100	615	105	315	107
6	Бумага	тыс. тонн	580	96	508	88	244	90
7	Картон	тыс. тонн	1127	101	1107	98	521	94

Результаты санкционного давления стали огромной нагрузкой для наших лесопромышленников. По сути дела, все, что нарабатывалось десятилетиями постсоветского периода, нужно было в течение одного прошлого года максимально оперативно и полностью переформатировать, и не допустить остановки производств. Индекс производства в прошлом году составил 84% (от 2021 г.) по деревообработке, 95% (от 2021 г.) по производству бумаги и бумажных изделий. Показатели производства по основным деревообрабатывающим предприятиям Архангельской области за истекший период 2023 г. ниже показателей соответствующего периода прошлого года (таб. 4).

Таблица 4 – Динамика объемов производства основных видов продукции ЛПК в 2023 г.

№ п/п	Наименование показателя	Ед. изм.	Янв. 2023 г.	Февр. 2023 г.	Март 2023 г.	Апр. 2023 г.	Май 2023 г.	Июнь 2023 г.	Янв.-июнь 2023 г.	% к январю 2022 г.
1	Пиломатериалы	тыс. м <sup>3</sup>	160	188	230	201	208	198	1185	95
2	Фанера клееная	тыс. м <sup>3</sup>	5	8	9	8	8	10	48	76
3	Гранулы топливные	тыс. тонн	6	2	2	2	2	9	23	11
4	Целлюлоза по варке	тыс. тонн	181	172	189	184	182	177	1085	96
5	Целлюлоза товарная	тыс. тонн	56	48	55	37	67	52	315	107
6	Бумага	тыс. тонн	38	39	41	44	41	41	244	90
7	Картон	тыс. тонн	84	86	94	91	83	83	521	94

Пострадало производство фанеры, поскольку в большей части она экспортировалась в Канаду и США. Производство топливных гранул практически остановлено. У производителей целлюлозно-бумажной продукции существенного снижения не наблюдается. Индекс производства в деревообработке за январь-июнь 2023 г. составил 84% к соответствующему периоду прошлого года, в ЦБП – 93,9%.

**Экспорт продукции ЛПК Архангельской области.** Практически вся продукция ЛПК исторически ориентирована на экспорт. На конец 2021 г. у нас порядка 90% продукции ЛПК поставлялось за рубеж. Основная доля – в страны, которые в последующем стали нам недружественными. В течение прошлого года постоянно происходило внедрение новых пакетов санкций, которые закрыли традиционные рынки

сбыта. Единственным выходом из ситуации стал поиск новых потребителей в дружественных странах. Соответственно, в течение всего прошлого года происходила переориентация рынков сбыта, логистики поставок. К началу 2022 г. 63% занимали рынки стран, которые стали недружественными. В течение 2022 года эта доля минимизирована до 10% – в 6 раз (табл.5).

Таблица 5 – Доля экспорта в объеме производства лесопродукции Архангельской области

Вид продукции	Объем производства			Объем экспорта			Доля экспорта, %		
	І кв. 2022 г.	І кв. 2023 г.	В % к І кв. 2022 г.	І кв. 2022 г.	І кв. 2023 г.	В % к І кв. 2022 г.	І кв. 2022 г.	І кв. 2023 г.	+/-
Пиломатериалы, тыс. м <sup>3</sup>	631	579	92	532	432	81	84	75	-9
Фанера, тыс. м <sup>3</sup>	32	22	69	23	13	57	72	56	-16
Пеллеты, тыс. т	135	10	7	126	0	0	93	-	-93
Целлюлоза товарная, тыс. т	146	159	109	71	64	90	49	40	-9
Бумага и картон, тыс. т	422	381	90	145	79	54	34	21	-13

(по данным Северо-западного таможенного управления)

**Инвестиционные проекты в целях развития лесного комплекса Архангельской области.** За последние 10 лет в отрасль вложено порядка 90 млрд. руб. инвестиций. Реализовано 10 приоритетных инвестпроектов, в том числе 4 – на территории Арктической зоны в г. Архангельск и г. Новодвинск. Построены новые современные лесопильные производства, цехи по производству топливных гранул, белых бумаг. Модернизированы картонно-бумажные и фанерное направления отрасли. Огромную роль в этом сыграл механизм господдержки приоритетных инвестиционных проектов. Лесные ресурсы на льготных условиях взамен инвестиций – отличный стимул для развития и эффективной работы предприятий лесного комплекса. За время реализации инвестпроектов (с 2008 г.) у нас производственные мощности по пиломатериалам увеличились в 1,7 раз, по фанере – в 1,2 раза, по пеллетам – в 2 раза, по бумаге и картону – в 1,3 раза. Кроме того, у нас сохраняется реализация 2 приоритетных инвестпроектов. Сейчас в них вносятся изменения с учетом существующих реалий – по срокам, по инфраструктуре и другие. Плюс будет еще один новый проект – это модернизация производства по деревообработке (Онежский ЛДК), в которую планируется вложить почти 3 (2,9) млрд. руб.

**Государственная поддержка лесного комплекса.** В условиях жесткого санкционного давления сложно говорить о повышении эффективности деятельности лесного комплекса и перспективах его развития. Однако, считаю, что они есть. Лесопромышленные предприятия Архангельской области стремятся вернуть темпы производства досанкционного периода, сохранить трудовые коллективы. Зарплаты не сокращают. По прошлому году они даже увеличились в отрасли – на 12 % в 2021 г., и продолжают увеличиваться сейчас. Этому, конечно, способствуют реализуемые меры государственной поддержки, принятые в том числе по нашим инициативам:

- 7 предприятий ЛПК Архангельской области включены в Перечень системообразующих предприятий страны, что позволяет им использовать специальные меры поддержки;
- обеспечено льготное кредитование, в рамках которого 4 системообразующих предприятия региона заключили договоры с банками по льготной кредитной ставке – 11 % на общую сумму 9,4 млрд. руб.;
- на 12 месяцев продлены сроки реализации инвестиционных проектов.
- изменен перечень получателей транспортной субсидии;

– раньше пеллеты и пиломатериалы были исключены из получателей субсидии. Сейчас они включены;

– сумма лимитов увеличилась с 300 до 500 млн. руб. Если в прошлом году предприятия получили немногим более 700 млн. руб., то в этом году у них заявлено 1,5 млрд. руб., 1,2 млрд. руб. из которых уже получено.

Кроме того, реализованы меры по лесохозяйственной части, направленные на сохранение объемов лесозаготовок:

– разрешены рубки без сроков примыкания лесосек при условии последующего лесовосстановления, что позволило нашим предприятиям сэкономить на создании дорог и направить средства на зарплату коллективам и приобретение запчастей для техники. В прошлом году эта мера позволила заготовить по региону более 14 (14,1) млн. куб. м. В этом году мера продлена, что позволяет планировать заготовку примерно в таком же объеме (13,7 млн. куб. м);

– до мая 2024 г. продлены сроки заготовки и вывозки древесины;

– с января 2023 г. на начало 2025 г. перенесен запуск федеральной государственной информационной системы лесного комплекса (ФГИС ЛК). Архангельская область в пилотном режиме включилась в этот проект. Сейчас совместно с Рослесхозом мы отработываем нюансы, чтобы к 2025 г. обеспечить бесперебойную работу системы в регионе;

– запущен механизм взимания арендной платы по факту заготовки. Им уже воспользовалось 2 предприятия. По 4 договорам аренды к ставкам платы применен понижающий коэффициент. В результате арендная плата уменьшена на сумму 19,4 млн. руб.

Фундаментальным событием по поддержке ЛПК стало заседание в Устьянском районе под председательством Президента. Его результатом стал перечень поручений – системных, стратегических, которые не только имеют тактическое значение в текущих моментах, но и обеспечат развитие нашего ЛПК в новых условиях в среднесрочной перспективе. Есть информация об использовании Севморпути для доставки продукции ЦБК из порта Санкт-Петербург в Китай. Одним из достоинств такой транспортировки называют сокращение срока доставки на 2-3 недели. Однако есть и минусы – высокая зависимость от метеоусловий и ледовой обстановки и стоимость перевозки, которая даже при сокращении расстояния остается достаточно большой. Активное использование нашими предприятиями

**Развитие рынков продукции ЛПК внутри страны.** Основной вектор перечня поручений Президента – развитие внутренних рынков продукции ЛПК. Во-первых, прежде всего, это касается пеллет и перевода котельных на этот вид топлива. Мощности по производству топливных гранул составляют у нас порядка 700 тыс. тонн пеллет в год. Это позволит обеспечить 155 пеллетных котельных общей мощностью свыше 400 (436) МВт. Непосредственно по нашему региону уже сформирован предварительный перечень из 78 объектов. Определена стоимость перевода (6,5 млрд. руб.). На 20 котельных уже подготовлена и направлена заявка на получение инфраструктурных бюджетных кредитов (на 2 млрд. рублей) в Минстрой России – первый этап перевода мы ожидаем уже в 2023 – 2024 гг. Параллельно сейчас ведется работа по производству котлов различной мощности на базе Устьянской лесопромышленной компании. Также ведется работа по развитию направления сервисного обслуживания оборудования. По факту ведется подготовка к созданию новой отрасли для пеллет.

Второе направление – это все, что связано с деревянным домостроением. Прежде всего, это социальная и культурная сферы. В регионе уже запущен пилотный проект по строительству домов с использованием деревянных конструкций для переселения жителей из ветхого и аварийного жилья. Все это будет синхронизировано с мерами по комплексному развитию сельских территорий. Кроме того, также в рамках

поручений Президента разрабатываются механизмы предоставления сертификатов на домокомплекты, как альтернативы предоставления гражданам древесины «на корню». По сути дела, сейчас закладывается фундамент внутреннего рынка, который позволит независимо от внешних рынков обеспечить стабильную работу нашего ЛПК.

**Импортозамещение.** У нас целлюлозно-бумажная промышленность испытывала проблемы с химическими препаратами, с запчастями, ремонтами, с обслуживанием техники. Совместно с Минпромторгом мы искали альтернативы с учетом всех российских возможностей, наполняли профильный перечень доступных аналогов. Начали работать специализированные региональные предприятия соответствующих сфер и сами лесопромышленники. Сейчас для лесного комплекса в регионе есть местные производители аналогов импортного оборудования.

**Лесоустройство.** Древесина – это главный ресурс для развития лесопромышленного комплекса. Ни один инвестиционный проект не будет успешно реализован без достаточного сырьевого обеспечения. Сегодня у нас в регионе по максимуму уделяется внимание актуализации данных о лесах. В прошлом году Архангельская область стала пилотным регионом по проведению масштабного лесоустройства. Почти 16 (15,7) млн. га лесов региона будет лесоустроено в ближайшие годы. В 2023 – 2024 гг. будут выполнены полевые и камеральные работы. В результате актуальность лесоустройства в Архангельской области с 20 % сейчас достигнет к 2025 г. 93 %. К 2026 г. по лесничествам, расположенным в Арктической зоне, актуальность материалов составит 92 %.

**Решение задач по охране лесов от пожаров.** В целях сохранения лесов, в том числе расположенных и в труднодоступных территориях Арктической зоны, в регионе создана надежная система охраны лесов от пожаров. Основные силы по обнаружению и тушению лесных пожаров сформированы в государственном автономном учреждении Архангельской области «Единый лесопожарный центр». Структурными подразделениями учреждения являются 9 авиаотделений и 10 пожарно-химических станций третьего типа. В рамках федерального проекта «Сохранение лесов» с 2019 г. осуществляется оснащение учреждения лесопожарной техникой и оборудованием. За последние 5 лет приобретено более 270 (272) единиц техники и оборудования, которые применяются для тушения лесных пожаров. В этом году приобретено 2 единицы специализированной автомобильной техники и 4 единицы оборудования на сумму 12,4 млн. руб. (2,6 млн. областной бюджет). На сегодняшний день укомплектованность региона лесопожарной техникой и оборудованием обеспечена почти на 100% (97,4%). Кроме того, для хранения лесопожарной и лесохозяйственной техники за счет средств областного бюджета (17 млн. руб.) в 2022 г. построено 3 ангара в трёх подразделениях Единого лесопожарного центра. В этом году построено еще 3 ангара (15 млн. руб.). Необходимо отметить, что 4 ангара из 6 построены для Архангельского, Онежского и Карпогорского подразделений Единого лесопожарного центра, которые как раз находятся в Арктической зоне.

**Арктический центр подготовки кадров.** Штатная численность авиаподразделений учреждения составляет 150 парашютистов-пожарных, при этом ежегодное выбытие этих специалистов составляет порядка 25-35 человек, и соответственно возникает потребность в обучении новых. Решением этого вопроса является строительство в г. Архангельске Арктического центра по подготовке лесных пожарных с совмещением здания Архангельского авиаотделения. В центре будет ежегодно обучать до 320 специалистов, в том числе до 250 лесных пожарных, 30 руководителей тушения и 40 лесных парашютистов-пожарных.

**Заключение.** Таким образом, для стабилизации деятельности предприятий лесопромышленного комплекса и дальнейшего их развития необходимо уделить особое внимание следующим моментам:

1. Логистика. Это важнейшая часть сбыта продукции и часть, наиболее пострадавшая от санкционных ограничений. Сейчас необходимо, чтобы все меры поддержки, направленные на развитие альтернативных путей доставки продукции ЛПК до рынков сбыта, работали в полном объеме. Это возможно при гарантированном субсидировании транспортных расходов, бюджет которого будет формироваться, исходя из потребностей предприятий.

2. Внутренние рынки продукции ЛПК. Необходимо продолжить работу по формированию и расширению потребления лесопромышленной продукции.

3. Своевременно проводить лесоустройство с учетом межрегистрационного периода, особенно на территориях, планируемых к промышленному освоению лесов.

4. В целях охраны лесов от пожаров предусмотреть дополнительное финансирование в федеральном и региональном бюджетах на мероприятия по мониторингу пожарной опасности лесов, строительство новых и ремонт старых зданий, специализированных учреждений, обеспечивающих охрану лесов от пожаров, укомплектование таких учреждений людскими ресурсами, техникой и оборудованием для тушения лесных пожаров.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Министерство природных ресурсов Архангельской области : офиц. сайт. - URL: <https://dvinaland.ru/gov/> (дата обращения: 10.08.2023).
2. Распоряжение Правительства РФ от 11 февраля 2021 г. № 312-р О Стратегии развития лесного комплекса РФ до 2030 г. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202102170022?index=1> (дата обращения 20.08.2023).
3. Стратегия социально-экономического развития Архангельской области до 2030 года утверждена распоряжением Администрации Архангельской области от 16 декабря 2008 года № 278-ра/48 [Электронный ресурс] // URL: <http://base.garant.ru>. (дата обращения 10.08.2023).
4. Стратегия развития лесопромышленного комплекса Архангельской области на период до 2030 года утверждена Распоряжением Министерства природных ресурсов и лесопромышленного комплекса Архангельской области от 22 мая 2014 года № 381-р. // URL: <https://dvinaland.ru/-2m5atddc>. (дата обращения 15.08.2023).
5. Стратегия развития лесопромышленного комплекса Архангельской области на период до 2030 года утверждена Распоряжением Министерства природных ресурсов и лесопромышленного комплекса Архангельской области от 22 мая 2014 года № 381-р. // URL: <https://dvinaland.ru/-2m5atddc>.

### **ТИПОЛОГИЗАЦИЯ ВИДОВ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО СООТНОШЕНИЮ КОМПОНЕНТ СТРУКТУРНЫХ СДВИГОВ В ЧИСЛЕННОСТИ ЗАНЯТЫХ В ЭКОНОМИКЕ СУБЪЕКТОВ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

*Мякшин В.Н.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, [mcshin@yandex.ru](mailto:mcshin@yandex.ru)

Дифференциация региональных рынков труда по структуре занятости и по средним значениям индикаторов обуславливает актуальность исследования структурных сдвигов в занятости населения по видам экономической деятельности (ВЭД). Необходим инструмент, позволяющий более точно определять влияние

различных компонент структурных сдвигов на уровень занятости населения в экономике региона, что позволяет определить конкурентные направления ее повышения. В качестве такого инструмента в данном исследовании используется метод сдвиг-составляющих [1], позволяющий определить степень влияния на изменение численности занятых национальных (NS), отраслевых (IM) и региональных (RS) факторов и выявить виды экономической деятельности, перспективные для повышения уровня региональной занятости. Предложены классификационные признаки типологизации ВЭД по соотношению компонент структурных сдвигов. Разработанный инструментальный апробирован на примере одного и з субъектов Арктической зоны Российской Федерации – Архангельской области.

Объект данного исследования – система занятости населения в экономике Архангельской области по видам экономической деятельности. Информационной базой исследования послужили данные Федеральной службы государственной статистики по Архангельской области. В процессе исследования проведен анализ структурных сдвигов в занятости по видам экономической деятельности, определенных общероссийским классификатором видов экономической деятельности. Методы исследования: метод сдвиг-составляющих, метод коэффициентов локализации [2], статистические методы оценки изменений региональной структуры занятости [3].

Анализ индикаторов позволяет оценить рынок труда Архангельской области как нестабильный: при достаточно низких показателях уровня занятости (53,5 %) и уровня экономически активного населения (57,7 %), уровень безработицы высок (7,3 %), а удельный вес безработных, ищущих работу более 12 месяцев, составил 14,8 %, что характеризует степень застойности безработицы как высокую и является индикатором роста напряженности на рынке труда (коэффициент напряженности равен 3,3).

Индикаторы рынка труда выявляют проблемы региональной политики занятости.

Анализ структуры занятости Архангельской области по видам экономической деятельности выявляет ВЭД, имеющие высокий удельный вес (табл. 1).

Экономически активное население сосредоточено преимущественно в обрабатывающих производствах (удельный вес максимален и составил 18,35 %), других видах деятельности (17,71 %), оптовой и розничной торговле (15,39 %).

Достаточно велика величина удельного веса образования (9,62 %), транспортировки и хранения (9,02 %), здравоохранения (8,32 %), строительства (5,59 %).

Не превышает 5,00 % удельный вес занятых в сельском, лесном хозяйстве, охоте, рыболовстве и рыбоводстве (4,87 %), деятельности по операциям с недвижимым имуществом, обеспечению электрической энергией (2,85 %), деятельности гостиниц и предприятий общественного питания (2,68 %).

Отмечен низкий удельный вес занятых в деятельности в области информации и связи (1,29 %), водоснабжения (0,75 %), значение показателя минимально для добычи полезных ископаемых (0,71 %).

Степень влияния ВЭД на изменение занятости населения в экономике региона зависит от величины доли ВЭД в структуре занятости, чем обусловлена необходимость анализа динамики структурных показателей.

Для двух из трёх ВЭД, лидирующих в структуре занятости (обрабатывающие производства и другие виды деятельности) выявлен рост удельного веса соответственно на 0,67 % и 1,06 % при снижении на 1,05 % данного показателя для оптовой и розничной торговли.

Незначительный рост удельного веса занятых характерен также для транспортировки и хранения (на 0,59 %), деятельности гостиниц и предприятий общественного питания (0,38 %), деятельности по операциям с недвижимым имуществом (0,36 %), что соответствует тенденциям развития мировой экономики в

направлении сферы услуг. Несмотря на некоторый рост численности занятых в добыче полезных ископаемых (на 0,14 %), удельный вес данного ВЭД в структуре занятости Архангельской области остается минимальным, что на фоне опережающего роста удельного веса занятых в обрабатывающих производствах позволяет сделать вывод о снижении сырьевой направленности экономического развития области.

Доля занятых в водоснабжении, водоотведении остаётся практически на том же уровне, не превышая 1,00 %. Для семи ВЭД выявлено снижение удельного веса численности занятых, обусловленное, с одной стороны, технологическими изменениями, вызвавшими повышение производительности труда, с другой – несовершенством региональной экономической политики.

Так, основным фактором сокращения удельного веса занятых в области информации и связи, является развитие информационных, прежде всего, дистанционных технологий, в обеспечении электрической энергией и строительстве – совершенствование технологий. Снижение данного показателя для таких социально значимых видов деятельности как образование и здравоохранение свидетельствует о необходимости усиления поддержки на региональном уровне.

Снижение удельного веса занятых в оптовой и розничной торговле требует комплекса мер по поддержке малого бизнеса, дальнейшего развития рыночной инфраструктуры. Необходимы меры государственной поддержки для развития сельского, лесного хозяйства, рыболовства и рыбоводства. Архангельская область имеет большой потенциал для развития лесного комплекса, необходимо создать условия для его восстановления.

Для оценки перспективности ВЭД с позиции занятости проанализирована степень специализации Архангельской области на основе коэффициентов локализации ( $K_L$ ).

К отраслям специализации отнесены ВЭД, для которых доля в региональной структуре занятости превышает доли в аналогичной национальной структуре ( $K_L > 1$ ). Как следует из данных таблицы 1, Архангельская область специализируется на семи видах экономической деятельности.

Отнесение к отраслям специализации обеспечения электрической энергией, газом и паром обусловлено спецификой климатических условий (длительностью периода низких температур и короткого светового дня), транспортировки и хранения – инфраструктурными ограничениями, связанными с географическим положением, деятельности гостиниц и предприятий общественного питания – развитием туристской сферы, здравоохранения и образования – развитием социальной сферы.

Другие виды деятельности могут рассматриваться как перспективные специализации ( $K_L$  близки к 1).

Величина  $K_L$  позволяет оценить степень концентрации ВЭД в экономике области. Для отраслей специализации наибольшая степень концентрации выявлена для обрабатывающих производств и здравоохранения ( $K_L = 1,38$ ), несколько ниже – для образования (1,26), обеспечения электрической энергией (1,25), транспортировки и хранения (1,15). Для остальных ВЭД  $K_L$  не превышает 1,07.

Проанализируем влияние национальной, отраслевой, региональной компонент структурных сдвигов на изменение численности занятых в экономике Архангельской области.

Общее сокращение численности занятых за 2010-2020 гг., составившее 76,6 тыс. чел. (-14,1 %), произошло преимущественно за счёт негативного влияния региональной компоненты (вклад в общее изменение 79,8 %) при некотором отрицательном воздействии национальной (вклад 18,7 %), значительно превысивших положительную отраслевую (вклад 1,5 %). Эффективность региональной политики занятости должна быть оценена как очень низкая.

Таблица 1 – Компоненты структурных сдвигов в занятости населения по ВЭД Архангельской области, 2010-2020 гг.

Виды экономической деятельности	2010 г.		2020 г.		Изменение доли ВЭД в структуре занятости, %	Коэффициент локализации (К <sub>л</sub> )	Национальная компонента, тыс. чел. NS	Отраслевая компонента, тыс. чел. IM	Региональная компонента, тыс. чел. RS	Величина общего изменения, тыс. чел. SS
	Численность занятых, тыс.чел.	% к итогу	Численность занятых, тыс.чел.	% к итогу						
Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство	30,30	5,58	22,70	4,87	-0,71	0,74	-0,82	-6,67	-0,11	-7,60
Добыча полезных ископаемых	3,10	0,57	3,30	0,71	0,14	0,43	-0,08	0,26	0,02	0,20
Обрабатывающие производства*	96,00	17,68	85,60	18,35	0,67	1,31*	-2,61	-4,80	-2,99	-10,40
Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха*	16,40	3,02	13,30	2,85	-0,17	1,25*	-0,45	-0,47	-2,18	-3,10
Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений	4,20	0,77	3,50	0,75	-0,02	0,76	-0,11	-0,22	-0,37	-0,70
Строительство	31,20	5,74	26,10	5,59	-0,15	0,63	-0,85	0,87	-5,12	-5,10
Торговля оптовая и розничная; ремонт автотранспортных средств и мотоциклов	89,30	16,44	71,80	15,39	-1,05	0,82	-2,43	5,98	-21,06	-17,50
Транспортировка и хранение*	45,80	8,43	42,10	9,02	0,59	1,15*	-1,24	4,31	-6,77	-3,70
Деятельность гостиниц и предприятий общественного питания*	12,50	2,30	12,50	2,68	0,38	1,07*	-0,34	2,29	-1,95	0,00
Деятельность в области информации и связи	8,80	1,62	6,00	1,29	-0,33	0,60	-0,24	1,32	-3,88	-2,80
Деятельность по операциям с недвижимым имуществом*	13,50	2,49	13,30	2,85	0,36	1,05*	-0,37	0,94	-0,78	-0,20
Образование*	54,90	10,11	44,90	9,62	-0,49	1,26*	-1,49	-3,56	-4,94	-10,00
Деятельность в области здравоохранения и социальных услуг*	46,70	8,60	38,80	8,32	-0,28	1,32*	-1,27	-0,33	-6,30	-7,90
Другие виды деятельности	90,40	16,65	82,60	17,71	1,06	0,99	-2,46	1,26	-6,60	-7,80
Итого:	543,10	100,00	466,50	100,00	0,00		-14,76	+1,18	-63,02	-76,60

\* - ВЭД, относящиеся к отраслям специализации

Источник: рассчитано авторами.

Оценка вклада национальной, отраслевой и региональной компонент в общее изменение численности занятых по ВЭД позволяет сделать вывод о приоритетности влияния на уровень занятости девяти ВЭД региональных факторов, пяти ВЭД – отраслевых.

Доминирующее положительное влияние отраслевых факторов привело к росту численности занятых в добыче полезных ископаемых (при положительной региональной компоненте), предотвратило снижение численности занятых в деятельности гостиниц и предприятий общественного питания, скомпенсировав негативное воздействие региональных и национальных факторов значительно уменьшило сокращение численности в деятельности по операции с недвижимым имуществом.

Отрицательное значение отраслевой компоненты, значительно превысившее негативное влияние национальной и региональной компонент привело к сокращению численности занятых в сельском, лесном хозяйстве, охоте, рыболовстве и рыбоводстве, и обрабатывающих производствах соответственно на 7,6 тыс. чел. и 10,4 тыс. чел. В отношении данных ВЭД необходима разработка комплекса мер для снижения отрицательного воздействия отраслевых факторов. Особое внимание необходимо уделить корректировке региональной экономической политики в отношении ВЭД, находящихся под приоритетным воздействием региональных факторов.

Региональная компонента принимает положительное (хотя и очень низкое) значение только для добычи полезных ископаемых, что подтверждает наличие в Архангельской области условий, благоприятных для развития данного ВЭД.

Для остальных ВЭД региональная компонента отрицательна.

Максимальное отрицательное влияние региональные факторы оказали на оптовую и розничную торговлю, что привело к наибольшему среди ВЭД сокращению численности занятых (на 17,5 тыс. чел.) несмотря на положительное значение отраслевой компоненты.

Негативное влияние региональной компоненты, значительно превысившее положительную отраслевую при отрицательном значении национальной, привело к сокращению численности занятых в строительстве (-5,10 тыс. чел.), в области информации и связи (-2,8 тыс. чел.), других видах деятельности (-7,80 тыс. чел.).

Все три компоненты принимают отрицательное значение для обеспечения электрической энергией, водоснабжения, образования, здравоохранения и социальных услуг, но приоритетное влияние на сокращение численности занятых оказывает региональная компонента, то есть региональные факторы препятствуют развитию данных ВЭД, имеющих важное значение для региона.

Анализ степени влияния национальных, отраслевых, региональных факторов превышает объективность оценки региональной экономической политики.

Рост численности занятых в добыче полезных ископаемых обусловлен отраслевыми факторами, действие которых поддерживается на региональном уровне (региональная компонента положительна, но ее значение в 12 раз ниже отраслевой), при незначительном влиянии национальных факторов.

Региональная политика для данного ВЭД оценивается как эффективная, но необходимы меры для усиления существующих благоприятных региональных условий ( $IM + RS > |NS|$ ).

Для деятельности гостиниц и предприятий общественного питания и операций с недвижимым имуществом положительная отраслевая компонента по модулю превышает отрицательную региональную, но не в состоянии компенсировать суммарное негативное воздействие региональной и национальной.

Сокращение численности занятых в строительстве, оптовой и розничной торговле, транспортировке и хранении, области информации и связи, других видах деятельности произошло вследствие доминирующего негативного воздействия

региональных факторов (отрицательная региональная компонента значительно превосходит положительную отраслевую) на фоне негативных национальных тенденций ( $IM < |RS| + |NS|$ ).

Региональная экономическая политика относительно перечисленных ВЭД оценивается как малоэффективная. На основе оценки значимости данных ВЭД для социально-экономического развития региона, учитывая федеральные отраслевые тенденции к повышению занятости, необходимо разработать комплекс мер по поддержке данных ВЭД на региональном уровне.

Для остальных шести ВЭД все компоненты структурных сдвигов (национальная, отраслевая и региональная) отрицательны. При этом для обрабатывающих производств, сельского, лесного хозяйства, охоты, рыболовства и рыбоводства негативное влияние региональных факторов значительно меньше чем отраслевых и национальных ( $RS < |IM| + |NS|$ ). Поэтому региональная экономическая политика может быть оценена как относительно эффективная.

Учитывая значимость данных ВЭД для экономики региона (обрабатывающие производства являются отраслью специализации) необходима корректировка региональной политики занятости. Сокращение численности занятых в образовании, здравоохранении, водоснабжении, обеспечении электрической энергией, газом и паром обусловлено приоритетным влиянием негативных факторов ( $|RS| > |IM| + |NS|$ ). Региональная политика оценивается как наименее эффективная. Необходима адресная поддержка данных ВЭД на региональном уровне.

Выводы: региональная экономическая политика относительно одного ВЭД (7,1 %) оценена как эффективная, семи (50 %) – как мало эффективная, двух (14,2 %) – как относительно эффективная, четырех (28,7 %) – как наименее эффективная.

Для повышения эффективности региональной экономической политики, формирования эффективной структуры занятости, снижения напряженности на региональном рынке труда необходимо выявить ключевые точки занятости (ВЭД, имеющие высокий потенциал повышения занятости) и разработать комплекс мероприятий по поддержке данных ВЭД на региональном уровне

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dawson J. Shift-share Analysis: a Bibliographic Review of Technique and Application. Vance Bibliographies, 1982. 33 p.
2. McLean M. L. et al. Understanding Your Economy: Using Analysis to Guide Local Strategic Planning. Routledge, 2018. 245 p.
3. Узяков Р. М. Метрики структурных сдвигов и необходимость учета межотраслевых связей //Проблемы прогнозирования. 2020. № 2 (179). С. 25-35. [Uzyakov R. M. Metrics of structural shifts and the need to take into account interbranch relations //Problemy prognozirovaniya. 2020. No 2 (179). Pp. 25-35. (In Russ.)].

## ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАБОТОДАТЕЛЕЙ РЕАЛЬНОГО СЕКТОРА ЭКОНОМИКИ И ОРГАНИЗАЦИЙ ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ В СФЕРЕ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ

*Никифоров А.С.*

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,  
г. Архангельск, a.nikiforov@narfu.ru

Активизация взаимодействия предприятий (индустриальных партнеров) и образовательных организаций высшего и среднего образования является на сегодняшний день одним из главных трендов развития как системы образования, так и социально-экономической сферы региона, в котором данное сотрудничество осуществляется [3].

Образовательная и научно-технологическая политика выстраивается с позиции необходимости тесного взаимодействия сектора исследований и разработок и подготовки кадров с реальным сектором экономики [1]. В связи с этим значительно расширяется спектр различных форм и механизмов взаимодействия [2].

Ключевыми вызовами в сфере подготовки кадров, обуславливающими необходимость данного сотрудничества предприятий и образовательных организаций являются, во-первых, дисбаланс подготовки кадров (направления подготовки и количество выпускников) и потребностей рынка труда (востребованные профессии); во-вторых, качество подготовки выпускников и их адаптивность к требованиям современного производства.

Соответственно, исследовательский интерес представляло выявление следующих показателей:

- 1) реализуемые формы взаимодействия (интенсивность)
- 2) удовлетворенность взаимодействием с образовательными организациями.

Анализировались следующие индикаторы:

- 1) факт наличия взаимодействия;
- 2) формы взаимодействия;
- 3) факторы взаимодействия; последствия взаимодействия.
- 4) оценка взаимодействия в целом;
- 5) оценка эффективности реализуемых форм взаимодействия;
- 6) оценка эффективности каналов коммуникации.

Модель взаимодействия образовательных организаций и работодателей – это сложившаяся устойчиво функционирующая практика сотрудничества между образовательными организациями и предприятиями, характеризующаяся специфической совокупностью принципов, целей, направлений и форм данного сотрудничества.

На основе систематизации и анализа как существующих практик взаимодействия были выявлены следующие формы, которые реализуются и могут быть реализуемы в рамках сотрудничества образовательных организаций и работодателей:

1. **Практическая подготовка**
2. **Целевое обучение**
3. **Совместные мероприятия:** Профорientационные мероприятия (ярмарки профессий, дни открытых дверей и др.), иные мероприятия (научные конференции, круглые столы, общественные слушания, реализация проектов и т.д.), организованных совместно с (или) образовательными организациями
4. **Финансовая и материальная поддержка** (Стипендиальные программы предприятия; партнерство и (или) спонсорство)

5. **Сетевые формы:** Базовая кафедра; сетевая образовательной, включая институт наставничества на предприятии

6. **Формы прямого перетока знаний:** Организация обучения, стажировок педагогических работников/преподавателей образовательной организации на предприятии; Прохождение сотрудниками предприятия курсов повышения квалификации, осуществление профессиональной переподготовки в образовательных организациях.

7. **Участие в управлении, формировании содержания образования и образовательном процессе:** представителя предприятия в разработке/экспертизе образовательных стандартов/образовательных программ/модулей/программ практик образовательных организаций; Участие представителя предприятия в государственной итоговой аттестации (в качестве члена или председателя комиссии); участие представителей предприятия в образовательном процессе (преподавание, ведение практических занятий, научное руководство по написанию выпускных квалификационных работ) образовательных организаций; участие в общественной аккредитации образовательных организаций; участие представителя предприятия в управлении образовательной организации (членство в наблюдательном или попечительском совете образовательной организации); взаимодействие с образовательными организациями в рамках участия представителя предприятия в советах и иных совещательных структурах при органах государственной власти (региональных и местных), участвующих в реализации образовательной политики.

#### **Результаты исследования.**

**Формы взаимодействия.** Анализ данных исследования показал, что предприятия используют все предложенные способы взаимодействия с образовательными организациями высшего образования. Наиболее часто предприятия прибегают к таким формам взаимодействия, как: прохождение сотрудниками предприятия курсов повышения квалификации, осуществление профессиональной переподготовки в данных образовательных организациях (95,2%); организация практик/стажировок студентов (81%); участие в профориентационных мероприятиях (ярмарки профессий, дни открытых дверей и др.), организованных совместно с (или) данными образовательными организациями (71,4%),

В отношении сотрудничества с учреждениями среднего профессионального образования анализ показывает, что предприятия также используют все предложенные способы взаимодействия. Наиболее часто предприятия прибегают к таким формам взаимодействия, как:

- организация практик/стажировок студентов (85,7%),
- прохождение сотрудниками предприятия курсов повышения квалификации, осуществление профессиональной переподготовки в данных образовательных организациях (61,9%),
- финансовая и ресурсная поддержка образовательной деятельности данных организаций (спонсорство, обустройство учебных лабораторий, закупка учебного оборудования и т.д.) (57,1%),
- участие в профориентационных мероприятиях (ярмарки профессий, дни открытых дверей и др.), организованных совместно с (или) данными образовательными организациями (57,1%),
- участие в иных мероприятиях (научные конференции, круглые столы, общественные слушания, реализация проектов и т.д.), организованных совместно с (или) данными образовательными организациями (52,4%).

В целом, если сравнивать с активностью взаимодействия с учреждениями высшего образования, откликов (выборов) форм взаимодействия с учреждениями СПО меньше.

В качестве формы взаимодействия работодатели часто отмечали возможность прохождения студентами практик и стажировок на предприятии. 47,6% работодателей отметили, что на их предприятии существует оплачиваемая практика, еще 28,5% обозначили наличие финансовых или административных барьеров. 23,8% работодателей не заинтересованы в оплачиваемой практике. Готовы принимать студентов на оплачиваемую практику в основном крупные предприятия.

Все предприятия судостроительной отрасли готовы принимать на оплачиваемую практику студентов-стажеров. Предприятия рыбопромышленной отрасли либо не заинтересованы в данном виде сотрудничества, либо его уже осуществляют.

Наиболее **эффективными формами** по мнению респондентов являются

1. прохождение сотрудниками предприятия курсов повышения квалификации, осуществление профессиональной переподготовки в данных образовательных организациях и

2. участие представителя предприятия в управлении образовательной организации.

Если давать общую оценку удовлетворенности предприятиями-работодателями взаимодействием с образовательными организациями Архангельской области, то её можно охарактеризовать **как среднюю**, сдержанную. Треть респондентов затруднились дать общую оценку. Больше половины работодателей удовлетворены взаимодействием, из них 19% полностью удовлетворены.

В большей степени удовлетворены взаимодействием с образовательными учреждениями предприятия крупные по численности, представители средних и малых предприятий – чаще затруднились с ответом. Также чаще удовлетворены взаимодействием представители судостроительной отрасли. 2/3 работодателей, принявших участие в исследовании, хотели бы начать или возобновить различные виды взаимодействия с образовательными учреждениями.

#### **Результативность взаимодействия.**

90,5% опрошенных работодателей отметили результативность взаимодействия с образовательными организациями, поскольку принимали за последние 3 года выпускников образовательных учреждений, с которыми осуществлялось взаимодействие. 57,1% работодателей взаимодействуют с выпускниками вузов и сузов. 19% – с учреждениями среднего профессионального образования, 14,3% – с учреждениями высшего образования. Наиболее активные работодатели – крупные предприятия всех рассмотренных отраслей.

Преимущества от взаимодействия с образовательными организациями предприятия видят, прежде всего, в обеспечении своего предприятия молодыми кадрами. Второй по значимости мотивацией является создание положительного образа, повышение репутации предприятия.

Решение производственных задач и социальной ответственности предприятия (общий вклад в развитие региона и системы образования, в частности), а также выполнение внешних обязательств (перед государством, учредителями) является важными, но второстепенными и не ключевыми задачами взаимодействия. Крупные предприятия видят большую пользу в репутационных задачах, средние и мелкие – в обеспечении кадрами.

#### **Каналы коммуникации.**

Среди наиболее часто использующихся каналов – обучающиеся образовательных учреждений (76,2%), давно знакомые сотрудники организаций (76,2%), руководство профильных подразделений (76,2%), центры занятости/карьеры образовательных организаций (71,4%), то есть речь идет о непосредственных участниках процесса трудоустройства студентов или их направлении на практику. В большей или меньшей степени работодатели коммуницируют со всеми уровнями образовательной организации (и чем ниже звено, тем чаще коммуникация).

Наиболее эффективными каналами работодатели считают коммуникацию через личные (давно устоявшиеся) связи с сотрудниками образовательных организаций, сотрудников, ответственных за практику студентов, руководство образовательной организации. Обучающиеся – хотя и наиболее широкая коммуникативная аудитория, но эффективность взаимодействия с ней для установления и расширения сотрудничества невелика.

Крупные предприятия чаще коммуницируют и выше оценивают руководство образовательной организации и сотрудников, ответственных за практику; средние и малые предприятия – через личные, давно устоявшиеся связи.

#### **Факторы взаимодействия.**

Определяющим фактор взаимодействия по мнению работодателей выступает географическая близость расположения образовательной организации.

Другими важными являются следующие: имеющийся положительный опыт взаимодействия; комфортность процедуры оформления сотрудничества; престиж образовательной организации; традиционные связи.

В качестве факторов, расширяющих возможности сотрудничества с образовательными организациями, представители предприятий отмечают:

- наличие мер государственной поддержки для эффективного взаимодействия с учреждениями образования (61,9%) (льготы, компенсации и др.);
- высокий уровень подготовки студентов, чтобы они сразу, без длительной адаптации и переподготовки, могли включаться в производственный процесс (52,4%);
- проявление заинтересованной активности со стороны самих образовательных учреждений (38,1%).

Только одна организация из опрошенных отметила отсутствие необходимости в расширении сотрудничества. Остальные работодатели имеют интерес к расширению сотрудничества. При этом крупные и мелкие и средние предприятия в целом солидарны в определении факторов, указанных выше. При этом средние и малые чуть больше нуждаются в государственной поддержке для расширения сотрудничества.

Более высокий уровень подготовки студентов в большей степени мог бы способствовать расширению сотрудничества с образовательными организациями именно для рыбопромышленной и судостроительной отраслей – корреляция с нехваткой кадров и недовольством уровнем подготовки.

Среди препятствий для развития сотрудничества наибольший вес имеют следующие: незаинтересованность образовательных организаций (38,1%); затраты, усилия предприятия по организации сотрудничества не оправдывают получаемых результатов (33,3%); непонимание предмета сотрудничества при общем интересе к взаимодействию со стороны образовательных организаций (33,3%),

Со стороны крупных предприятий наибольшими проблемами выглядят незаинтересованность образовательных организаций и неоправданность вложенных в сотрудничество усилий. И эту точку зрения в большей степени указывают представители судостроительной и лесной отрасли. Со стороны средних и малых предприятий есть неуверенность в интересе к их организациям со стороны образовательных.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации»
2. Балацкий Е. В. Екимов А. Н. Механизмы интеграции вузов и реального сектора экономики // Journal of Economic Regulation. 2021. Т. 12, № 3. С. 58-75.
3. Кудряшова Е.В., Сорокин С.Э., Бугаенко О.Д. Взаимодействие университетов со сферой производства как элемент реализации «Третьей миссии» // Высшее образование в России. 2020. №5.

## РАЗВИТИЕ АВИАЦИИ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ (НА ПРИМЕРЕ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ)

*Носырев Н.С.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, [nick-sam-nosyrev@yandex.ru](mailto:nick-sam-nosyrev@yandex.ru)

В настоящее время социально-экономическое развитие любой территории возможно только при наличии транспортно-энергетического каркаса, что отражено в ряде работ наших коллег [1, 2]. Арктическая зона Российской Федерации имеет в своем составе как целые регионы, так и отдельные муниципалитеты, обладающие крайне низкой степенью транспортной доступности, особенно это касается автомобильного и железнодорожного транспорта [3, с. 190]. Поэтому важную роль в обеспечении связности северных и арктических территорий играет авиация.

Маршрутная сеть воздушного транспорта на территории Архангельской области исторически сформирована со времен Советского Союза и обеспечивает транспортную связь малых населенных пунктов с районными центрами и г. Архангельском. Сегодня на территории Архангельской области в гражданской авиации задействовано 2 аэродрома и 21 посадочная площадка, из которых только 7 имеют искусственные взлетно-посадочные полосы, остальные являются грунтовыми.

Перевозчиком на местных воздушных линиях региона является АО «2-ой Архангельский объединенный авиаотряд». На 2023 год субсидируется 25 направлений маршрутной сети. Для выполнения пассажирских рейсов предприятие использует воздушные суда: Л-410УВП-Е20 – 4 единицы (в лизинге), Л-410УВП-Е, Ан-2 – 8 единиц, вертолеты Ми-8Т – 9 единиц.

Основным аэропортом области является международный аэропорт «Архангельск». Кроме того, акционерное общество «Аэропорт «Архангельск» также является эксплуатантом посадочных площадок на территории Приморского, Котласского, Мезенского, Вельского районов.

По инициативе Правительства Архангельской области в собственность Архангельской области переданы акции АО «Аэропорт Архангельск» (50,99 процентов акций) и АО «2-ой Архангельский объединенный авиаотряд» (100 процентов акций) [4]. Консолидация в собственности региона активов стратегических авиапредприятий позволила разработать единую модель управления авиатранспортной инфраструктурой, а также создать условия привлечения дополнительных инвестиций в данную сферу.

Отдельным этапом развития авиации в Архангельской области стало утверждение Концепции развития региональных авиаперевозок Архангельской области до 2030 года [5], где были закреплены стратегические задачи развития отрасли на территории региона: развитие маршрутных сетей региональных и местных авиационных перевозок, направленных на максимальное удовлетворение спроса на услуги воздушного транспорта населения и отраслей экономики Архангельской области; развитие и восстановление наземной инфраструктуры воздушного транспорта; реконструкция искусственной взлетно-посадочной полосы аэропорта Архангельск (Талаги); определение наиболее рациональной модели организации (реорганизации) и управления авиатранспортной инфраструктурой; улучшение качественных характеристик транспортного обслуживания авиапассажиров; развитие перспективных направлений развития воздушных перевозок в регионе, обеспечивающих реализацию крупных инфраструктурных, промышленных и транспортно-логистических проектов.

Как верно отмечал бывший генеральный директор АО «Аэропорт Архангельск» В.С. Петросян: *«...создание единой эффективной системы управления авиатранспортным комплексом области отвечает как задачам авиапредприятий, так*

и регионального Правительства и совместная работа в данном направлении будет способствовать динамичному развитию отрасли...» [6].

При этом в указанной концепции впервые был проведен полноценный SWOT-анализ ситуации в гражданской авиации Архангельской области, результаты которого с учетом выполненной автором корректировки на 2023 год приводятся в таблице 1.

Таблица 1 - Анализ факторов развития авиаперевозок в Архангельской области

<b>Сильные стороны</b>	<b>Слабые стороны</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Большая протяженность территории</li> <li>✓ для развития авиаперевозок и авиационных работ;</li> <li>✓ Наличие монополии на рынке местных авиаперевозок;</li> <li>✓ Наличие большого количества разработанных механизмов поддержки авиаперевозок;</li> <li>✓ Наличие положительного опыта действующих региональных авиакомпаний;</li> <li>✓ Выполнение полетов в муниципальные образования архангельской области, где отсутствует круглогодичная транспортная доступность</li> <li>✓ Наличие условий для дальнейшего развития региональных авиаперевозок с учетом проводимой/проведенной модернизации аэропортов «Архангельск», «Васьково», посадочных площадок «Котлас» и «Соловки»</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Ограниченная возможность обновления парка воздушных судов вследствие санкционных ограничений, а также текущей ситуации с производством отечественных пассажирских воздушных судов вместимостью до 60 мест</li> <li>✓ Высокие затраты на организацию перевозок в связи с высокой стоимостью лизинга воздушных судов и запасных частей;</li> <li>✓ Недостаток квалифицированного персонала;</li> <li>✓ Высокие аэропортовые сборы;</li> <li>✓ Занижение стоимости на перелеты из-за конкуренции на региональных маршрутах</li> </ul>
<b>Возможности</b>	<b>Угрозы</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Расширение маршрутной сети;</li> <li>✓ Возможность привлечения федерального финансирования для реализации целевых проектов по модернизации инфраструктуры;</li> <li>✓ Модернизация аэропортовой инфраструктуры способствует привлечению дополнительных инвестиций в авиатранспортный комплекс региона</li> <li>✓ Развитие смежных предприятий (ремонт и обслуживание воздушных судов, туризм, авиационные работы, беспилотная авиация).</li> </ul>	<p>Ценовая недоступность приобретения воздушных судов;</p> <p>Высокая степень износа транспортных и технических средств;</p> <p>Низкая покупательная способность населения Архангельской области;</p> <p>Рост цен на авиатопливо;</p> <p>Недостаточная поддержка предприятий отрасли со стороны государства;</p> <p>Отсутствие современных воздушных судов вместимостью до 60 мест отечественного производства;</p> <p>Постоянное ужесточение требований законодательства к владельцам аэропортов и посадочных площадок (в том числе в области транспортной безопасности), что увеличивает издержки на организацию транспортного обслуживания</p> <p>Отсутствие специализированных программ поддержки социально-значимых перевозок на местных воздушных линиях и модернизации посадочных площадок на федеральном уровне.</p>

Источник: составлено автором с использованием [5]

За счет средств областного бюджета и внебюджетных средств в последние годы началось возрождение региональной сети аэропортов в Архангельской области, проведены соответствующие ремонтные работы в г. Котласе и Вельске, завершена реконструкция аэропортового комплекса «Соловки», продолжается реконструкция аэропорта «Архангельск». Следует отметить, что в последний раз подобные инвестиции привлекались в отрасль в Архангельской области лишь в начале 80-х годов XX века, когда была введена в эксплуатацию инфраструктура для обслуживания пассажирских авиаперевозок в аэропорту «Васьково» и выполнен капитальный ремонт взлетно-посадочной полосы аэропорта «Архангельск».

Подходы к ценовой политике в сфере авиаперевозок и развитию маршрутной сети на территории Архангельской области учитывают особенности законодательства [7]. По прогнозам министерства транспорта Архангельской области увеличение расходной части областного бюджета на возмещение недополученных доходов авиаперевозчиков к 2025 году возрастет до 600 млн. рублей.

Важно отметить, что в первые за долгое время на маршрут местных воздушных линий Архангельск – Котлас в 2023 году вернулись воздушные суда Як-40 (полеты выполняет Вологодское авиационное предприятие). Однако проблема использования более вместительных воздушных судов, а также привлечения дополнительных мер поддержки в целом остается актуальной для региона.

В настоящее время разработан проект постановления Правительства Российской Федерации, предусматривающий предоставление и распределение субсидий из федерального бюджета бюджетам субъектов Российской Федерации, входящих в состав Дальневосточного федерального округа и расположенных в Арктической зоне России, в целях софинансирования расходных обязательств субъектов РФ, возникающих при обеспечении доступности местных воздушных перевозок населению и расширения сети местных воздушных перевозок [8]. Однако в настоящее время данный документ не утвержден, в связи с чем развитие данного направления напрямую зависит от возможностей привлечения финансирования за счет бюджета Архангельской области.

В части развития местных воздушных линий целесообразно отметить следующие перспективные направления:

Таблица 2 - Перспективы развития авиаперевозок на местных авиалиниях в Архангельской области

<b>Направление</b>	<b>Краткое обоснование</b>
Архангельск – Соловки,	Воздушный транспорт является единственным способом обеспечения круглогодичного сообщения с Соловецким архипелагом. В адрес Правительства Архангельской области поступают предложения об организации дополнительных рейсов в целях обеспечения перевозок местных жителей, представителей религиозных организаций и туристов.
Архангельск – Пертоминск – Лопшеньга – Летняя Золотица	Данные населенные пункты расположены на побережье Белого моря, и их транспортная доступность также обеспечивается воздушным транспортом. Вместе с тем на данных территориях активно развивается туризм, в связи с чем востребованность регулярных рейсов существенно возрастает. Проекты по развитию туризма реализуют частные инвесторы и ФГБУ «Национальный парк «Кенозерский».
Архангельск – Котлас	Данное направление связывает крупнейшие города северной и южной части Архангельской области, в связи с чем за счет средств федерального бюджета возможно увеличить количество рейсов с 3 до 4 в неделю.
Архангельск – Верхняя Тойма	Открытие данного направления планируется в связи с возвращением в эксплуатацию посадочной площадки в с. Верхняя Тойма, которое расположено на правом берегу р. Северная Двина и не имеет круглогодичного сообщения с основной транспортной системой

	Архангельской области. Население Верхнетоемского сельского поселения на 1 января 2019 года составляет 3945 человек, Двинского сельского поселения – 3152 человека. С учетом вместимости воздушного судна Л-410УВП-Е20 (19 пассажиров) необходимая загрузка воздушного судна будет обеспечена.
Архангельск – Каргополь	Данное направление в первую очередь связано с развитием туризма в целях посещения достопримечательностей г. Каргополя и Кенозерского национального парка. При этом наличие регулярного авиасообщения значительно сократит время в пути до г. Архангельска для жителей Каргопольского муниципального округа на 8-и – 10 часов автомобильным транспортом до двух часов.

Несмотря на существующие темпы развития региональной маршрутной сети приблизиться к аналогичным показателям периода Советского Союза в настоящее время возможности не имеется. По материалам истории аэропорта «Архангельск» в конце 1980-х годов был связан регулярным воздушным сообщением с 65 промышленными городами СССР, в том числе со столицами 8 союзных и 5 автономных республик. Из аэропорта «Архангельск» выполнялись регулярные рейсы на курорты Прибалтики, Крыма, республик Кавказа и Прикарпатья, а в целом из него выполнялось ежедневно до 85 рейсов [9].

Учитывая тенденции развития авиасообщения, а также задачи документов стратегического планирования перспективы для развития региональных авиаперевозок также имеются и, прежде всего на следующих направлениях: Котлас-Киров, Котлас-Москва, Вельск-Санкт-Петербург, Архангельск-Нижний Новгород, Архангельск-Екатеринбург.

Важным этапом, свидетельствующим о повышенном внимании к отрасли, явилось создание рабочей группы «Развитие авиационных перевозок и региональных аэропортов» Комиссии Государственного Совета Российской Федерации по направлению «Транспорт» [10], в рамках деятельности которой прорабатываются вопросы и предложения о необходимости введения дополнительных мер государственной поддержки, развития региональных и местных авиационных перевозок, авиатранспортной инфраструктуры.

Вместе с тем, в связи с введением недружественными странами экономических санкций в отношении Российской Федерации у авиаотряда имеются серьезные трудности с поставками запасных частей и агрегатов для самолетов L410 (L410UVP-E20), также исключается возможность приобретения самолетов и запасных частей большей вместимости иностранного производства.

Для развития местных и региональных перевозок, с учетом ориентировочных сроков вывода из эксплуатации воздушных судов Ан-2 в течение 10 лет ориентировочно потребуется 10 воздушных судов до 15 мест аналогичного класса, в качестве которых рассматривается ТВС-2ДТС «Байкал». Также для развития регионального авиасообщения для ряда направлений из г. Архангельска и г. Котласа необходимы воздушные суда до 40-60 мест, которые имеют возможность использовать для взлета и посадки грунтовые и искусственные взлетно-посадочные полосы длиной до 1500 м. По предварительной оценке - необходимо от 3 до 5 воздушных судов данного типа.

Для развития маршрутов между узловыми и региональными аэропортами из аэропорта «Архангельск» потребуется 5 воздушных судов вместимостью от 98 до 180 мест. Отмечаем, что аэропорт «Архангельск» имеет возможность принимать большинство типов среднемагистральных пассажирских лайнеров (Airbus - A320, Boeing 737/757, в перспективе МС-21).

В июне 2022 года Правительство Российской Федерации утвердило комплексную программу развития авиатранспортной отрасли до 2030 года [11]. Общий объём её финансирования в ближайшие семь лет составит более 770 млрд рублей. При этом свыше 150 млрд из них, необходимые для обеспечения авиаперевозок, поступят в отрасль уже до конца 2022 года. Согласно программе, до 2030 года парк российских авиакомпаний должны пополнить более одной тысячи отечественных самолётов. Следовательно перспективы региональной авиации в Архангельской области напрямую связаны с реализацией комплексной программы развития отрасли на федеральном уровне, а также объёмов предоставляемой финансовой поддержки за счет средств федерального и регионального бюджетов.

Таким образом в целях улучшения транспортной доступности арктических территорий, в том числе не имеющего иного круглогодичного транспортного сообщения, Архангельск вполне может рассматриваться в качестве опорного пункта для обеспечения выполнения основных типов коммерческих авиационных работ, повышения уровня безопасности полетов и качества обслуживания пассажиров в российской Арктике.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чижова Л.А., Тутьгин А.Г. Концептуальная основа управления сбалансированным развитием территорий Арктической зоны Российской Федерации // *Фундаментальные исследования*. 2021. № 12. С. 209-214.
2. Тутьгин А.Г., Чижова Л.А., Ловдин Е.Н. Оценка социально-экономической ситуации в арктических муниципальных районах Архангельской области на основе целевой модели // *Арктика и Север*. 2022. № 46. С. 170-189.
3. Социально-экономическое развитие арктического макрорегиона: комплексный подход: монография / Л.А. Чижова, А.Г. Тутьгин, А.О. Подоплекин и др.; отв. ред. Чижова Л.А. – Архангельск: КИРА, 2022. – 292 с.
4. Указ Президента Российской Федерации от 27 декабря 2017 года № 634 «О передаче в собственность Архангельской области находящихся в федеральной собственности акций акционерных обществ «Аэропорт Архангельск» и «2-ой Архангельский объединенный авиаотряд»» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/42638>(дата обращения 01.09.2023)
5. Распоряжение Правительства Архангельской области от 03 апреля 2018 № 95-рп «Об утверждении Концепции развития региональных авиаперевозок Архангельской области до 2030 года» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://base.garant.ru/48951860/> (дата обращения 01.09.2023)
6. Петросян В.С. Стратегия развития региональных авиаперевозок Архангельской области // *Инновации и инвестиции*. 2016. № 8. С. 79-85.
7. Постановление Правительства РФ от 7 марта 1995 г. № 239 «О мерах по упорядочению государственного регулирования цен (тарифов)» (с изменениями и дополнениями). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://base.garant.ru/10103866/> (дата обращения 01.09.2023)
8. Увеличить субсидии [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.interfax-russia.ru/far-east/view/uvlichit-subsidii> (дата обращения 02.09.2023)
9. Назад в будущее. Медиа-проект, посвященный истории 60-летию аэропорта Архангельск им. Фёдора Абрамова [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://60.arhaero.ru/> (дата обращения 02.09.2023)
10. Указ губернатора Архангельской области от 05 сентября 2022 № 116-у «Об утверждении Положения о рабочей группе «Развитие авиационных перевозок и региональных аэропортов» комиссии Государственного Совета Российской Федерации по направлению «Транспорт» [Электронный ресурс]. Режим доступа:

<http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/2900202209070003> (дата обращения 02.09.2023)

11. Комплексная программа развития авиатранспортной отрасли Российской Федерации до 2030 года (утверждена Распоряжением Правительства РФ от 25 июня 2022 года №1693-п) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/PqzpRfozEf6AY4iMiUGkmcWlraxAMbd1.pdf> (дата обращения 01.09.2023)

12. В Поморье обсудили развитие малой авиации [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://vk.com/wall-194290120\\_3073](https://vk.com/wall-194290120_3073) (дата обращения: 8.09.2023)

## **АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛА ПРИМЕНЕНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ НА НЕФТЕГАЗОВЫХ ОБЪЕКТАХ СЕВЕРНЫХ МОРЕЙ**

*Пестова А.А., Крайнева О. В.*

Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова,  
г. Архангельск, [pestova.anastasiia@mail.ru](mailto:pestova.anastasiia@mail.ru)

Разработка шельфовых нефтегазовых объектов в районах Крайнего Севера осложнена такими факторами как рост спроса на электроэнергию, дефицит энергоснабжения удаленных районов, высокая стоимость транспортировки и производства электроэнергии, климатические изменения и негативное воздействие деятельности человека на окружающую среду.

В настоящий момент основу энергообеспечения промышленных объектов в Арктической зоне РФ составляет привозное дизельное топливо, попутный нефтяной газ и нефть. Однако дизельная генерация является энерго- неэффективной и дорогой и, кроме того, имеет выраженное влияние на экологию. Буровые платформы, котельные, электростанции нередко используют попутный нефтяной газ для удовлетворения энергетических потребностей их деятельности. Данный вариант хоть и более экономически оправдан, однако он сопряжен с негативным воздействием на окружающую среду и высоким требованиям к коррозионной устойчивости газотурбинного оборудования [1], которое подвергается воздействию агрессивной среды, обусловленной наличием примесей в попутном нефтяном газе.

Конкурентноспособным решением проблемы локального энергоснабжения производственных объектов и комплексов нефтегазовой отрасли с учетом современных тенденций низкоуглеродного развития и энергетической безопасности является внедрение возобновляемых источников энергии.

Суровые климатические условия северных районов, с одной стороны, накладывают ограничения и осложняющие факторы на ведение промышленной деятельности в данной местности, однако они же определяют необходимые условия для оправданности и целесообразности применения таких электрогенерирующих объектов, как ветроэнергетические установки и приливные электростанций. Ветровой режим создает достаточный ветровой потенциал для его использования в качестве энергетического ресурса. Арктика является одним из наиболее привлекательных мест для развития ветроэнергетики ввиду преобладания высоких скоростей ветра и низких температур воздуха, обеспечивающих его большую плотность, что позволяет эксплуатировать ветроэнергоустановки с большим КПД.

По данным Глобального совета по ветроэнергетике (GWEC) на 2022 мировая офшорная ветроэнергетика составила 7% от суммарной мощности ВИЭ в мире [2]. Ее активным развитием занимаются нефтегазовые компании, такие как Shell, для

удовлетворения собственных энергетических потребностей на промышленных объектах.



Рис. 1 – Офшорный ветроэнергетический комплекс для энергоснабжения буровой платформы

Несмотря на сложившуюся политическую обстановку и прекращения партнерских отношений европейских стран поставщиков ВЭУ с Россией перспективной торговой площадкой является Китай, способный удовлетворить спрос на офшорные ветрогенераторы.

В России подобные проекты рассматриваются Группой «Лукойл» для реализации в Каспийском море на месторождениях Филановского и Корчагина [3,4].

Несмотря на то, что капитальные вложения в офшорную ветроэнергетику по сравнению с наземным исполнением достаточно высоки, достигаемые технологический и экологический эффекты окупают затраты. В первую очередь можно отметить снижение значительных расходов на обеспечение дизельным топливом объектов на Крайнем Севере, вызванных в основном высокой стоимостью логистических операций. При этом повышается надежность энергообеспечения даже при сбоях в поставках привозного топлива за счет использования местных ресурсов. С точки зрения экологического воздействия, использование ветровой энергии позволит снизить нагрузку на углеводородное топливо и сократить выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, что особенно важно в условиях декарбонизации. Экономическая привлекательность в значительной степени зависит от сочетания требований к мощности, ресурса ветра и оставшегося срока службы оборудования. При качественном подходе к замещению энергоресурса дополнительную выгоду можно извлечь при переработке попутного нефтяного газа и дальнейшем производстве различных веществ и материалов.

Приливная энергетика менее развита по сравнению с ветроэнергетикой, однако еще со времен СССР известен огромный приливной потенциал, послуживший предпосылкой для разработки проектов таких приливных электростанций как Мезенская ПЭС, Северная ПЭС, Тугурская ПЭС и невероятная по своей мощности Пенжинская ПЭС. При этом на побережья Северного Ледовитого океана значительное влияние оказывают сгонно-нагонные колебания уровня воды, которые могут достигать более 2 м в море Лаптева, Восточно-Сибирском и Карском морях [5,6].

Однако в удаленных и труднодоступных районах, как правило, отсутствует достаточно крупный потребитель, способный использовать всю установленную мощность столь крупных генерирующих объектов. Поэтому рациональным решением

является рассмотреть плавучие приливные электростанции меньшей мощности для обособленного энергообеспечения шельфовых нефтегазовых платформ.



Рис. 2 – Плавучая установка приливной энергетики для энергоснабжения буровой платформы

Плавучие ПЭС с технологической точки зрения представляют собой ортогональную турбину, вмонтированную в платформу с положительной плавучестью, которая вращается за счет силы набегающего приливного потока. Компактность конструкции позволяет установить ее в непосредственной близости от объекта потребителя, при этом данный вид приливных электростанций сравнительно прост в изготовлении и может быть произведен на любом достаточно крупном судостроительном заводе [7].

Применение малых ПЭС может быть экономически и энергетически оправдано ввиду использования современных технологий, упрощающих и удешевляющих их строительство, а также применение методов оптимизации их режимов работы и регулирования неравномерности выработки электрической энергии. При этом отсутствие тепловой генерации на данном типе электростанций позволит минимизировать растепляющее воздействие и сохранить естественный температурный режим. Замещение приливными электростанциями дизельной генерации позволит снизить выбросы CO<sub>2</sub> в атмосферу и сократить расходы по обеспечению дизельным топливом промышленные объекты Крайнего Севера.

Таким образом, для Российской Арктики, отличающейся суровыми условиями, значительной удаленностью потребителей от общей инфраструктуры, сложной логистикой и высокой стоимостью электроэнергии, внедрение возобновляемых источников энергии для использования местных энергоресурсов и снижения антропогенного воздействия на окружающую среду технологически выполнимо на данном этапе развития промышленности и соответствует основным тенденциям глобального энергоперехода.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мохнаткин И.В. Проблема и анализ способов очистки попутного от сероводорода при разработке Харьягинского нефтяного месторождения //Вестник АГТУ. Серия «Прикладная геоэкология». 2009. Вып. 82. С. 45–54.
2. Global Offshore Wind Report [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://gwec.net/market-intelligence/resources/> (дата обращения 15.08.2023)

2. Отчет об устойчивом развитии Группы «ЛУКОЙЛ» 2022 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://lukoil.ru/Sustainability/SustainabilityReport> (Дата обращения 05.09.2023)
3. Тожибоев С. Т. угли Применение ВЭС для энергоснабжения на нефтегазовых месторождениях России // СОК. 2023. №6. С. 76–78.
4. Приливы и нагоны Северного Ледовитого океана [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://arktika-antarktida.ru/sloklimat3.shtml> (Дата обращения: 27.08.2023)
5. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.geokniga.org/books/10838> (Дата обращения: 27.08.2023)
6. Пестова А.А. Применение плавучих приливных электростанций в энергосистемах Арктической зоны России // СОК. 2023. №8. С 64–65.

## **РАЗВИТИЕ ПОТЕНЦИАЛА ТРУДОСПОСОБНОСТИ АРКТИЧЕСКОГО НАСЕЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ**

*Проворова А.А.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, [aashirikova@mail.ru](mailto:aashirikova@mail.ru)

Способность человека к труду определяется его трудовым потенциалом. С количественной точки зрения он характеризуется численностью и половозрастным составом трудовых ресурсов, а также масштабами отработанного времени. С качественной – состоянием здоровья, уровнем образования и квалификации и иными навыками и компетенциями населения, необходимыми для трудовой деятельности, а также системой трудовых ценностей и мотивов. Формирование трудового потенциала определяется, прежде всего, особенностями протекания демографических процессов на территории, а его реализация – степенью вовлечения населения в хозяйственную деятельность посредством занятости.

В настоящее время регионы Арктики сталкиваются с такими демографическими вызовами как сокращение численности населения, высокий уровень заболеваемости и преждевременной смертности, значительные темпы старения населения. Как следствие, это выражается в снижении численности трудовых ресурсов, старении рабочей силы, недоиспользовании трудового потенциала из-за временной трудоспособности, инвалидизации или смертности экономически активного населения.

С 2000 по 2021 г. среднегодовая численность населения в регионах Арктики сократилась на 10%. Снижение численности затронуло все регионы за исключением Ненецкого и Ямало-Ненецкого автономных округов и Республику Саха. Наибольшие масштабы сокращения постоянного населения приобрело в Республике Коми (на 23%) и в Мурманской области (на 21,8%). Особенностью протекания демографических процессов в регионах Арктики, оказывающих влияние на продолжительность трудовой жизни, является чрезвычайно высокий уровень преждевременной смертности населения. Во всех субъектах российской Арктики за исключением Ямало-Ненецкого автономного округа данная проблема имеет более выраженный характер, чем в стране в целом. Самый высокий уровень преждевременной смертности отмечается в Чукотском автономном округе, который в 2019 г. превышал среднероссийские значения на 70%. Также выделяется Ненецкий автономный округ, в котором данный показатель выше среднероссийских значений на 23%. Преждевременная смертность населения в трудоспособном возрасте характеризуется, прежде всего, сверхсмертностью мужского населения. В среднем смертность мужчин в трудоспособном возрасте в 3,5 раза превышает смертность женского населения. Наибольший разрыв по данным на 2020 г.

отмечался в Ямало-Ненецком автономном округе (4,7 раза) и Ненецком автономном округе (в 4 раза) [1]. Основными причинами преждевременной смертности являются болезни системы кровообращения и внешние причины. В большинстве субъектов Арктики, за исключением Ненецкого и Ямало-Ненецкого автономных округов, Республики Саха, отмечается более высокий уровень преждевременной смертности от новообразований. Значительный демографический ущерб был нанесен пандемией коронавирусной инфекции. Наблюдаемая динамика ожидаемой продолжительности жизни (ОПЖ) в регионах российской Арктики показывает, что весь достигнутый прирост данного показателя с 2007 г. был исчерпан за годы пандемии. В большинстве субъектов значения ОПЖ в 2021 г. стали сопоставимы со значениями 2012 г. В меньшей степени снижение ОПЖ коснулось субъектов с высокой долей коренного населения (Ненецкий, Чукотский и Ямало-Ненецкий автономные округа) [2].

Анализ показателей первичной заболеваемости позволяет говорить о неблагоприятном состоянии здоровья населения. В 2020 г. заболеваемость арктического населения превышала среднероссийские значения на 30%. Важно также отметить ее рост в 2020 г. по сравнению с 2005 г. Исключение составляет Ненецкий автономный округ, в котором заболеваемость за этот период снизилась на 15%. В остальных субъектах рост заболеваемости населения варьирует от 3% в Мурманской области и Красноярском крае до 17% в Республике Саха (Якутия). В структуре заболеваемости населения арктических регионов преобладают болезни органов дыхания, а также последствия внешних причин (травмы, отравления и прочее). Несмотря на соответствие общероссийской структуре, масштабы заболеваемости по всем классам болезней, за исключением болезней системы кровообращения, в регионах Арктики выше, чем в России в целом. Показателем неудовлетворительного состояния здоровья населения Арктики за период с 2000 по 2020 гг. стал рост более чем на 50% заболеваемости новообразованиями, на 28% болезнями органов системы кровообращения, на 15% болезнями органов дыхания и эндокринной системы, на 20% заболеваемости вследствие врожденных аномалий и деформаций [3].

Как результат влияния совокупности демографических факторов, произошло не только количественное сокращение численности трудовых ресурсов, но и качественная их трансформация в виде увеличения доли населения старших возрастов. Анализ динамики возрастной структуры населения за 2005-2020 гг. показывает, что в арктических регионах доля старших возрастов в общей структуре арктического населения меньше, чем в РФ. Вызывает озабоченность факт более высоких темпов роста численности населения старше трудоспособного возраста в Арктике по сравнению с среднероссийскими показателями. Если с 2005 по 2020 гг. доля населения старших возрастов в РФ увеличилась на 23%, то в регионах Арктики в среднем на 53%. В ряде субъектов (Ямало-Ненецкий и Ненецкий автономный округ) рост составил более чем в 2 раза [3].

В данном исследовании представлены результаты авторского расчета и анализа показателя ожидаемой продолжительности трудовой жизни, который характеризует трудовой потенциал населения через призму длительности пребывания человека на рынке труда. Уникальность данного показателя состоит в том, что он позволяет оценить количество лет, проведенных на рынке труда в контексте продолжительности жизни. Таким образом, в единой модели увязываются два фактора, определяющие длительность пребывания человека на рынке труда, а значит и полнота реализации трудового потенциала: демографический фактор через оценку ожидаемой продолжительности жизни и экономический через оценку уровня участия населения в рабочей силе [4]. Ожидаемая продолжительность трудовой жизни рассчитывается на основе таблиц дожития, опирающихся на показатели повозрастной смертности, и доли экономически активного населения по 5-летним возрастам. В качестве объекта исследования выбрано население Архангельской области в возрасте экономической

активности. Архангельская область частично входит в Арктическую зону РФ (АЗРФ). На территории арктических муниципалитетов проживает более 61% населения региона, численность которого сопоставима с численностью населения Мурманской области и Ямало-Ненецкого автономного округа, полностью входящих в состав АЗРФ. В качестве периода исследования определены временные границы с 2010 по 2021 гг.

В таблице 1 представлены данные, характеризующие динамику ожидаемой продолжительности трудовой жизни мужчин и женщин в Архангельской области. В качестве промежуточного этапа был определен 2019 г., который характеризовался максимальными значениями ожидаемой продолжительности жизни населения, достигнутыми с начала 2000-х годов, а также началом реализации пенсионной реформы, направленной на повышение возраста выхода на пенсию.

Таблица 1 - Ожидаемая продолжительность трудовой жизни населения Архангельской области, лет

Возраст, лет	2010	2019	2021
<i>Мужчины</i>			
15-19	31,9	33,9	32,8
20-24	31,4	33,6	32,5
25-29	27,8	30,2	29,3
30-34	23,7	24,9	24,6
35-39	19,6	20,5	20,4
40-44	15,6	16,4	16,2
45-49	11,5	12,4	12,1
50-54	7,7	8,5	8,4
55-59	4,2	4,5	4,7
60-74	2,2	2,6	2,0
<i>Женщины</i>			
15-19	32,4	33,1	34,2
20-24	32,0	33,0	33,9
25-29	29,1	30,2	31,2
30-34	25,0	25,2	26,5
35-39	20,9	20,9	21,8
40-44	16,5	16,6	17,2
45-49	11,9	12,2	12,6
50-54	7,3	7,8	8,4
55-59	3,8	4,2	4,6
60-74	1,9	2,1	2,2

Источник: расчеты автора по ЕМИСС. URL: <https://www.fedstat.ru/>; Письма Архангельскстата от 16.02.2022 № ГК 32-02/282-ДР и от 08.02.2023 г. № АС-Т32-02/353-ДР.

Анализ полученных данных позволяет в целом говорить о наличии положительных тенденций в сфере формирования трудового потенциала в виде числа ожидаемых трудовых лет жизни. Общий рост ожидаемой продолжительности трудовой жизни за период с 2010 по 2021 гг. у мужчин составил 0,9 лет, у женщин 1,8 лет. Более активно данный показатель рос в периоды экономической стабильности (до 2019 г.), чему способствовало увеличение показателя ожидаемой продолжительности жизни. Влияние пандемии коронавирусной инфекции в большей степени отразилось на ожидаемой продолжительности трудовой жизни мужчин Архангельской области, чем женщин. Несмотря на разный уровень экономической активности мужчин и женщин ввиду возможности более раннего выхода на пенсию и продолжительность жизни, длительность пребывания мужчин и женщин на рынке труда в Архангельской области практически сопоставима, а в некоторые периоды продолжительность трудовой жизни женщин превышала соответствующий показатель у мужчин. Такая тенденция наблюдалась в РФ в начале 2000-х годов и объяснялась высоким уровнем

преждевременной смертности и низким уровнем экономической активности у мужчин, чем у женщин.

Более полную картину изменения трудового потенциала региона позволяет сделать анализ ожидаемой продолжительности трудовой жизни населения в разрезе отдельных возрастных групп (рис.1, 2).

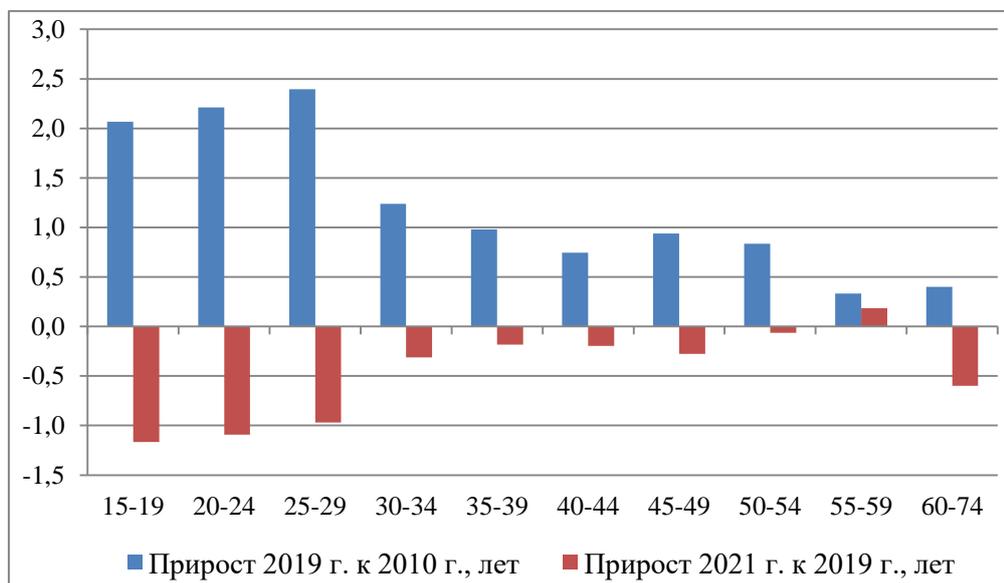


Рис.1 - Прирост ожидаемой продолжительности трудовой жизни мужчин в Архангельской области, лет

Источник: расчеты автора по ЕМИСС. URL: <https://www.fedstat.ru/>; Письма Архангельскстата от 16.02.2022 № ГК 32-02/282-ДР и от 08.02.2023 г. № АС-Т32-02/353-ДР.

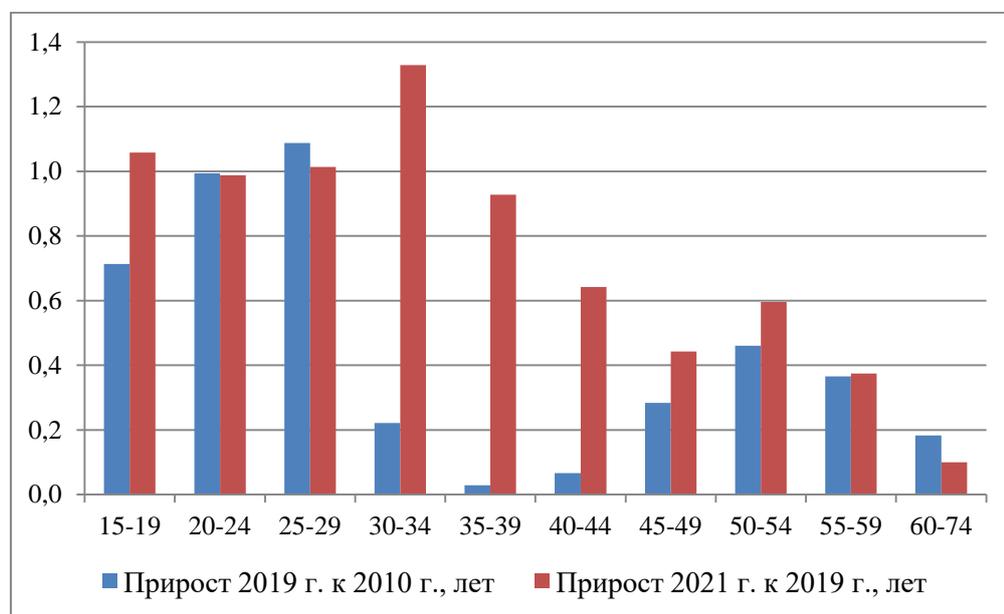


Рис. 2 - Прирост ожидаемой продолжительности трудовой жизни женщин в Архангельской области, лет

Источник: расчеты автора по ЕМИСС. URL: <https://www.fedstat.ru/>; Письма Архангельскстата от 16.02.2022 № ГК 32-02/282-ДР и от 08.02.2023 г. № АС-Т32-02/353-ДР.

Важно отметить увеличение прироста ожидаемой продолжительности трудовой жизни у мужчин за период с 2010 по 2019 гг. преимущественно в молодом возрасте (15-

19 лет, 20-24 года, 25-29 лет). В годы пандемии произошло значительное сокращение данного показателя. Отмечается некоторый рост в 2020-2021 гг. ожидаемой продолжительности трудовой жизни мужчин в возрасте 55-59 лет, что может быть обусловлено увеличением возраста выхода на пенсию.

Для женщин в 2010-2019 гг. был характерен прирост ожидаемой продолжительности трудовой жизни в молодом возрасте (20-24 года, 25-29 лет) и предпенсионных возрастах (50-54 года и 55-59 лет). В 2020-2021 г. произошел более медленный, но все же прирост данного показателя за счет повышения экономической активности женщин во всех возрастах в 2021 г., особенно в возрасте 30-45 лет, несмотря на снижение ожидаемой продолжительности жизни в этот период.

Социальная устойчивость арктического пространства предопределяется, в том числе, и устойчивостью социально-трудовой сферы. Исследование показало, что, несмотря на снижение численности трудовых ресурсов, в регионе есть возможность для роста трудового потенциала. Также было выявлено, что влияние пандемии в Архангельской области оказало большее влияние на продолжительность трудовой жизни, чем в России, особенно в отношении мужского населения.

Полученные результаты могут быть использованы для анализа результатов региональной политики занятости и политики народосбережения.

*Статья подготовлена в рамках НИР № 122011800415-9 «Сбалансированное развитие арктических социо-эколого-экономических систем в условиях трансформации природно-климатической и социально-экономической среды»*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Здравоохранение в России. 2021.: Стат.сб. / Росстат.-М., 2021.-171 с.
2. Единая межведомственная информационно-статистическая система. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/31293>
3. Регионы России. Социально-экономические показатели - 2021 г.: Стат. сб. / Росстат. – М., 2021. – 1112 с.
4. Sullivan D. F. A single index of mortality and morbidity // HSMH Health Report. 1971. Vol. 86. P. 347–354

#### **ОСОБЕННОСТИ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РЕГИОНОВ КРАЙНЕГО СЕВЕРА (ИССЛЕДОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ АНАЛИЗАТОРА ТЕКСТА)**

*Рослякова Н.А.<sup>1</sup>, Каневский Е.А.<sup>1</sup>, Боярский К.К.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Институт проблем региональной экономики РАН, г. Санкт-Петербург, [na@roslyakova24.ru](mailto:na@roslyakova24.ru)

<sup>2</sup>Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург

В настоящее время для обеспечения именно управленческого функционала была сформирована система Приоритетных (ПП) и Национальных проектов (НП), которые по своей сути являются продолжением проектных подходов с конкретными целями и задачами. В рамках данной системы Совет при Президенте определяет задачи; Правительство контролирует ход исполнения; Проект офисы формируют промежуточные цели, обеспечивают увязку задач. Преимущество данной системы как инструмента управления выражается в чётких целях и определённости финансового обеспечения. В целом такой подход должен способствовать тому, чтобы НП и ПП стали институтом управления, а не аналитической расшивкой бюджета РФ. На наш взгляд,

при совершенствовании проектного подхода в государственном управлении, представляется логичным отход от постановки множества целей, как это было при формировании ГП (их количество доходило до 50), в сторону большей сфокусированности при постановке целей и задач для НП и снижения количества промежуточных контролируемых показателей. Развитие проектного метода должно отходить от формального понимания, когда достижение поставленных целей осуществляется для обоснования бюджетных расходов. Важна реализация поставленных целей и задач с пониманием проектного подхода, в условиях постоянного взаимодействия в рамках проектного офиса, при обеспечении регулярного контроля над ходом реализации проектов со стороны ответственных лиц на каждом уровне: от Председателя Правительства до лиц, ответственных за реализацию проекта внутри министерств и ведомств. И при этом процесс достижения целей должен быть содержательно наполненным для исполнителей.

Анализ документов стратегического планирования имеет большое значение как для адекватного и качественного исследовательского процесса, направленного на полное понимание и учёт аспектов, находящихся в поле внимания региональных и федеральных властей, так и для выработки действенных и реальных (а не декларативных) рекомендаций по совершенствованию системы государственного стратегического планирования и системы регулирования и стимулирования социально-экономического развития регионов России.

В этом отношении большое значение имеет глубокий содержательный анализ документов стратегического планирования. Существуют немногочисленные статьи, посвященные этим вопросам. Примером такой работы является [1], где автор акцентирует внимание на сопоставлении идеологических аспектов двух стратегий и делает вывод о трансформациях, произошедших в них. Однако следует подчеркнуть, что такого рода анализ является, в сущности, кропотливым «ручным трудом» аналитика, когда автор читает, осмысливает и самостоятельно проводит сопоставления. Многообразие документов стратегического планирования и усиление общественного и государственного запроса на их сущностный, содержательный анализ не позволяет рассматривать метод «ручного труда» как оптимальный. Примером работы, где ставятся вопросы анализа определённых содержательных конструкций, является [2]. Однако авторы оставляют в стороне вопрос разработки автоматизированных методов, также ориентируясь на «ручной» труд.

Кроме того, наличие в процедурах принятия и реализации стратегических документов процесса редактирования, доработки и пересмотра, свидетельствует в пользу того, что подобную процедуру для одного документа необходимо осуществить несколько раз, что ещё больше требует автоматизации этого процесса. Проведённый авторами анализ имеющейся литературы позволяет заключить, что не существует статей, где бы ставился вопрос углублённого анализа текстов стратегических документов машинными методами, с целью автоматизировать процесс анализа и постановки задач на поиск определённых смысловых конструкций в текстах стратегических документов.

Таким образом, можно заключить, что содержательный анализ документов стратегического планирования представляет интерес и фактором, который также стимулирует поиск подходящего инструментария, является развитие инструментария текстового и содержательного анализа, что позволяет ставить новые задачи для исследования текстов социально-экономического направления.

В этом отношении можно сказать, что актуальные на современном этапе системы машинного обучения и искусственного интеллекта, например, популярный GPTChat, не в состоянии решать подобные задачи, так как по сути они являются системой генерации (условно, синтеза) нового контента, однако они не дают возможности аналитической работы с текстом, направленной на выявление смыслов,

сетевых и содержательных конструкций и т.п. Соответственно, возможности, анализа с использованием ИИ систем сводится к компилированию из уже имеющегося материала на основе слов маркеров с настройкой подражанию тому или иному стилю изложения материала. В этом отношении наш подход к работе с текстом стратегий имеет прямо противоположный характер. В рамках данной работы было сформулировано несколько запросов:

1. оценка частоты упоминания слов и степени их связанности в тексте;
2. отбор слов и более глубокий анализ контекста и окраски (положительной или отрицательной) при их упоминании;
3. фиксация некоторых слов, словосочетаний или смысловых конструкций.

Для анализа были отобраны Стратегии социально-экономического развития Республики Саха (Якутия) [3], Магаданской [4] и Мурманской [5] областей, Ненецкого [6], Чукотского [7], Ямало-Ненецкого [8] автономных округов и Камчатского края [9].

Для анализа используется система ДИСКАНТ (вариант ВЕГА) [10]), которая при наличии морфоанализатора позволяет составлять алфавитные и частотные словари. В табл. 1 приведены данные о 20 наиболее часто упоминаемых словах во всех текстах.

Таблица 1 – Частотный словарь, сформированный по тексту Стратегий [3-9]

Слово	Число упоминаний	Слово	Число упоминаний
Развитие	3470	Реализация	974
Округа	2109	Государственный	970
Население	1544	Создание	953
Год	1498	Область	933
Автономный	1315	Быть	918
Край	1278	Проект	916
Регион	1260	Уровень	900
Камчатский	1130	Обеспечение	890
Территория	1047	Инфраструктура	851
Задача	1002	Услуга	828

Из таблицы 1 можно видеть, что имеют место как рамочные слова (округ, год, автономный, край, регион), так и слова, предполагающие смысловые конструкции, связанные с реализацией мероприятий (развитие, создание) и получением определённых эффектов (уровень, инфраструктура, услуга). Интересно посмотреть на особенности регионов, используя частотные словари для каждого из них в отдельности. Ниже приведены по 20 наиболее упоминаемых слов (Топ-20) для каждого региона, причем слова, отсутствующие в табл. 1, выделены жирным шрифтом. Они-то как раз и говорят об особенности каждого региона.

Якутия: **арктический**, развитие, район, проект, республика, год, население, Якутия, Саха, **зона, Арктика**, реализация, создание, **строительство**, быть, территория, инфраструктура, **пункт, РС, северный**.

Магаданская область: область, магаданский, развитие, год, регион, население, **месторождение, инвестиционный**, территория, являться, реализация, **городской**, округа, проект, обеспечение, услуга, тыс., **производство**, создание, уровень.

Мурманская область: развитие, год, область, мурманский, государственный, регион, население, **повышение**, число, обеспечение, условие, создание, **деятельность**, региональный, реализация, **сфера, социальный**, уровень, **экономика, система**.

НАО: округа, автономный, ненецкий, развитие, задача, быть, регион, год, население, территория, реализация, инфраструктура, **организация**, государственный, уровень, **социальный, цель**, являться, создание, **система**.

Чукотка: округа, развитие, чукотский, автономный, население, год, **месторождение**, инфраструктура, регион, услуга, быть, **повышение, социальный**, являться, руб., **сфера, объем**, уровень, **добыча**, территория.

ЯНАО: округа, развитие, автономный, население, задача, **комплекс, показатель,** регион, **мероприятие, город,** уровень, территория, **доля, услуга, система, муниципальный,** число, **сфера, ключевой, объект.**

Камчатка: край, развитие, камчатский, создание, год, государственный, реализация, территория, население, регион, **инвестиционный,** инфраструктура, **муниципальный,** обеспечение, услуга, проект, **система, комплекс, сфера,** являться.

Если воспользоваться дополнительными возможностями ДИСКАНТА (он обеспечивает пермутационный вывод – выведение интересующего слова и некоего количества окружающих его символов), то можно сделать некоторые интересные выводы об особенностях каждого региона. Для этого достаточно визуально подобрать наиболее упоминаемые словосочетания с выделенными выше словами для каждого региона.

Так подчеркивается, что Якутия находится в арктической зоне, и для нее особенно важен Северный морской путь. Для Магаданской области характерно месторождения золота и использование инвестиционных проектов. Мурманская область хочет добиться повышения эффективности и развития региональной экономики. В Стратегии НАО особое внимание обращается на образовательные и некоммерческие организации, а также на оказание социальных услуг в социальной сфере. Чукотка обращает внимание на повышение эффективности своей деятельности, социальную сферу и добычу золота. ЯНАО подчеркивает важность комплекса ключевых мероприятий, деятельности муниципальных округов, социальной сферы и водных объектов. Для Камчатки характерно использование инвестиционных проектов и развитие рыбохозяйственных комплексов.

Однако сам словарь и частота упоминания отдельных слов являются малопоказательными для концентрации смысла и сущности предлагаемых в стратегии решений. Гораздо более продуктивным является путь построения так называемого облака слов (с использованием инструментария открытого доступа Word it Out), предполагающего учёт не только частоты, но и тесноты связи слов в тексте. На рис. 1-3 представлены облака слов построенные с учетом пермутационных выводов. Отметим, что рамочные слова (названия регионов, год, тысячи, является) и служебные слова были исключены из анализа.

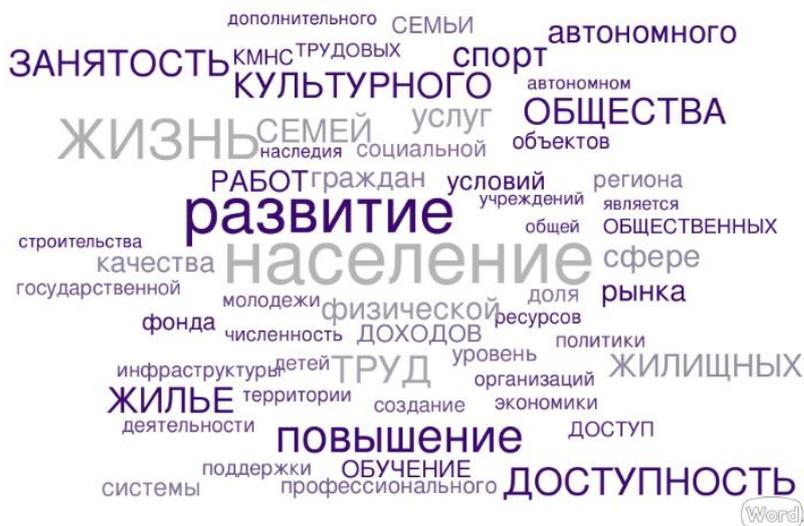


Рис. 1 – Облако слов для конструкции «ценности» в преобразованных текстах стратегий

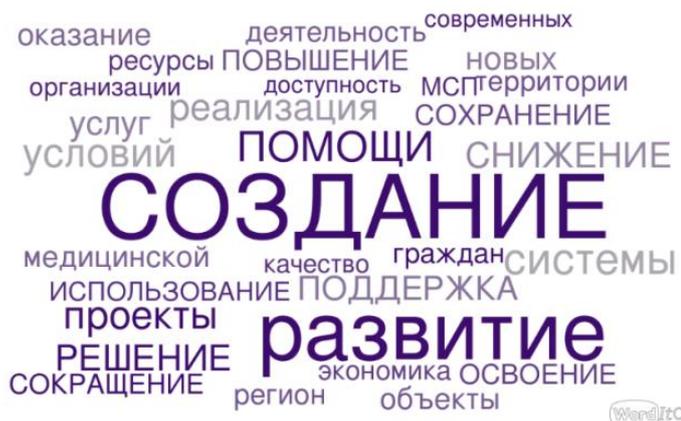


Рис. 2 – Облака слов для конструкции «мероприятия» в предобработанных текстах стратегий



Рис. 3 – Облака слов для конструкции «эффекты» в предобработанных текстах стратегий

Полученные результаты демонстрируют весьма существенную разницу во всех трех исследуемых смысловых конструкциях. Так, на рис. 1 хорошо видно, что в стратегии северных регионов закладываются весьма разнообразные ценности. Можно выделить: жилищное развитие, культура и спорт, доступность обучения, качество государственных услуг, социальное обеспечение семей, развитие труда и доходы населения. То есть можно заключить, что в этом отношении стратегии северных регионов являются сбалансированными и комплексными. Однако вслед за авторами [11] мы должны отметить, что в крайне малой степени в стратегиях проявляются ценности коренных народов Севера.

Если мы будем рассматривать конструкции мероприятий (рис. 2), закладываемых в стратегии, то получается обратная картина. Для регионов выделяется: освоение территорий посредством МСП, услуги организаций, помощь в обеспечении доступности, поддержка и развитие освоения регионов, проектные решения. Общий вектор — на создание многих систем и комплексов, которые отсутствуют на севере. Переходя к анализу эффектов, закладываемых в стратегии, выделяется рост занятости.

Можно заключить, что северные регионы, несмотря на большее число зафиксированных в стратегиях ценностных установок, уступают с точки зрения доступности инструментария реализации планов, а основные социально-экономические эффекты концентрируются вокруг явления занятости, при этом специфика, связанная с традиционными занятиями и деятельностью коренных малочисленных народов Севера, вообще не акцентируется в документах.

*Работа выполнена в рамках темы государственного задания ИПрЭ РАН «Механизмы формирования новых подходов к пространственному развитию экономики РФ, обеспечивающей устойчивое развитие и связанность ее территорий в условиях глобальных вызовов XXI века», АААА-А21-121011290083-2.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сургуладзе В.Ш. Идеологическое измерение стратегии национальной безопасности Российской Федерации: Сравнительный анализ документов 2015 и 2021 годов / Гуманит. науки. Вест. Фин. Ун-та. 2022. № 12 (1). С. 60-69.
2. Рубцов Г.Г., Литвиненко А.Н. Использование ценностно-ориентированного подхода в стратегическом планировании на примере реализации региональных стратегий развития субъектов Северо-Западного федерального округа // Вопр. Управ. 2020. № 3 (64). С. 65-77.
3. Постановление правительства Республики Саха (Якутия) от 26.12.2016года № 455 «О проекте Стратегии социально-экономического развития арктической зоны Республики Саха (Якутия) на период до 2030 года с определением целевого видения до 2050 года».
4. Постановление правительства Магаданской области от 5 марта 2020 г. N 146-пп «Об утверждении стратегия социально-экономического развития Магаданской области на период до 2030 года».
5. Постановление Правительства Мурманской области от 25.12.2013 № 768-пп/20 «О стратегии социально-экономического развития Мурманской области до 2020 года и на период до 2025 года» [по состоянию на 10.07.2017]
6. Постановление Собрании депутатов Ненецкого автономного округа от 7 ноября 2019 года N 256-сд «Стратегия социально-экономического развития Ненецкого автономного округа до 2030 года» [по состоянию на 07.11.2019].
7. Распоряжение Правительства Чукотского автономного округа от 16 июля 2014 года N 290-РП «Об утверждении стратегии социально-экономического развития Чукотского автономного округа до 2030 года» [по состоянию на 16.07.2014].
8. Постановление Законодательного Собрания депутатов Ямало-Ненецкого автономного округа от 24 июня 2021 года N 478 «О стратегии социально-экономического развития Ямало-Ненецкого автономного округа на период до 2035 года» [по состоянию на 17.02.2022]
9. Постановление правительства Камчатского края от 27 июля 2010 года N 332-П «Об утверждении стратегии социально-экономического развития Камчатского края на период до 2030 года».
10. Каневский Е.А., Боярский К.К. ВЕГА – инструмент для лингвистических исследований // Прикладна лінгвістика та лінгвістичні технології: MegaLing-2012. К.: Довіра, 2013. С. 113–123.
11. Kobzik J., Krawchenko T. “What do we want and how do we get there”: A comparative content analysis of First Nations Comprehensive Community Plans in British Columbia // Canadian Public Administration. 2023. No. 66. P. 45–61. <https://doi:10.1111/capa.12507>.

## ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И НОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

*Самарина В.П.*

Институт экономических проблем им. Г.П. Лузина, ФИЦ «Кольский научный центр РАН», г. Апатиты, samarina\_vp@mail.ru

В последние годы арктический климат претерпевает существенные изменения. Причину этого одни исследователи видят в накоплении парниковых газов в атмосфере, во многом продуцированных антропогенной деятельностью; другие – естественные циклические процессы колебания температуры [1; 2]. И если причины могут быть различны, то результат один. Пока Арктика оставалась одним из самых недоступных мест планеты, научные теории о ее геополитической и экономической важности воспринимались чистой абстракцией. Однако в последние годы ситуация изменилась.

За последний полувековой период территория Арктики нагревалась в три раза быстрее, чем поверхность Земли в целом. И скорость этих изменений возрастает. Научно-исследовательская группа Арктического совета АМАР, изучающая климатические изменения в Арктике, сделала прогноз, согласно которому к 2100 г. среднегодовая температура у поверхности земли в Арктике повысится на 3,3-10° по сравнению со среднегодовыми показателями за 1985-2014 гг. [3]. Уже сейчас заметно таяние многолетней мерзлоты, ледников, большее по площади и наступающее по времени раньше очищение водной поверхности ото льда, а суши от снежного покрова. Согласно отчету АМАР «Изменение климата в Арктике. Основные тенденции и воздействия», за период с 1971 по 2019 гг. в Арктике произошли существенные, во многом критические климатические изменения:

- температура воздуха повысилась на 3,1 °С, что в три раза больше, чем в среднем по миру; наибольшее изменение произошло над Северным Ледовитым океаном с октября по май;
- общее количество осадков (дождь и снег) увеличилось более чем на 9 %; количество дождевых осадков увеличилось на 24 %;
- площадь снегового покрова в период с мая по июнь сократилась на 21%; снег выпадает позже и тает раньше;
- температура арктической многолетней мерзлоты потеплела на 2-3 °С; отмечается таяние многолетней мерзлоты по всей Арктике.
- морской арктический ледяной покров становится моложе и тоньше; площадь льда в сентябре сократилась на 43%; площадь открытой воды, свободной ото льда, растет
- водность рек растет; годовой сток восьми основным арктических рек в Северный Ледовитый океан увеличился на 7,8 %;
- малая способность арктической природы к самовосстановлению приводят к тому, что уникальные экосистемы трансформируются и деградируют [3].

Таким образом, изменение климата – это насущная проблема в Арктике, где температура повышается намного быстрее, чем в среднем по миру, а широко распространенные изменения в осадках, снежном покрове, вечной мерзлоте, морском и материковом льду преобразуют арктическую среду. Эти изменения приводят к долгосрочным последствиям для Арктики. Потепление в Арктике дает новые возможности развития, но и приводит к новым проблемам.

Во-первых, и это самое важное, новые возможности для разработки полезных ископаемых. Российская Арктика чрезвычайно богата полезными ископаемыми. В Арктической зоне России находится из общероссийских запасов: 40 % золота, 80 % нефти, 50–90 % газа, никеля, меди, сурьмы, кобальта, олова, вольфрама, ртути, апатита, флогопита, 90 % хрома и марганца, 99 % платиновых металлов, 100 % местных алмазов

и вермикулита. Из мировых запасов: 30 % алмазов и природного газа, 20 % никеля, 50 % апатита, 35 % ниобия, 15 % меди, платиновых металлов и олова, 10 % нефти (исключая шельф) и кобальта, 6-8 % вольфрама и ртути [4]. На Арктическую зону Российской Федерации из ожидаемых 90 млрд баррелей нефти и 50 трлн м<sup>3</sup> газа приходится около 30 млрд баррелей нефти и 33 трлн м<sup>3</sup> газа соответственно [5]. Однако большинство месторождений находится в труднодоступных местах с суровыми климатическими условиями, за полярным кругом; 84%, особо значимых энергетических полезных ископаемых расположен в толще шельфов. Из-за таяния ледников и общего смягчения климата добывать и вывозить природные ресурсы в Арктике станет намного легче, проще и дешевле. Месторождения, которые раньше эксплуатировать было нецелесообразно, становятся доступными и переходят из категории забалансовых в балансовые. Также потепление открывает новые возможности для геологоразведки и поиска новых месторождений.

Во-вторых, новые логистические возможности преопределили борьбу за торговые пути. Из-за таяния ледников открываются ранее недоступные трансарктические судоходные маршруты, что, в свою очередь, оказывает огромное влияние на экономическое соперничество в Северном полушарии. Основными лицами, участвующие в этом соперничестве, являются 3 страны: Россия, Китай и США. Очищение водной поверхности ото льда делает Северный морской путь проходимым на всем протяжении, увеличивает сроки навигации. Изменение климата приведет к изменению мировых логистических путей: перевозить морские грузы между западным и восточным полушариями через Арктику будет легче, безопаснее, быстрее, а, следовательно – коммерчески оправдано. Однако использование Северного морского пути в современных условиях потепления климата приводит и к новым проблемам. Прежде всего, проблемы природного генезиса: арктическая акватория, свободная ото льда, подвергается воздействию сильных ветров; в результате возникают штормовые волны и зыбь, существенно затрудняющие судоходство. Также проблемы, связанные с созданием и развитием инфраструктуры. Для эксплуатации Северного морского пути нужны высокотехнологичные порты и грузовые хабы, способные принимать, сортировать, отправлять грузы. Большинство из таких объектов находится в стадии строительства. Однако в условиях санкций, предпринятых против России недружественными странами, эти проекты осуществить все сложнее. В строительстве и эксплуатации портовых и складских сооружений планировалось использовать зарубежные технологии, оборудование и технику, поставка многих из которых приостановлена или вовсе отменена. Также потепление приводит к таянию многолетней мерзлоты, что вынуждает менять технологии строительства в Арктике и приводит к многократному удорожанию инфраструктурных проектов. Одельное место занимает расширение ледокольного флота. Сейчас Российская Федерация сделала ставку на строительство мощных ледоколов – они необходимы для эксплуатации Северного морского пути. Опять же, в условиях санкций планы по их строительству могут быть сорваны. Кроме того, построенные с большим трудом и существенными финансовыми затратами ледоколы могут быть не востребованы, как из-за политических ограничений, так и из-за дальнейшего потепления климата и ускоренного таяния льда.

В-третьих, освоение Арктики играет огромную роль в развитии горнодобывающей и перерабатывающей промышленности. Арктика обеспечивает около 11% национального дохода России, здесь создается 22% всего российского экспорта. Россия добывает в этих регионах практически все свои алмазы, апатито-нефелиновые и медные руды, флогопит, вермикулит, 97% платины, 90% никеля, 95% газа, 60-80% нефти, сурьму, редкие и редкоземельные металлы. Потепление климата расширит доступ к полезным ископаемым. Развитие технологий и лучшая доступность приведут к тому, что, в дальнейшем, издержки на добычу и переработку арктических природных ресурсов станут только падать. В то же время необходимо учитывать

требования декарбонизации производства, нацеленного на снижение эмиссии парниковых газов. Российская Федерация приняла на себя обязательства по секвестированию выбросов CO<sub>2</sub> вплоть до полной углеродной нейтральности. Это сдерживает потенциал расширения горнодобывающей и перерабатывающей промышленности в Арктике. Следует также учитывать, что из-за слабой защищенности и низкой способности к самоочистке арктических экосистем последствия крупных техногенных катастроф и аварий будут особо значительными. Вследствие этого арктические промышленные объекты и технологии добычи, транспортировки и переработки полезных ископаемых должны иметь повышенный «запас прочности» в экологическом аспекте. Негативно влияет на развитие промышленных предприятий в Арктике таяние многолетней мерзлоты – в результате происходит проседание грунта и заболачивание территорий. Это приводит к повреждению зданий и сооружений, нарушению производственной и социальной инфраструктуры. За пятьдесят последних лет устойчивость зданий и инфраструктуры, построенных в зоне многолетней мерзлоты существенно снизилась. Особо негативные последствия потепления климата отмечаются на полуострове Таймыр, где пострадала почти все промышленные здания и сооружения, линии транспорта, в том числе, трубопроводы [7]. Кроме того, как и в случае строительства и эксплуатации портовой инфраструктуры, усиливают проблемы геополитические факторы, связанные с санкциями против России.

В-четвертых, потепление климата открывает новые возможности в рыболовстве и рыбоводстве. Уже сейчас в Арктике заготавливается более трети российской промысловой рыбы и морепродуктов, производится около 20% рыбных консервов [8]. Повышение температуры акватории и уменьшение мощности и сроков ледяного покрова моря приводит к тому, что все больше видов субарктических рыб и морских млекопитающих мигрируют в арктические моря, которые раньше были не приспособлены для их жизнедеятельности. Это увеличивает возможности промышленного вылова рыбы в арктических частях Баренцева, Берингова, Охотского морей. Наши исследования показывают, что экономические выгоды рыболовства оказывают существенное положительное влияние на социальное развитие прибрежных арктических поселений [9]. Разведение лосося и другие формы аквакультуры также распространяется на север в некоторых частях Североатлантической Арктики, создавая дополнительные экономические возможности. Социальный риск искусственного рыбоводства заключается в возможной конкуренции с местным рыболовецким промыслом. Экологический риск связан с распространением паразитов, таких как лососевые вши, среди местных популяций диких видов рыб.

В-пятых, арктические маршруты привлекают все больше туристов. Из-за уменьшения площади льда в Арктике, появляются новые маршруты, туристы готовы отдать большие деньги за то, чтобы посмотреть на северное сияние и пообщаться с местным населением. Вырос арктический круизный туризм. Вот только несколько примеров: число пассажиров круизных судов в Исландии выросло с 265935 в 2015 г. до 402834 в 2017 г., что составило рост более 66%; в портах северной Норвегии в период с 2014 по 2019 гг. количество круизных пассажирских рейсов увеличилось на 33%; число пассажиров круизных судов на Шпицбергене выросло с 39000 в 2008 г. до 63000 в 2017 г.; в Гренландии за тот же период число пассажиров увеличилось с 20000 до 30000 человек. В целом число посетителей высоких широт Арктики выросло с 67752 в 2008 г. до 98238 в 2017 г., что составило рост более 57% [10-12]. Среди жителей России и зарубежных гостей заметна тенденция к увеличению интереса к арктическому континентальному, преимущественно экологическому, природному туризму [13; 14]. Например, туристический парк «Русская Арктика» летом 2019 г. его посетили 1306 человек из 44 стран [15]. Пользуются стабильным спросом у туристов маршруты «В погоню за северным сиянием», «В гости к белому медведю» и другие программы, разработанные российскими туроператорами.

В-шестых, потепление климата открывает новые возможности для усиления военного присутствия в Арктике, усиливает борьбу за геополитическое влияние. Нельзя не учитывать существенный военный потенциал Арктики. Государственные границы ряда циркумполярных стран проходят по Северному Ледовитому океану. В Арктике расположены предприятия оборонной промышленности, сухопутные, авиа и морские военные базы, аэродромы, прочие объекты военной инфраструктуры циркумполярных государств. Холодная война закончилась много лет назад и, казалось бы, отношения между Россией и «коллективным Западом», включающем страны Европы и США, должны были нормализоваться. Однако военная операция на Украине, начавшаяся в феврале 2022 г., привела к резкому росту напряженности между Россией и, в первую очередь, США. Таким образом, значимость военного присутствия России в таком важном регионе Земли, как Арктика, усилилась. Россия уже долгое время строит новые военные, сухопутные и морские, базы на северных континентальных территориях и на островах арктических морей, в их числе – остров Котельный. В арктических широтах активно проходят военные учения российской армии. При этом армии других циркумполярных стран также как и армия России, регулярно проводит свои учения на арктических территориях. Вдобавок можно сказать о том, что циркумполярные страны активно работают над созданием военной техники, способной работать в высоких арктических широтах, поскольку материально-техническое обеспечение крайне важно для наращивания военного присутствия в Арктике. Потепление климата позволяет увеличить ассортимент вооружения, способного функционировать в условиях арктических температур, расширить военные базы, делает пребывание на них контингента более комфортным.

Подведем краткие итоги:

- данные наблюдений свидетельствуют об усилении скорости климатических изменений именно в высоких широтах, что обеспечивает актуальность рассмотрения их влияния на процессы в Арктике с позиций обеспечения факторов социально-экономического развития и предотвращения потенциальных угроз;
- для природопользователей климатические изменения открывают новые возможности, связанные, в первую очередь, с увеличением продолжительности динамически активного периода использования акватории для рыболовства, туризма, разведки и добычи полезных ископаемых, транспортировки грузов по Северному морскому пути;
- с другой стороны, климатические изменения продуцируют появление новых и усиление уже существующих проблем, связанных, в первую очередь, с угрозой разрушения наземных и морских инфраструктурных объектов производственного и социального назначения;
- для обеспечения социально-экономического развития необходимо тщательно планировать хозяйственную деятельность в Арктике, проводить в процессе обязательной государственной экологической экспертизы оценку воздействия на окружающую среду, что требует учета перспектив климатических изменений, необходимость всестороннего контроля и комплексного мониторинга, включающего оценку климатических и антропогенных воздействий.

*Исследование включает результаты, полученные за счет поддержки грантом РНФ 22-28-01385*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Социально-экономическая динамика и перспективы развития российской Арктики с учетом геополитических, макроэкономических, экологических и минеральносырьевых факторов / под научной редакцией Т. П. Скуфьиной, Е. А. Корчак.

- Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2021. 209 с. DOI: 10.37614/978.5.91137.458.7
2. Бажутова Е.А., Биев А.А., Емельянова Е.Е. и др. Социально-экономическое развитие северо-арктических территорий России. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2019. 119 с. DOI: 10.25702/KSC.978.5.91137.408.2
  3. Изменение климата в Арктике. Основные тенденции и воздействия: Программа арктического мониторинга и оценки – 2021 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.amar.no/documents/download/6887/inline#:~:text=> (дата обращения 9.09.2023).
  4. Волков А. Д., Тишков С. В. Стратегические приоритеты развития региона Карельской Арктики в условиях интеграции экономического пространства Арктической зоны России // Арктика и Север. 2022. № 46. С. 5–32. DOI: 10.37482/issn2221-2698.2022.46.5
  5. Höök M., Bardi U., Feng L., Pang X. Development of oil formation theories and their importance for peak oil // Marine and Petroleum Geology. 2010. Vol. 27. No. 9. Pp. 1995-2004.
  6. Скуфьин П.К., Самарина В.П. Освоение угольных месторождений Арктической зоны России // Уголь. 2022. № 11 (1160). С. 69-74.
  7. Тазаян Ю. Строительство зданий и сооружений на вечной мерзлоте // Молодой ученый. 2020. № 48 (338). С. 67-72.
  8. Самарина В.П., Скуфьина Т.П. Оценка эффективности заработной платы в условиях монополии: применительно к арктическому рыбопромышленному кластеру // Арктика и Север. 2022. № 47. С. 43-56.
  9. Самарина В.П., Субботина Е.В. Управление экономическими системами в условиях изменяющейся среды // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2016. № 11. С. 135-142.
  10. Рогозина И. Г. Вопросы устойчивого развития туризма в Арктике на примере Норвегии // Образование и наука в России и за рубежом. 2019. № 3 (51). С. 333-338.
  11. Aanesen M., Falk-Andersson J., Vondolia G. K., Borch T., Navrud S., Tinch D. Valuing coastal recreation and the visual intrusion from commercial activities in Arctic Norway // Ocean & Coastal Management. 2018. Vol. 1. Pp. 157-67.
  12. Ren C., James L., Pashkevich A., Hoarau-Heemstra H. Cruise trouble. A practice-based approach to studying Arctic cruise tourism // Tourism Management Perspectives. 2021. Vol. 40. 100901. DOI: 10.1016/j.tmp.2021.100901
  13. Абакумова Ю. М. Понятие и некоторые особенности туризма в Арктике // Форум молодых ученых. 2021. № 4 (56). С. 34-40.
  14. Николаева Н. А. Формирование стратегии продвижения туризма в Арктике // Kant. 2020. № 4 (37). С. 182-186.
  15. Русская Арктика: официальный сайт национального парка. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.rus-arc.ru> (дата обращения 9.09.2023).

## **НАДПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТОВ УНИВЕРСИТЕТОВ ДЛЯ РАБОТЫ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ РОССИИ**

*Смирнова Н.С.*

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова,  
г. Архангельск, [n.smirnova@narfu.ru](mailto:n.smirnova@narfu.ru)

Арктический регион Российской Федерации становится в настоящее время зоной приоритетного технологического, экономического и социального развития страны. Указом Президента Российской Федерации от 26.10.2020 г. № 645 утверждена Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения

национальной безопасности на период до 2035 года [1]. Российская Арктика характеризуется неравномерностью промышленно-хозяйственного освоения отдельных территорий Арктической зоны, ориентированностью экономики на добычу природных ресурсов, их вывоз в промышленно развитые субъекты Российской Федерации и экспорт, экстремальными природно-климатическими условиями, крайне низкими плотностью населения и уровнем развития транспортной и социальной инфраструктуры [1]. В связи с этим требования к наличию и уровню сформированности профессиональных и надпрофессиональных компетенций у будущих сотрудников и руководителей предприятий и организаций, ведущих свою деятельность в Арктической зоне РФ приобретают особый арктический вектор. Арктике нужны специалисты в различных сферах, включая специалистов по нефтедобыче, техносферной безопасности, развитию территорий, добыче минеральных ресурсов на Арктическом шельфе, развитию арктической экосистемы, транспортной логистике, сохранению и приумножению биоресурсов, развитию инновационных биотехнологий.

С 2018 года в России активно функционирует и развивается президентский проект «России - страна возможностей». Благодаря данной инициативе и реализации данного предложения университеты могут предоставить возможность разностороннего формирования востребованных у студентов, преподавателей и работодателей компетенций, включая построение индивидуальной траектории развития студентов через проведение диагностики надпрофессиональных навыков и умений и подбора образовательных программ, соответствующих исходному уровню развития требуемых компетенций и желаемому уровню их достижения [2].

По данным аналитических материалов, основанных на опросах работодателей и предприятий в АЗРФ, которые создаются в рамках реализации инвестиционных проектов в Арктической зоне РФ, к 2035 году будет потребность в создании 182,4 тысячи новых рабочих мест, учитывая тот факт, что 42 тысячи будут востребованы в рамках тех предприятий, которые уже существуют и 140 тысяч потребуются для новых резидентов, которые планируют зайти в зону АЗРФ [3].

К методам формирования человеческого капитала для профессиональной деятельности на территории Арктического региона РФ и развития у будущих сотрудников эффективных надпрофессиональных компетенций следует отнести деятельность центров компетенций, проектную деятельность университетов, межвузовское сотрудничество, движение студенческих отрядов, сотрудничество университетов, правительства и бизнеса, проведение различных конкурсов, например техногических, таких как Арктехдата [4].

Главной задачей региональных властей, работодателей и университетов в Арктическом регионе становится привлечение и удержание эффективных кадров в Арктическую зону России. Задачи и вытекающие из них тактики и стратегии по популяризации обучения на арктических специальностях, а также дальнейшей профессиональной деятельности в Арктике, должны решаться на основе грамотно выстроенного партнерства государства, образования и бизнеса.

К таким надпрофессиональным компетенциям относятся навыки критического мышления, системного мышления, лидерские качества руководителей и сотрудников, управленческие компетенции. Среди наиболее важных компетенций, которые отмечают студенты и работодателями, — партнерство, клиентоориентированность, планирование и организация, ориентация на результат, анализ информации и выработка решений, коммуникативная грамотность, саморазвитие.

В список надпрофессиональных компетенций, рекомендованных Юнеско входят такие компетенции как «Партнерство и сотрудничество», «Клиентоориентированность», «Планирование и организация», «Ориентация на результат», «Анализ информации и выработка решений», «Следование правилам и

процедурам», «Коммуникативная грамотность», «Саморазвитие», «Лидерство», «Стрессоустойчивость», «Эмоциональный интеллект». В 2021 году Департамент оценки и методологии автономной некоммерческой организации «Россия – страна возможностей» провел масштабное исследование уровня востребованности ключевых надпрофессиональных компетенций выпускников университетов. В исследовании были задействованы три группы респондентов: студенты университетов, сотрудники профессорско-преподавательского состава, представители работодателей. В основе методологии, разработанной АНО «Россия - страна возможностей» лежит «конструктор компетенций». Он представляет собой структурно определенный набор компетенций и позволяет определить уровень сформированности компетенций через индикаторы к ним [5].

В Топ-7 надпрофессиональных компетенций, актуальных для успешного обучения в университете и успешной профессиональной деятельности, по мнению опрошенных студентов, вошли следующие надпрофессиональные компетенции: партнерство/сотрудничество, анализ информации и выработка решений, коммуникативная грамотность, стрессоустойчивость, планирование и организация, саморазвитие и лидерство. Суть этих компетенций заключается в следующем: партнерство/сотрудничество — отражает важность совместной работы в группах студентов и сотрудников, взаимовыручку; анализ информации и выработка решений — отражает необходимость, важность, а также способность и готовность изучения большого объема информации, умение работать с различными источниками, включая научные, анализировать полученную информацию и на основе проведенного анализа разрабатывать пути решения поставленных задач; коммуникативная грамотность — отражает умение налаживать контакты, договариваться, выстраивать здоровую рабочую коммуникацию в группе и с преподавателями; • стрессоустойчивость — является необходимой в условиях большой нагрузки, сессий, дедлайнов; • планирование и организация — необходимы для успешной организации учебного процесса и подготовки к занятиям, контрольным и экзаменам; • саморазвитие и лидерство — отражают стремление студентов к увеличению своих знаний и умений, расширению своих возможностей по реализации потенциала, стремлению проявить себя [5].

По данным Центра компетенций Северного Арктического федерального университета, после прохождения диагностики компетенций на портале САФУ и в ходе выработки тактик и стратегий по формированию гибких навыков студенты получают новые возможности для эффективного социального и карьерного роста, включающие получение рекомендаций и поддержки от лучших экспертов и профессионалов, бесплатное прохождение мастер-классов, курсов и образовательных программ для развития востребованных компетенций. После прохождения данных программ и курсов обучающиеся получают сертификаты, которые можно включить в личное портфолио, а также ранжированный по уровням паспорт компетенций, который будет учитываться в пакете документов для поступления в магистратуру, а также при построении индивидуальной траектории дальнейшего формирования профессиональных и надпрофессиональных компетенций [6].

В условиях высшего профессионального обучения по специальностям, где предполагается работа в Арктической зоне Российской Федерации ведущие надпрофессиональные компетенции приобретают арктическую направленность, раскрываясь с реализацией арктической специфики. Таким образом индикаторы компетенций включают в себя дополнительно к основным следующие параметры:

партнерство / сотрудничество — эффективная и слаженная совместная работа в группах студентов и сотрудников, взаимовыручка с учетом того фактора, что взаимозависимость в условиях работы в Арктике усиливается и пропорционально этому должна усиливаться способность и готовность к взаимопомощи. Также особое

значение приобретает понимание динамики групповых процессов и психологических особенностей сотрудников;

анализ информации и выработка решений — отражает необходимость, важность, а также способность и готовность изучения большого объема информации, умение работать с различными источниками, включая научные, анализировать полученную информацию и на основе проведенного анализа разрабатывать пути решения поставленных задач; при анализе информации и выработке решений необходимо учитывать экономические, логистические, социальные факторы влияния; важность сохранения и поддержания арктической экосистемы, влияние на регион глобальных климатических факторов, учет интересов малочисленных народов Крайнего Севера, влияние климата на здоровье работников;

коммуникативная грамотность — отражает умение устанавливать, поддерживать и развивать контакты, договариваться, приходить к взаимовыгодным соглашениям, выстраивать эффективное корпоративное общение в структурном подразделении и в целом в организации, с учетом психо-эмоциональных особенностей жителей региона, сложившихся под влияние климатических факторов, например таких как количество солнечных дней в году. Также важно понимать, что может быть и обратный эффект - суровый климат способствует тому, что люди ценят честность, верность слову, ответственность и при сдержанном проявлении эмоций большое значение придают доверию, поддержке, теплоте в общении.

стрессоустойчивость — является необходимой в условиях большой занятости, сессий, дедлайнов, а при учете дополнительной психо-эмоциональной нагрузки, вызванной суровым северным климатом, становится жизненно-важным навыком для людей, проживающих и работающих в Арктической зоне;

планирование и организация — необходимы для успешной организации профессиональной деятельности, включая в себя владение навыками проектного менеджмента, системного мышления, умения работать в условиях неопределенности, владение современными информационными технологиями, межотраслевой и межкультурной коммуникацией;

саморазвитие и лидерство — отражают стремление сотрудников и руководителей к увеличению своих знаний и умений, расширению своих возможностей по реализации потенциала, стремлению проявить себя. Проявляя такие личные качества как смелость и ответственность, сотрудники и руководители арктических предприятий и организаций формируют у себя и окружающих развитую мировоззренческую платформу для личного развития и процветания региона.

Для формирования грамотного человеческого капитала, готового и способного работать в условиях Арктической зоны, важно в рамках высшего образования уделять существенное внимание эффективному развитию и продвижению наряду с профессиональными также развитию надпрофессиональных компетенций. Системное формирование надпрофессиональных компетенций будущих квалифицированных сотрудников, имеет целью воспитание мотивационной активности современного поколения учащихся средних и высших учебных заведений, так чтобы их профессиональная деятельность в Арктическом регионе отличалась долгосрочной стабильной мотивацией, обеспечивающей ответственное отношение к своему делу, активное участие в мероприятиях по социальной поддержке своего региона. Важно отметить необходимость системного подхода к определению содержания и механизмов формирования арктических надпрофессиональных компетенций с учетом специфики отдельных регионов Арктической зоны РФ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года [Электронный ресурс]: указ

- Президента Российской Федерации от 26.10.2020 г. № 645 Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45972/page/1> (дата обращения 25.07.2023)
2. Россия – страна возможностей. Режим доступа: <https://rsv.ru/competitions/project/1/f9d73c66-a75b-4f01-bc37-287165289a9c/>
3. Новые кадры для Арктического региона. Режим доступа: <https://arctic-council-russia.ru/analytics/analiticheskie-materialy/novye-kadry-dlya-arkticheskogo-regiona/> (дата обращения 11.05.2023)
4. Арк тех дата. Режим доступа: <https://arctic-russia.ru/news/v-spbgu-sostoyalsya-final-arkticheskogo-tekhnologicheskogo-konkursa-arktek-data/> (дата обращения 14.07.2023)
5. Исследование профиля надпрофессиональных компетенций, востребованных ведущими работодателями при приеме на работу студентов и выпускников университетов и молодых специалистов // Современная аналитика образования № 2 (62) 2022. Режим доступа: <https://ioe.hse.ru/pubs/share/direct/575367055.pdf> (дата обращения 8.07.2023)
6. САФУ – Центр компетенций. Режим доступа: <https://narfu.ru/tsentr-kompetentsiy/> (дата обращения 8.07.2023)

## **РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ: УРОКИ СОВЕТСКОГО ОПЫТА И ПРОЕКТНЫЙ ПОДХОД**

*Хадыко А.И.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, [annaaregeta@yandex.ru](mailto:annaaregeta@yandex.ru)

Российская Арктика – это устойчивый концепт, имеющий глубокие исторические корни, идущие от первооткрывателей земель и морей, не ограниченный строгими временными, территориально-административными и нормативно-правовыми рамками [1, с. 6]. При этом современная Россия в плане освоения Арктики имеет ряд особенностей, которые особым образом влияют на развитие арктических территорий. В качестве примеров таких особенностей можно привести как превосходство по численности населения на арктических территориях нашей страны в сравнении с зарубежными странами, так и созданные в советскую эпоху в кратчайшие сроки масштабные объекты инфраструктуры (добывающей, производственной, транспортной, социальной и пр.), а также определенные экологические последствия прошлого освоения арктических территорий. При этом главным отличием российской Арктики является её богатая история, основные вехи которой кратко представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Основные вехи освоения российской Арктики

<i>Год</i>	<i>Событие</i>
33-35 тыс. лет назад	Север Евразии стал пригоден для проживания, на территориях современной Арктики появились первые люди [2].
1032 год	В Никоновской летописи говорится о совершённом путешествии от Северной Двины до Карских ворот [3].
1419 год	Поморы открыли остров Вайгач и архипелаг Новая Земля.
1436 год	Построен Соловецкий монастырь [3].
1584 год	Началось строительство Архангельска [3].
1642 год	Русские первооткрыватели достигли Чукотки - крайней точки суши при движении на Восток [2].
1728 год	Камчатская экспедиция под руководством Витуса Беринга подтвердила наличие пролива между Чукоткой и Аляской [2].
1733-1742 годы	Прошла Северная экспедиция, благодаря которой на карту были нанесены почти все точки побережья Ледовитого океана, берега Охотского и Берингова морей [2].

1884 год	Сергей Юльевич Витте создал возможности для освоения крайнего Севера, благодаря которым переселенцы были освобождены от налогов и воинской службы. Это можно назвать первыми льготами для проживающих на территориях Арктики [3].
1898 год	Российская Империя начала наращивать военное присутствие в Арктике, в Кольском проливе Баренцева моря появился первый военный порт Александровский (в настоящее время Полярный). В этом же году был создан первый ледокол арктического класса «Ермак» [3].
1912-1914 года	Полярный исследователь Георгий Седов совершил поход к Северному полюсу [3].
1912-1914 года	Прошла первая экспедиция по Северному морскому пути из Владивостока в Архангельск [3].
1916 год	Был основан город Романов-на-Мурмане (в настоящее время Мурманск), крупнейший город за полярным кругом.
1920 год	Основана Северная научно-промысловая экспедиция, позже переименованная в Институт по изучению Севера [3].
1926 год	На острове Врангеля основан посёлок и полярная станция. Отметим, что в дальнейшем на других островах Северного Ледовитого океана были проведены комплексные работы по строительству полярных станций и соответствующих коммуникации к ним [3].
1931 год	Открыто Чибьюское месторождение - первое промышленное нефтяное месторождение в российской Арктике, добыча в нём начата с 1939-го года.
1932 год	Создание главного управления Северного морского пути (СМП). В этом же году на ледоколе «Сибиряков» был пройден Северный морской путь за одну навигацию, что ещё раз доказало возможность использования СМП, как транспортной артерии.
1934 год	Вышло Постановление СНК СССР и ЦК ВКП (б) «О мероприятиях по развитию Северного морского пути и северного хозяйства». Создан ледокольный флот и полярная навигация для обеспечения развития портов и аэродромов. В середине 1930-х ледоколы обеспечивали Северный морской путь, а отдалённые районы были прочно связаны с большой землёй малой авиацией [4; 5; 6].
1937 год	Совершён первый перелёт на Северный полюс, в тот же год начала свою работу первая в мире дрейфующая станция «Северный полюс», которая позволила проводить на высоких широтах круглогодичные наблюдения [7].
1930-е 1940-е годы	Проводилось очень активное промышленное развитие и заселение Арктики, появлялись новые города Нарьян-Мар, Воркута, Норильск, для обеспечения их нужд строились порты: Певек, Тикси, Игарка и Диксон [8; 9].
1948 год [	Для координации геологоразведочных работ создан Научно-исследовательский институт геологии Арктики.
1962 год	Атомная подводная лодка «Ленинский комсомол» достигла Северного полюса, пройдя подо льдами Северного Ледовитого океана
1980-е годы	На арктическом шельфе найдены месторождения нефти и газа, которые в то время не могли быть добыты из-за недостатка технологий [2].

Среди основных задач развития северных и арктических территорий, которые были решены с помощью грамотной политики советского руководства, выделим: освоение лесных и рыбных ресурсов, осуществление зверобойного промысла; обеспечение страны цветными металлами и улучшение топливного потенциала; усиление внешнеторговых связей.

Несмотря на то, что основной целью СССР в освоении Севера и Арктики была добыча природных ресурсов, государство никогда не забывало о людях. Советский Союз создавал все возможные условия (в основном материальные) для переезда части населения на Север. К концу 1980-х годов Советский Союз был лидером по освоению и изучению арктических территорий. По мнению автора, практика освоения территорий Арктики в СССР была наиболее эффективной, при этом её смело можно причислить к опыту проектного управления в силу наличия конкретных целей, сроков их достижения посредством командного труда.

Важно отметить, что политика Советского Союза была направлена на создание в суровых природных условиях городов и посёлков с развитой инфраструктурой (в том числе автомобильной и железнодорожной) для комфортного проживания населения. Все проекты СССР в Арктике были логичными, комплексными и дополняли друг

друга. Таким образом, Советский Союз создал серьёзную инфраструктурную основу для освоения ресурсного богатства Арктики, положил начало развитию Северного морского пути [10].

Но, к сожалению, после распада СССР денежных средств на развитие Арктики катастрофически не хватало, поэтому многие до этого процветающие отрасли пришли в упадок, некоторые города практически вымерли из-за отсутствия работы у населения. В 90-е было очень популярно мнение, что в Арктике люди должны только работать, а проживать в других, более пригодных для этого регионах [11]. Эти настроения были очень выгодны ресурсодобывающим компаниям, которые были рады отсутствию необходимости постройки инфраструктуры и социальных объектов для своих работников. К примеру, в 1990-е годы число населённых пунктов в российском Заполярье сократилось на треть, а объёмы перевозок по Севморпути уменьшились в 4 раза, был прерван более чем полувековой цикл наблюдений на дрейфующих арктических станциях. Исследования на них возобновились уже в новом веке.

Лишь в конце 90-х годов Россия опомнилась и признала Арктику зоной геополитических интересов и занялась разработкой возможностей поддержки наиболее отсталых северных регионов [12]. В 2000-х годах произошло становление системы корпоративного управления, что привело к резкому увеличению значения роли собственников в управлении хозяйствующим субъектом. Иногда получалось так, что интересы собственников разнились с интересами развития предприятия [13, с. 26].

Сегодня в России применяются механизмы стимулирования жизнедеятельности населения на Севере и в Арктике, исторически имеющие советские корни (таблица 2).

Таблица 2 - Механизмы стимулирования населения к жизнедеятельности в Арктике на примере опыта Советского Союза и Российской Федерации [14; 15; 16]

<i>Опыт СССР</i>	<i>Опыт Российской Федерации</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Более ранний выход на пенсию;</li> <li>- Северная пенсия по размеру отличалась от пенсии в среднем по стране (1 год стажа на Севере приравнялся к 1,6 годам стажа в других регионах);</li> <li>- Компенсация расходов на проезд до места отдыха и обратно – 1 раз в 3 года;</li> <li>- Увеличенный отпуск – дополнительные дни оплачиваемого ежегодного отпуска от 12-ти до 18-ти дней;</li> <li>- Северная надбавка и районный коэффициент;</li> <li>- Компенсация переезда приезжающим работникам.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Более ранний выход на пенсию;</li> <li>- Северная пенсия по размеру отличается от пенсии в среднем по стране (для населения отработавшего установленное законодательством количество лет);</li> <li>- Компенсация расходов на проезд до места отдыха и обратно – 1 раз в 2 года;</li> <li>- Увеличенный отпуск – дополнительные дни оплачиваемого ежегодного отпуска от 8-ми до 24-х дней;</li> <li>- Северная надбавка и районный коэффициент;</li> <li>- Компенсация переезда приезжающим работникам.</li> </ul>

Как следует из таблицы 2, все льготы, получившие своё начало в СССР, присутствуют в Российской Федерации. Но, в условиях рыночной экономики они не являются ни действенными, ни эффективными. Так, например, сегодня при росте заработной платы - цены зачастую растут несоизмеримо быстрее, а работодатели (в основном в коммерческом секторе) могут уклоняться от выплат компенсаций. При этом данные льготы в текущих условиях с точки зрения экономики имеют ещё и отрицательный эффект, поскольку работодателям выгоднее нанимать работников из южных территорий, а значит и вести (и регистрировать) бизнес там же.

Несмотря на успешность политики СССР в Арктике, она не может быть положена на новые реалии или, как иногда принято говорить, - «рельсы». Безусловно, что-то из советского опыта взять нужно обязательно, но при этом необходимо внедрять и новые методики ведения хозяйства. Во времена СССР факторы северного

удорожания нивелировались бюджетными расходами, но с приходом рыночных механизмов данная нагрузка полностью легла на хозяйствующих субъектов, создавая при этом крайне невыгодные конкурентные условия [17].

Что касается освоения арктических территорий с помощью проектного управления, здесь необходимо понимать разницу современных российских проектов от советских проектов в Арктике [18, с.71]. Эти отличия наглядно отражены в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнительный анализ советских и российских проектов

<i>СССР</i>	<i>Российская Федерация</i>
Проект включён в контекст регионального освоения	Каждый проект обособлен
Инфраструктура проекта сплошная	Инфраструктура проекта участками
Место размещения производственных сил - монопрофильный город	Место размещения производственных сил - вахтовый посёлок
Основа проектов - государственные суперорганизации	Основа проектов - транснациональные компании
У проекта - один поставщик и один потребитель	У проекта - много поставщиков и много потребителей

В настоящее время с учетом уроков советского опыта и принципов проектного управления для устойчивого развития арктических территорий нашей страны необходимо вернуться не к стихийной, а к целенаправленной региональной политике в сфере промышленности, отказаться от экстремального либерализма и придать политике в Арктике системный характер.

*Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания по теме «Трансформация социокультурного пространства регионов Арктической зоны Российской Федерации в современных условиях» № гос. регистрации 122012100405-4.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Социально-экономическое развитие арктического макрорегиона: комплексный подход: монография / Л.А. Чижова, А.Г. Тутыгин, А.О. Подоплекин и др.; отв. ред. Чижова Л.А. – Архангельск: КИРА, 2022. – 292 с.
2. Чистая Арктика. История Арктики. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cleanarctic.ru/development-history> (дата обращения 01.09.2023)
3. Инвестиционный портал Арктической зоны России. История освоения русской Арктики: от поморских кочей к атомным ледоколам. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://arctic-russia.ru/article/istoriya-osvoeniya-russkoy-arktiki-ot-pomorskikh-kochey-k-atomnym-ledokolam/> (дата обращения 01.09.2023)
4. Об объявлении территорией союза ССР земель и островов, расположенных в северном ледовитом океане. Постановление Президиума центрального исполнительного комитета СССР от 15 апреля 1926 года. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.libussr.ru/doc\\_ussr/ussr\\_2885.htm](https://www.libussr.ru/doc_ussr/ussr_2885.htm) (дата обращения 02.09.2023)
5. Об установлении территории, на которую распространяется действие постановления ВЦИК и СНК РСФСР от 10 мая 1932 года о льготах для лиц, работающих на Крайнем Севере. Постановление СНК РСФСР от 26.10.1932 года. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=ESU&n=24037#PXRWzoTbmNy0HsC> (дата обращения 02.09.2023)
6. О льготах для лиц, работающих в районах Крайнего Севера. Указ Президиума ВС СССР от 01.08.1945 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=ESU&n=3574#mxfXzoT9PKzO1jqA> (дата обращения 02.09.2023)

7. Тимошенко А.И. Советский опыт освоения Арктики и северного морского пути: формирование мобилизационной экономики // Историко-экономические исследования. 2013. Т. 14. № 1-2. С. 73-95.
8. Лексин В.Н., Порфирьев Б.Н. Социально-экономические приоритеты устойчивого развития арктического макрорегиона России // Экономика региона. 2017. Т. 13 С. 985-1004. DOI: 10.17059/2017-4-2
9. Малое предпринимательство в Российской Федерации. Краткая история проектного управления в России. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://rf-biz.ru/79.php> (дата обращения 02.09.2023)
10. Александр Акимов. Основные направления развития Арктической зоны глазами сенатора. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://aleksandrakimov.ru/posts/osnovnye-napravleniya-razvitiya-arkticheskoy-zony-glazami-senatora> (дата обращения 02.09.2023)
11. Генеральная схема расселения на территории Российской Федерации (основные положения) (одобрена Правительством РФ, протокол от 15 декабря 1994 г. № 31) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://base.garant.ru/71229664/> (дата обращения 03.09.2023)
12. Концепции национальной безопасности Российской Федерации Указ Президента РФ от 10.01.2000 № 24. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_25677/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_25677/)(дата обращения 03.09.2023)
13. Пилясов А.Н. Региональная промышленная политика в арктических территориях: какая она есть и какой ей быть? // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2021. Т. 24. № 3 (73). С. 7-29. DOI: 10.37614/2220-802X.3.2021.73.001
14. О расширении льгот для лиц, работающих в районах крайнего Севера и в местностях, приравненных к районам крайнего Севера. Постановление Совета министров СССР о порядке применения указа президиума верховного совета СССР от 26 сентября 1967 г. от 10 ноября 1967 г. № 1029. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://base.garant.ru/178834/>(дата обращения 04.09.2023)
15. Об упорядочении льгот для лиц, работающих в районах крайнего Севера и в местностях, приравнённых к районам крайнего Севера. Указ верховного совета СССР от 10 февраля 1960 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://base.garant.ru/183291/>(дата обращения 04.09.2023)
16. О государственных гарантиях и компенсациях для лиц, работающих и проживающих в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях Закон РФ от 19.02.1993 № 4520-1. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_1786/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_1786/)(дата обращения 04.09.2023)
17. Арктика: стратегия развития: монография / под общ. ред. С.А. Липиной, О.О. Смирновой, Е.В. Кудряшовой; Сев. (Арктич) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. – Архангельск: САФУ, 2019. 338 с. ISBN 978-5-261-01405-8
18. Пилясов А.Н., Замятина Н.Ю. Освоение Севера 2.0: вызовы формирования новой теории // Арктика и Север. 2019. № 34. С. 57-76. DOI: 10.17238/issn2221-2698.2019.34.57

## ПРЕДПОСЫЛКИ, ПОТЕНЦИАЛ И ПОДХОДЫ К ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СЕВЕРНЫХ И АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ РОССИИ

*Чайка Е.А.*

Московский архитектурный институт (государственная академия), г. Москва,  
archichaika@yandex.ru

Актуальные, тектонические по своей силе и масштабу геополитические вызовы, вставшие перед Россией, в короткий срок, а по историческим меркам мгновенным, развернули гигантский континент Российской Федерации не только на восток, но и, как следует из повестки дня на Север. В свою очередь главный геополитический вызов на Севере – это развитие международного транспортно-логистического пути – артерии международной торговли, которая в современных реалиях в значительной степени определяет положение на международной арене. Северный широтный транспортный коридор (СШТК) – это не только сам непосредственный морской маршрут, но и вся береговая инфраструктура. Поскольку его сегодня СШТК и СМП позиционируются уже не как логистический вектор, но как комплексная система, потенциально объединяющая морской логистический маршрут, прибрежные территории, порты разного уровня, в том числе речные, расположенные в устьях северных рек, дублирующую морскую сухопутная логистика, «материковые» города и населенные пункты, а также меридиональные транспортные пути, объединяющие высокоширотный пояс с руслом основного расселения. Разумеется, о системе мы пока не можем говорить как о свершившемся факте, речь идет о стратегическом позиционировании, постановки целей и формулировании соответствующих задач.

Для России как арктической держава, значительные территории которой расположены в высоких широтах и в чьих пределах проживает более половины населения всей мировой Арктики вопрос освоения Севера в целом и зоны СШТК в частности носит не только внешнеполитический и торговый характер, но имеет фундаментальное значение для дальнейшего обустройства региона. В том числе повсеместно обсуждаемом и декларируемого Стратегией развития Арктической зоны (АЗ) повышением качества жизни жителей Севера. Значительное повышение качества среды и как следствие уровня жизни населения в целом, возможно только при комплексном подходе, целостном планировании и кооперации всех сфер деятельности и элементов арктического расселения. Основные положения Стратегии развития Арктической зоны ориентируются на гуманистическую модель развития и заключаются в повышении качества жизни 2,5 млн человек, проживающих в Арктической зоне; сбережении населения, человеческого капитала, языков, культурного разнообразия и экологии; развитии экономики, инфраструктура; обеспечении безопасности - защите рубежей, и развитии оборонно-промышленного комплекса и Северного военного флота. Лукин Ю.Ф. формулирует задачи Арктики как: «удовлетворение потребностей глобальной экономики в строгом соблюдении национальных интересов России» [1]. Часть выдвигаемых задач может быть решена средствами градостроительной науки, способной предложить целостную модель развития территорий, действуя «как надотраслевая структура в созидательной деятельности государства, имеющей целью совершенствование пространственной организации страны, включая решения вопросов размещения производительных сил и расселения...» [2].

В связи с тем, что единая программа пространственной организации и развития арктических территорий не сформирована, а реализуемые проекты и пространственные решения несмотря на свою масштабность в значительной степени носят локальный характер, на основе существующей ситуации и поставленных задачах, анализе накопленного международного опыта освоения необходимо выработать единую

концепцию, учитывающую все основные направления развития, такие как: опорные зоны, районы формирования грузовой базы, разрабатываемые и реализуемые инфраструктурные проекты, хабы, транспортные узлы, ареалы производственных комплексов, аварийно-спасательные центры, анклавные научные комплексы и пр. Хабы, узлы и порты в соответствии с существующей программой должны быть модернизированы и сформированы мультимодальные транспортно-логистические хабы федерального, регионального и местного значения.

Основываясь на выше перечисленных направлениях, развития предлагается разработка единой градостроительной системы, цель которой заключается в формировании мобильной модели и ее элементов, обеспечивающей поступательное развитие региона в среднесрочной и долгосрочной перспективе, повышении уровня жизни, логистической связности и транспортной доступности, сохранении экосистем региона. В основе принципиальной модели система разноуровневых опорных пунктов. Опорные пункты - компактные градостроительные единицы, сформированные на основе мультимодальных «идеальных моделей», характеризующихся мобильностью внутренней организации. Система основывается на опорных пунктах диверсифицированного уровня и существующих, реконструируемых и формируемых продольных и меридиональных связях. Меридиональные связи базируются на гидрологической системе – крупных реках: Оби, Енисее, Лене, Яне, Индигирке, Колыме, Анабаре, Омолоне и других, связывающих высокоширотный морской путь и его прибрежную базу - урбанизированные территории – населенные пункты и порты разного порядка с основным руслом расселения и федеральными логистическими маршрутами: Транссибом и БАМом. Элементы системы разного уровня связаны между собой логистически и функционально, обеспечивая работоспособность системы. Нарращивание связности и формирование регулярной транспортной сети необходимо для решения основных задач региона, так как «реальный вклад Русского Севера в экономику во многом будет определяться масштабами и темпами развития уникальной Арктической транспортной системы» [3].

Градостроительная модель, сочетающая разные типы проживания на базе поясного подхода нацеленная на формирование комфортной среды, способной успешно реагировать на потенциальные запросы нового времени и минимизацию вреда окружающей среде и экосистемам, за счет преемственности функционального использования лежащих в основе мультимодальных систем; выбора мест расположения дополнительных опорных баз; транспортных связей, путепроводов и нефтепроводов, и логистических маршрутов в первом поясе, учитывающих все аспекты арктического расселения [4]. Прибрежные опорные пункты – порты, поддерживаются опорными узлами первого и второго порядков, обеспечивают и дополняют функционирование социальной, научной и технической поддержкой. Опорные узлы обеспечивают: снабжение кадрами, за счет профильного образования – средне специальное, повышение квалификации, высшее, дополнительную медицинскую, рекреационную поддержку и организацию зоны потенциального приема жителей после их трудовой выработки в зоне «дальнего» Севера. Такой подход может обеспечить гарантию продолжения трудовой деятельности; альтернативное место проживания; регулярное пополнение предприятий кадрами профильных специальностей и непрерывное повышение уровня образования и трудовых навыков. Такая форма более адаптивна и комфортна с точки зрения медицинских показаний. «Ближняя» Арктика более благоприятна, чем миграции в южные широты. Этот принцип способствует формированию мобильного общества и отсутствию «усталости», повышенной эффективности труда и наращивания меридиональной связности региона, что, в свою очередь, повлияет на круглогодичное использование транспортных маршрутов и понижение стоимости товаров и услуг, продовольственной стабильности на территориях «дальней» Арктики.

Таким образом поднимается вопрос необходимости разработки градостроительной модели пространственного формирования Северных и Арктических территорий, основывать который предлагается на поясном интерзональном подходе [5], и системе опорных пунктов разного порядка. «Градостроительные системы призваны пространственно упорядочивать территориальные структуры расселения населения, формировать социальную и инженерную инфраструктуру нового типа» [6], что в свою очередь в условиях Арктики обеспечит реализацию ряда задач Стратегии. Описанные принципы организации могут использоваться при дальнейшей стратегической и проектной разработке Арктических территорий, проектировании и реконструкции портов ШШТК, логистических сетей и других задействованных в хозяйственной деятельности территориях Севера на разных уровнях: начиная от общей модели пространственной организации – генеральном уровне, выработки функционально-планировочной организации принципиальных узлов освоения, а также может применяться для решения локальных градостроительных задач.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукин Ю.Ф. Российская Арктика в изменяющемся мире [Текст]: монография. Архангельск: САФУ, 2013. С. 280.
2. Градостроительная доктрина Российской Федерации / Г.В. Есаулов, И.Г. Лежава, В.Я. Любовный и др.; Российская академия архитектуры и строительных наук. - Москва: Эконинформ, 2014. С. 30.
3. Богданов В.Н. Российская Арктика: возможности XXI века / В.Н. Богданов, А.С. Воронков, Е.В. Медведев и др. Москва: Издательские технологии, 2018. С. 452.
4. Чайка Е.А. Принципиальные подходы к пространственной организации северных и арктических территорий // Architecture and Modern Information Technologies. 2022. No1(58). С. 174-187.
5. Владимиров В.В. Проблемы развития теории расселения в России. Москва: Эдиториал УРСС, 2002. С. 376.
6. Шубенков М.В. В поиске градостроительных принципов развития северных поселений / М.В. Шубенков, О.М. Благодетелева // Градостроительство. 2015. No3(37). С.76–81.

**СОХРАНЕНИЕ ЗДОРОВЬЯ И  
АДАПТАЦИЯ ЧЕЛОВЕКА В  
УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ  
КЛИМАТА АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ**

---

## ЗНАЧИМОСТЬ НЕЙТРОПЕНИИ ПРИ ВОСПАЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССАХ У ЖИТЕЛЕЙ СЕВЕРА

*Балашова С.Н., Добродеева Л.К.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, ifra-svetlana@mail.ru

Нейтропенические состояния с различной этиологией, патогенезом и клиникой объединяет один общий признак – низкое содержание в крови нейтрофильных гранулоцитов. Нейтропения не является обязательным гематологическим проявлением большинства болезней. При инфекционных болезнях, непосредственно не поражающих органы кроветворения, нейтропении не связаны с нарушением процессов созревания и дифференцировки нейтрофилов. При инфекциях нейтропения носит временный характер и в основном исчезает при выздоровлении. Но наличие нейтропении не оказывает положительного влияния на течение любого воспалительного процесса. Нейтропения регистрируется в первые часы после введения вакцин, при инфицировании респираторными вирусами, при некоторых бактериальных инфекциях [1, 2]. В то же время нейтропенические состояния – серьезное нарушение жизнеобеспечения, поскольку снижение нейтрофилов менее  $2,0 \times 10^9$  кл/л ассоциировано с риском системного распространения различных локализованных воспалительных процессов, в том числе сепсиса [3].

Симптомокомплекс нейтропении изучен мало. При анализе обследования 154 взрослых трудоспособных лиц с бронхитом, обратившихся в центр профессиональной диагностики «Биолам», с установленным ранее диагнозом, частота регистрации нейтропении составляет 33,76%. Частота регистрации симптомокомплекса при нейтропении значительно возрастает (в 2-5 раз). Периодам нейтропении часто сопутствуют повышение температуры, озноб (48,08%), периодическое увеличение лимфатических узлов (44,23%), пиодермии и фурункулез (21,15%), длительный период реконвалесценции (48,08%). При нейтропении появляются реакции гиперреактивности с повышением концентраций IgE (25,00%). В таких условиях иммунодепрессии понятным является активизация антителообразования альтернативного IgE, усиливающего эффективность иммунной защиты вовлечением мощного цитолитического потенциала эозинофилов и базофилов [4, 5, 6].

На начальных этапах развития воспаления происходит мобилизация нейтрофилов и мононуклеаров, что может проявиться снижением содержания в крови общего содержания лейкоцитов за счет преимущественно нейтрофилов и моноцитов. Высокий уровень хемоаттрактантов, создаваемый в очаге воспаления способствует постоянному миграционному потоку фагоцитов [7]. Установлено, что при нейтропении в составе мокроты низкий уровень миграции лимфоцитов и моноцитов. Относительное содержания лимфоцитов составило  $29,45 \pm 0,61$  при нейтропении и  $25,31 \pm 0,67\%$  при ее отсутствии, моноцитов –  $9,52 \pm 0,47$  и  $19,36 \pm 0,52\%$  соответственно. Фагоцитарная активность нейтрофилов и моноцитов в области воспаления также ниже ( $51,24 \pm 1,53$  и  $58,36 \pm 1,24\%$ ;  $22,24 \pm 1,05$  и  $29,53 \pm 0,73\%$ ). Известно, что скорость хемотаксиса полиморфноядерных гранулоцитов в область неблагополучия сначала значительно выше, а затем, быстро падает; процесс проникновения моноцитов в очаг повреждения медленный, но более длительный. Миграцию лимфоцитов фактически не дифференцировать морфологическими методами исследования от рециркуляции, к которой способны эти клетки [8].

Проанализированы иммунологические результаты обследования 239 человек с перенесенной ранее вирусной инфекцией вне зависимости от этиологии инфекционного заболевания в возрасте 31-51 года и 359 практически здоровых человек указанного возраста, проживающих в г. Архангельске. Инфекция сопровождается

повышением содержания в крови циркулирующих иммунных комплексов (ЦИК); статистически значимые различия выявлены относительно ЦИК IgG, концентрации которых выше у больных с нейтропенией ( $3,89 \pm 0,09$  против  $2,36 \pm 0,07$  г/л). Известно, что повышенные уровни содержания ЦИК обусловлены повышением скорости их образования над скоростью элиминации при дефиците фагоцитарной активности или в связи с недостаточностью активности системы комплемента.

Течение инфекции вирусной этиологии на фоне нейтропении сопровождается снижением % фагоцитирующих нейтрофилов ( $35,32 \pm 1,32$  против  $49,28 \pm 1,05\%$ ). Снижение % фагоцитирующих нейтрофилов происходит на фоне низкого содержания пропердина – активатора альтернативного пути системы комплемента, ( $0,33 \pm 0,03$  против  $0,67 \pm 0,05$  г/л), а также нарастания концентрации C3 – анафилотоксина, факторов хемотаксиса ( $1,61 \pm 0,08$  против  $0,62 \pm 0,09$  г/л) по сравнению с практически здоровыми людьми. Длительное низкое содержание пропердина является плохим прогностическим признаком, а также риском затяжного или хронического течения болезни [9]. И у больных, и у практически здоровых лиц нейтропения сочетается с низким содержанием C5 (соответственно  $0,32 \pm 0,04$  и  $0,28 \pm 0,08$  г/л против  $0,68 \pm 0,05$  и  $0,49 \pm 0,06$  г/л). Активация сывороточного комплемента приводит к энзиматическому расщеплению C3 и C5 на фрагменты C3a и C5a, которые способствуют выделению гистамина, но только C5a является истинным хемотаксическим фактором для гранулоцитов [10].

Таким образом, нейтропения усугубляет течение воспалительных процессов, формирует риск вторичных иммунодефицитов за счет снижения содержания иммунокомпетентных клеток в крови и дефицита фагоцитарной защиты, а также осложнений и перехода заболевания в хроническое течение.

*Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания по теме «Механизмы взаимодействия системных и местных иммунных реакций у лиц, работающих в условиях Арктики (пос. Баренцбург арх. Шницберген, пос. Ревда и Ловозеро Мурманской области)» № гос.регистрации 122011800217-9.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добродеева Л.К., Коннов В.А., Суслонина Г.А. Влияние адаптационного процесса на иммунобиологические сдвиги у человека в ответ на антигенное раздражение // Биологические проблемы Севера. Петрозаводск, 1976. С. 43-45.
2. Петровская В.Г. Маракуша Б.И. Ранние этапы инфекционного процесса // Ж. микробиол. 1982. № 8. С. 24-31.
3. Макаров А.И. Иммунные реакции при острых воспалительных заболеваниях органов брюшной полости у хирургических больных: автореф. дис. ... докт. мед. наук / А.И. Макаров. Архангельск, 2008. 41 с.
4. Hogan S.P., Rosenberg H.F., Moqbel R. Eosinophils: biological properties and role in health and disease // Clin. Exp. Allergy. 2008. V. 38. P. 709-750.
5. Колобовникова Ю.В., Уразова О.И., Новицкий В.В. и др. Эозинофил: современный взгляд на кинетику, структуру и функцию // Гематол. и трансфузиол. 2012. Т. 57. № 1. С. 30-36.
6. Wernersson S., Pejler G. Mast cell secretory granules: armed for battle // Nat Rev Immunol. 2014. V. 14(7). P. 478-494.
7. Курилин В.В., Бугримова Ю.С., Цыбенков Ю.Ю., Цырендоржиев Д.Д. Клеточная реакция периферической крови в динамике развития SiO<sub>2</sub>-индуцированного гранулематозного воспаления // Сибирский консилиум. 2007. № 7. С. 53.
8. Springer T.A. Traffic signals for lymphocytes recirculation and leukocyte emigration: the multistep paradigm // Cell. 1994. V. 76(2). P. 301-314.

9. Оксенов В.С. Содержание пропердина у больных хроническими кожными формами красной волчанки // Факторы естественного иммунитета при различных физиологических и патологических состояниях. Челябинск, 1974. С. 223-224.
10. Fernandez H.N., Hugli T.E. Primary structural analysis of the polypeptide portion of human C5a anaphylatoxin. Polypeptide sequence determination and assignment of the oligosaccharide attachment site in C5a // J. Biol. Chem. 1978. V. 253(19). P. 6955-6964.

## **РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕННОСТИ ПОЛИМОРФИЗМОВ ГЕНОВ, ВОВЛЕЧЕННЫХ В РЕГУЛЯЦИЮ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ У ЖИТЕЛЕЙ-СЕВЕРЯН МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Безменова И.Н.*

Научно-исследовательский центр «Арктика» Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Магадан, lependina\_bel@mail.ru

**Введение.** Север неоднороден по своим климато-географическим характеристикам. В условиях высоких широт человек подвергается воздействию совокупности экстремальных факторов внешней среды являющихся стрессовыми для всех функциональных систем организма [1]. Сложность закономерностей взаимосвязей в системе «человек – окружающая среда» предъявляет повышенные требования функциональным резервам организма и в первую очередь, ведет к напряжению в работе сердечно-сосудистой системы. В литературе имеются сведения о гипертензивном действии климатогеографических условий севера на организм человека [2-4]. Особое внимание исследователями уделяется эпидемиологии генов, ассоциированных с риском развития мультифакториальных заболеваний, к которым относится артериальная гипертензия. Однако, несмотря на актуальность данного вопроса, подобные исследования на территории Магаданской области не проводились.

Целью нашего исследования явилось изучение региональных особенностей распространенности полиморфизмов генов, вовлеченных в регуляцию артериального давления у жителей-северян Магаданской области.

**Материалы и методы.** Проведено поперечное одномоментное исследование. Выборка сформирована из практически здоровых неродственных мужчин преимущественно европейцев, проживающих или рожденных на территории Магаданской области. Объем выборки - 101 доброволец. Средний возраст обследуемых  $46,12 \pm 1,5$ . Проведено SNP- тестирование генов, непосредственно участвующих в детерминации работы основных систем регуляции уровня артериального давления: AGT (rs 4762), AGTR1 (rs5186), ADD 1(rs4961), NOS3 (rs2070744). Исследование проведено в соответствии с этическими принципами Хельсинской декларации (2013).

Распределение частот фенотипов, генов, наблюдаемой и ожидаемой гетерозиготности проводили стандартными методами. Соответствие частот генотипов равновесию Харди-Вайнберга оценивали с использованием критерия  $\chi^2$  (Пирсона) (при  $p > 0,05$  равновесие выполняется). Вычисления производили с использованием он-лайн калькулятора, размещенного на сайте medstatistic.ru. Расчет генетических расстояний между популяциями проводился согласно Nei [5] в программе DJgenetic. Обработка полученного материала и визуализация генетических взаимоотношений между популяциями методами кластерного анализа и многомерного шкалирования производилась с использованием пакета прикладных программ Statistica 6.0.

**Результаты и обсуждение.** Результаты генотипирования локусов AGT (rs 4762), AGTR1 (rs5186), ADD 1(rs4961), NOS3 (rs2070744) у мужчин Магаданской области приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение частот аллелей полиморфных маркеров генов кандидатов артериальной гипертензии в группе мужчин-северян Магаданской области

Локусы, показатели		Локусы, показатели			
п	101	п	101		
NOS3 (rs 070744)	Частота аллеля NOS3*Т	0,6436	AGT (rs 4762)	Частота аллеля AGT*С	0,8663
	Частота аллеля NOS3*С	0,3564		Частота аллеля AGT*Т	0,1337
	$\chi^2$ (HWE) (p)	0,26 (>0,05)		$\chi^2$ (HWE) (p)	0,48 (>0,05)
Локусы, показатели		Локусы, показатели			
п	100	п	101		
AGTR1 (rs 5186)	Частота аллеля AGTR1*А	0,7450	ADD1 (rs 4961)	Частота аллеля ADD1*G	0,8168
	Частота аллеля AGTR1*С	0,2550		Частота аллеля ADD1*Т	0,1832
	$\chi^2$ (HWE) (p)	(>0,05)		$\chi^2$ (HWE) (p)	(>0,05)

Анализ распределения частот генотипов в популяции жителей-северян Магаданской области показал соответствие эмпирического распределения теоретическому ожидаемому при равновесии Харди-Вайнберга ( $p > 0,05$ ). Одной из региональных особенностей популяции жителей-северян Магаданской области является тренд минорных частот аллельных вариантов, увеличивающих риск развития артериальной гипертензии, которые варьируют от 0,1337 (аллель AGT\*Т локуса AGT (rs 4762) до 0,3564 (аллель NOS3\*С локуса NOS3 (rs2070744)). Подобная тенденция наблюдается у европейцев, проживающих в более комфортных климатических условиях. В связи с тем, что многие исследователи отмечают этнические особенности в распределении частот генов, вовлеченных в регуляцию артериального давления [6,7], мы сравнили исследуемую популяцию с основными мировыми популяциями [базы данных 8-10], используя генетические расстояния, рассчитанные по частотам изученных нами генов. Следует отметить, что минимальные генетические расстояния у жителей-северян Магаданской области фиксируются с популяцией европейцев (0,001). Для визуализации генетических соотношений и выявления региональных особенностей генетического профиля жителей-северян Магаданской области на основе матрицы генетических расстояний проведен кластерный анализ (рис. 1).

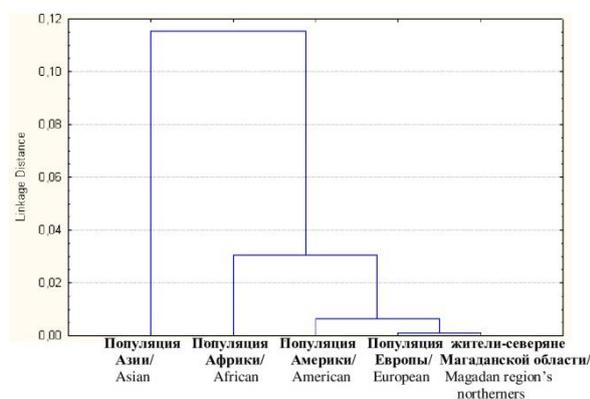


Рис. 1 - Дендрограмма генетических соотношений популяции жителей-северян Магаданской области и популяций Европы, Америки, Азии и Африки (построена методом Уорда на основании частот 8 аллелей 4 генов, вовлеченных в регуляцию артериального давления)

Для построения дендрограммы использовали метод минимальной внутригрупповой дисперсии (алгоритм Уорда), т.к. данный алгоритм характеризуется устойчивостью к влиянию статистических ошибок, связанных со случайностями, проявляющихся в малых выборках. График наглядно демонстрирует региональную обособленность популяции жителей - северян Магаданской области. Анализ дендрограммы показал наличие «европейского» кластера, включающего жителей-северян Магаданской области и популяции Европы. Остальные популяции, включенные в анализ, генетически удалены от данного кластера.

**Заключение.** Региональной особенностью генетического профиля популяции жителей-северян Магаданской области является тренд низких частот генов-кандидатов артериальной гипертензии. Поэтому при составлении прогностических этнотерриториальных карт здоровья, необходимо учитывать не только генетические факторы риска артериальной гипертензии, но и своевременность коррекции образа жизни, назначения профилактических мероприятий по предотвращению развития артериальной гипертензии в молодом возрасте. Полагаем, что дальнейшее проведение комплексных генетико-эпидемиологических исследований по изучению роли полиморфизмов генов-кандидатов артериальной гипертензии у населения высоких широт необходимо для более детального понимания патогенетических механизмов развития артериальной гипертензии в условиях высоких широт, для оценки адаптационного потенциала жителей-северян.

*Исследования проведены при финансовой поддержке РФФ, проект №23-15-20001 «Принципы и подходы к районированию северных территорий и Арктики на основе медико-биологического картирования»*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осипова Л.П., Личман Д.В., Холлмарк Б., Карафет Т.М., Сиэ Пэн Сан, Уоткинс Дж.С., Хаммер М.Ф. Современная геномика в изучении проблем адаптации человека к климату в высоких широтах Сибири // Научные результаты биомедицинских исследований. 2020. Т. 6. № 3. С. 323-337
2. Казначеев В.П. Механизмы адаптации человека в условиях высоких широт/ Ленинград: Издательство "Медицина". 1980. 200 С.
3. Гридин Л.А., Шишов А.А., Дворников М.В. Особенности адаптационных реакций человека в условиях Крайнего Севера // Здоровье населения и среда обитания - ЗНиСО. 2015. № 4 (253). С. 4.
4. Максимов А.Л. Современные проблемы адаптационных процессов и экологии человека в приполярных и арктических регионах России: концептуальные подходы их решения // Ульяновский медико-биологический журнал. 2015. № 1. С. 131-143.
5. Кузнецов В.М. Методы Нея для анализа генетических различий между популяциями // Проблемы биологии продуктивных животных. 2020. №1. С. 91-110.
6. Ковалева А., Кох Н., Воронина Е., Донирова О., Зеленская Е., Слепухина А., Лифшиц Г. Этнические особенности вклада генетических маркеров в клиническое течение и поражение органов-мишеней при артериальной гипертензии у русских и бурят // Патология кровообращения и кардиохирургия. 2020. № 24(4). С. 103–113.
7. Takeuchi F., Akiyama M., Matoba N., et al. Interethnic analyses of blood pressure loci in populations of East Asian and European descent // Nat Commun. 2018. № 9(1). P. 5052.
8. ALFRED (Allele Frequency Database) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://alfred.med.yale.edu/Alfred> (дата обращения 01.07.2023).
9. Database catalogs of single nucleotide polymorphisms (SNPedia). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.snpedia.com/index.php/SNPedia> (дата обращения 01.07.2023).

10. Database of The National Center for Biotechnology Information. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/snp> (дата обращения 01.07.2023).

## ДИНАМИКА ТЕПЛОВИЗИОННОЙ КАРТИНЫ ОРГАНИЗМА ЖИТЕЛЕЙ СЕВЕРА В ОТНОГЕНЕТИЧЕСКОМ АСПЕКТЕ

*Вдовенко С.И.*

Научно-исследовательский центр «Арктика» ДВО РАН, г. Магадан  
vdovenko.sergei@yandex.ru

Поиск понимания температуры человеческого тела и определения нормотермии продолжается, о чем свидетельствует постоянное количество опубликованных проспективных исследований [1]. Инфракрасная термография фиксирует и обрабатывает инфракрасное излучение с поверхности тела с помощью тепловизора, считается неинвазивной процедурой и может быть использована в качестве важного альтернативного метода для изучения изменений температуры в возрастном аспекте, так как преимущества данного метода заключаются в отсутствии физического контакта с объектом исследования, что позволяет проводить немедленный общий или специфический анализ, сфокусированный на определенной части тела [2]. Исходя из вышесказанного, целью данного исследования является выявление возраст-ассоциированных изменений тепловизионных изображений в различных областях тела с использованием инфракрасной термографии у мужчин-северян.

Было обследовано 452 лиц мужского пола из числа европеоидов, постоянно проживающих в Магаданской области. Все обследуемые были разделены на четыре группы: подростки,  $n = 95$  (средний возраст  $16,2 \pm 0,4$  лет, длина тела  $179,1 \pm 0,5$  см, масса тела  $70,5 \pm 0,5$  кг, индекс массы тела  $20,7 \pm 0,4$  кг/м<sup>2</sup>), юноши,  $n = 192$  ( $19,2 \pm 0,5$  лет,  $178,9 \pm 0,7$  см,  $66,4 \pm 1,2$  кг,  $21,7 \pm 0,2$  кг/м<sup>2</sup>), мужчины зрелого возраста,  $n = 109$  ( $38,2 \pm 0,7$  лет,  $180,1 \pm 0,5$  см,  $84,1 \pm 0,9$  кг,  $25,9 \pm 0,4$  кг/м<sup>2</sup>), мужчины пожилого возраста,  $n = 56$  ( $67,2 \pm 1,1$  лет,  $172,9 \pm 0,8$  см,  $83,9 \pm 1,3$  кг,  $27,9 \pm 0,3$  кг/м<sup>2</sup>).

Термографическая съемка осуществлялась в исходном положении стоя, с использованием тепловизора «FLIR SC620» (Швеция). Прибор обеспечивал длинноволновую (7,5-13 мкм) визуализацию с чувствительностью не менее  $0,1$  °C и пространственным разрешением  $640 \times 480$  пикселей. Исследовательские работы проводились в соответствии со стандартами, установленными Европейской термографической Ассоциацией [3]. Анализ тепловизионных изображений проводился в отношении 8 областей тела передней и задней части тела:  $C_1$  – средняя температура левой подключичной области (°C),  $C_2$  – правой подключичной области (°C),  $C_3$  – лба (°C),  $C_4$  – груди (°C),  $C_5$  – поверхности живота (°C),  $C_6$  – верхней части спины (°C),  $C_7$  – зоны лопаток (°C),  $C_8$  – поясницы (°C).

В таблице представлены характеристики тепловизионного портрета лиц мужского пола различных возрастов. По величине средневзвешенной температуры и усредненным значениям, а также по всем локальным съемкам (за исключением 5-й зоны – область живота), максимальные температуры были установлены для юношей ( $34,91$  °C), а минимальные показатели были выявлены для мужчин пожилого возраста ( $33,69$  °C), совокупное снижение температуры, таким образом, составило  $1,22$  °C. Следует отметить, что различия («перепад») между данными температурными экстремумами растут от верхних зон вентральной части тела и, наоборот, уменьшаются в вертикальном направлении дорсальной стороны тела. Так, если в ряду «левая подключичная зона – область живота» данная разница растет с 1% до 5%, то от верхней

Таблица – Характеристики тепловизионного портрета лиц мужского пола различного возраста.

	Подростки (1)	Юноши (2)	Мужчины зрелого возраста (3)	Мужчины пожилого возраста (4)	1-2	2-3	3-4	1-3	2-4	1-4
C <sub>1</sub>	35,37±0,07	35,59±0,09	35,29±0,05	35,10±0,08	p<0.05	p<0.01	p<0.05	p=0.35	p<0.001	p<0.01
C <sub>2</sub>	35,34±0,07	35,68±0,12	35,30±0,05	35,03±0,07	p<0.05	p<0.01	p<0.01	p=0.63	p<0.001	p<0.01
C <sub>3</sub>	34,77±0,08	35,14±0,13	34,44±0,07	33,99±0,11	p<0.05	p<0.001	p<0.001	p<0.01	p<0.001	p<0.001
C <sub>4</sub>	34,52±0,08	34,61±0,14	34,11±0,08	33,57±0,12	p=0.57	p<0.01	p<0.001	p<0.001	p<0.001	p<0.001
C <sub>5</sub>	34,26±0,09	33,95±0,23	33,60±0,10	32,67±0,15	p=0.20	p=0.18	p<0.001	p<0.001	p<0.001	p<0.001
C <sub>6</sub>	35,00±0,08	35,39±0,11	34,26±0,09	33,35±0,16	p<0.01	p<0.001	p<0.001	p<0.001	p<0.001	p<0.001
C <sub>7</sub>	34,52±0,08	35,03±0,12	33,87±0,10	33,04±0,17	p<0.001	p<0.001	p<0.001	p<0.001	p<0.001	p<0.001
C <sub>8</sub>	33,81±0,11	33,89±0,18	33,48±0,11	32,74±0,17	p=0.70	p<0.05	p<0.001	p<0.05	p<0.001	p<0.001
Ср. темп.	34,70±0,07	34,91±0,11	34,29±0,09	33,69±0,12	p=0.11	p<0.001	p<0.001	p<0.05	p<0.001	p<0.001

*Примечание*

- C<sub>1</sub> – средняя температура левой подключичной области, °С,  
 C<sub>2</sub> – средняя температура правой подключичной области, °С,  
 C<sub>3</sub> – средняя температура лба, °С,  
 C<sub>4</sub> – средняя температура груди, °С,  
 C<sub>5</sub> – средняя температура живота, °С,  
 C<sub>6</sub> – средняя температура верхней части спины, °С,  
 C<sub>7</sub> – средняя температура в районе лопаток, °С,  
 C<sub>8</sub> – средняя температура поясницы, °С

части спины к пояснице происходит уменьшение динамики (с 6% до 3%), если сравнивать полученные значения в группе юношей и лиц пожилого возраста.

Наивысшие температуры для всех участков тела были зафиксированы для подключичных зон. Данный факт был характерен для всех обследованных групп вне зависимости от их возраста. Отдельно отметим асимметрию для левой и правой подключичных зон – если для мужчин зрелого возраста она составила лишь 0,01 °С, а для подростков 0,03 °С, то для мужчин пожилого возраста и юношей – 0,07 °С и 0,09 °С, соответственно. Минимальные значения были установлены для поясничной зоны, и это прослеживалось в трех возрастных группах – от подростков до мужчин зрелого возраста. Исключение составили лица пожилого возраста – у них минимальная температура была выявлена для области живота.

Полученные результаты указывают на возраст-ассоциированное снижение температуры основных участков кожи, а также средневзвешенной температуры анализируемых областей начиная с юношеского периода онтогенеза к группе лиц пожилого возраста.

Проведенные исследования показали, что наибольшими величинами анализируемых термограмм характеризовались обследуемые юноши, что свидетельствует о становлении оптимальной терморегуляции именно к юношескому периоду онтогенеза. При этом в возрастном аспекте от группы юношей к группе мужчин пожилого возраста отмечается значимое снижение средних величин анализируемых участков температурного портрета. Также необходимо указать на возрастание термоасимметрии в группе мужчин пожилого возраста и юношей до 0,07 °С и 0,09 °С соответственно, что требует дальнейшего изучения и анализа.

Следует подчеркнуть, что для обследуемых всех возрастных групп были характерны более высокие значения температуры сопоставимых участков тела относительно лиц, проживающих в более благоприятных климатических условиях, что, по-видимому, является отражением формирования региональных особенностей температурного портрета жителей-северян.

*Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 23-15-20001) «Принципы и подходы к районированию северных территорий и Арктики на основе медико-биологического картирования».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Normal Body Temperature: A Systematic Review // I.I. Geneva, B. Cuzzo, T. Fazili, W. Javaid // Open Forum Infectious Diseases. 2019. Vol. 6 (4). P. 1-7. DOI: 10.1093/ofid/ofz032
2. Daily rhythm of skin temperature of women evaluated by infrared thermal imaging / C.M.A. Costa [et al.] // Journal of Thermal Biology. 2018. Vol. 72. P. 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2017.12.002>
3. Fujimasa I. Pathophysiological expression and analysis of far infrared thermal images // IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine. 1998. Vol. 17 (4). P. 34-42. doi:10.1109/51.687961

## ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОСВЯЗИ ПОВЫШЕННЫХ УРОВНЕЙ АНТИТЕЛ К ТИРЕОИДНОЙ ПЕРОКСИДАЗЕ, ДВУСПИРАЛЬНОЙ ДНК, НУКЛЕОПРОТЕИДАМ С АКТИВНОСТЬЮ ИММУННЫХ РЕАКЦИЙ У БОЛЬНЫХ АУТОИММУНЫМ ТИРЕОИДИТОМ, ПРОЖИВАЮЩИХ НА СЕВЕРЕ

*Верещагина К.В., Самодова А.В., Добродеева Л.К.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, annapoletaeva2008@yandex.ru

Аутоантителообразование является физиологической реакцией до определенного момента, когда высокие концентрации аутоантител приводят к разрушению и соответственно к патологии. При этом расширение спектра повышенных концентраций аутоантител значительно увеличивает количество поражаемых систем с формированием многочисленной и разнообразной патологии. Антитела к различным собственным структурам организма участвуют в процессах регуляции пролиферации, дифференцировки, аутофагии и апоптоза [1, 2, 3]. Таким образом, повышенный уровень аутоантителообразования представляет серьезный риск инициации очень многих болезней, затрагивающих различные системы и органы.

Представляло интерес изучить взаимосвязь повышенных концентраций антител к тиреоидной пероксидазе (АТ к ТПО), двуспиральной ДНК, нуклеопроотеидам с содержанием иммунокомпетентных клеток, цитокинов, иммуноглобулинов у больных аутоиммунным тиреоидитом (АИТ), проживающих в г. Архангельске.

Цель работы. Изучение особенностей взаимосвязи повышенных концентраций АТ к ТПО, двуспиральной ДНК, нуклеопроотеидам с активностью иммунных реакций у больных АИТ, проживающих на севере.

Материалы и методы. В работу включены результаты иммунологического обследования 108 человек, больных АИТ, проживающих в г. Архангельске, обратившихся в центр профессиональной диагностики «Биолам». Средний возраст обследованных составил  $37,62 \pm 1,53$  лет. Все исследования проводили с согласия обследованных и в соответствии с требованиями Хельсинской декларации Всемирной медицинской ассоциации об этических принципах проведения медицинских исследований (2000). Комплекс иммунологического исследования включал изучение гемограммы на автоматическом гематологическом анализаторе XS-500i (Япония), определение содержания фенотипов лимфоцитов (CD3+, CD4+, CD8+, CD3+CD16+CD56+, CD3-CD16+CD56+, CD10+, CD95+, CD71+) методом проточной цитометрии с помощью аппарата Epics XL фирмы Beckman Coulter (США) реактивами «Immunotech a Beckman Coulter Company» (Франция) и непрямой иммунопероксидазной реакции с использованием моноклональных антител («МедБиоСпектр», «Сорбент», г. Москва), концентрации циркулирующих IgG антител к тиреоидной пероксидазе (антител к ТПО), аутоантител к двуспиральной ДНК (ds-DNA) и к нуклеопроотеидам (RNP) с использованием тест систем компании «Orgentec» (Германия), цитокинов (IL-1 $\beta$ , TNF- $\alpha$ , INF- $\gamma$ , IL-6, IL-10, IL-4), иммуноглобулинов классов M, G, A, E в сыворотке крови методом иммуноферментного анализа на анализаторе «Evolis» фирмы «Bio-RAD» (Германия). Результаты исследования обработаны статистически с определением средних величин и представлены как средняя арифметическая  $\pm$  ошибка средней ( $M \pm m$ ), достоверность различий оценивали с помощью t-критерия Стьюдента. Использовался пакет компьютерной программы «Microsoft Excel MX». Статистический анализ данных был проведен с применением пакета прикладных программ Statistics 21.0.

Результаты. У больных АИТ, проживающих в г. Архангельске, содержание АТ к ТПО (от 3,03 до 1200 МЕ/мл), АТ к двуспиральной ДНК (от 2,56 до 83,55 МЕ/мл) и АТ

к нуклеопротеидам (от 0,76 до 2,55 МЕ/мл) находится в широких пределах колебания; выявлено не только повышение частоты регистрации повышенных концентраций антител к ТПО (>30 МЕ/мл) у 69,44±0,76 % обследованных лиц), но и повышенные концентрации АТ к двуспиральной ДНК (ds DNA) (>50 МЕ/мл) у 51,85±0,67% больных и АТ к рибонуклеопротеидам (>1,00 МЕ/мл) у 60,18±0,71% лиц.

Повышение концентрации АТ к ТПО (с 10,43±1,74 до 327,99±49,46 МЕ/мл;  $p<0,001$ ), АТ к двухспиральной ДНК (ds-DNA) (с 20,68±3,93 до 77,80±1,97 МЕ/мл;  $p<0,001$ ) и АТ к нуклеопротеидам (RNP) (с 0,77±0,06 до 2,11±0,23 МЕ/мл;  $p<0,001$ ) ассоциированы с увеличением содержания циркулирующих в крови лимфоцитов преимущественно за счёт содержания зрелых Т-лимфоцитов (CD3+), цитотоксических Т-лимфоцитов (CD8+) и клеток, меченых к программируемой клеточной гибели (CD95+), таблица 1.

Таблица 1 – Содержание фенотипов лимфоцитов в зависимости от концентрации аутоантител у больных АИТ (M±m)

Клетки, ×10 <sup>9</sup> кл/л	Аутоантитела					
	к ТПО		к ds-DNA		к RNP	
	<30 МЕ/мл	>281,7 МЕ/мл	<50 МЕ/мл	> 70,5 МЕ/мл	<1,00 МЕ/мл	>1,67 МЕ/мл
Лимфоциты	1,74±0,12	2,00±0,07**	2,05±0,09	2,36±0,12**	1,89±0,14	2,21±0,09***
CD3+	0,88±0,06	1,01±0,04**	1,07±0,05	1,19±0,16*	0,86±0,07	1,00±0,05**
CD4+	0,40±0,02	0,54±0,03**	0,46±0,04	0,52±0,05	0,39±0,02	0,51±0,03**
CD8+	0,37±0,03	0,47±0,02**	0,36±0,04	0,47±0,02**	0,38±0,03	0,47±0,04**
CD3+ CD16+ CD56+	0,33±0,03	0,42±0,04*	0,40±0,07	0,52±0,03**	0,33±0,04	0,41±0,06
CD3- CD16+ CD56+	0,26±0,03	0,29±0,03	0,25±0,07	0,36±0,08*	0,25±0,03	0,33±0,07
CD95+	0,45±0,03	0,56±0,02*	0,48±0,04	0,59±0,05*	0,44±0,03	0,55±0,07*
CD10+	0,32±0,03	0,30±0,02	0,30±0,03	0,33±0,07	0,32±0,04	0,50±0,05**
CD71+	0,53±0,04	0,39±0,02**	0,39±0,05	0,53±0,12**	0,52±0,04	0,55±0,11

Примечание: \* $p<0,05$ ; \*\* $p<0,01$ ; \*\*\* $p<0,001$  – при сравнении показателей с низким уровнем АТ.

Полученные данные свидетельствуют о том, что повышенные концентрации АТ к ТПО, ds-DNA, RNP ассоциированы в основном с механизмами клеточной цитотоксичности и активации программируемой клеточной гибели лимфоцитов, что, может быть, связано с повреждением клеток ЩЖ у больных АИТ [4].

Выявлено, что одновременное увеличение концентрации АТ к ТПО, ds-DNA, RNP у больных АИТ происходит на фоне снижения уровня противовоспалительного цитокина IL-10. IL-10 играет значительную регуляторную роль в патогенезе аутоиммунного воспаления ЩЖ, участвуя в регуляции продукции антител к тиреоглобулину и ингибиции клеточно-опосредованного повреждения ЩЖ [5]. IL-10 известен как естественный ингибитор экспрессии генов адгезивных, активирующих сигнальных молекул, рецепторов, лигандов, снижает уровень активности превентивного воспаления и иммунных реакций [6]. Секреция IL-10 требует более сильной стимуляции, чем продукция цитокинов, стимулирующих активизацию иммунокомпетентных клеток и их пролиферацию [7].

Установлено, что одновременное повышение концентрации антител к тиреоидной пероксидазе и ds-DNA взаимосвязано с активизацией синтеза иммуноглобулинов класса Е, обладающих наиболее выраженными свойствами определения специфичности антигена и антителозависимой цитотоксичности. Известно, что интенсивное накопление в организме антигенных структур является благоприятным фоном для активации реакинов. Реагиновый механизм активируется в качестве резервного механизма, при достаточно длительном антигенном воздействии [8].

Итак, одновременное увеличение концентрации антител к ТПО, ds-DNA, RNP у больных АИТ сопряжено с увеличением содержания зрелых Т-клеток (CD3+),

цитотоксических Т–лимфоцитов (CD8+), клеток, меченых к программируемой гибели (CD95+) и снижением концентраций в сыворотке крови IL-10. Увеличение концентрации цитотоксических лимфоцитов и клеток, меченных к апоптозу при параллельном снижении концентрации регуляторного IL-10, снижающего рецепторную активность фактически любых клеток, на наш взгляд, является неблагоприятным в прогностическом отношении накопления и аутоантитигенов, и аутоантител.

*Работа поддержана конкурсом научных проектов молодых ученых ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, посвященному Десятилетию науки и технологии в Российской Федерации "Разработка и обоснование критериев риска формирования нарушений регуляции гомеостаза по уровню и активности аутоантителообразования" (№ 122111400008-4).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добродеева Л.К. Сулонова Г.А. Аутоантитела у практически здоровых людей // Иммунология. 1990. № 2. С. 52–55.
2. Лютфалиева Г. Т., Добродеева Л.К. Аутоантитела: физиологическое значение в регуляции гомеостаза // Экология человека. 2007. № 8. С. 38–42.  
Lutfaliev G. T., Dobrodeeva L.K. Autoantibodies: physiological significance in the regulation of homeostasis // Human ecology. 2007. №. 8. P. 38-42.
3. Лютфалиева Г.Т. Участие аутоантител в процессах апоптотической регуляции иммунокомпетентных клеток // Экология человека. 2010. №5. С.24–29.
4. Gardner G, Fraker C.A. Natural Killer Cells as Key Mediators in Type I Diabetes Immunopathology // Front Immunol. 2021. Vol. 12. 722979.
5. Mollazadeh H., Cicero A.F.G., Blesso C.N. Immune modulation by curcumin: The role of interleukin-10 // Crit Rev Food Sci Nutr. 2019. Vol. 59, N 1. P. 89-101.
6. Kristensen B., Hegedüs L., Madsen H.O. et al. Altered balance between self-reactive T helper (Th)17 cells and Th10 cells and between full-length forkhead box protein 3 (FoxP3) and FoxP3 splice variants in Hashimoto's thyroiditis // Clin Exp Immunol. 2015. Vol. 180, N 1. P. 58-69.
7. Tewari A., Prabagar M.G, Gibbings S.L. et al. LN Monocytes Limit DC-Poly I:C Induced Cytotoxic T Cell Response via IL-10 and Induction of Suppressor CD4 T Cells // Front Immunol. 2021. Vol. 12. 763379.
8. Петреня Н. Н. Содержание общего сывороточного иммуноглобулина Е и физиологическая значимость реагинового механизма иммунной защиты у детей и взрослых на Севере Европейской территории России: Автореф. дис. ... канд. биол. наук // Архангельск. 2005.

#### **АРТЕРИАЛЬНАЯ ГИПЕРТОНΙΑ И COVID 19 В УСЛОВИЯХ АРКТИЧЕСКОЙ ВАХТЫ (ПО ДАННЫМ СТАЦИОНАРА МСЧ ЯМБУРГ)**

*Ветошкин А.С., Шуркевич Н.П. Карева М.А., Гапон Л.И.*

Тюменский кардиологический научный центр, г. Тюмень

Томский национальный исследовательский медицинский центр РАН, г.Томск,

Shurkevich@infarkta.net

Научный интерес к пандемии COVID-19 (С19), несмотря на ее прекращение, подтвержденное ВОЗ, обусловлен тем, что дает основание считать ее как объект в эпидемиологии, позволяющий накопить научный задел для борьбы с ООИ будущего. Возможности естественного или искусственного вбрасывания опасных патогенов в

человеческое общество еще не изучены настолько, что можно считать их исчерпанными [1]. Название заболевания и вызвавшего ее вируса было определено ВОЗ в 2020 г. по возбудителю - коронавирусу острого респираторного синдрома 2 (severe acute respiratory syndrome coronavirus 2, SARS-CoV-2) или коронавирусное заболевание 2019 (Coronavirus Disease 2019, COVID-19). По данным на конец августа 2023 года в мире С19 заразились 693688429 человек, из них выздоровели 665734926 чел., умерли 6908733 чел., болеют 21044770 чел. В РФ зарегистрировано 22983 случаев, умерли 399938 чел, выздоровели 22436991 чел.[2]. Установлено, что градиент распространенности ССЗ увеличивается с юга на север; это объясняется влиянием низкой температурой окружающей среды, воздействием на организм человека хронического стресса в условиях КС [3]. Вахтовый метод работы с регулярными трансширотными перемещениями, особенностями фотопериодизма (полярный день-полярная ночь) увеличивает стрессорное напряжение организма за счет незавершенной адаптации, влияет на циркадные ритмы сердечно-сосудистой системы, на режимы питания и может являться самостоятельным фактором риска (ФР) помимо избыточного веса, ожирения, сахарного диабета, повышенного артериального давления (АД) и метаболического синдрома [4]. По данным наших предыдущих исследований артериальная гипертония (АГ) в суровых климатических условиях Крайнего Севера (КС) с особенностями фотопериодизма и постоянного психофизического стресса АГ характеризуется нарушением суточного ритма и хроноструктуры АД без должного физиологического снижения АД в ночные часы, что сопровождается более выраженным поражением органов-мишеней [5]. Особенности течения АГ в условиях КС еще в прошлом веке позволили выделить «северный» вариант. Основной причиной агрессивного течения ССЗ на КС считали хронический северный климатический стресс, названный «синдромом полярного напряжения», основными проявлениями которого являются реакции центральной нервной и эндокринной систем, изменения метаболизма, иммунная недостаточность, психоэмоциональное напряжение и десинхронизация [6]. В настоящее время практически нет работ, посвященных изучению течения С19 в условиях вахты на КС. Это объясняет наш интерес к проблеме С19 у пациентов с АГ в условиях вахты.

В поселке Ямбург (Надымский район) методом случайной выборки ретроспективно были проанализированы 517 историй болезней мужчин (М, n = 359) и женщин (Ж, n = 158) пролеченных стационарно на базе медико-санитарной части ООО «ГАЗПРОМ ДОБЫЧА ЯМБУРГ» в период 2019 -2021 гг . Из них, перенесших COVID19 мужчин – 233 человека и женщин 77. Группы М и Ж, переболевших С19 значительно различались по возрасту (Ж были старше), в отличие от неболевших С19, которые не имели возрастных различий. При этом М, также как и Ж, переболевшие С19 были значительно старше неболевших. (рис.1).

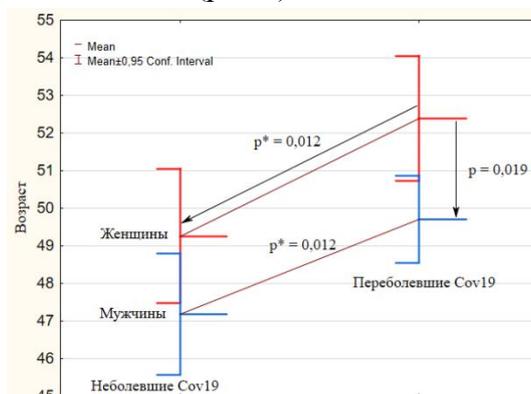


Рис. 1 - Возрастные различия мужчин и женщин переболевших и неболевших COVID19  
 p – критерий Стюдента значимости различий между болевшими и неболевшими С19,  
 р\* - между мужчинами и женщинами

Ж, переболевшие С19 значительно дольше проработали в условиях КС (соответственно, 22,8(9,1) лет против 19,2(9,0) лет),  $p = 0,014$ ). У М значимых различий по северному стажу и стажу работы вахтой в группах болевших и неболевших – не выявлено.

По типу вахты было выделено 3 группы: 1 группа – внутрирегиональная вахта (ВРВ) – проезд на вахту из районов Крайнего Севера (КС, города Надым, Новый Уренгой, Тазовский, Ноябрьск и т.д); 2 – группа межрегиональная вахта1 (МРВ1) – вахта из районов умеренного климата без пересечения часового пояса (Тюмень, Уфа, Тобольск) и гр. 3 – МРВ2 – вахта из районов умеренного климата с пересечением часового пояса (Москва, Краснодар, Новосибирск, Омск и т.д.). Наибольшее число заболевших С19 среди М и Ж были из группы МРВ1, соответственно 50% и 44% (из 233 и 77 чел.), наименьшее - из группы ВРВ - 16% и 30% и среднее положение заняла группа МРВ2 - 34% и 26%. При этом, Ж число заболевших С19 было относительно одинаково в группах ВРВ и МРВ2, но значительно больше, чем в группе МРВ1.

Корреляционный анализ показал прямые значимые связи наличия С19 с полом ( $r = 0,141$ ,  $p = 0,053$ ), с возрастом ( $r = 0,189$ ,  $p = 0,009$ ), с северным стажем ( $r = 0,200$ ,  $p = 0,006$ ), со стадией ( $r = 0,232$ ,  $p = 0,001$ ) и степенью АГ в анамнезе ( $r = 0,229$ ,  $p = 0,002$ ).

Среди обследованных мужчин по данным анамнестических данных частота АГ составила: среди переболевших С19 М - 64% среди неболевших М - 61% ( $p = 0,005$ ). У Ж – с С19 – 66%, без С19 – 53% Женщины с АГ болели С19 значительно чаще, чем Ж с нормальным АД (рис.2).

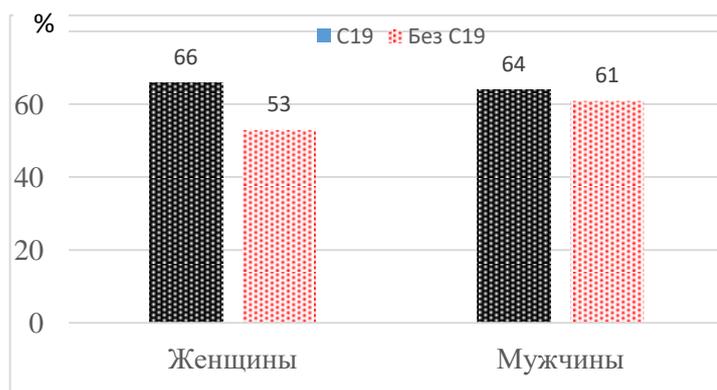


Рис. 2 - Частота АГ в анамнезе у М и Ж перенесших С19 и неболевших С19. М(n = 233), Ж (n = 77).

Примечание: Pearson Chi-square: ,458768, df=1,  $p=0,498$  (Ж); Pearson Chi-square: 7,55070, df=1,  $p=,005$  (М)

Среднее АД при поступлении у М (n = 149) с АГ составило 148,0(12,2) и 96,8(7,4) мм рт.ст., с нормальным АД (n = 82) - 124,1(7,7) и 83,7(6,9) мм рт.ст.,  $p < 0,0001$ . У Ж, соответственно, 147,3(14,8) и 98,5(8,5), n= 51 против 123,5(7,7) и 82,6(5,5) мм рт.ст., n = 25,  $p < 0,0001$ . М и Ж по уровням АД в группах АГ и с нормальным АД были сопоставимы и значимо не различались.

Перенесшие С19 пациенты с АГ значительно чаще имели ожирение II степени 16% против 4%,  $p = 0,003$ ) и значимо реже ИМТ (38% против 52%,  $p = 0,034$ ) также за счет мужчин (64 против 41%). Интересно, что практически одинаковая частота ожирения III ст, I ст. и нормального веса тела наблюдалась как у переболевших, так и у неболевших С19 М и Ж с АГ в анамнезе. В целом, среди проанализированных пациентов с АГ только 14-15% М и Ж имели нормальный вес. При этом, только у М, перенесших С19 индекс массы тела был значимо выше, чем у неболевших за счет избыточной массы тела (ИМТ) и ожирения II степени (индекс массы тела = 30,6(4,6) против 28,9(3,3) кг/м<sup>2</sup>,  $p = 0,008$ ). У Ж такого различия не найдено (соответственно, 29,4(6,6) кг/м<sup>2</sup> против 30,2(6,6) кг/м<sup>2</sup>,  $p = 0,573$ ).

Как видно из данных таблицы 1, значимых различий в структуре КТ изменений (компьютерная томография) между пациентами, перенесших С19 с АГ в анамнезе и с нормальным АД не обнаружено. Значимых различий по форме течения С19 между М и Ж, между группами с АГ в анамнезе и с нормальным АД мы также не обнаружили.

Таблица 1 - Структура КТ изменений у лиц с АГ, перенесших С19

Изменения КТ	АГ (n= 135)	Норм. АД (n = 142)	p
0	5(3,7%)	9(6,3%)	0,322
1	88(65,2%)	89(62,7%)	0,665
2	24(17,8%)	25(17,6%)	0,965
3	6(4,4%)	12(8,5%)	0,167
4	9(6,7%)	4(2,8%)	0,125
5	3(2,2%)	3(2,1%)	0,954

Примечание: Изменения КТ: 0 – нет изменений КТ; 1 – 0-24,9% поражения легких; 2 – 25-49,9% поражения легких; 3 – 50 -74,9% поражения легких; 4 – 75% и более поражения легких; 5 – нековидные изменения легких и плевры. Р – критерий  $\chi^2$  различий относительных величин между группами болевших и неболевших С19.

Тем не менее, у М с АГ в анамнезе, на фоне более высоких значений АД имело место значимое снижение сатурации (94,8(5,0)% против 95,9(3,0)%,  $p = 0,038$ . У Ж таких различий в зависимости от уровня АД мы не наблюдали.

У М с АГ отмечалось увеличение числа лиц с тяжелым течением (11% против 4%,  $p = 0,041$ ). Хотя в обеих группах преобладали лица с среднетяжелым течением С19, у мужчин с АГ частота с/т течения была меньше, чем у М с нормальным АД (63 против 76%,  $p = 0,032$ ). По частотам легкого течения группы не различались. У Ж также как и у М АГ имела влияние на тяжесть С19, но различия между группами не достигали значимых уровней. Так у Ж с нормальным АД тяжелое течение С19 не регистрировалось, тогда как у Ж с АГ имело место 9% ( $p = 0,080$ ), и, наоборот, у Ж с нормальным АД незначимо чаще регистрировалось легкое течение С19.

Группы с АГ и с нормальным АД по характеру и частоте основных жалоб различались значимо: по частоте одышки ( $p = 0,007$ ), общей слабости ( $p = 0,007$ ), повышенной утомляемости ( $p = 0,001$ ), ощущениям тяжести, скованности за грудиной ( $p = 0,002$ ), потери или искажения обоняния (0,001), по появлениям ощущений перебоев, неритмичности работы сердца ( $p = 0,0009$ ), повышенной сонливости ( $p = 0,001$ ) или, наоборот, бессонница (0,0009). Единственно, лица обеих групп одинаково отмечали частоту кашля (рис.3).

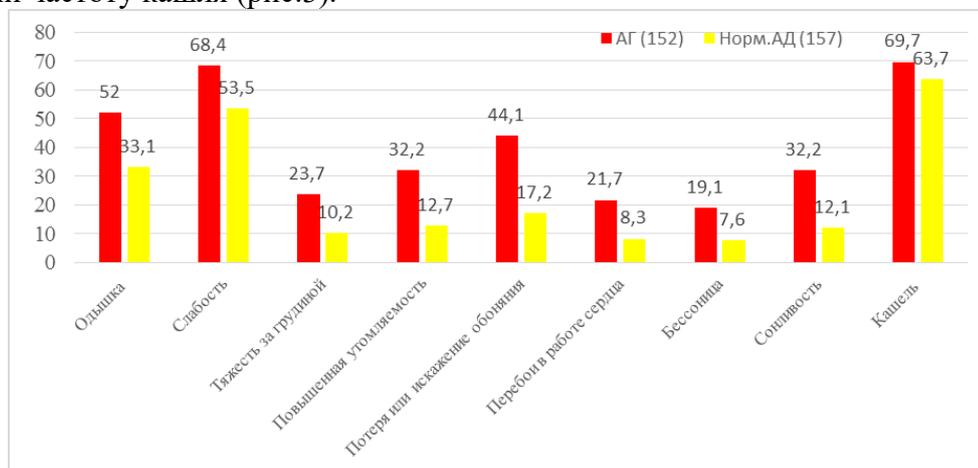


Рис.3 – Распределение частот жалоб в группах М и Ж с АГ и с нормальным АД, перенесших С19

По данным ЭКГ, проводившейся каждому из поступивших пациентов с С19, у 6 М с АГ была впервые диагностирована фибрилляция предсердий (ФПС). У Ж данный вид аритмии не регистрировался (различия незначимы). У М с АГ значимо чаще, чем у Ж и у М с норм. АД регистрировались нарушения процессов реполяризации миокарда (соответственно, 16,8% против 8,9%(Ж) и 8,7%(М с норм.АД),  $p_{\chi^2} = 0,041$ ), блокадные изменения (неполная блокада ПНПГ) 10,4% против 8,9%(Ж) и 6,3%(М с норм. АД),  $p_{\chi^2} = 0,043$ ). Наиболее часто регистрировалась синусовая тахикардия, достигая 50% у М, независимо от уровня АД и 42,2% у Ж. У 1 Ж с тяжелым течением была выявлена атрио-вентрикулярная блокада 1 степени. Желудочковые и суправентрикулярные эктопические нарушения ритма встречались одинаково редко как у М, так и у Ж, независимо от уровня АД (5,6% у М с АГ и 6,3% с норм.АД, 6,3% у Ж с АГ и у 2,2% у Ж с норм. АД, различия незначимы).

Таким образом, по данным проведенного экспресс - анализа течение С19 в условиях вахты на КС имело свои особенности:

Лица с АГ, независимо от половой принадлежности чаще подвергались заражению С19 (по данным корреляционного анализа). При этом, выявлена прямая связь частоты С19 от стадии и степени АГ.

Независимо от пола и уровня АД, пациенты, перенесшие С19 имели более высокий вес (ИМТ и ожирение в анамнезе).

Наиболее часто С19 выявлялся среди лиц, практиковавших межрегиональную вахту (особенно в пределах одного часового пояса).

Независимо от уровня АД, практически у 65% пациентов регистрировались легкие изменения КТ (до 25% поражения) и у 18% - до 50% поражения легочной ткани.

У М с АГ значимо чаще отмечалось тяжелое течение С19 с значимым снижением сатурации. У Ж таких различий в зависимости от уровня АД не наблюдалось.

У М с АГ, перенесших С19 чаще регистрировались нарушения ритма в виде фибрилляции предсердий, нарушений процессов реполяризации желудочков и блокадные изменения (НПБПНПГ).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. COVID-19: трудный экзамен для человечества / Супотницкий М.В./ М.: НП ИД «Русская панорама», «СПСЛ», 2021. - 256 с. ISBN 978-5-93165-476-8
2. Коронавирус в Мурманской области сегодня – сколько заболело, статистика, последние новости [Электронный ресурс]. Режим доступа <https://goarctic.ru/news/kovid-19-v-arktike-perspektivu-roka-neyasny> (дата обращения 21.08.2023)
3. Тихонов Д.Г., Николаев В.П., Седалищев В.И. Некоторые проблемы патогенеза и клинических проявлений атеросклероза (ишемической болезни сердца, гипертонической болезни) на Крайнем Севере // Терапевтический архив. 2011. № 1. С. 63-69.
4. Шуркевич Н.П., Ветошкин А.С., Гапон Л.И. и др. Факторы риска и субклинический каротидный атеросклероз в условиях арктической вахты // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2019. № 4. С. 86-91. doi:10.15829/1728-8800-2019-4-86-91.
5. Гапон Л.И. Шуркевич Н.П., Ветошкин А.С. Структурно-функциональные изменения сердца и суточный профиль артериального давления у больных артериальной гипертонией на Крайнем Севере // Клин. медицина. 2009. № 9. С. 23-29.
6. Клинические аспекты полярной медицины / Казначеев В.П., Казначеев С.В. / М.: Медицина, 1986. 206 с.

## СУММАРНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЖИРНОКИСЛОТНОГО ПРОФИЛЯ СЫВОРОТКИ КРОВИ И СТРУКТУРА ПИТАНИЯ У КОРЕННОГО И ЕВРОПЕОИДНОГО НАСЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

*Власова О.С., Стрелкова А.В., Баранова Н.Ф.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, [olgawlassova@mail.ru](mailto:olgawlassova@mail.ru)

*Резюме.* С целью изучения этнической специфики жирнокислотного обмена и структуры питания проведена сравнительная характеристика суммарных показателей жирных кислот (ЖК) и количественного потребления продуктов питания у жителей Арктики. Обследованы лица 22-60 лет, проживающие на территориях Арктической зоны Российской Федерации, среди коренного (ненцы и коми) и некоренного (европеоиды) населения, ведущего оседлый образ жизни. Методом газожидкостной хроматографии определено содержание ЖК сыворотки крови, рассчитаны их суммарные показатели. Анализ рациона питания проводился частотным и анкетно-опросным методом. Установлено, что для аборигенных жителей на фоне смешанной традиционно-западной структуры питания с уменьшением вклада традиционных мясных продуктов и включением большого количества углеводов характерно снижение содержания длинноцепочечных (C16-C24) насыщенных ЖК (НЖК),  $\omega$ -3 и  $\omega$ -6 полиненасыщенных ЖК при повышении уровней короткоцепочечных (C6-C11) НЖК и  $\omega$ -7 мононенасыщенных ЖК.

Изучение метаболических характеристик у коренного и пришлого населения арктических территорий не теряет своей актуальности вследствие трансформации уклада жизни и традиционного природопользования, а также глобальных климатических изменений. Ранними исследованиями у аборигенов Севера установлена активизация липидного обмена, обусловленная, главным образом, белково-липидным традиционным типом питания, основу которого составляет оленина, северная морская и речная рыба, арктические дикоросы, жир и мясо морских животных [1, 2]. Подобный рацион способствует формированию определенного метаболического фона, который характеризуется повышенным содержанием ненасыщенных жирных кислот (ЖК), прежде всего,  $\omega$ -3 полиненасыщенных ЖК (ПНЖК) [3]. В некоторой мере это относится и к представителям некоренного европеоидного населения, поскольку они могут использовать в питании местные пищевые источники и следовать пищевым традициям коренных жителей.

В связи с вышесказанным целью исследования стало изучение особенностей жирнокислотного обмена – суммарных показателей различных семейств ЖК – и рациона питания у жителей Арктики, ведущих оседлый образ жизни, в зависимости от этнической принадлежности.

*Материалы и методы.* Обследованы лица зрелого возраста 22-60 лет, проживающие на территориях Арктической зоны Российской Федерации (АЗ РФ) – Мезенский район Архангельской области, Ненецкий (НАО) и Ямало-Ненецкий (ЯНАО) автономные округа, в ходе экспедиций, выполненных в 2009-2018 гг.. Волонтеры были выбраны случайным образом после медосмотра и анкетирования, из обследования исключены лица, состоящие на диспансерном учете у эндокринолога, имеющие в анамнезе заболевания сердечно-сосудистой системы, щитовидной железы и сахарным диабетом, а также с острыми соматическими заболеваниями на момент исследования.

В зависимости от этнической принадлежности волонтеры были поделены на две группы: аборигенные жители (АГ) – ненцы и коми – и европеоидные жители (ЕГ) – преимущественно представители русской национальности, ведущие оседлый образ жизни в поселках. Группа АГ составила 522 человека, группа ЕГ – 429 человек.

Методом газожидкостной хроматографии с предварительной экстракцией липидов из сыворотки крови и последующим получением метиловых эфиров ЖК определяли их содержание. Анализ метиловых производных ЖК проводили на газовом хроматографе Agilent 7890A («Agilent Technologies Inc.», USA) с пламенно-ионизационным детектором (ПИД) на капиллярных колонках ВРХ-90 (60м·0,25мм·0,25мкм) «SGE Analytical Science» (Великобритания) и DB-23 (60м·0,25мм·0,15мкм) «Agilent Technologies Inc.», (USA). Идентификацию ЖК осуществляли с использованием стандартных смесей метиловых эфиров ЖК «37 FAME C4-C24» (Supelco Inc., PA, USA) и GLC-569 В от «Nu-Chek Prep. Ins.» (США), а количественный расчет проводили методом внутреннего стандарта, в качестве которого выступала нонадекановая кислота (C19:0). Определены концентрации насыщенных (НЖК) ЖК, мононенасыщенных (МНЖК) и ПНЖК, общим числом 43 кислоты. НЖК представлены короткоцепочечными (КЦ) – С6-С11, среднецепочечными (СЦ) – С12-С15 и длинноцепочечными (ДЦ) – С16-С24. МНЖК объединены в семейства  $\omega$ -5 (C14:1n5t, C14:1n5c, C15:1n5),  $\omega$ -7 (C16:1n7t, C16:1n7c, C17:1n7),  $\omega$ -9 (C18:1n9t, C18:1n9c, C20:1n9, C22:1n9, C24:1n9), ПНЖК – в семейства  $\omega$ -3 (C18:3n3, C20:3n3, C20:5n3, C22:3n3, C22:5n3, C22:6n3) и  $\omega$ -6 (C18:2n6t, C18:2n6c, C18:3n6, C20:2n6, C20:3n6, C20:4n6, C22:4n6, C22:2n6, C22:5n6). В соответствии с этим проведен расчет показателей суммарного содержания ЖК:  $\Sigma$ КЦ,  $\Sigma$ СЦ,  $\Sigma$ ДЦ,  $\Sigma$ НЖК,  $\Sigma\omega$ -5,  $\Sigma\omega$ -7,  $\Sigma\omega$ -9,  $\Sigma$ МНЖК,  $\Sigma\omega$ -3,  $\Sigma\omega$ -6,  $\Sigma$ ПНЖК.

Анализ рациона питания проводили за период предшествующие 12 месяцев с помощью частотного и анкетно-опросного методов. При обработке данных установленная частота потребления была выражена в кратности потребления в день. Вопросы, связанные с размером порции, задавались отдельно для рыбных и мясных блюд. Для остальных продуктов были определены стандартные размеры порции согласно «Альбома порций продуктов и блюд» [4]. Ежедневное потребление продуктов (г/сут) рассчитывалось путем умножения частоты потребления на соответствующий размер порции.

Основные мясные традиционные продукты – это оленье мясо, печень, в гораздо меньшей степени потреблялись мясо диких животных и птиц, мясо и жир морских животных. Категория «Углеводсодержащие продукты» объединяет потребление продуктов с простыми углеводами (сахар, мучные кондитерские изделия, сладости и др.), мучных продуктов (хлеб, хлебобулочные и макаронные изделия), круп. В категории «Привозные мясные продукты» учтено потребления мяса, мясных консервов, полуфабрикатов, переработанного мяса. В категории «Растительные жиры» суммировано потребление растительных масел, орехов, семечек.

Статистическую обработку данных проводили непараметрическими методами. Выполнен дескриптивный анализ: расчет медианы (Me), интерквартильного интервала – 25-й и 75-й процентиля (25%; 75%). Оценка статически значимых различий для двух независимых выборок проводилась с использованием критерия Манна-Уитни. Критический уровень значимости (p) при проверке статистических гипотез принимался за 0,05.

*Результаты и обсуждение.* Сравнительная характеристика суммарных показателей жирнокислотного обмена двух групп АГ и ЕГ показала, что уровни НЖК и ПНЖК ( $\omega$ -3 и  $\omega$ -6) значимо выше у контингента ЕГ (табл. 1). В случае показателя  $\Sigma$ НЖК различие достигается за счет более высоких величин ДЦ и СЦ НЖК, поскольку содержание КЦ НЖК в группе ЕГ значимо ниже. А содержание МНЖК в группах мало различается из-за практически идентичных показателей  $\Sigma\omega$ -5 и  $\Sigma\omega$ -9, когда как концентрации  $\omega$ -7 МНЖК выше у лиц АГ.

Таблица 1 — Суммарное содержание (мкг/мл) семейств ЖК в сыворотке крови у коренного (АГ) и некоренного (ЕГ) населения Арктики

Показатель	АГ	ЕГ	Показатель	АГ	ЕГ
ΣКЦ	5,5 (3,5; 8,4)	3,5 (2,5; 4,9) <sup>1</sup>	Σω-9	388,0 (303,5; 479,9)	399,6 (324,9; 496,5)
ΣСЦ	55,2 (39,6; 72,3)	56,8 (43,4; 76,1) <sup>2</sup>	ΣМНЖК	437,3 (340,0; 539,3)	446,0 (356,3; 553,9)
ΣДЦ	806,4 (663,8; 982,7)	866,2 (718,4; 1044,5) <sup>1</sup>	Σω-3	63,1 (33,1; 104,3)	107,1 (64,6; 162,0) <sup>1</sup>
ΣНЖК	873,9 (712,9; 1059,0)	937,5 (776,3; 1118,3) <sup>1</sup>	Σω-6	746,1 (550,2; 964,0)	920,5 (725,0; 1123,4) <sup>1</sup>
Σω-5	1,6 (1,2; 2,4)	1,6 (1,2; 2,3)	ΣПНЖК	829,9 (597,9; 1075,0)	1035,5 (802,9; 1283,4) <sup>1</sup>
Σω-7	45,5 (32,0; 63,6)	38,2 (28,7; 54,6) <sup>1</sup>			

Примечание: <sup>1</sup> - p<0,001; <sup>2</sup> - p<0,05.

Анализ количественного потребления продуктов питания (табл. 2) показал, что потребление рыбы выше у лиц АГ. Традиционные мясные продукты ожидаемо больше потребляются аборигенами, а привозные – европеоидами. Потребление молочных продуктов выше в группе АГ. Для этой группы характерно также более высокое потребление продуктов с растительными жирами. Углеводсодержащих продуктов (продуктов с простыми углеводами, мучных, круп) больше потребляется также обследованными АГ, только потребление фруктов выше у контингента ЕГ. Количество потребляемых лесных ягод и овощей, включая картофель, в группах мало различалось.

Таблица 2 — Потребление продуктов питания (г/сут) среди коренного (АГ) и некоренного (ЕГ) населения Арктики

Продукты питания	АГ	ЕГ	p
Рыбные и морские продукты	146,7 (63; 463,8)	102,1 (62,3; 197,7)	<0,001
Традиционные мясные продукты	134,3 (86,5; 413,3)	41,5 (26,7; 113,8)	<0,001
Привозные мясные продукты	46,6 (18,65; 116,8)	78,74 (40,0; 171,3)	<0,001
Молочные продукты	144,1 (92,5; 349,3)	168,5 (104,4; 461,7)	0,007
Растительные жиры	29,1 (14,2; 200)	9,9 (17,8; 100)	0,007
Углеводсодержащие продукты	604,3 (421,4; 1351,7)	350,8 (231,9; 706,7)	<0,001
Фрукты	24,3 (13,3; 72,9)	72,9 (24,3; 170)	<0,001
Лесные ягоды	20 (8,2; 80)	26,7 (11,7; 50)	>0,05
Овощи	228,6 (111,4; 1000)	195,7 (119,6; 870,4)	>0,05

Питание народов Севера, имевших промыслово-оленьеводческое хозяйство, формировалось под влиянием условий обитания, особенностей труда и быта (поселки, кочевья) и национальных традиций. Климатические условия Севера требуют повышенной калорийности рационов, увеличенной потребности в белках и жирах и снижения потребности в углеводах. В связи с этим основу рациона оленеводов-кочевников, коими являются ненцы – коренные обитатели территорий НАО и ЯНАО – составляет оленина, а также рыба (сиговые породы, семга), дикоросы (ягоды, травы), которые обеспечивают высокое поступление в организм белков и жиров [5].

Оценка количественного потребления категорий продуктов в двух группах указывает на излишнее потребление аборигенными жителями углеводсодержащих продуктов. Несмотря на то, что обследована группа оседлых аборигенов, недостаточно потребление мяса (оленины). По данным литературы суточное среднее потребление мяса оленеводами составляет 500-800 г, в условиях поселка оно меньше – 400-500 г [5,

б). По нашим данным Ме суточного потребления оленины у АГ составила 114,3 г, среднее значение – 258,4 г.

Белково-липидный характер питания у коренных жителей Севера способствовал формированию полярного метаболического типа [1]. Со стороны липидного обмена он определялся нормальным или сниженным содержанием ТГ, повышением уровня СЖК, балансом между атерогенными и антиатерогенными классами липопротеинов, несмотря на обилие жиров в рационе [2, 7].

Изучение ЖК состава крови у различных популяций арктических территорий выявило повышение фракций ненасыщенных ЖК, в первую очередь, длинноцепочечных (ДЦ)  $\omega$ -3 [3, 8, 9]. Происходит это вследствие высокого потребления  $\omega$ -3 ПНЖК с рыбой и жиром морских млекопитающих [3, 8]. При сравнении профиля НЖК у коренного и некоренного населения Арктики регистрируются разночтения, как и при оценке влияния приверженности традиционной диете на содержание сывороточных НЖК [3, 8-11].

Нами установлено более высокое содержание НЖК у некоренного населения за счет повышения уровня ДЦ НЖК. Подобное различие может достигаться вследствие более высокого потребления АГ традиционных продуктов, прежде всего рыбы, а также жиров растительного происхождения, поскольку ненасыщенные жиры, диеты с высоким содержанием белка благотворно влияют на поддержание липидного гомеостаза [12]. Для лиц АГ характерно также достаточно высокое потребление молочных продуктов, что может вносить экзогенный вклад в нарастание у них содержания КЦ НЖК.

Различий в суммарном содержании МНЖК не обнаружено, однако уровень  $\omega$ -7 МНЖК выше у аборигенов. В работе Людиной А.Ю. с соавт. [10] также отмечено нарастание С16:1n7с – основной кислоты семейства  $\omega$ -7 – у коренных жителей вследствие усиления эндогенного липогенеза из-за повышенного потребления углеводов (хлеба и макарон).

Особый интерес вызывает факт регистрации сниженных уровней ПНЖК у АГ, как  $\omega$ -6, так и  $\omega$ -3, так как можно было ожидать обратную тенденцию с учетом более высокого потребления рыбы ( $\omega$ -3 ЖК) и растительных жиров ( $\omega$ -6 ЖК), а также, в случае с  $\omega$ -3 ЖК, с установленными адаптивными трансформациями ЖК профиля аборигенов Арктики – сдвигом в содержании семейств ПНЖК, который выражается повышением концентраций ДЦ  $\omega$ -3 ЖК с сопутствующим снижением содержания  $\omega$ -6 ЖК (арахидоновой и линолевой) [2, 3]. Последнее происходит из-за низкого поступления этих кислот с продуктами питания при традиционной диете (малое количество растительной пищи). Ряд авторов предполагают также низкую активность  $\Delta$ 5 десатуразы – фермента, ответственного за превращения в рядах  $\omega$ -6 и  $\omega$ -3 кислот вследствие генетических различий коренного и некоренного населения [3].

Таким образом, растительные жиры, видимо, не являются основной экзогенной составляющей, формирующей пул  $\omega$ -6 ЖК в крови у обследованных нами оседлых аборигенов. Отсутствие положительного для АГ сдвига в содержании  $\omega$ -3 ЖК может быть обусловлено крайне малой долей в рационе жира и мяса морских животных, которые наряду с северной морской рыбой имеют наиболее высокое содержание ДЦ  $\omega$ -3 ЖК, и наличием оленины, имеющей гораздо меньшее количество этих ЖК по сравнению с рыбой и морскими млекопитающими [3]. Кроме того, группа ЕГ представлена жителями, которые частично разделяют образ жизни аборигенов и проживают в тех же поселках, и в их рационе также присутствует рыба и традиционные мясные продукты и значимо меньше количество углеводовсодержащих продуктов. Сниженный сывороточный пул ПНЖК у АГ также может формироваться вследствие их усиленного использования в энергетических целях. В популяциях аборигенов активация обмена липидов обуславливается их преимущественным использованием как источников энергии [1].

*Выводы.* 1. У обследованных аборигенов арктических территорий, ведущих оседлый образ жизни, в сравнении с группой некоренных европеоидных жителей установлено снижение содержания в сыворотке крови ДЦ НЖК и ПНЖК ( $\omega$ -3 и  $\omega$ -6) на фоне повышения уровней КЦ НЖК и  $\omega$ -7 МНЖК.

2. Рацион питания некоренного населения носит западный (европейский) характер с элементами традиционной диеты коренных жителей. Рацион аборигенного населения можно обозначить как смешанную традиционно-западную диету, изменения структуры питания обусловлены снижением вклада традиционных мясных продуктов и включением большого количества углеводовсодержащих продуктов.

*Работа выполнена в соответствии с планом ФНИР ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН по теме «Эндокринное обеспечение и характер питания в формировании адаптивных изменений в липидном обмене у различных групп населения Арктики на современном этапе» (№ гос. регистрации 122011800399-2).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панин Л.Е. Гомеостаз и проблемы приполярной медицины (методологические аспекты адаптации) // Бюллетень СО РАМН. 2010. Т. 30, № 3. С. 6–11.
2. Бойко Е.Р. Физиолого-биохимические основы жизнедеятельности человека на Севере. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 192 с.
3. Young T.K., Gerrard J.M., O'Neil J.D. Plasma phospholipid fatty acids in the central Canadian arctic: biocultural explanations for ethnic differences // Am J Phys Anthropol. 1999. 109 (1). P. 9-18.
4. Мартинчик А.Н., Батулин А.К., Баева В.С., Пескова Е.В., Ларина Т.И., Забуркина Т.Г. Альбом порций продуктов и блюд. М.: Институт питания РАМН, 1995. 64 с.
5. Яковлева Н.В. Традиционное питание жителей Севера: монография. Архангельск: Поморский университет, 2005. 244 с.
6. Василькова Т.Н., Евай А.В., Мартынова Е.П., Новикова Н.И. Коренные малочисленные народы и промышленное развитие Арктики (этнологический мониторинг в Ямало-Ненецком автономном округе). Москва–Шадринск: изд-во ОГУП «Шадринский Дом Печати», 2011. 268 с.
7. Севостьянова Е.В. Особенности липидного и углеводного метаболизма у человека на Севере (Литературный обзор) // Бюллетень сибирской медицины. 2013. № 1. С. 93-100.
8. Dyerberg J., Bang H.O., Hjorne N. Fatty acid composition of the plasma lipids in Greenland Eskimos. Am J Clin Nutr. 1975. V. 28. P. 958-966.
9. Proust F., Lucas M., Dewailly E. Fatty acid profiles among the Inuit of Nunavik: current status and temporal change. Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids. 2014. V.90. № 5. P. 159-167.
10. Lyudinina A.Yu., Eseva T.V., Potolitsyna N.N., Chernykh A.A., Wojko E.R. Fatty acids composition and food consumption among reindeer herders and urban inhabitants of the European North of Russia. Rural Remote Health. 2014. V.14. № 2. P. 2539.
11. Bersamin A., Luick B.R., King I.B., Stern J.S., Zidenberg-Cherr S. Westernizing diets influence fat intake, red blood cell fatty acid composition, and health in remote Alaskan Native communities in the center for Alaska Native health study. Journal of the American Dietetic Association 2008. V. 108. № 2. P. 266-273.
12. Hydes T., Alam U., Cuthbertson D.J. The Impact of Macronutrient Intake on Non-alcoholic Fatty Liver Disease (NAFLD): Too Much Fat, Too Much Carbohydrate, or Just Too Many Calories? Front Nutr. 2021. № 8. P. 640557.

## РОЛЬ ФАКТОРА ПИТАНИЯ В АДАПТАЦИИ ЧЕЛОВЕКА К УСЛОВИЯМ ЗАПОЛЯРЬЯ

*Гмошинский И.В., Аксенов И.В., Смирнова Е.А.*

ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», г. Москва, gmosh@ion.ru

Природные условия Заполярья характеризуются наличием таких физических факторов как экстремально низкие температура и влажность воздуха, повышенный радиационный фон, нарушенный суточный ритм освещенности, которые способны оказать неблагоприятное влияние на здоровье человека [1]. Эти воздействия усугубляются в условиях интенсивных физических и нервно-психических нагрузок, а также неоптимального питания, что часто отмечается при вахтовом режиме работы. В меньшей, но также существенной степени среда Заполярья оказывает нежелательное влияние на здоровье представителей коренного населения Севера. В результате перенапряжения гипофизарно-гипоталамо-адренальной нейроэндокринной оси под действием условий полярной среды развивается не скомпенсированный стресс [2], проявлениями которого является состояние гиперкатаболизма, состоящее в усилении протеолиза, липолиза, распада мышечных белков, кетогенеза, глюконеогенеза. При этом из-за усиления внутриклеточного катаболизма, включающего пероксисомное  $\beta$ -окисление жирных кислот, возрастает продукция реакционноспособных форм кислорода и липоперекисей, приводящая к состоянию окислительного стресса [3]. На фоне этих процессов отмечается поливалентная активация иммунных клеток, включая Т-хелперы и макрофаги, сопровождающаяся выделением избыточных количеств провоспалительных цитокинов и развитием системного воспаления. Следствием патологических процессов, сопровождающих «полярный стресс» в его не скомпенсированной фазе, является повышение риска ряда сердечно-сосудистых (артериальная гипертензия, атеросклероз), эндокринных (сахарный диабет 2 типа), психических, а по некоторым данным [4] также и онкологических заболеваний.

Ввиду этого, профилактика неблагоприятных последствий «полярного стресса» является актуальной медицинской задачей, решение которой позволит намного улучшить качество жизни населения Заполярья, повысить производительность труда и эффективность использования природных ресурсов регионов Крайнего Севера. Как показывает проведенный нами анализ литературы [5], ведущую роль в этом играет оптимизация питания. Результаты экспедиционных исследований, выполненных сотрудниками ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» по оценке фактического питания работающего населения Арктической зоны Российской Федерации, показали наличие существенных алиментарных дисбалансов в рационах как коренного, так и пришлого населения Арктики, на примере поселков Тазовский и Гыда Ямало-Ненецкого автономного округа [6]. Были отмечены низкие уровни потребления овощей и фруктов, как коренным, так и пришлым населением, при высоком потреблении сахара и кондитерских изделий. Средние величины потребления добавленного сахара в % по калорийности рациона превышают рекомендуемую величину 10% в 1,4 раза у коренного населения и в 1,8 раза у пришлого населения. Содержание жира в рационе коренного населения было практически близко к рекомендуемым величинам, а у пришлого – превышало их. В среднем почти 17% энергии в рационе питания жителей Арктики поступало с белками, что в полтора раза выше рекомендуемой нормы физиологической потребности. Наиболее выраженным у обследованных лиц, как из коренного, так и из пришлого населения был недостаток витамина D. Для питания жителей полярных регионов характерно значительное потребление морской и проходной рыбы, богатой ПНЖК семейства омега-3, наиболее склонных к процессам перекисного окисления, что создает дополнительную потребность в пищевых антиоксидантных факторах, включая витамины E, C, микроэлементы цинк и селен.

Мероприятия по оптимизации питания жителей полярных регионов должны проводиться дифференцированно с учетом различий коренного и пришлого населения (включая лиц, работающих вахтовым методом) как с позиции различий в распространенности определенных генетических полиморфизмов [7], так и в свете наличия национальных традиций питания коренного населения. Максимальное использование в питании не только коренного, но и пришлого населения продуктов местного происхождения, включая рыбу, позволяет значительно улучшить обеспеченность критически важными антиоксидантными факторами, такими как коэнзим Q10, l-карнитин и селен.

Помимо достижения сбалансированного соотношения всех основных макро- и микронутриентов, при оптимизации питания жителей Заполярья большой интерес представляет использование минорных биологически-активных веществ пищи (БАВ, парафармацевтиков), способных при систематическом потреблении повысить адаптационные возможности организма в условиях действия факторов «полярного стресса». Ведущим драйвером этого адаптогенного потенциала является активизация процессов несократительного термогенеза, протекающего преимущественно в бурой жировой ткани вследствие разобщения процессов митохондриального бета-окисления жирных кислот и окислительного фосфорилирования. Вследствие такого разобщения, опосредуемого митохондриальными белками семейства UCP (uncoupling proteins), энергия мембранного протонного градиента не трансформируется в свободную энергию синтеза АТФ, а рассеивается в виде тепла. Большое число исследований, проведенных *in vivo* (у лабораторных животных) и *in vitro* (на культурах клеток) было посвящено поиску пищевых веществ, способствующих усилению экспрессии генов разобщающих белков *UCP1* и *UCP3* в жировой ткани и т.н. «побурению» адипоцитов, состоящему, преимущественно, в увеличении в них количества митохондрий [8-10]. Были получены данные об эффективности в этих процессах таких БАВ, как гидроксикоричные кислоты (хлорогеновая, феруловая, кофейная, п-кумаровая) [11], каротиноиды (ликопин, зеаксантин), капсаицин и его производные [12], янтарная кислота [13], теобромин [14], производные стильбена, включая ресвератрол [15], куркумин [16], биофлавоноиды [17]. Однако испытания этих т.н. «термогенных» добавок пока не вышли из стадии биологических экспериментов, и их эффективность не получила убедительного клинического подтверждения. С учетом высоких требований, предъявляемых в России и странах ЕАЭС к безопасности пищевой продукции, клинической апробации и внедрению новых специализированных продуктов и БАД к пище, предназначенных для включения в рацион жителей Заполярья, должны предшествовать развернутые доклинические испытания на биологических моделях *in vivo*, полным образом учитывающих разнообразие неблагоприятных факторов «полярного стресса». Такие модели, известные по публикациям в научной литературе, базируются на использовании либо только холодового воздействия (в форме экспозиции низкими температурами атмосферного воздуха или погружением в холодную воду, иногда, в сочетании с иммобилизацией или, напротив, физической нагрузкой) [18], либо исключительно нарушенного фотопериода [15]. Модели, в которых животные подвергались бы воздействию этих двух групп факторов в сочетании, в литературе не описаны.

В связи с этим, в ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» были проведены исследования по обоснованию комплексной модели «полярного стресса» у крыс, подвергаемых воздействию холода с экстремальной физической нагрузкой (истощающее плавание в холодной воде) в сочетании со световым десинхронизмом (суточный ритм освещенности 4/20 ч свет-темнота против 12/12 ч в контроле).

В исследовании были использованы 4 группы крыс самцов линии Вистар, из которых 1-я была контрольной, 2-я подвергалась истощающей физической нагрузке с охлаждением (плавание в воде температурой 18-20°C 5 раз в нед., в течение 30 суток),

третья - нарушенному ритму освещенности (4 часа – свет, 20 – темнота против 12/12 ч в контроле), четвертая – сочетанию двух этих факторов. Определяли прибавку массы тела, массу органов, исследовали гистологическую картину ткани печени, почек и тонкой кишки методом светооптической микроскопии, измеряли уровни катехоламинов методом ВЭЖХ, тиреоидных гормонов и кортикостерона методами иммуноферментного анализа, уровни цитокинов и хемокинов – с помощью мультиплексного иммуноанализа. Дополнительно проводили определение биохимических и гематологических показателей крови, ферментов антиоксидантной защиты, содержание глутатиона в печени. В результате показано, что у крыс трех экспериментальных групп при сравнении с контролем наблюдался связанный с «полярным стрессом» ответ 40 показателей, включая три интегральных, 18 – морфологических, девять – иммунологических и гематологических, четыре – эндокринных и шесть – биохимических. Наибольшее число изменений, характеризующих развитие связанной с «полярным стрессом» патологии – 25 (из них 19 – статистически достоверных при  $p < 0,05$ ), отмечено в группе, испытывающей сочетанное действие «холода» и «светового десинхроноза». Таким образом, впервые показано, что сочетание двух неблагоприятных факторов – холода с истощающей физической нагрузкой и уменьшения продолжительности светового дня оказывает наибольшее воздействие на организм экспериментальных животных, не вызывая у них, при этом, серьезной органической патологии и летальности, что может быть использовано при воспроизведении «полярного стресса» в доклинических исследованиях.

**Заключение.** Проведенная валидация *in vivo* новой модели полярного стресса, включающей сочетание холодового воздействия с нарушенным фотопериодом, позволяет обосновать её использование в доклинических испытаниях эффективности новых БАВ, рекомендуемых в качестве добавок к специализированным рационами питания в полярных условиях.

*Работа проведена за счет средств субсидии на выполнение государственного задания в рамках Программы фундаментальных научных исследований (тема Минобрнауки России № FGMP-2022-0001)*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Srivastava KK, Kumar R. Human nutrition in cold and high terrestrial altitudes. *Int J Biometeorol.* 1992;36(1):10-13.
2. Хаснулин В.И. Введение в полярную медицину. Новосибирск: СО РАМН, 1998.
3. Venditti P, Di Stefano L, Di Meo S. Oxidative stress in cold-induced hyperthyroid state. *J Exp Biol.* 2010;213(17):2899-2911.
4. Bandyopadhyaya S, Ford B, Mandal CC. Cold-hearted: A case for cold stress in cancer risk. *J Therm Biol.* 2020;91:102608.
5. Гмошинский И.В., Никитюк Д.Б. Полярный стресс: механизмы и моделирование в эксперименте. *Вестник РАМН.* 2022; 77(6): 447–457.
6. Батурич А.К., Погожева А.В., Кешабянц Э.Э., Старовойтов М.Л., Кобелькова И.В., Камбаров А.О. Изучение питания, антропометрических показателей и состава тела у коренного и пришлого населения российской Арктики. *Вопр. питания.* 2017;86(5): 12–18.
7. Батурич А.К., Сорокина Е.Ю., Погожева А.В., Кешабянц Э.Э., Кобелькова И.В., Камбаров А.О. и др. Изучение ассоциации полиморфизма rs993609 гена FTO и rs659366 гена UCP2 с ожирением у населения Арктической зоны Российской Федерации. *Вопр. питания.* 2017; 86(3): 32–39

8. Dempersmier J., Sambeat A., Gulyaeva O., Paul S.M., Hudak C.S., Raposo H.F., et al. Cold-inducible Zfp516 activates UCP1 transcription to promote browning of white fat and development of brown fat. *Mol Cell*. 2015;57(2):235–246.
9. Shi S.Y., Zhang W., Luk C.T., Sivasubramaniyam T., Brunt J.J., Schroer S.A., et al. JAK2 promotes brown adipose tissue function and is required for diet- and cold-induced thermogenesis in mice. *Diabetologia*. 2016; 59(1):187–196.
10. Robertson C.E., McClelland G.B. Ancestral and developmental cold alter brown adipose tissue function and adult thermal acclimation in *Peromyscus*. *J Comp Physiol B*. 2021;191(3): 89–601.
11. Li X, Lu HY, Jiang XW, Yang Y, Xing B, Yao D, et al. Cinnamomum cassia extract promotes thermogenesis during exposure to cold via activation of brown adipose tissue. *J Ethnopharmacol*. 2021;266:113413.
12. Salvio G., Petrelli M., Paolini S., Baldini V., Sbaffi C., Basili S., et al. Gender-specific effects of capsiate supplementation on body weight and bone mineral density: a randomized, double-blind, placebo-controlled study in slightly overweight women. *J Endocrinol Invest*. 2023;46(7):1415–1422.
13. Liu X., Chen Y., Zhao L., Tian Q., deAvila J.M., Zhu M.J., Du M. Dietary succinate supplementation to maternal mice improves fetal brown adipose tissue development and thermogenesis of female offspring. *J Nutr Biochem*. 2022;100:108908.
14. Tanaka E., Mitani T., Nakashima M., Yonemoto E., Fujii H., Ashida H. Theobromine enhances the conversion of white adipocytes into beige adipocytes in a PPAR $\gamma$  activation-dependent manner. *J Nutr Biochem*. 2022;100:108898.
15. Navarro-Masip È., Manocchio F., Colom-Pellicer M., Escoté X., Iglesias-Carres L., Calvo E., et al. *Vitis vinifera* L. bioactive components modulate adipose tissue metabolic markers of healthy rats in a photoperiod-dependent manner. *Mol Nutr Food Res*. 2023:e2300074.
16. Santos A.C.C., Amaro L.B.R., Batista Jorge A.H., Lelis S.F., Lelis D.F., Guimarães A.L.S., et al. Curcumin improves metabolic response and increases expression of thermogenesis-associated markers in adipose tissue of male offspring from obese dams. *Mol Cell Endocrinol*. 2023;563:111840.
17. Armani A., Feraco A., Camajani E., Gorini S., Lombardo M., Caprio M. Nutraceuticals in Brown Adipose Tissue Activation. *Cells*. 2022 ;11(24):3996.
18. Авакян А.Р., Бровкина И.Л., Лазарев А.И., Утешев Б.С. Иммуномодулирующее действие препаратов жирорастворимых витаминов после интенсивных физических нагрузок, выполняемых при низкой температуре окружающей среды Патологическая физиология и экспериментальная терапия. 2002;3:26–29.

## **ОСОБЕННОСТИ ИММУНОЛОГИЧЕСКОЙ РЕАКТИВНОСТИ ЖИТЕЛЕЙ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Губкина Л.В. , Самодова А.В., Добродеева Л.К.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лавёрова УрО РАН, г. Архангельск, wasillisa@list.ru

Комплекс природно-климатических факторов, характерный для Арктики, создает существенный риск для здоровья жителей [1; 2], вызывая более напряженную реакцию адаптации с повышенными энергозатратами и использованием не всегда экономичных вариантов регуляции и поддержания гомеостаза. У людей, проживающих в северном климате отмечается снижение иммунной защиты [3;4; 5]. Целью нашего

исследования явилось выявление особенностей иммунологической реактивности жителей, проживающих в Мурманской области.

В ходе работы было обследовано 315 практически здоровых на данный момент жителей пос. Ревда Мурманской области, 237 женщин и 78 мужчин, в возрасте от 21 до 50 лет. Группу сравнения составили 181 практически здоровых людей Архангельской области такого же возрастного диапазона, 138 женщин и 43 мужчины. Все исследования проводились в соответствии с требованиями документа "Хельсинкская декларация Всемирной медицинской ассоциации и Этические принципы проведения медицинских исследований с участием человека в качестве субъекта" (1964 г. с изменением и дополнением от 2013 г.), с получением согласия волонтеров, а также одобрены и утверждены комиссией по биомедицинской этике при ИФПА ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН (протокол №5 от 11.02.2022).

Комплекс иммунологического обследования включал изучение гемограммы, фагоцитарной активности нейтрофильных лейкоцитов периферической крови. Количество и соотношение клеток гемограммы подсчитывали в мазках крови, окрашенных по методу Романовского–Гимзе. Фагоцитарную активность нейтрофильных гранулоцитов определяли с помощью тест-набора «Реакомплекс» (Россия). На гематологическом анализаторе XS-500i (Sysmex, Япония) в периферической венозной крови обследуемых было определено WBC (общее количество лейкоцитов), RBC (общее количество эритроцитов), HGB (концентрация гемоглобина), HCT (гематокрит – доля объема крови, занимаемая эритроцитами), PLT (общее число тромбоцитов), PCT (тромбокрит – доля объема тромбоцитов от общего объема крови). Фенотипирование лимфоцитов проводили методом непрямой иммунопероксидазной реакции с использованием моноклональных антител («МедБиоСпектр», «Сорбент», г.Москва) и методом проточной цитометрии с помощью аппарата Epics XL фирмы «Beckman Coulter» (США) реактивами «Immunotech a Beckman Coulter Company» (Франция). Содержание провоспалительных цитокинов IL-6, IFN $\gamma$ , противовоспалительного цитокина IL-10 иммуноглобулина E, свободных межклеточных молекул адгезии sCD54 и sCD62L (реактивы Bender Medsystems, Австрия) определяли методом иммуноферментного анализа в сыворотке крови на автоматическом иммуноферментном анализаторе Evolis фирмы Bio-RAD (Германия). При статистической обработке данных использовали пакет прикладных программ «Statistica 21.0» (StatSoft, США). Полученные результаты представлены в виде среднего арифметического значения и ошибки среднего ( $M \pm m$ ). Для сравнения между группами использовали независимый выборочный t-критерий. Для данных двумерного нормального распределения был рассчитан коэффициент корреляции Пирсона. Критический уровень значимости ( $p$ ) в работе принимался равным 0,05.

Установлено, что у жителей Мурманской области, в отличие от людей, проживающих в Архангельской области, выше содержание эритроцитов, гемоглобина, тромбоцитов, уровни гематокрита и тромбокрита (таблица 1), что подтверждается увеличением в 1,6 раз частоты регистрации эритроцитоза ( $51,43 \pm 0,23$  против  $31,49 \pm 0,31\%$  соответственно), в 3,2 раза повышенного содержания гемоглобина ( $54,92 \pm 0,23$  и  $17,13 \pm 0,23\%$ ) и в 2,5 раза тромбоцитоза ( $21,90 \pm 0,15$  и  $8,84 \pm 0,16\%$ ). Увеличение эритроцитарных и тромбоцитарных показателей крови у жителей Арктики вероятнее всего можно считать механизмом адаптации к повышенной потребности в  $O_2$ . Увеличение гематокрита создает благоприятные условия для адгезии лейкоцитов на стенках сосудов и способствует агрегации эритроцитов в микрососудах [6].

Таблица 1 - Эритроцитарные и тромбоцитарные показатели венозной крови у жителей Архангельской и Мурманской областей (M±m)

Показатель	Жители Архангельской области (n=181)	Жители Мурманской области (n=315)
Эритроциты, 10 <sup>9</sup> кл/л	4,58±0,05	4,83±0,05***
Тромбоциты, 10 <sup>9</sup> кл/л	215,04±7,53	283,38±6,13***
Гемоглобин, г/л	136,05±1,52	148,31±1,24***
Гематокрит, %	40,23±0,39	43,42±0,40***
Тромбокрит, %	0,23±0,007	0,27±0,012

Примечание: \*\*\* p<0,001 – достоверность различий при сравнении результатов

У обследованных жителей Арктики в крови выше общее содержание лейкоцитов (7,50±0,34 и 5,32±0,12\*10<sup>9</sup> кл/л, p<0,001) за счет лимфоцитов (2,70±0,08 и 2,10±0,06\*10<sup>9</sup> кл/л, p<0,001), нейтрофилов (3,79±0,21 и 2,73±0,08\*10<sup>9</sup> кл/л, p<0,001), в т.ч. палочкоядерных (0,59±0,04 и 0,22±0,01\*10<sup>9</sup> кл/л, p<0,001) и сегментоядерных форм (2,88±0,12 и 2,50±0,08\*10<sup>9</sup> кл/л, p<0,001) соответственно, моноцитов (0,68±0,03 и 0,36±0,02\*10<sup>9</sup> кл/л, p<0,001), эозинофилов (0,26±0,02 и 0,12±0,01\*10<sup>9</sup> кл/л, p<0,001) и базофилов (0,15±0,02 и 0,04±0,01\*10<sup>9</sup> кл/л, p<0,001). В отличие от группы сравнения у жителей пос. Ревда выше в 7 раз частота регистрации лейкоцитоза, в 9 раз – лимфоцитоза, в 5,5 раз – нейтрофиллэза, в 4 раза – моноцитоза, в 13 раз – эозинофилии и в 8 раз – базофилии (рис.1.).

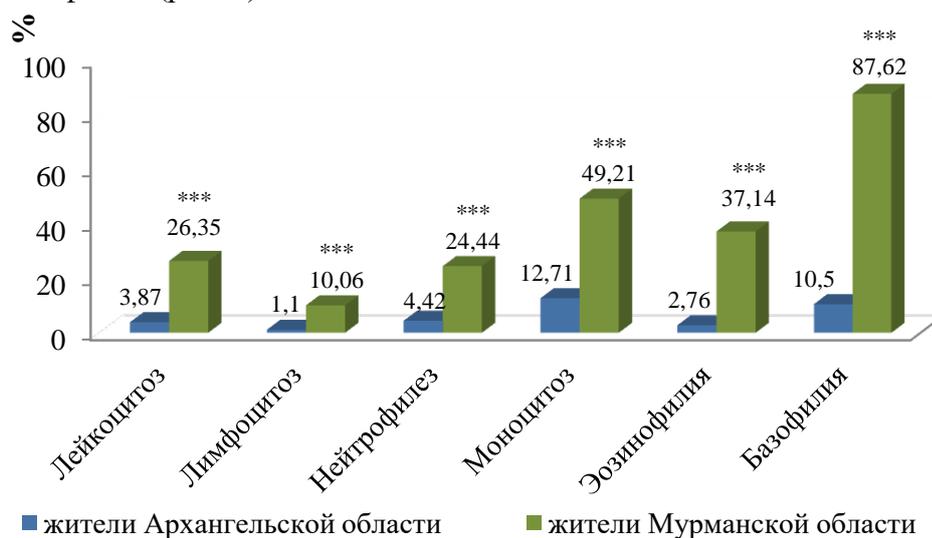


Рис. 1. - Частота регистрации повышенных концентраций клеток крови у жителей Архангельской и Мурманской областей

Примечание: \*\*\* p<0,001 – достоверность различий при сравнении результатов.

Фагоцитарная активность нейтрофилов в среднем у жителей Мурманской области ниже (51,46±0,92 и 65,42±1,10, p<0,001) без изменения фагоцитарного числа (5,46±0,10 и 5,52±0,25 шт.). Частота регистрации дефицита активных фагоцитов в 4 раза выше, чем в группе сравнения (47,62 % против 12,71%). Дефицит фагоцитарной защиты может быть связан с высоким содержанием незрелых нейтрофилов.

Повышенные значения лимфоцитов у жителей заполярного посёлка происходит преимущественно за счёт повышения уровня цитотоксических лимфоцитов CD8+ (0,57±0,03\*10<sup>9</sup> кл/л, p<0,001), натуральных киллеров CD16+ (0,56±0,04\*10<sup>9</sup> кл/л, p<0,001) и CD56+ (0,46±0,03\*10<sup>9</sup> кл/л, p<0,01), что подтверждается высокой частотой регистрации этих клеток (соответственно в 34,92%, 52,7% и 16,51% случаев) и свидетельствует об активизации клеточно-опосредованной и антителозависимой цитотоксичности.

Концентрация провоспалительного цитокина IL-6 находится в физиологических пределах содержания, однако, у жителей Мурманской области его концентрация значительно выше (рис. 2). В литературе есть данные, согласно которым, резкое увеличение содержания провоспалительного цитокина IL-6 установлено при гипоксии [7].

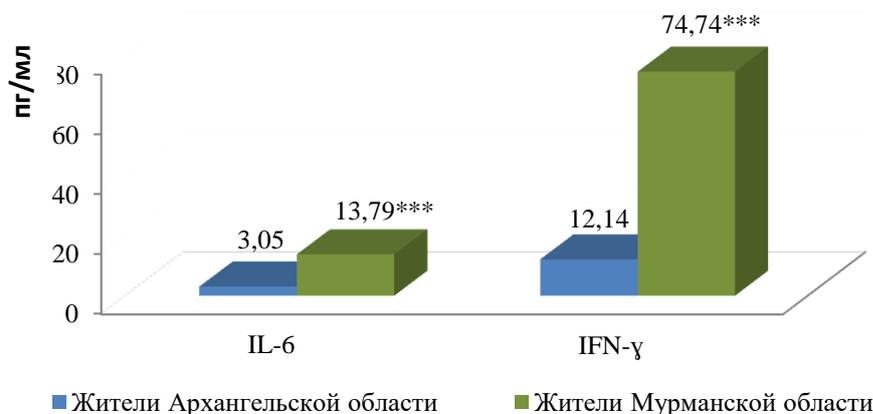


Рис.2 - Содержание цитокинов IL-6 и IFN-γ у жителей Мурманской и Архангельской области.

Примечание: \*\*\*  $p < 0,001$  – достоверность различий при сравнении результатов.

У жителей пос. Ревда выше концентрации свободных молекул межклеточной адгезии sCD54 ( $202,96 \pm 6,11$  и  $173,92 \pm 13,18$  нг/мл,  $p < 0,001$ ) и sCD62L ( $8,44 \pm 0,76$  и  $4,38 \pm 0,62$  нг/мл,  $p < 0,001$ ), которые способны формировать образование конгломератов клеток, ауторозеток и кластеров [8]. Концентрация провоспалительного IFN-γ выше у жителей Арктики (рис.2). Частота регистрации повышенного IFN-γ у обследованных жителей Мурманской области регистрировалась в  $72,38 \pm 0,27\%$  случаев. У  $14,60\%$  обследованных жителей пос. Ревда выявлены повышенные концентрации реагинов ( $79,72 \pm 11,23$  против  $55,32 \pm 10,16$  Ме/мл,  $p < 0,01$ ), что соответствует более высокому содержанию Т-лимфоцитов с рецептором к Fc IgE ( $0,53 \pm 0,04$  против  $0,30 \pm 0,02 \times 10^9$  кл/л;  $p < 0,001$ ) в  $32,06\%$  случаев. IgE связывается на лимфоцитах, макрофагах, моноцитах, эозинофилах, тучных клетках и базофилах. Fc-рецептор для реагинов CD23 участвует в регуляции ответа с участием иммуноглобулинов E [9]. Способность к антителозависимой цитотоксичности макрофаги и эозинофилы осуществляют через IgE-связывание. У жителей пос. Ревда увеличение концентрации IgE взаимосвязано с повышением концентрации эозинофилов ( $r=0,87$ ). Пероксидаза эозинофилов связывается с гранулами тучных клеток и при этом не теряет своей активности [10]. На поверхности эозинофилов есть рецепторы IgG, IgE, C3b, C4, C1s, C3a, C5a, соединение которых с антигеном обеспечивает цитотоксический эффект, при этом цитотоксический эффект эозинофилов резко усиливается продуктами секреции тучных клеток [11].

Итак, у жителей Мурманской области выше частота регистрации эритроцитоза, повышенного содержания гемоглобина, тромбоцитоза, а также показателей гематокрита и тромбокрита, что можно рассматривать как механизм адаптации к повышенной потребности в  $O_2$  в условиях Арктики. Установлена высокая частота регистрации в 7 раз лейкоцитоза, в 9 раз лимфоцитоза, в 5,5 раз нейтрофилёза, в 4 раза моноцитоза, в 13 раз эозинофилии и в 8 раз базофилии на фоне значительного уровня дефицита активных фагоцитов ( $47,62\%$  против  $12,71\%$ ), что свидетельствует о повышенной потребности иммунокомпетентных клеток в тканях. Особенностью иммунологической реактивности жителей арктического региона является преобладание реакций клеточно-опосредованной и антителозависимой цитотоксичности на фоне

увеличения провоспалительных цитокинов IFN- $\gamma$ , IL-6, реагинов, межклеточных молекул адгезии sCD54 и sCD62L.

*Работа выполнена в рамках программы фундаментальных научных исследований ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, № гос. регистрации темы 122011800217-9.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новосёлы на Европейском Севере / Гудков А.Б., Попова О.Н., Небученных А.А. / Эколого-физиологические аспекты: монография. Архангельск: Изд-во СГМУ, 2012. 285 с.
2. Труд и здоровье человека на Севере / Чашин В.П., Деденко И.И. / Мурманск. 1990. 104 с.
3. Добродеева Л. К. Эколого-физиологические подходы в решении вопросов районирования северных территорий // Экология человека. 2010. № 10. С. 3-11.
4. Жилина Л. П., Добродеева Л. К. Особенности иммунологической реактивности у взрослых лиц Архангельска в норме и при патологии // Экология человека. 2007. № 3. С. 37-40.
5. Ким Л. Б. Влияние полярного стажа на кислородотранспортную функцию крови у северян различного возраста // Арктика и Север. 2014. № 17. С. 150-162.
6. Гемореология (экспериментальные и клинические аспекты реологии крови) / Муравьев А. В., Чепоров С. В / Ярославль: ЯГПУ. 2009. 178 с.
7. Скаряднова Е.Ю., Чистякова Г.Н., Гагиева И.А. Определение содержания некоторых цитокинов для оценки иммунологической адаптации новорожденных // Российский иммунологический журнал. 2008. № 2-3, Т.2 (11). С. 332 – 333.
8. Самодова А.В., Добродеева Л.К. Соотношение содержания пула свободных рецепторов молекул адгезии и уровня активности иммунной системы у жителей Мурманской области // Физиология человека. 2019. Т. 45. № 1. С. 104–112. doi:10.1134/S0131164618060115
9. Luqiu Chen, Kristy A. Grabovski, JP Xin IL-4 induces differentiation of Th 2 cytokine-producing eosinophils // J. Immunol. 2004. 172(4) p. 2059-2066. doi: 10.4049/jimmunol.172.4.2059. PMID: 14764670.
10. Acharya K.R., Ackerman S.J. Eosinophil granule proteins: form and function // J Biol Chem. 2014. Jun 20; 289 (25). P. 17406-15. doi: 10.1074/jbc.R113.546218. Epub 2014 May 6. PMID: 24802755
11. Carlo Lombardi, Alvise Berti, Marcello Cottini The emerging roles of eosinophils: Implications for the targeted treatment of eosinophilic-associated inflammatory condition // Curr Res Immunol. 2022. Mar 21; 3: P. 42–53. DOI: 10.1016/j.crimmu.2022.03.002

#### ОБЩИЕ МЕХАНИЗМЫ АДАПТАЦИИ ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ

*Добродеева Л.К.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, dobrodeevalk@mail.ru

Термин адаптация (лат. adaptatio – приспособление) – введён Клодом Бернаром для обозначения совершенного приспособления существа к окружающей среде. Индивидуальная адаптация определяется как процесс в ходе жизни, в результате которого организм приобретает устойчивость к определённым факторам и получает возможность жить в данных условиях. Адаптационные и компенсаторные реакции могут обуславливать толерантность к фактору, сопротивление и восстановление

исходных параметров внутренней среды, но чаще быть смешанными, сочетанными. На севере необходимо адаптироваться к довольно неблагоприятным для человека климатическим условиям, в том числе дефициту тепла и солнечной радиации, необычной довольно длительной продолжительности полярной ночи и полярного дня, а также к условиям напряженной иономагнитной обстановки.

В эволюционном ряду от одноклеточных до позвоночных существуют единые принципы построения организма, формирования его функций и реакций, которые для обеспечения равновесия и устойчивости являются в разной степени динамичными. У всех организмов выявлены практически идентичные биологически активные вещества, выполняющие фактически одинаковые функции: белок очень близкий по структуре с АФП человека встречается практически у всех представителей животного мира, независимо от их эволюционного развития и обеспечивает процессы пролиферации и аутофагии; кальций связывающий белок S100 с удивительной эволюционной стабильностью обеспечивает межклеточные коммуникации и проведение сигнала по кальциевым каналам, участвует в процессах клеточного роста, подвижности, энергетического обмена и транскрипции; серотонин – самый древний медиатор (есть даже у бактерий) регулирует проницаемость и тонус клеточных мембран. Все секреторные реакции любой клетки, проведение всех сигналов и поглощение любых макромолекул контролируются циклическим аденозинмонофосфатом (цАМФ). Процессы активизации и инактивации реагирующих молекул обеспечиваются энзимами самой клетки. Везикулярные структуры, содержащие ферменты, характерны для любых клеток различных биологических объектов, их называют по-разному в зависимости от изучаемой функции: экзосомы, микровезикулы, синаптические везикулы [1, 2]. Секреторная активизация клетки обеспечивает узнавание и переваривание, аутофагию, фагоцитоз, класмацитоз и формирование ловушек. Таких примеров можно привести множество, суть не в перечислении, а необходимости понять их роль в формировании систем. Сегодня достаточно четко установлено только, что самые древние в эволюционном плане и самые консервативные биологически активные регуляторы адаптационных реакций обеспечивают первые этапы, а в случаях неудовлетворительной адаптации, сдаются последними. Выявление системообразующих свойств и интегративных характеристик реакций отдельных систем и тканей, возможно, позволит дифференцировать и даже прогнозировать механизмы формирования типов регуляторной адаптации: восстанавливающий состояние устойчивости единой целостной системы организма или вынужденный тип с риском патологической реакции и необходимости компенсации функции.

В ответ на влияние неблагоприятного фактора, несущего риск повреждения клетки (недостаточность кислорода, свето- и теплоощущений, влияние физических факторов, изменяющих взаимоотношения клетки и окружающей межклеточной среды, повышенные концентрации конечных продуктов обмена, нарушение осмотического давления, изменения Ph среды и клеточного цитозоля и т. д.), развивается реакция по узнаванию и проведению сигнала. Рецепторы в эволюционном плане специализируются в отношении узнавания субстрата, но чувствительность их далека от строгой специфичности. Как правило, рецепторы узнают наиболее консервативные эволюционно древние группы молекул, поэтому один и тот же рецептор может связываться с несколькими близкими по строению и конфигурации активными центрами субстрата. Для поглощения клеткой макромолекулы необходимо, чтобы все места связывания на лиганде и рецепторе взаимодействовали одновременно, но структура лиганда в отличие от жесткой структуры рецептора, конформационна. При увеличении количества и концентрации сигналов увеличивается и конкуренция за связывание лигандами, возрастает риск снижения активности проведения сигнала.

Процессы передачи, поглощения сигнальных молекул и реализация ответа клетки на сигнал являются энергоёмкими. Наиболее важным из числа богатых энергией

макроэргических соединений и эволюционно древним является аденозинтрифосфат (АТФ). От АТФ зависит активность одной из самых важных функций клетки при постоянной адаптации – функции аутофагии (общая закономерность такова, что чем меньше АТФ, тем менее активен ген TOR, ингибирующий образование комплекса белков APG, с которого начинается образование переваривающей лизосомы). Поэтому вещества, ингибирующие ген TOR (недостаточность АТФ и ацидоз), могут быть стимуляторами клеточного обновления. АТФ состоит из аденина, пятиуглеродной рибозы и трех фосфатных групп, которые придают способность АТФ легко гидролизоваться. Это сильно выраженное стремление к отщеплению концевых фосфатных групп обеспечивает фосфорилирование других соединений в организме за счет АТФ. Такой перенос энергетически осуществим потому, что он направлен от субстрата, обладающего более высоким запасом энергии к продуктам, занимающим менее высокий энергетический уровень. Участвующее в реакции вещество считают богатым энергией, если убыль свободной энергии составляет величину, превышающую 5 ккал на 1 моль реагента. При фосфорилировании глюкозы за счет АТФ высвобождается 7,5 ккал на моль реагента, а при гидролизе любого простого фосфатного эфира сахаров образуется только 3,2 ккал на 1 моль реагента. Клетки не запасают АТФ, они синтезируют его только в необходимый период, но сохраняют субстраты, необходимые для наработки АТФ – насыщенные и мононасыщенные жирные кислоты в форме триглицеридов. Для сопряжения потребляющих энергию процессов с вырабатывающими энергию реакциями катаболизма необходимо освобождение химической энергии порциями. Каждая из этих порций или квантов составляет примерно 7,5 ккал и соответствует образованию одного макроэргического фосфата (АТФ). Если энергия высвобождается в ходе одноэтапного прямого химического превращения, лишь небольшая её доля могла бы быть запасена, наибольшая часть энергии выделялась бы в виде тепла. Тепловая энергия необходима только для поддержания градиента температуры тела относительно окружающей среды и не может быть использована организмом для роста или анаболизма, для замещения жизненно важных компонентов тканей или для активизации и выполнения физиологических функций. У этого каскадного поэтапного производства энергии есть ещё одно преимущество в форме возможности обратного процесса – глюконеогенеза, который происходит в печени.

Регуляторные процессы адаптации обеспечивают адекватность, дозированность и поэтапность реакций. Гуморальная регуляция является наиболее древней. Адаптационные реакции фактически начинаются с выраженного ответа со стороны стресс-лимитирующих систем серотонинэргической и катехоламинов, которые участвуют в реакции клеточных мембран и гемодинамики. Вегетативная нервная система является более поздним и прогрессивным вариантом регуляции, но при этом элементы гуморального действия сохранены на уровне, как нейросекреции, так и передачи сигнала в синапсах. Симпатическая нервная система инициирует формирование синдрома ответной реакции, а парасимпатическая – функционально ему противодействует в стремлении сформировать оптимальную реакцию и восстановить исходный уровень. Например, в период полярной ночи, магнитных бурь явно выражено преобладание влияния парасимпатической регуляции.

Активированные клетки, получившие тот или иной сигнал, высвобождают комплекс биологически активных веществ. Серотонин, гистамин, ацетилхолин и катехоламины, простагландины и брадикинин секретируют практически любые клетки, в том числе клетки легочного эпителия, пищеварительного тракта, лейкоциты и тромбоциты. Несмотря на отличия в зависимости от типа секретирующей их клетки и её тканевой принадлежности, влияние этого комплекса практически одинаково, и основные различия эффекта влияния определяются последовательностью их секреции и

концентрациями. Низкие концентрации обычно стимулируют, высокие концентрации, как правило, тормозят развитие эффекта или полностью его подавляют.

В ЦНС в ответ на возбуждение активизируется процесс секреции ингибирующего кортикотропин-рилизинг фактора трансммиттеров и периферических медиаторов. Секреция кортикотропин-рилизинг фактора стимулируется теми же медиаторами - серотонином, гистамином, ацетилхолином, вазопрессином и т.д. Ингибирование секреции кортикотропин-рилизинг фактора происходит под влиянием глюкокортикоидов, нейротрансммиттеров типа опиоидных пептидов, субстанции Р и  $\gamma$ -аминобутировой кислоты. Выброс кортикотропин-рилизинг фактора через гипоталамо-гипофизарную систему стимулирует синтез дофамина, глюкокортикоидов, обеспечивая подавление адаптивных реакций активизации, а также ингибирует секрецию (стимулирующих) гормонов роста, половых и тиреоидных. Периферические медиаторы, интерлейкины и интерфероны тоже участвуют в центральных механизмах формирования этих реакций. Интерлейкин-1, например, вызывает увеличение синтеза кортикотропин-рилизинг гормона и выброса моноаминов, особенно в гипоталамусе. Этот цитокин обнаружен в нейронах гиппокампа, играющего важную роль в формировании реакции на стресс, поведенческой адаптации и процессах долговременной памяти.

В абсолютно-дискомфортных климатических условиях Арктики увеличивается микровязкость липидов вех клеточных и базальных мембран с повышением содержания холестерина и мононенасыщенных жирных кислот. В эритроцитах это снижает скорость деоксигенации внутриклеточного гемоглобина, замедляет выход кислорода, ухудшает реологические свойства крови [3, 4, 5]. Развитие северной тканевой гипоксии характеризуется изменениями на всех этапах доставки кислорода, начиная с внешнего дыхания, до потребления его тканями [6]. Синдром северной тканевой гипоксии и трофическая недостаточность капилляров, по существу, инициируют гемодинамические реакции, в регуляции которых участвуют те же серотонин, гистамин, каликринин-кинины, простагландины и катехоламины. Глюкокортикоиды пролонгируют срочные приспособительные реакции, индуцированные вазомоторными аминами и катехоламинами, создают фонд свободных аминокислот в пользу образования жиров и углеводов, и предупреждают развитие избыточных тканевых реакций путем угнетения секреции гормонов [7, 8].

В полной мере адаптироваться к резко выраженной смене полярной ночи и полярного дня, дефициту тепла и солнечной радиации, к магнитным бурям могут далеко не все. Часть населения, вероятно, имеет относительно высокую степень уязвимости к действию природных факторов среды и не обладает возможностью полного восстановления исходных уровней. В зависимости от изучаемого параметра оценки адаптационной способности среди взрослых людей трудоспособного возраста полного восстановления исходных параметров гомеостаза не наблюдается в 19-31%.

В случаях сокращения резервных возможностей адаптации клетка приобретает новое устойчивое равновесное состояние, совместимое с жизнеспособностью, несмотря на то, что лишается в той или иной степени своих специализированных функций. Такая клетка проявляет автономность разной выраженности по отношению к соседним клеткам своей популяции, не получает сигналов, не образует межклеточные контакты, не подчиняется аутокринной и паракринной регуляции и даже теряет способность к контактному торможению подвижности и митоза. Существует несколько всеобщих механизмов такой ингибиции: ингибиторы есть среди цитокинов (интерлейкин-10), вазомоторных аминов (дофамин), гормонов (кортизол). Подавляют активность клетки мембранные протеазы, сбрасывающие рецепторы с мембраны (шеддинг); в случаях риска срыва адаптационных механизмов у работающих в Арктике резко увеличиваются в плазме концентрации свободных ко-стимулирующих молекул, молекул адгезии и их лигандов, рецепторов к трансферрину, Fc-фрагменту иммуноглобулинов. Чрезмерные

концентрации самых различных стимуляторов, медиаторов (серотонин, гистамин, простагландины, калликрен-кинины, катехоламины, гормоны) и малых по размерам протеинов (гемоглобин, тромбин, факторы свертывания крови, лактоферрин, белки острой фазы, белки теплового шока, цитохром С, предшественники  $\beta$ -амилоида, ретинолсвязывающий протеин, компонент С3 комплемента, эпидермальный фактор роста, эндотоксин-А, аминоглюкозиды и другие) ассоциированы со снижением активно функционирующих фагоцитов, Т-лимфоцитов, зрелых пролиферирующих клеток на фоне повышения концентраций и удельного веса клеток, меченных к программируемой гибели (апоптозу) и некрозу. Все эти вещества являются конкурентами связывания при взаимодействии лиганда и рецептора, и при увеличении концентраций усугубляют эти конкурентные взаимоотношения. Ингибция или блокада рецепторной активности клетки осуществляется также путем секреции клеткой различных ингибиторных молекул. Маркеры истощения активности миелоидных и лимфоидных клеток (LAG-3, TIM-3, TGF- $\alpha$ 1, TIGIT, CTLA4, а также PD-1 и его лиганд PD-L1) выявляются при злокачественных новообразованиях, концентрации их нарастают при различных хронических воспалительных процессах, медленных вирусных инфекциях и хроническом стрессе. Конечный эффект определяется уровнем выраженности этих реакций; когда количество переходит в качество, а процесс физиологического назначения обуславливает реакции патологического уровня, клетки различными путями осуществляют торможение функциональной активности. Одним из общих механизмов торможения активности клетки является активизация антагониста цАМФ циклического гуанозинмонофосфата (цГМФ). Циклический гуанозинмонофосфат активируется ацетилхолином, паратиреоидином (точнее увеличением концентрации кальция) и натрийуретическим пептидом. Циклический гуанозинмонофосфат подавляет активность проведения сигнала через цАМФ, но активирует фосфорилирование сократительных мембранных белков, что ассоциировано с митозом.

*Работа выполнена в рамках программы фундаментальных научных исследований, № гос. регистрации 122011800217-9.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pap E., Pásztoi M., Falus A., Pállinger E. Highlights of a new type of intercellular communication: microvesicle-based information transfer // *Inflammation Research*. 2009. V. 58, № 1. P. 1-8.
2. Vykhovskaia M. Synapsin regulation of vesicle organization and functional pools // *Seminars in Cell and Developmental Biology*. 2011. V. 22, № 4. P. 387-392.
3. Панин Л. Е. Энергетические аспекты адаптации. – Л. Медицина, 1978. 192 с.
4. Марачев А.Г. Морфофункциональные основы адаптации и патологии легких, сердца и красной крови человека в условиях Крайнего Севера: Автореф. дис. . . . докт. мед. наук. - М., 1980. 60 с
5. Марачев А.Г., Сороковой В.И., Корнев А.В. Биоэнергетика эритроцитов у жителей Севера // *Тер. арх.* 1982. Т. 8, №3. С. 407–415.
6. Ким Л. Б. Влияние полярного стажа на кислородотранспортную функцию крови у северян различного возраста // *Арктика и Север*. 2014. – №17. – С. 150– 162. Ghrousos G.P. et al., 2000.
7. Ostrander M.M., Richtand N.M., Herman J.P. Stress and amphetamine induce Fos expression in medial prefrontal cortex neurons containing glucocorticoid receptors // *Brain Research*. 2003. Т. 990. № 1-2. С. 209-214.
8. Shaikhelismanova M.V., Dikopol'skaya N.B., Sitdikov F.G., Bilalova G.A. Adrenal gland hormones in primary school children // *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. 2015. Т. 158. № 6. С. 715-717.

## ВЗАИМОСВЯЗЬ РАЗНЫХ УРОВНЕЙ ВИТАМИНА А С ТИРЕОИДНОЙ ФУНКЦИЕЙ У ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ

*Елфимова А.Э., Типисова Е.В., Бичкаева Ф.А., Молодовская И.Н., Аликина В.А., Зябишева В.Н.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, a.elfimova86@mail.ru

Витамин А (ретинол) является одним из важнейших жирорастворимых витаминов и играет ключевую роль в регуляции иммунного ответа, делении и дифференцировке эпителиальных клеток слизистых оболочек бронхолегочной системы, желудочно-кишечного тракта, мочевыводящих путей, глаз, а также является антиоксидантом и участвует в регуляции активности щитовидной железы [1]. Известно, что в условиях высоких широт развивается полярный вариант метаболизма, который предполагает повышенную потребность в жирорастворимых витаминах [2].

Архангельская область относится к Арктической зоне Российской Федерации и на ее территории проживают представители как аборигенного населения различного уклада жизни (кочевого и оседлого), так и местного европеоидного, имеющие свои особенности питания и метаболизма, что может отражаться на содержании ретинола в крови.

В связи с этим, целью данной работы было оценить содержание витамина А в крови, а также взаимосвязь разных уровней витамина А с тиреоидной функцией у представителей различных групп населения Арктики.

**Материалы и методы.** Проведено одноцентровое обсервационное поперечное исследование практически здоровых жителей поселков Архангельской области (64°42' – 67°58' с.ш.): 145 человек местного европеоидного населения и 136 человек аборигенного населения (всего 281 человек), среди которого доля тундровых кочевых аборигенов составила 34%, поселковых – 66%. Принадлежность к группе населения определялась на основе результатов анкетирования. Обследования проводились в период увеличения продолжительности светового дня (февраль-март) при добровольном участии и соблюдении этических норм, изложенных в Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации 1964 года с изменениями и дополнениями 2013 года, с одобрения Комиссии по биомедицинской этике при Институте физиологии природных адаптаций ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН (протокол от 02.02.2009, от 04.02.2013). Концентрацию витамина А в сыворотке крови определяли флюорометрическим методом, а содержание тиреоидных показателей – иммуноферментным методом. Измеряли уровни тиреотропного гормона (ТТГ), тироксина (Т<sub>4</sub>), трийодтиронина (Т<sub>3</sub>), свободного тироксина (св.Т<sub>4</sub>), свободного трийодтиронина (св.Т<sub>3</sub>). Также рассчитывали интегральный тиреоидный индекс (ИТИ = (св.Т<sub>3</sub>+св.Т<sub>4</sub>)/ТТГ). Статистическая обработка данных проведена с использованием программы STATISTICA 10.0 (StatSoft, INC. USA). Взаимосвязь показателей оценивали с помощью дисперсионного анализа с апостериорным попарным сравнением групп критерием наименьшей значимой разности. В случаях отклонения распределения признака от нормального, переменные были логарифмически преобразованы, чтобы уменьшить асимметрию распределения.

**Результаты и обсуждение.** Самые высокие значения витамина А выявлены в группе кочевых аборигенов, причем у 41,3% лиц его значения превышают верхний рекомендуемый предел (табл.1). В то же время у аборигенного населения, проживающего в поселках, отмечены самые низкие значения ретинола с выявленным дефицитом у 18,9% лиц. Одной из причин таких различий может являться изменение характера питания в связи с переходом на оседлый образ жизни. Традиционная еда тундровых ненцев включает в себя ежедневное употребление мяса и жира оленя,

которые богаты витамином А [3], и достаточное потребление свежей местной рыбы, ягод и дикоросов по сезону также с высоким содержанием ретинола [4], в то время как в рационе оседлых аборигенов по анкетным данным потребление свежей рыбы, оленины, овощей и фруктов недостаточное.

Таблица 1 – Содержание витамина А у жителей Арктики

Группа	n	Me	10%; 90%	p	% лиц ниже нормы	% лиц выше нормы
Кочевые аборигены (1)	46	2,77	1,84; 4,01	< 0,0001 (1-2)	0	<b>41,3</b>
Поселковые аборигены (2)	90	1,35	0,88; 2,36	< 0,0001 (1-3)	<b>18,9</b>	4,4
Местные европеоидные (3)	145	2,10	1,39; 2,79	< 0,0001 (2-3)	3,4	9,7

Для анализа взаимосвязей разных уровней витамина А с тиреоидным профилем, значения витамина А были разделены на квартили в соответствии с группой населения. Выявлено, что при сниженных концентрациях витамина А (1 квартиль) значения ТТГ у всех обследуемых выше, чем во 2 и 3 квартилях (рис.1). Наиболее значимо это проявляется у местного европеоидного населения.

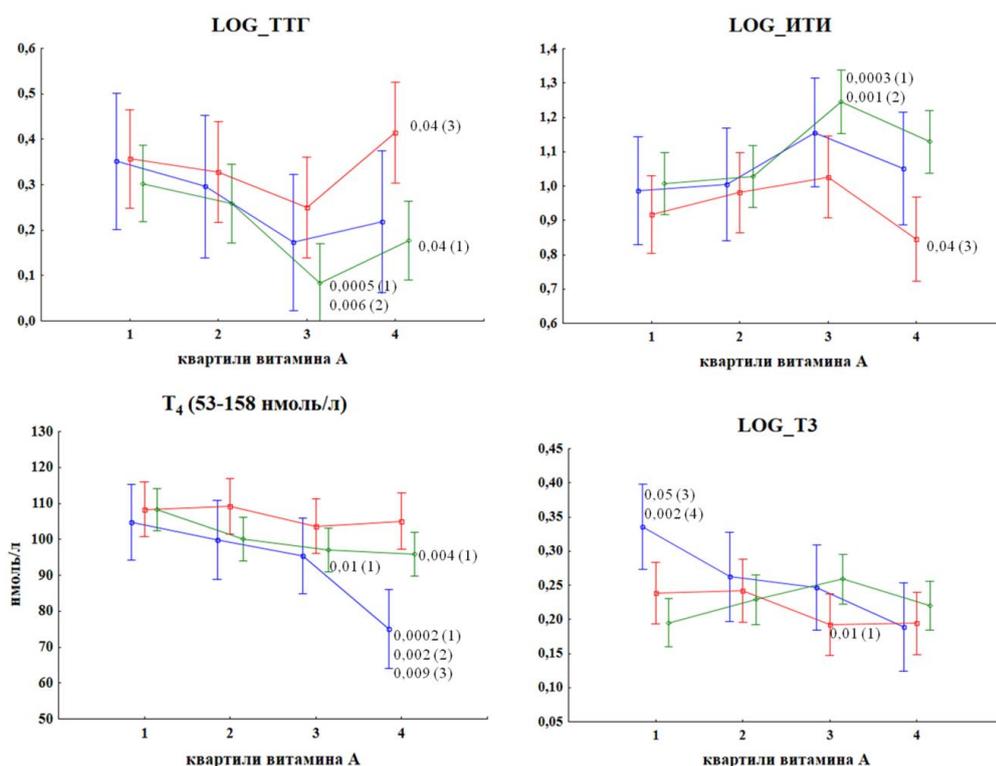


Рис. 1 – Влияние витамина А и группы населения на показатели тиреоидного профиля у жителей Арктики

Примечания: Синий график – кочевые аборигены; красный график – поселковые аборигены; зеленый график – местное европеоидное население. Цифрами обозначен уровень статистической значимости по сравнению с другими квартилями.

Известно, что ретиноевая кислота способна подавлять экспрессию тиреотропного гормона (ТТГ) в гипофизе [5], а дефицит витамина А сопровождается повышением синтеза ТТГ, уменьшением захвата йода щитовидной железой и увеличением ее размеров [6]. Нами также было показано повышение риска

возникновения субклинического гипотиреоза у женщин в 2,01 раза при уровне витамина А ниже 1,39 мкмоль/л [7]. При этом, у обследованных нами лиц со сниженными значениями витамина А концентрации тироксина достаточно высокие. Возможно, недостаток ретинола может изменять чувствительность щитовидной железы к ТТГ и/или периферический метаболизм гормонов щитовидной железы. Кроме того, можно отметить некоторую тенденцию к повышению уровня ТТГ в 4 квартиле. В противоположность изменениям ТТГ меняются значения ИТИ во всех группах обследованных лиц с наименьшими значениями у лиц в 1 квартиле витамина А. Известно, что снижение ИТИ отражает даже начальные стадии гипотиреоза [8].

Среди кочевых аборигенов, у которых выявлена высокая частота встречаемости сверхнормативных уровней ретинола, отмечаются сниженные уровни  $T_4$  и  $T_3$  в 4 квартиле. Также более низкие уровни  $T_4$  у лиц в 4 квартиле витамина А обнаруживаются среди европеоидного населения и  $T_3$  – среди оседлого аборигенного населения. Есть мнение, что высокие дозы витамина А могут повышать проницаемость мембран, влиять на биосинтез мембранных соединений и изменять гистологическую структуру эпителия, что приводит к большей проницаемости клеток для гормонов щитовидной железы и объясняет снижение уровней тиреоидных гормонов в сыворотке [9]. Это подтверждается нашими данными о повышении тканевого метаболизма тиреоидных гормонов при высоких значениях ретинола [7].

Таким образом, наибольшие значения витамина А выявлены среди кочевых аборигенов, наименьшие – среди оседлых аборигенов. Высокий уровень ретинола у аборигенного населения, ведущего традиционный образ жизни, может свидетельствовать о более широких резервных возможностях, влияя в том числе на активность метаболизма тиреоидных гормонов, необходимых для энергетических и адаптационных процессов. Изменение традиционного образа жизни и характера питания приводит к возникновению дефицита витамина А у оседлого аборигенного населения, что несомненно может иметь негативные последствия для здоровья.

Оптимальная физиологическая активность щитовидной железы регистрируется у лиц во 2 и 3 квартиле витамина А. Как сниженные, так и повышенные уровни ретинола могут оказывать влияние на повышение уровня ТТГ, а сверхнормативные уровни ретинола могут обуславливать значительное снижение тиреоидных гормонов в крови.

*Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания по темам «Фотопериодическая зависимость физиологических эффектов дофамина на функциональную активность систем гипофиз – щитовидная железа и гипофиз – гонады у жителей Арктических территорий» (№ гос. регистрации 122011800392-3) и «Эндокринное обеспечение и характер питания в формировании адаптивных изменений в липидном обмене у различных групп населения Арктики на современном этапе» (№ гос. регистрации: 122011800399-2) с использованием оборудования ЦКП КТ РФ-Арктика (ФИЦКИА УрО РАН).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орлова С.В., Никитина Е.А., Карушина Л.И. и др. Витамин А: позиция диетолога // Медицинский алфавит. 2020. № 21. С. 49–57.
2. Нагорнев С.Н., Бобровницкий И.П., Юдин С.М., Худов В.В., Яковлев М.Ю. Влияние климатогеографических факторов Арктики на здоровье человека: метаболические и патофизиологические аспекты // Russian journal of rehabilitation medicine. 2019. № 2. С. 4-30.
3. Першина И.В. Особенности питания жителей Крайнего севера // Научный вестник Арктики. 2019. № 6. С. 97-107.

4. Никифорова В.А., Лапина С.Ф., Кирюткин С.А. Традиционное питание как основа сохранения здоровья коренного населения Севера Красноярского края и Иркутской области // Проблемы социально-экономического развития Сибири. 2021. № 3. с. 115-124.
5. Wolf G. The regulation of the thyroid-stimulating hormone of the anterior pituitary gland by thyroid hormone and by 9-cis-retinoic acid. *Nutr Rev.* 2002. Vol. 60. № 11. P. 374–377.
6. Zimmermann MB, Jooste PL, Mabapa NS, et al. Vitamin A supplementation in iodine-deficient African children decreases thyrotropin stimulation of the thyroid and reduces the goiter rate. *Am J Clin Nutr.* 2007. Vol. 86. № 4. P. 1040–1044.
7. Елфимова А.Э., Типисова Е.В, Бичкаева Ф.А., Молодовская И.Н., Власова О.С., Грецкая Т.Б. Взаимосвязь витамина А и функции щитовидной железы у жителей Арктики // Вопросы питания. 2023. Т. 92. № 4. С. 66-73.
8. Попкова В.А., Типисова Е.В., Горенко И.Н., Ставинская О.А. Способ выявления риска нарушения функционального состояния щитовидной железы у коренного и местного населения Арктической зоны Российской Федерации. Патент РФ на изобретение RU 2688207 С1, 21.05.19. Заявка №2018113232 от 11.04.18.
9. Garcin H., Higuieret P., Amoikon K. Effect of a large dose of retinol or retinoic acid on the thyroid hormones in the rat // *Ann Nutr Metab.* 1984. № 28. P. 92–100.

## **АНАЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ НАСЕЛЕНИЯ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ ФАКТОРОВ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ**

*Ефимова Н.В.<sup>1</sup>, Горнов А.Ю.<sup>2</sup>, Зароднюк Т.С.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований, г. Ангарск.  
medecolab@inbox.ru

<sup>2</sup> Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН,  
г. Иркутск

Возрастающее стратегическое значение Арктической зоны для развития экономики и обеспечения национальной безопасности страны диктует необходимость решения не только экономических задач по освоению богатейших углеводородных ресурсов, но и социальных вопросов, включающих состояние здоровья в изменяющихся условиях среды обитания человека. Цель исследования – разработать математические модели и оценить вариабельность заболеваемости населения ЯНАО в условиях изменения факторов среды обитания.

Эпидемиологическое исследование направлено на оценку изменений первичной заболеваемости в зависимости от уровней воздействия факторов среды обитания, с учетом рекомендаций международных проектов по изучению влияния комплекса факторов на здоровье населения. По материалам учреждений здравоохранения изучены изменения заболеваемости (первичной и общей) в динамике. Для анализа данных использованы методы факторного, регрессионного, корреляционного анализа. Прогноз рассчитан на модели, сформированной по наиболее значимым факторам, с шагом на 3 года.

Разработана специализированная методика анализа данных, основанная на предложенных модификациях оператора Шепарда. Проведен факторный анализ системы основных показателей здоровья населения и условий жизнедеятельности, включающий 4 подсистемы и 25 элементов, с целью выявления и отсеивания отклоняющихся прецедентов. Разработаны специализированные метрики в

пространстве экспериментальных данных и подобраны типы критериев качества для задач параметрической идентификации моделей здоровья населения. Предложен модифицированный вариант данной модели с дополнительными параметрами,  $w_j$  которые можно интерпретировать как веса соответствующего фактора (переменной исходного пространства). Очевидно, что если  $w_j = 0$ , то значение соответствующего ( $j$ -го) фактора не влияет на вычисляемое значение функции Шепарда, и его можно исключить из модели и последующих расчетов. Для определения значений параметров  $w$  предложено проведение процедуры оптимизации функционала, оценивающего качество работы построенной модели. Предложенный функционал  $F^*(w)$  по сути представляет собой один из вариантов реализации метода скользящего контроля (кросс-валидации). Выбранный минимизируемый функционал — невыпуклый и недифференцируемый, что накладывает определенные ограничения на методы оптимизации, которые можно использовать для решения этой задачи. В работе применены глобализованные методы покоординатного спуска и поиска по случайному направлению. Для всех элементов  $w$  на старте были выбраны параллелепипедные ограничения -  $[0,1]$ , а значения оптимизируемых переменных  $w$  установлены в 1. При таких настройках модифицированная модель Шепарда становится эквивалентной исходной. Глобализованный покоординатный спуск осуществляет последовательный одномерный поиск по каждой из координат пространства параметров,  $w$  в выбранном диапазоне путем построения случайной сетки с достаточно большим числом узлов (100 - 1000), и переходом в найденный на очередной итерации минимум. Реализован и протестирован рандомизированный вариант этого метода со случайным выбором очередной оптимизируемой переменной, для повышения надежности глобального поиска использована методика случайного мультистарта.

Для выявления наиболее важных факторов внешней среды были рассмотрены две подсистемы. 1. Социально-экономическая подсистема отражает уровень жизни населения – категорию, характеризующую потребление человеком материальных, культурных и социальных благ в сравнении с социальными нормативами. Из большого разнообразия социальных факторов нами рассмотрены те, которые определяют качество и доступность медицинской помощи: расходы на здравоохранение, обеспеченность врачами и больничными койками, число выездов скорой помощи, охват населения профилактическими осмотрами. 2. Экологическая подсистема включает климатические параметры, геомагнитные вариации (локальный геомагнитный индекс), уровень техногенного воздействия на окружающую среду. В характеристику природно-климатических факторов включены среднегодовая температура ( $T^{\circ}C$ ), скорость ветра (м/с). Качество объектов окружающей среды оценивали по наиболее значимому признаку для промышленно развитых территорий – загрязнению атмосферного воздуха. В качестве показателей загрязнения использовали: коэффициенты опасности, представляющие отношение среднегодового содержания примесей к референтной концентрации при хроническом ингаляционном воздействии; индексы опасности (НИ), в соответствии с Руководством по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду (Р 2.1.10.1920-04).

Результаты проведенного факторного анализа позволили выявить ключевые предикторы для каждой из моделей и существенно уменьшить их размерность. Наиболее значимыми для детского населения являются условия внешней среды (температура, загрязнение атмосферного воздуха) и доступность медицинской помощи, характеризуемая несколькими показателями. Для подросткового и взрослого населения высокую значимость имеют следующие природные факторы: давление, скорость ветра, а также некоторые параметры загрязнения атмосферы и обеспеченность врачами, доступность помощи, приближенной к населению (посещения фельдшерско-акушерских пунктов, количество стационарных коек (таб.1)

Заболееваемость органов дыхания ассоциирована с уровнем химического загрязнения:  $r=0,68-0,71$ , температурой  $r=(-0,62)-(-0,75)$ ; органов кровообращения у взрослых – с геомагнитным коэффициентом, перепадами давления, содержанием твердых частиц в атмосфере ( $r=0,46-0,51$ ). При изучении значимости факторов внешней среды для формирования уровня первичной заболеваемости населения проведено их ранжирование. Значимость факторов внешней среды для суммы классов болезней для детского населения в 1,8 раза выше, чем для взрослого и в 7,3 раза – чем для подросткового. Интересно отметить, что рассматриваемые природные факторы имеют иную значимость для заболеваемости органов дыхания. Анализ системы «заболеваемость населения – условия жизнедеятельности» показал, что для детей значимость суммы изучаемых факторов в 2,7 раза выше, чем у взрослых, и в 8,0 раз, чем у подростков. Для болезней органов кровообращения рассматриваемые факторы оказались важны только для группы взрослого населения. Таким образом, для двух возрастных групп условия природной среды имеют большую значимость, поэтому проведем ранжирование факторов по значимости для детского и взрослого населения. Для детского населения ранговый ряд имеет следующий вид: вариативность магнитного поля > загрязнение атмосферного воздуха > частота перепадов давления > температура атмосферного воздуха > скорость ветра. Для взрослого населения ранговый ряд по заболеваемости для всех классов болезней выглядит следующим образом: скорость ветра > загрязнение атмосферного воздуха > вариативность магнитного поля > температура атмосферного воздуха > частота перепадов давления, а для болезней органов кровообращения: вариативность магнитного поля > загрязнение атмосферного воздуха > температура атмосферного воздуха. Полученные с помощью факторного анализа данные позволили дополнить ряд предикторов, определяющих уровень показателей потерь здоровья населения Арктической зоны, представленный в работах [1-3].

Таблица 1 - Значимость факторов для моделей первичной заболеваемости различных групп населения

Факторы	Дети	Подростки	Взрослые
Среднегодовая температура воздуха	1.0000		
Среднегодовая скорость ветра		0.7216	0.9921
Среднегодовое давление		1.0000	0.9997
Годовой расход топлива		1.0000	
Выбросы загрязняющих веществ		0.9977	0.8419
Диоксид серы	1.0000		
Взвешенные вещества	0.9999	0.9988	0.9989
Индекс опасности для органов дыхания	1.0000		
% охвата при профилактических осмотрах	1.0000	1.0000	1.0000
Обеспеченность врачами (на 1000 человек)		1.0000	1.0000
Обеспеченность средним медперсоналом (на 1000 человек)	1.0000		
Укомплектованность врачами	1.0000		
Количество посещений ФАП	0.9367	0.9722	0.9713
Количество коек			0.9997
Работа койки в году	1.0000		1.0000
Число выездов скорой помощи (на 1000 человек)		0.4207	

В силу дефицита информации технология прогнозирования базируется на «расширенной» обучающей выборке, генерируемой на основе исходной. Основная гипотеза, закладываемая на этом этапе, состоит в непрерывности процессов, происходящих в системе. Для получения на основе идентифицированной («обученной») модели прогнозов необходимо, задав в качестве входных переменных начальные значения вектора моделируемых переменных и планируемые управляющие воздействия, проинтегрировать численно систему дифференциальных уравнений. Значения фазовых переменных в конечный момент времени и будут оценивать моделируемые переменные в прогнозируемый момент времени. С применением предложенной технологии сгенерирована прогнозная модель, позволяющая оценивать состояние системы через год после принятия неизменяемых управленческих решений. Модель в виде системы обыкновенных дифференциальных уравнений включает моделируемые переменные (заболеваемость детей, подростков и взрослых), и управляющие воздействия.

Так как одной из важнейших задач профилактической медицины является предотвращение формирования хронических заболеваний у подрастающего поколения, нами изучена зависимость заболеваемости детей от наиболее информативных факторов. В эпидемиологических исследованиях доказана сезонность заболеваемости по классу органов дыхания в целом и ОРВИ. Однако нет работ, направленных на выявление роли метеоусловий как таковых, без дополнительного вклада «вспышечной» заболеваемости. С помощью коэффициента регуляризации мы попытались избежать излишнего влияния «эпидемического подъема» ОРВИ в зимний период на изучаемый показатель, чтобы оставить только влияние климатических факторов (коэффициент регуляризации =1).

В результате расчетов по математической модели, «обученной» на данных с «шагом» 1 месяц, установлено, что абсолютное число обращений за медицинской помощью с 95% вероятностью находится в пределах 310-800 (или 62-160 случаев на 1000 населения). Заболеваемость в осенне-весенний период в 2,4 раза выше, чем в летний. Данные численных экспериментов с элиминацией эпидемических подъемов ОРВИ свидетельствуют, что сезонные различия числа обращений составляют 1,7. В связи с указанным в допандемийный период вклад эпидемического подъема ОРВИ в первичную заболеваемость детского населения составил 12,5%, а суммы зимних метеоусловий и уровня загрязнения атмосферного воздуха - 70%.

После решения агрегированной задачи оптимального управления получена прогнозная управляемая динамическая модель. Прогнозирование производилось путем численного интегрирования системы при входных переменных и управлениях, соответствующих текущему моменту принятия управленческого решения. Выявленные с использованием метода Шепарда наиболее значимые факторы, влияющие на заболеваемость, включены в математическую модель. Рассмотрена модифицированная модель Гурмана-Розенрауха:

$$Z_i = a_1 \cdot T_i \cdot f^+(T_i, a_9) + a_2 \cdot O_i + a_3 \cdot (V + a_8 + (T_i - T_0)^2) + a_4 \cdot \frac{\ln(HI)}{\ln(V)} + a_5 \cdot W_i \# a_6 \cdot K_i + a_7 \cdot S_i$$

где:  $T_i$  - среднегодовая  $T^\circ$ ;  $W_i$  - обеспеченность врачами (на 1000 чел.);  $V_i$  - среднегодовая скорость ветра, м/с;  $HI$  - HI органов дыхания;  $O_i$  - охват контингента медицинскими профилактическими осмотрами, %;  $K_i$  - количество коек (на 1000 чел.)

$S_i$  - число выездов скорой помощи (на 1000 чел.);  
 $f^+(T, T^*) = -\arctan(1000 \cdot (T - T^*)) / \pi + 0.5$  - гладкая аппроксимация разрывной функции SIGN (сигнум). В расчетах принято  $T_0 = -7$ .

Для оценки невязок использован гладкий функционал - сумма квадратов расхождения в каждый момент времени (точке временного ряда):

$$f = \sum_{i=1}^{11} (Z_i - Y_i)^2$$

Отклонения расчетных величин от фактических составили в среднем у детей 1,42%, у подростков - 2,33%, у взрослых - 4,17%, что отражает достаточно хорошие свойства модели (отклонения менее 5%) и позволяет выполнить прогнозные расчеты (с шагом 3 года). Для дополнительной характеристики адекватности полученной модели проведены расчеты заболеваемости и сравнение с реальными статистическими данными (таб.2).

Таблица 2 - Расчетные (прогноз) и реальные показатели первичной заболеваемости населения Ямальского района

Возрастные группы	Заболеваемость (на тыс. населения)	
	фактическая	Прогноз и 95-процентным доверительным интервалом
Дети	2604,5	2728,1 (2445-3110)
Подростки	1602,7	1978,5 (1464-2492)
Взрослые	1108,4	1525,1 (1033-2017)

С использованием идентифицированной модели были рассчитаны уровни заболеваемости при изменении предикторов. Рассмотрено несколько сценариев изменяющихся условий среды обитания и получены следующие результаты прогнозирования. Сценарий I: при потеплении климата, сопровождающегося повышением среднегодовой температуры до (-4°C) ожидается увеличение уровня заболеваемости, особенно выраженное в группах подростков и взрослых (61,8% и 150,2%, тогда как среднегодовое колебание показателя составляет ±17,7% и ±20,2%, соответственно). Сценарий II: сохранение среднесезонных метеорологических параметров и значимое улучшение медицинского обслуживания, характеризующегося не только увеличением медицинских ресурсов (обеспеченности врачами (4,0 специалиста на 1000 населения), больничными койками (96 на 1000 населения), но и повышением качества работы органов здравоохранения (росте выездов скорой медицинской помощи - до 400 выездов, проценте охвата профилактическими медицинскими осмотрами контингентов риска - до 98%) может привести к увеличению заболеваемости взрослого населения на 56,9%, отклонение показателя у детей и подростков будет находиться в естественных пределах. Сценарий III предполагает изменение комплекса факторов (на фоне наблюдающегося в настоящее время потепления климата предполагается снизить химическую техногенную нагрузку до допустимого уровня за счет сокращения сжигаемого топлива и улучшения его качества, и повысить работу органов здравоохранения путем роста обеспеченности медицинскими ресурсами и доступности услуг), которое позволит снизить заболеваемость детского и подросткового населения на 19,8% и 53,1% (ожидаемые отклонения выходят за пределы естественных колебаний (±13% у детей, ±17,7% - у подростков). В тоже время следует отметить, что статистические показатели заболеваемости взрослого населения во всех сценариях увеличиваются, вероятно, в связи с ростом диагностических возможностей и доступности медицинской помощи

[4]. Однако даже комплексное решение медико-социальных и экологических проблем не позволит значительно улучшить статистические показатели состояния здоровья у лиц со сложившимся образом жизни, сформировавшимися негативными привычками и накопленными заболеваниями.

Таким образом, для заболеваемости населения наиболее значимы параметры среды, входящие в блоки «обеспеченность и доступность ресурсов здравоохранения», «техногенная нагрузка», «климатические факторы» в соотношении 50:20:10. Формирование хронической патологии, требующей диспансерного учета, определяется указанными блоками в соотношении 32,7:39,3:9,4. Полученная модель, учитывающая наиболее значимые факторы свидетельствует о том, что долевой вклад климатических факторов на фоне даже умеренного загрязнения атмосферы определяет 70% от всей заболеваемости по классу органов дыхания у детей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобровницкий И.П., Нагорнев С.Н., Худов В.В., Яковлев М.Ю. Перспективные направления развития инновационных технологий здоровьесбережения в арктической зоне Российской Федерации // Russian Journal of Rehabilitation Medicine. 2021. № 1. С. 16-40.
2. Рейс Ж., Зайцева Н.В., Спенсер П. Современные внешнесредовые угрозы и вызовы здоровью населения арктических и субарктических регионов // Анализ риска здоровью. 2022. № 3. С. 21-38.
3. Caminade C., McIntyre K.M., Jones A.E. Ann N. Y. Impact of recent and future climate change on vector-borne diseases // Acad Sci. 2019 1436(1):157-173. doi: 10.1111/nyas.13950
4. Бережной В.Г., Ерофеев Ю.В., Батухтин И.В., Новикова И.И. Социально-гигиеническая модель организации профилактической работы с населением и показатели эффективности ее реализации // Наука о человеке: гуманитарные исследования. 2014. № 4 (18). С. 170-179.

#### ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ЭФФЕКТА СИНХРОНИЗАЦИИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ЧЕЛОВЕКА И ВАРИАЦИЙ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ВЫСОКИХ И СРЕДНИХ ШИРОТАХ

*Зенченко Т.А.<sup>1,2</sup>, Поскотинова Л.В.<sup>3</sup>, Елфимова А.Э.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, г. Пущино  
Московской обл., zench@mail.ru

<sup>2</sup> Институт космических исследований РАН, г. Москва

<sup>3</sup> Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск

#### **Введение.**

Существует широко распространенное представление о том, что в северных регионах чувствительность сердечно-сосудистой системы человека к факторам космической погоды выше, чем в средних и низких широтах. Однако существующие экспериментальные свидетельства были получены либо в популяционных исследованиях, либо в лонгитюдных экспериментах с частотой сбора данных один раз в сутки. Такие результаты могут рассматриваться как подтверждение самого существования эффекта магниточувствительности сердечно-сосудистой системы, однако они являются слишком усредненными, чтобы стать основанием для выявления механизма развития реакции организма на действие геомагнитного поля.

В гелиобиологии известны два типа проявления реакции какого-либо физиологического показателя на действие внешних факторов: со сдвигом среднего значения и без сдвига. К первому типу реакции относятся, например, явления возрастания артериального давления во время магнитных бурь. В некоторых случаях они могут быть небольшими по амплитуде и обратимыми, но возможны также случаи перехода реакции в срыв адаптации и заболевание. Второй тип реакции, без значимого изменения среднего значения измеряемого физиологического параметра, реализуется как подстройка частоты определенного ритма организма под частоту вариаций вектора геомагнитного поля. Можно утверждать, что второй тип реакции характерен для здоровых организмов в не-экстремальных условиях и служит внешним ритмодатчиком организма в диапазоне герцовых и миллигерцовых частот [1,2]. Этот эффект получил название биогеофизической синхронизации.

Ранее нами было показано [3], что динамика сердечного ритма здорового человека в покое проявляет четкую статистическую связь с вариациями ГМП. Мы видели и описали две формы проявления эффекта - синхронность ежеминутных значений (методом кросскорреляции биологических и геофизических временных рядов), и совпадения периодов колебаний в диапазоне 5-30 минут, наблюдаемых в синхронных спектрах ЧСС и вектора X локального ГМП (вейвлет-анализ и кросс-спектральный анализ). Мы также показали в серии синхронных экспериментов в Архангельске, Москве и Софии, что такие случаи синхронизации сердечного ритма и ГМП наблюдаются на всех широтах [4]. Следующий этап - исследовать особенности проявления этого эффекта в северных и средних широтах.

Целью данной работы было изучение феноменологических особенностей эффекта реакции сердечного ритма на ГМП в зависимости от локации точки проведения наблюдений.

### **Материалы и методы**

*Экспериментальные данные* - результаты длительных (от 60 до 120 мин) записей ЭКГ у трех практически здоровых женщин-волонтеров среднего возраста, двое из которых (волонтеры 1 и 2) - жители Архангельска, волонтер 3 - житель средних широт. Измерения проводились в покое, в положении лежа или сидя, в состоянии бодрствования. Всего было выполнено 49 экспериментов: в г. Архангельске (21 эксп.), в небольших населенных пунктах Архангельской (6 эксп.), Ленинградской (11 эксп.) и Московской (8 эксп) областей, а также пригороде г. София (Болгария, 3 эксп.), вдали от больших линий электропередач, в геомагнитно-спокойной обстановке (все значения 3-часового Кр-индекса в дни проведения измерений были не выше 4).

На основе записи последовательных RR-интервалов были получены временные ряды ежеминутных значений сердечного ритма (HR) и значений индекса-напряжения (SI), которые были сопоставлены с синхронными временными рядами ежеминутных значений X и Y компонент геомагнитного поля по геофизической станции, ближайшей в месту измерений.

*Методы анализа* - кросс-корреляционный анализ и кросс-спектральный анализ, вейвлет-анализ. Геофизические и биологические временные ряды были предварительно отфильтрованы полосовым фильтром для исключения тренда и крайне низкочастотных колебаний. При применении кросскорреляционного метода брали максимально наблюдаемое значение рангового коэффициента корреляции Спирмена из диапазона временных лагов от -5 до +5 минут. Чтобы компенсировать дополнительные степени свободы, обусловленные несколькими возможными временными лагами, статистически значимыми считали коэффициенты корреляции при  $p < 0.01$ .

### **Результаты**

В данных исследованиях применение кросс-спектрального и вейвлет-методов анализа позволяет выявить случаи, в которых происходит синхронизация колебаний

геомагнитного поля и сердечного ритма, без оценки смещения среднего значения HR. Кросскорреляционный метод выявляет ситуации, в которых в процессе измерений наблюдаются обратимые кратковременные смещения среднего HR. Возможные значительные систематические изменения величины HR не рассматривались в данной серии экспериментов, они были исключены на этапе фильтрации временных рядов.

На рис.1 показаны примеры временного хода ежеминутных значений сердечного ритма волонтера 1 (V1) и вектора Y ГМП по станции Нурмиярви (NURY), измеренные в геомагнитно спокойных условиях ( $K_p=4.7$  суммарный за сутки,  $K_p(3ч)=0$ ). Значения вектора ГМП даны после применения полосового частотного фильтра.

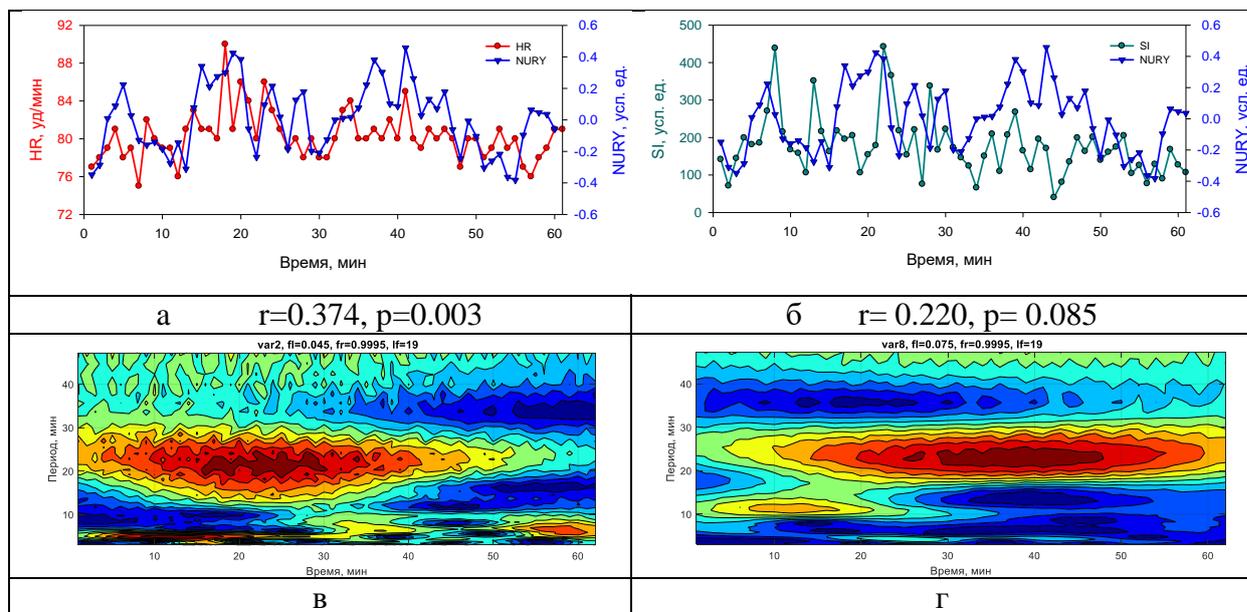


Рис. 1 - Иллюстрация синхронности хода ежеминутных значений HR V1 и вектора ГМП NURX при измерениях в Архангельске. (а) Временной ход значений HR и NURY после применения частотного фильтра; (б) Временной ход значений SI и NURY (аналогично рис. 1а).

(в) Вейвлет-образ временного ряда HR.

(г) Вейвлет-образ временного ряда NURY.

Из рис. 1,а видно, что в рядах HR и NURY присутствуют не только синхронные колебания с периодом около 20 минут, но и ежеминутные колебания в значительной степени синхронизованы. Значения HR в процессе измерений кратковременно изменяются от 76 до 90 уд/мин., что сопровождается такими же кратковременными подъемами значений SI до 450, и происходит синхронно с вариациями вектора NURY. Однако в данном случае правомерно говорить скорее не о сдвиге среднего, а о синхронизации квазипериодических колебаний, что подтверждается вейвлет-спектрами рядов HR и NURY на рис. 1,в,г, на которых видна длинная область красного цвета, что означает присутствие в обоих рядах колебаний с периодом 20 мин на протяжении практически всего интервала наблюдений.

В целом по волонтеру V1 из 11 сделанных записей HR, в 8 случаях (73%) коэффициент корреляции между HR и хотя бы одной из компонент вектора ГМП имел уровень статистической значимости  $p<0.01$ . Совпадение величин присутствующих в спектрах периодов наблюдается в 9 из 11 записей (82%). В то же время по волонтеру 2, (жителю Архангельска), измерения которого проводились синхронно с волонтером 1, степень синхронизации HR с вектором ГМП ниже: в 60% случаев наблюдается значимая корреляция и только в 30% случаев - совпадение основных периодов вейвлет-спектров. Для волонтера 3 при измерениях в Московской обл. синхронно с

Архангельском - 50% случаев значимой корреляции и 62% случаев совпадения периодов.

Для волонтера 1 при измерениях в других географических локациях были получены следующие результаты: Ленинградская обл - 60% случаев значимой корреляции и 80% случаев совпадения периодов; Архангельская обл - 50% корреляций и 66% совпадения периодов, г. София, (где было только 3 записи, соответствующие спокойным геомагнитным условиям), 30% значимых корреляций и 100% совпадения периодов.

Таким образом, эффект, изображенный на рис.1, который проявляется как синхронизация близких по частоте колебаний пульса и вектора ГМП, наблюдается в более чем половине случаев наблюдений по итогам исследования трех волонтеров в 4 локациях от Архангельска до Софии.

Однако только при проведении наблюдений в северных широтах у волонтеров 1 и 3 был обнаружен еще один тип реакции на вариации вектора ГМП, суть которого проиллюстрирована на рис. 2.

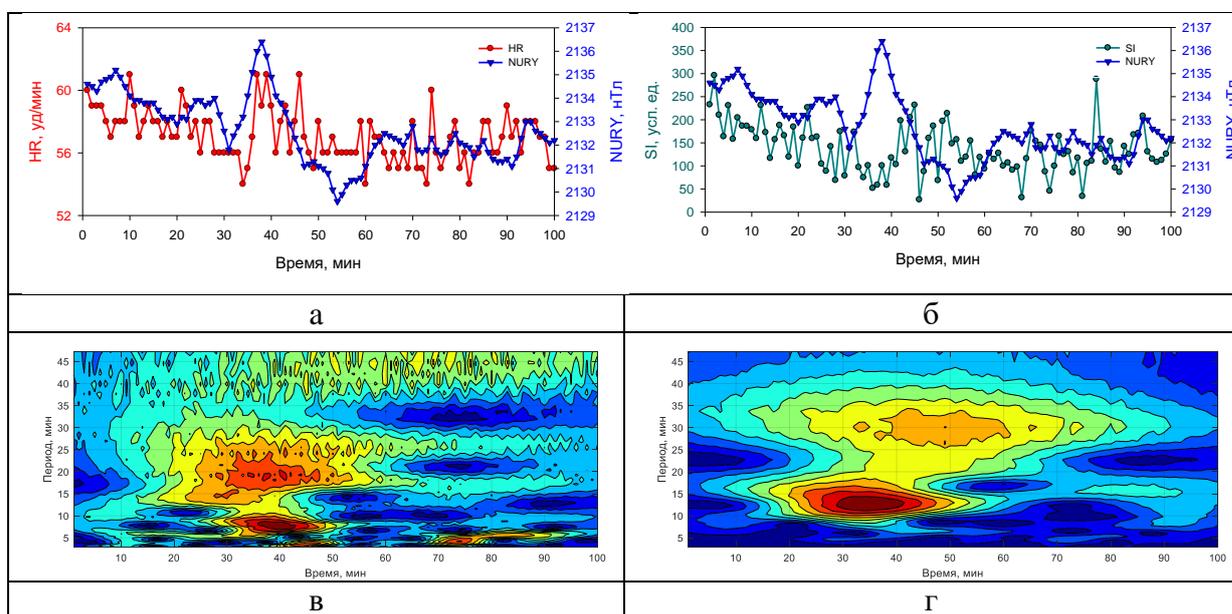


Рис. 2 - Иллюстрация синхронности реакции значений HR V3 на быстрые вариации вектора ГМП NURY. Все обозначения аналогичны рис. 1.

В данном примере отсутствует четкое совпадение периодов и фаз колебаний на протяжении всего интервала наблюдений, в отличие от рис.1. Однако здесь наблюдается отчетливое однократное возрастание значения HR, синхронное с наиболее значительным по амплитуде изменением вектора NURY. Изменение HR было полностью в пределах нормы, с 55 до 61 уд/мин, а значение SI не вышло за пределы вариаций данного показателя в другие моменты интервала наблюдений. В то же время вейвлет-спектры HR и NURY на рис. 2,в,г, показывают, что в интервале 30-40 минут наблюдений в обоих рядах наблюдался кратковременный, менее 10 мин, всплеск значений, и сходство спектров в данном случае обусловлено не колебаниями определенной частоты на протяжении всего интервала наблюдений, а именно этим кратковременным всплеском.

Подобные эффекты реакции пульса на быстрые всплески ГМП пока не формализованы, т.е., в отличие от эффекта синхронизации, мы не успели разработать численный критерий, автоматически выделяющий такие случаи. Они не входят в процент случаев синхронизации колебаний, описанных в легенде к рис. 1. Такие эффекты встречались только в сериях измерений, проведенных в Архангельской обл. и в Ленинградской обл. Обе эти локации являлись наиболее "электромагнитно-

спокойными" из всех мест проведения измерений, т.е. в них наблюдалось наименьший антропогенный электромагнитный фон. Какой из факторов в данном случае является определяющим - географическая широта местности или уровень электромагнитного загрязнения - еще необходимо выяснить.

### **Обсуждение**

Ранее нами были показаны эффекты синхронизации минутных значений вариаций локального ГМП при спокойной геомагнитной обстановке и параметров variability сердечного ритма (BCP) на коротких записях HR (30 минут) у местных жителей Архангельской области [2]. Сохранение такой синхронизации рассматривалось с позиции адаптации проводящей системы сердца к колебаниям ГМП территории, где они постоянно проживают, особенно в диапазоне колебаний HR 0,05-0,15 Гц (6.7-20 секунд), в том числе в периоды повышения геомагнитной активности, когда таковая синхронизация может сохраняться, но колебания будут более высокоамплитудными. Отсутствие такой синхронизации с ГМП именно в низкочастотном диапазоне BCP отражало риск снижения чувствительности барорефлекса (реципрокное соотношение частоты сердечных сокращений и артериального давления) и как следствие - риск нарушений сердечной деятельности в периоды повышения геомагнитной активности. Однако представленный в данной работе механизм эпизодов синхронизации вариаций ГМП и HR ожидается на фоне отсутствия исходной синхронизации ГМП и HR, но который активизируется при квазипериодической активности ГМП.

Известно, что некоторые компоненты ГМП в высоких широтах имеют более высокоамплитудные вариации, чем в средних широтах. Можно предположить, что постоянные вариации компонент локального невозмущенного ГМП у человека на Севере могут либо не иметь особого физиологического эффекта на пейсмекерные клетки синусового узла (снижен порог чувствительности как защита от перевозбуждения), либо иметь слабое синхронизирующее влияние в определенном приемлемом для здоровья диапазоне, отражая эволюционно сформированный механизм адаптации живого организма на локальные вариации ГМП среды своего проживания. И в основе такого постоянного «хода» синхронизации может быть чувствительность определенных ионных каналов, например, калий-натриевого канала на мембране нервной клетки. Однако наличие непериодических (или квазипериодических) возмущений в магнитосфере северных широт могут активизировать в большей степени другие механизмы, обеспечивающие деполяризацию на мембране кардиомиоцитов, например, медленные кальциевые каналы или активность ферментов, отвечающих за синтез управляющих ритмом сердца биологически активных веществ. По-видимому, у человека в северных широтах такой механизм более активен, чем в средних широтах, даже у лиц, которые здесь не проживают постоянно, но являются приезжими. Это обеспечивает, с одной стороны, еще один путь к адаптации к внешним воздействиям, но с другой стороны и как дополнительный риск для нарушений сердечной деятельности в дни электромагнитной возмущенности.

В описанных случаях эффект обнаружен при наблюдениях практически здоровых людей с хорошими адаптивными ресурсами. Однако у человека с нарушениями ритма сердца в состоянии покоя и расслабления (например, во время сна) в случае реализации механизма синхронизации HR и вектора ГМП потенциально возможен "захват" или "срыв" ритма. Неслучайно нарушения ритма, связанного с выраженными изменениями как космической, так и земной погоды, проявляют себя в покое, с раннего утра. Как первый, так и второй механизмы формирования реакции при резких изменениях значения компонент вектора ГМП провоцируют увеличение HR, нарушения его ритмики и провоцируют широкий спектр нарушений ритма сердца в геомагнитно возмущенные дни.

Таким образом, различие выявленных эффектов биогосинхронизации необходимо с фундаментальной точки зрения, т.е. для понимания ионных, биоэлектрических и, возможно, гуморальных механизмов их формирования. Выявленные эффекты могут быть использованы в экспериментальных исследованиях для выявления фармакологических и электрофизических способов контроля таких изменений сердечного ритма для профилактики нарушений ритма сердца в условиях нестабильности электромагнитного поля среды обитания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zenchenko, T.A.; Breus, T.K. The Possible Effect of Space Weather Factors on Various Physiological Systems of the Human Organism // *Atmosphere*. 2021. 12. P. 346. <https://doi.org/10.3390/atmos12030346>
2. Poskotinova, L.; Krivonogova, E.; Demin, D.; Zenchenko, T. Differences in the Sensitivity of the Baroreflex of Heart Rate Regulation to Local Geomagnetic Field Variations in Normotensive and Hypertensive Humans // *Life*. 2022. 12. P 1102.
3. Зенченко Т.А., Медведева А.А., Хорсева Н.И., Бреус Т.К., Синхронизация показателей сердечного ритма человека и вариаций геомагнитного поля в диапазоне частот 0.5-3 мГц. // *Геофизические процессы и биосфера*. 2013. Т. 12, № 4. С. 73-84.
4. Зенченко Т.А., Йорданова М., Поскотинова Л.В., Медведева А.А., Аленикова А.Э., Хорсева Н.И. Синхронизации сердечного ритма человека с геомагнитными пульсациями РС5 на разных широтах // *Биофизика*, 2014, №6, стр. 1186-1194

#### **РАЗНОНАПРАВЛЕННОСТЬ ТИПОЛОГИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ СО СТОРОНЫ ПЕРИФЕРИЧЕСКОГО ДОФАМИНА И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТИРЕОИДНОГО ПРОФИЛЯ У МУЖЧИН Г. АРХАНГЕЛЬСКА В ПЕРИОД МИНИМАЛЬНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СВЕТОВОГО ДНЯ**

*Зябишева В.Н., Типисова Е.В., Елфимова А.Э., Молодовская И.Н., Аликина В.А.*  
Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, v-zyabisheva@fciactic.ru

Известно, что население северных территорий испытывает на себе негативное влияние многих климатогеографических факторов, одним из которых является контрастность сезонов года. Фотопериодические колебания, обусловленные изменением долготы светового дня, оказывают сильное воздействие на все физиологические функции организма северян, в том числе на работу эндокринной системы, играющей одну из важнейших ролей в формировании адаптационных перестроек. Наиболее острое воздействие фотопериодизма отмечаются в летний и зимний периоды, отличающиеся значимыми изменениями продолжительности светового дня [1].

Резкая контрастность климатических факторов Европейского Севера также провоцирует усиление стресса и напряженности психоэмоциональной сферы человека. Подобные перестройки, как правило, могут сопровождаться колебаниями синтеза и секреции гормона дофамина, который обеспечивает не только процессы мотивации и поощрения, но и адаптацию организма к меняющимся условиям среды [2]. В связи с этим представляет большой интерес исследовать не только сезонную активность периферической дофаминергической системы, но и заострить своё внимание на её показателях в период минимальной продолжительности светового дня, когда воздействие сезонных изменений и их воздействие на организм наиболее выражены.

**Цель:** изучить сезонную динамику периферического дофамина и показателей тиреоидного профиля и их типологические реакции в период минимальной продолжительности светового дня со стороны у мужчин г. Архангельска.

#### **Материалы и методы**

В аналитическом неконтролируемом проспективном исследовании приняли участие 20 молодых практически здоровых эутиреоидных мужчин в возрасте от 25 до 44 лет, постоянно проживающих в г. Архангельске (64°32' с.ш.). Обследование выборки проводилось с условием добровольного информированного письменного согласия при соблюдении всех норм и принципов Хельсинкской декларации по правам человека Всемирной медицинской ассоциации (2013) и Директивов Европейского Сообщества (8/609ЕС).

Исследование проводилось ежеквартально в течение 2018 года в период с марта по декабрь. Забор крови производился в утренние часы после 12-14 часового голодания путем венепункции из локтевой вены. Уровни гормонов крови оценивались при помощи метода иммуноферментного анализа (*in vitro*) на автоматическом планшетном анализаторе ELISYS Uno с использованием тест-системы «Labor Diagnostica Nord». В плазме крови определялась концентрация дофамина, в сыворотке исследовались показатели тиреотропина (ТТГ), общих и свободных фракций трийодтиронина (Т<sub>3</sub>, Т<sub>3</sub> св.) и тироксина (Т<sub>4</sub>, Т<sub>4</sub> св.). Также нами был рассчитан индекс периферической конверсии йодтиронинов (ИПК = Т<sub>4</sub>/Т<sub>3</sub>), иллюстрирующий показатель тканевого превращения общего Т<sub>4</sub> в его биологически более активный метаболит - общий Т<sub>3</sub>.

Статистический анализ собранных данных проводился в программе IBM SPSS Statistics 22.0. Проверка нормальности распределения выборки осуществлялась с помощью критерия Шапиро–Уилка, достоверность различий между связанными выборками определялась непараметрическим дисперсионным анализом повторных измерений Фридмана с последующим применением критерия Вилкоксона. Все обнаруженные эффекты считались статистически значимыми при величине вероятности ошибочного принятия нулевой гипотезы  $p < 0,05$ .

#### **Результаты и обсуждение.**

Изучение общей фотопериодической динамики исследуемых уровней гормонов в предыдущих работах выявило, что наиболее критическим периодом, когда снижается активность гипофизарно-тиреоидной системы с минимальным уровнем периферической конверсии йодтиронинов на фоне минимального содержания периферического дофамина, является период уменьшения продолжительности светового дня. В то же время максимальное содержание йодтиронинов в марте и июне также прямо сочетается с увеличением уровней дофамина [3,4].

На основании анализа индивидуальных реакций респондентов в период минимальной продолжительности светового дня было произведено разделение выборки на две равные группы по десять человек: первая - с повышающимися, вторая – со снижающимися или не изменяющимися относительно предыдущего фотосезона показателями дофамина. Выбор основывался на расчёте коэффициента вариации, который, согласно инструкциям набора компании «LDN GmbH & Co» для определения уровня дофамина в сыворотке крови, составил  $\pm 29,8\%$  (0,1 нмоль/л).

Повышение уровня дофамина от периода уменьшения продолжительности светового дня к периоду его минимальной продолжительности сочетается с увеличением активности гипоталамо-гипофизарно-тиреоидной системы как со стороны гипофизарного, так и периферического звена, включающего повышение более активного Т<sub>3</sub> и св. Т<sub>3</sub> при снижении общего Т<sub>4</sub> на фоне усиления периферической конверсии йодтиронинов (табл. 1). Мы предполагаем, что увеличение синтеза

дофамина в данном случае связано с необходимостью активации компенсаторно-приспособительных механизмов. Дофамин у респондентов из данной группы сравнения выступает в качестве адаптивного фактора, благодаря чему мы видим более выраженную реакцию щитовидной железы на появление сезонных стрессоров.

Таблица 1 – Показатели дофамина и тиреоидного профиля в крови у группы с повышающимися уровнями дофамина в период минимальной освещенности

Показатель	Март (1)	Июнь (2)	Сентябрь (3)	Декабрь (4)	P-уровень
ТТГ 0,23-3,4 мМЕ/л	2,40 (0,84; 3,17)	2,02 (0,52; 3,94)	1,73 (0,67; 2,78)	2,62 (0,52; 4,20)	$p_{1-3}=0,047$
$T_3$ 1,0-2,8 нмоль/л	1,11 (0,62; 1,45)	1,12 (0,85; 1,69)	0,98 (0,67; 1,30)	1,05 (0,82; 1,50)	$p_{2-3}=0,009$ $p_{2-4}=0,008$ $p_{3-4}=0,037$
$T_4$ 53-158 нмоль/л	108,69 (89,99; 166,86)	118,20 (104,09; 131,61)	113,76 (84,93; 129,98)	107,54 (90,19; 130,02)	$p_{2-4}=0,009$
св. $T_3$ 2,5-7,5 пмоль/л	5,24 (4,37; 5,77)	5,20 (4,76; 6,97)	5,54 (4,74; 5,91)	5,64 (4,96; 6,82)	$p_{1-4}=0,028$
св. $T_4$ 10,0-23,2 пмоль/л	12,20 (11,12; 15,53)	13,05 (12,15; 15,22)	12,95 (10,72; 16,16)	13,20 (12,02; 16,15)	$p>0,05$
ИПК ( $T_4/T_3$ )	100,23 (85,81; 171,70)	100,90 (77,82; 144,16)	116,67 (94,96; 142,36)	96,93 (74,83; 129,41)	$P_{2-3}=0,009$ $P_{3-4}=0,009$
Дофамин ( $< 0,653$ нмоль/л)	0,402 (0,265; 0,554)	0,507 (0,337; 0,690)	0,232 (0,011; 0,366)	0,480 (0,302; 0,702)	$p_{1-3}=0,005$ $p_{2-3}=0,005$ $p_{3-4}=0,005$

В группе со снижающимися показателями дофамина в крови в период минимальной продолжительности светового дня регистрируются минимальные значения уровней общих фракций йодтиронинов при установлении обратной связи с гипофизарным ТТГ, значения которого максимальны. Однако, периферическая конверсия независимо от группы обследованных, сохраняется более высокой в минимальный световой день по сравнению с периодом уменьшения светового дня (табл. 2).

Таблица 2 – Показатели дофамина и тиреоидного профиля в крови у группы со снижающимися или не изменяющимися уровнями дофамина в период минимальной освещенности

Показатель	Март (1)	Июнь (2)	Сентябрь (3)	Декабрь (4)	P-уровень
ТТГ 0,23-3,4 мМЕ/л	2,56 (1,59; 4,70)	2,37 (1,37; 6,10)	2,13 (0,96; 5,31)	2,82 (1,24; 5,29)	$p>0,05$
$T_3$ 1,0-2,8 нмоль/л	1,02 (0,88; 1,34)	0,96 (0,76; 1,20)	0,89 (0,71; 1,11)	0,88 (0,63; 1,10)	$p_{1-3}=0,022$ $p_{1-4}=0,028$
$T_4$ 53-158 нмоль/л	114,60 (98,69; 133,01)	110,69 (95,91; 125,93)	111,07 (80,57; 126,97)	96,88 (62,16; 109,47)	$p_{1-2}=0,047$ $p_{1-3}=0,017$ $p_{1-4}=0,005$ $p_{2-4}=0,007$ $p_{3-4}=0,028$

св. T <sub>3</sub> 2,5-7,5 пмоль/л	4,95 (3,84; 5,62)	5,23 (4,65; 6,58)	5,00 (3,06; 7,77)	4,64 (3,61; 5,33)	p <sub>2-4</sub> =0,028
св. T <sub>4</sub> 10,0-23,2 пмоль/л	13,10 (11,06; 14,83)	13,10 (11,34; 15,06)	12,90 (9,31; 14,56)	12,50 (10,62; 14,47)	p>0,05
ИПК (T <sub>4</sub> /T <sub>3</sub> )	104,46 (91,29; 134,83)	109,13 (95,08; 146,81)	119,78 (93,23; 143,13)	106,05 (95,08; 132,85)	P <sub>3-4</sub> =0,047
Дофамин (< 0,653 нмоль/л)	0,306 (0,190; 0,710)	0,482 (0,317; 0,961)	0,246 (0,089; 0,531)	0,232 (0,010; 0,406)	p <sub>2-3</sub> =0,022 p <sub>2-4</sub> =0,009

Относительно свободных фракций йодтиронинов динамика также выражена в большей степени со стороны св. T<sub>3</sub>. В противоположность группе с повышающимся уровнем дофамина в период минимальной продолжительности светового дня в группе со снижающимся его уровнем показано также снижение свободного T<sub>3</sub> в период минимального светового дня относительно периода его максимальной продолжительности. Параллельное снижение активности дофамина и тиреоидных гормонов может свидетельствовать о снижении резервных возможностей организма у респондентов данной группы, что в свою очередь способствует замедлению обменных процессов в период минимальной продолжительности светового дня. В свою очередь это может сопровождаться нарастанием массы тела и приводить к развитию ожирения и сахарного диабета.

Таким образом, в период минимального светового дня выявлено два типа реактивности со стороны дофаминергической системы и активности гипоталамо-гипофизарно-тиреоидной системы: с параллельным повышением и снижением их активности.

*Исследование проведено в ходе выполнения государственного задания по теме «Фотопериодическая зависимость физиологических эффектов дофамина на функциональную активность систем гипофиз – щитовидная железа и гипофиз – гонады у жителей Арктических территорий» № гос. регистрации 122011800392-3.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хаснулин, В.И., Хаснулин П.В. Современные представления о механизмах формирования северного стресса у человека в высоких широтах // Экология человека. 2012. №1. С. 3-11.
2. Ильинских Н.Н., Ильинских Е.Н., Янковская А.Е. Цитогенетические последствия возрастания содержания дофамина в крови вахтовых рабочих нефтепромыслов севера Сибири // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 5. С. 65-71.
3. Зябишева В. Н., Типисова Е. В., Молодовская И. Н., Елфимова А. Э., Аликина В. А. Динамика йодтиронинов и аутоантител в крови в различные фотопериоды года у мужчин г. Архангельска // IV Всероссийская (XIX) молодежная научная школа-конференция «Молодежь и наука на Севере – 2022»: материалы конференции. 21-25 марта 2022, Сыктывкар. Т. 1. С. 208–209.
4. Зябишева В. Н., Типисова Е. В., Молодовская И. Н., Елфимова А. Э., Аликина В.А. Динамика уровней дофамина в крови в различные фотопериоды года у мужчин г. Архангельска // III Международная молодежная научно-практическая конференция «Арктические исследования: от экстенсивного освоения к комплексному развитию»: сборник материалов конференции. 26-28 апреля 2022, Архангельск. С. 182–185.

## **УРОВЕНЬ АДАПТАЦИИ СПЕЦПЕРЕСЕЛЕНЦЕВ ПО ДАННЫМ РОЖДАЕМОСТИ И СМЕРТНОСТИ В 1930-40-е гг. (НА МАТЕРИАЛАХ РЕСПУБЛИКИ КОМИ)**

*Игнатова Н.М.*

Институт языка, литературы и истории ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар,  
ignatova11@rambler.ru

Изучение демографических потерь является актуальной научной проблемой. Исследователь Е.Ю. Баранов, рассматривая современные исследовательские подходы к оценке демографических потерь России в XX в., справедливо отмечает, что текущий историографический тренд направлен в сторону уточнения существующих данных о демографическом уровне, а основные дискуссии обусловлены проблемами с полнотой и достоверностью данных, имеющихся в распоряжении исследователей. [1]

Для спецпереселенцев (граждане, принудительно выселенные с мест постоянного проживания в административном порядке без судебной процедуры в 1930-50-е гг. в отдаленные районы страны с определением срока спецпоселения или «навечно», как правило, многочисленными группами), выявлено многократное превышение смертности над рождаемостью и усиленная естественная убыль в первые годы после принудительного переселения в каждой массовой категории. Анализ данных позволяет говорить, что преодоление кризиса воспроизводства для спецпереселенцев и адаптация происходят в среднем после пятилетнего пребывания на спецпоселениях, после чего наступает улучшение показателей естественного движения.

В начале 1930-х гг. в спецпоселках Северного края регистрируется исключительно высокий уровень смертности спецпереселенцев-«бывших кулаков» на фоне низкой рождаемости. Причинами высокого уровня смертности послужили неготовность регионов к массовым заселениям в короткие сроки, неблагоприятные условия жизни в спецпоселках, отсутствие нормального жилья, крайне скудное снабжение продуктами питания, высокий уровень заболеваемости и эпидемии на фоне недостаточного медицинского обслуживания. В 1932 г. в крае спецпереселенцев умерло больше, чем родилось в 2,9 раза. [2] В 1933 г. ситуация усугубилась, на 79537 спецпереселенцев было зафиксировано 15355 случая смерти в спецпоселках: уровень смертности превосходил уровень рождаемости (1 606 случаев) в 9,5 раз. Это был самый высокий показатель среди спецпереселенческих регионов. В СССР, при общей численности 1142084 спецпереселенца, на 151601 умерших приходилось 17082 родившихся: уровень смертности превышал уровень рождаемости в 8,8 раз. В целом по СССР количество умерших спецпереселенцев составило 13 % их общего числа, по Северному краю – 19 %. В 1934 г. уровень смертности снижается, по краю на 403 родившихся спецпереселенцев приходилось 2192 случая смерти, по СССР в спецпоселках – 40012 умерших на 14033 родившихся. [3]

В Коми автономной области (с 1936 г. – Коми АССР) по учету органов ЗАГС самый высокий уровень смертности в спецпоселках Коми области приходится на 1933 г. (2857 человек), в 1934 г. уровень смертности снизился более чем в три раза (884 человек). Основными причинами смерти в спецпоселках по данным ЗАГС были заболевания, вызванные истощением организма. В актах о смерти чаще всего упоминались в качестве причин смерти рахит, порок сердца, грипп, туберкулез, понос, «воспаление мозговых оболочек мозга». [4] Помимо эпидемий тифа и цинги среди спецпереселенцев в начале 1930-х гг. наблюдались массовые случаи заболеваний на почве недоедания, которые определялись как "голодные отеки", "опухания" или "безбелковые отеки." [5] За 1933-40 гг. по данным органов ЗАГС в трудпоселках (с 1933 по 1944 гг. спецпереселенцы-«бывшие кулаки» именовались как «трудпоселенцы» и «трудпереселенцы»; спецпоселки, в которых они проживали – «трудпоселки») Коми

АССР родилось 4567 человек и умерло 6191 человек. Минимальный уровень рождаемости пришелся на 1933 г. – 139 человек. С 1936 г. рождаемость превосходит смертность и сохраняется стабильное число рождений – около 700 человек. С 1936 по 1940 г. всего в трудпоселках Коми АССР было зарегистрировано 3637 рождений. [6]

Во второй половине 1930-х гг. рождаемость спецпереселенцев постепенно начала расти, смертность снижалась. Переход от кризиса к простому воспроизводству произошел в течение пяти лет. В частности, поданным НКВД Коми АССР, рождаемость к 1938 г. превосходит смертность почти в два раза. С 1936 по 1940 гг. число рождений являлось стабильным – более 500 человек, а общая численность около 18,7 тыс. человек (без учета тп. Новый Бор, входившего структурно в Воркутлаг). (табл. 1).

Таблица 1 – Данные о рождаемости и смертности трудпоселенцев в 1935-1936 г.

	1935	1936	1937	1938
Численность*	18706	18371	18797	18968
Рождаемость	366	547	598	634
Смертность	438	414	373	338

\*Без данных по тп. Новый Бор (Воркутлаг)

Составлено по: Информационный центр МВД Республики Коми. Архивный отдел (далее - Архив МВД РК) Ф. 31. Оп. 1. Д. 9. Л. 1, 7.

В СССР в 1932-41 гг. в трудпоселках родилось 235229 человек, умерло 392081 человек, всего на 1 апреля 1941 г. насчитывалось 962470 трудпоселенцев. [7] В целом улучшение показателей естественного движения у спецпереселенцев фиксируется в СССР с 1935 г., в Северном крае с 1936 г. Кризисный уровень сверхубыли у трудпоселенцев относится к 1933 г., как по Северному краю, так и в СССР в целом. (рис. 1)

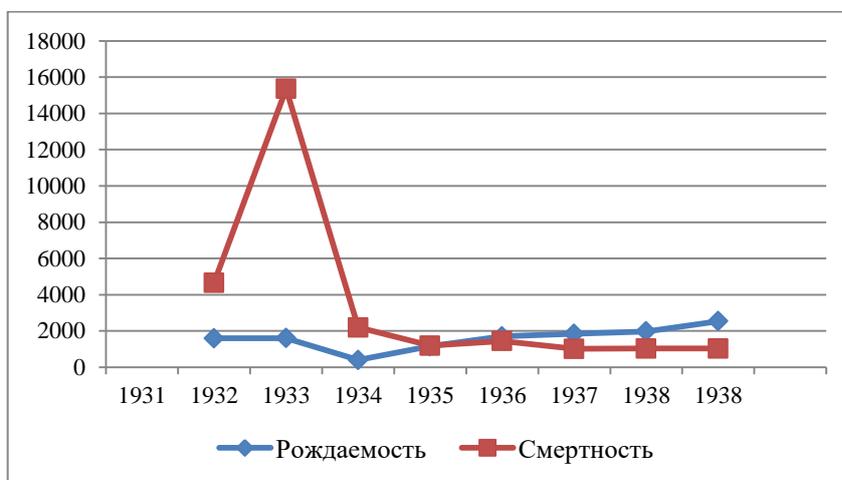


Рис. 1 – Рождаемость и смертность трудпоселенцев в Северном крае в 1932-1939 гг.

Составлено по: ГАРФ. Ф. 9479сч. Оп. 1. Д. 89. Л. 213.

В 1939-40 гг. в регионах наблюдается благополучная ситуация естественного прироста у спецпереселенцев-«бывших кулаков» (трудпоселенцев), высланных в 1930-31 гг. Рождаемость превышает смертность, несмотря на снижение общего числа рождений. Ситуация меняется в 1941 г., когда состав населения трудпоселков в Коми АССР пополнился трудпоселенцами, эвакуированными из Карело-Финской ССР («бывшие кулаки», высланные в КФ СС в начале 1930-х гг. с мест постоянного проживания). Прибытие трудпоселенцев численностью более 8 тыс. человек, для которых начался кризисный адаптационный период, повлияло на увеличение смертности. Во втором полугодии 1941 г. смертность у трудпоселенцев вновь стала превышать рождаемость и в 1942 г. это превышение стало трехкратным. (табл. 2, 3)

Таблица 2- Сведения о трудпоселенцах в Коми АССР в 1939-1940 гг.

	Показатели	Всего в СССР	Всего в Коми АССР	Коми АССР, трудпоселки	Коми АССР, тп. Новый Бор, Воркутлаг.
1.	Состоит на 1.01.39				
	Человек	938552	20271	18968	1303
	Родилось	33716	689	686	3
	Умерло	16691	314	314	-
2.	Состоит на 1.01.40				
	Человек	997513	20556	18941	1615*
	Родилось	32732	543	475	68
	Умерло	16401	337	302	35
3.	Состоит на 1.01.41				
	Человек	930221	19102	17492	1610
	Родилось	25624	546	400	146
	Умерло	15365	458	389	69
4.	Состоит на 1.01.42				
	Человек	911716	26714	25077	1637

\* сведения за 3 кв.

Составлено и подсчитано по: ГАРФ. Ф. 9479сч. Оп. 1. Д. 89. Л. 216, 217, 61.

Таблица 3 – Сведения о трудпоселенцах в Коми АССР\* в 1941-1943 гг.

Показатели	Первое полугодие 1941 г.	Второе полугодие 1941 г.	Второе полугодие 1942 г.	Первое полугодие 1943 г.	Второе полугодие 1943 г.
Родилось	196	204	205	122	66
Умерло	142	247	452	407	251
Количество человек, на конец полугодия.	17854	25077	20122	16657	15859

\*без данных по тп. Н.Бор (Воркутлаг).

Составлено по: ГАРФ. Ф. 9479сч. Оп. 1. Д. 74. Л. 201, 207; Д. 106. Л.42; Д. 133. Л. 257.

В 1943 г. начинает снижаться общая численность «бывших кулаков» в Коми АССР, вследствие освобождения от режима спецпоселения призванных на фронт трудпереселенцев и членов их семей с разрешением выезда из республики, на этом фоне падает рождаемость, но при этом уровень смертности сохраняется достаточно высоким. В целом если рассматривать период с начала 1930-х до середины 1940-х гг. для трудпоселенцев, размещенных в Коми АССР двумя партиями в 1930-31 гг. и в 1941 г. можно проследить резкий рост смертности и падение рождаемости в первые три года нахождения на спецпоселениях, затем наступает период стабилизации и через пять лет от даты заселения смертность заметно падает. Отличие состоит в том, что «бывшие кулаки», выселенные в 1930-е гг. имели более высокий показатель адаптации, так как во второй половине 1930-х гг. при стабильной численности удерживался устойчивый уровень рождений. «Бывшие кулаки», эвакуированные из КФ ССР в Коми АССР в начале войны, то есть прошедшие через итеративное (повторное) переселение имели более низкий уровень адаптации и через пять лет у них наблюдалось снижение смертности без роста рождаемости. (рис. 2). Рождаемость начала превышать смертность в конце 1940-х гг., но уровень рождаемости оставался низким.

Высокий уровень смертности в первые три года после выселения наблюдалось во всех массовых партиях. Например, в начале 1940-х гг. в тяжелом положении находились высланные в 1940 г. из западных областей в Коми АССР более 19 тыс. чел польских граждан («осадников» и «беженцев»).

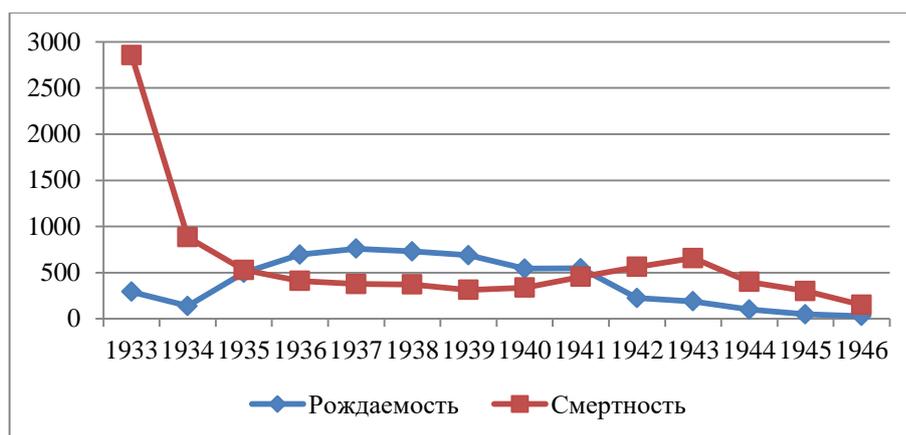


Рис.2 – Рождаемость и смертность трудпоселенцев («бывших кулаков») в Коми (АО) АССР в 1933-46 гг.

Источники: Управление ЗАГСа Республики Коми. Отдел учета, обработки и хранения документов. Дело № 06-23. Книга учета архивного фонда (о рождении); Книга учета архивного фонда (о смерти); Информационный центр МВД Республики Коми. Архивный отдел. (Архив МВД РК). Ф. 31. Оп. 1. Д. 66. Л. 3-76; Д. 50. Л. 3-14; ГАРФ. Ф 9479. Оп. 1. Д. 89. Л. 216-217; Д. 106. Л. 42; Д. 133. Л. 257.

Из 19005 польских переселенцев на начало 1941 г. родилось 222, умерло 740 человек, на конец 1941 г. общая численность составила 18441 человек [8]. С 1941 г. польские граждане начинают освобождаться от режима спецпоселения, в 1944 г. учтенные в Коми АССР около 8,5 тыс. «осадников» и «беженцев» были вывезены в южные районы страны, и их учет далее не велся, поэтому проследить картину рождаемости и смертности в течение пяти лет не представляется возможным.

Также критическими были первые годы переселения, которые пришлось на 1945-46 гг. в Коми АССР, для членов семей «оуновцев» (в эту категорию преимущественно входили женщины и дети, до 80%), репатриированных немцев и спецпереселенцев из Литовской ССР. Суммарно у спецпереселенцев, состоявших на учете в МВД Коми АССР в 1945 г. смертность превышала рождаемость в 20 раз, в 1946 г. в 11 раз. (табл. 4) В течение 1946 г. среди спецпереселенцев («бывшие кулаки», репатриированные немцы, члены семей «оуновцев», спецпереселенцы из Литовской ССР) было зафиксировано 103 рождения и 1078 смертей при общей численности на начало года 24309 человек [9].

Таблица 4 – Сведения о движении спецпереселенцев, состоящих на учете в МВД Коми АССР в 1945 г.

Высланные	Кол-во человек на 1.01.1945	Родилось (январь-декабрь 1945 г.)	Умерло (январь-декабрь 1945 г.)	Кол-во человек на 1.01.46
«Бывшие кулаки»	14 275	48	301	12323
Немцы (репатриированные, граждане СССР)	310	2	281	7378
Члены семей оуновцев	872	23	650	3337
Ссылнопоселенцы из Прибалтийских ССР	1001	-	67	886
Спецпереселенцы из Литовской ССР	-	-	140	1102*
Итого	16120	73	1439	25026

\*Прибыли в третьем квартале 1286 человек

Составлено и подсчитано по: Архив МВД РК. Ф. 31. Оп. 1. Д. 50. Л. 3-14; Д. 57. Л. 9-25.

Всего в СССР в период с 1945 по 1950 гг. спецпереселенцев родилось 196633 человек, умерло – 287770. С 1949 г. среди спецпереселенцев в целом наблюдалась

положительная картина рождаемости. В справке МВД СССР, составленной в декабре 1953 г., отмечается постоянный и стабильный рост рождаемости: «В среднем за последние три года ежедневно имеется 206 человек вновь нарождающихся детей спецпоселенцев». [10]

В целом следует сказать, что наиболее кризисная ситуация для каждой высланной партии спец(труд)переселенцев складывалась в первые годы высылки. Вследствие отсутствия налаженной инфраструктуры спецпоселков, спецпереселенцы испытывали недостаток продуктов питания, одежды, обуви, медикаментов. Такая ситуация вела к голоду и эпидемиям в спец(труд)поселках, и в итоге к высокому уровню смертности. Снижение смертности, рост рождаемости, улучшение естественного движения и выход на показатели простого воспроизводства происходит через пять и более лет. Таким образом, можно сделать вывод, что адаптационный период для спецпереселенцев, независимо от периода высылки на спецпоселения занимал не менее пяти лет.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов Е.Ю. Исследовательские подходы к оценке демографического урона России в XX в. // Genesis: исторические исследования. 2018. № 11. С. 92-100.
2. Земсков В.Н. "Кулацкая ссылка" в 30-годы // Социологические исследования. 1991. № 10. С. 3-21.
3. Информационный центр МВД Республики Коми. Архивный отдел (далее – Архив МВД РК). Ф. 31. Оп. 1. Д. 6. Л. 6, 99.
4. Управление ЗАГСа Республики Коми. Отдел учета, обработки и хранения документов. Дело № 06-23. Книга учета архивного фонда (о смерти).
5. Национальный Архив Республики Коми (НАРК). Ф.Р-3. Оп. 1. Д. 2428. Л. 29.
6. Составлено и подсчитано по: Управление ЗАГСа Республики Коми. Отдел учета, обработки и хранения документов. Дело № 06-23. Книга учета архивного фонда (о рождении); Книга учета архивного фонда (о смерти).
7. Государственный архив Российской Федерации (далее – ГАРФ). Ф. 9479сч. Оп. 1. Д. 89. Л. 221.
8. Подсчитано по: ГАРФ. Ф. 9479сч. Оп. 1. Д. 74. Л. 201, 207; Д. 106. Л.42; Д. 133. Л. 257.
9. Подсчитано по: Архив МВД РК. Ф. 31. Оп. 1. Д. 66. Л. 3-76
10. ГАРФ. Ф. 9479сч. Оп. 1. Ф. Д. 642. Л. 233.

#### **ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ ПОСТОЯННОГО ПОТЕНЦИАЛА МОЗГА В УСЛОВИЯХ КРАТКОВРЕМЕННОЙ НЕХВАТКИ КИСЛОРОДА**

*Кирьянов А.Б.*

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,  
г. Архангельск, a.kirjanov@narfu.ru

УПП – это медленно меняющийся устойчивый потенциал милливольтового диапазона, фиксируемый между корой головного мозга и референтной областью с помощью усилителей постоянного тока [1,2]. Данный вид потенциала является одним из видов сверхмедленных физиологических процессов и характеризует уровень относительно стабильного функционирования зон мозговых образований и является количественным показателем текущего функционального состояния исследуемого объекта, определяющего его физиологическую активность.

В современных научных исследованиях, посвященных анализу распределения постоянного потенциала, большая роль отводится изучению факторов, отрицательно воздействующих на метаболизм головного мозга: неблагоприятных климатических условий проживания, снижения адаптации к физическому и психическому стрессу, сопутствующих заболеваний. Исследователи, изучающие адаптационные возможности организма, применяют регистрацию УПП для выявления особенностей гомеостаза в изменяющихся условиях среды: таким повышение показателей распределения УПП расценивается как проявление экологической адаптированности к условиям Севера [3,4].

Низкие температуры и влажность окружающей среды оказывает сочетанное влияние на механику внешнего дыхания. У северян возникает рефлекторное сокращения гладкой мускулатуры бронхов различного диаметра в легких при вдыхании холодного воздуха, что приводит к своеобразному дыхательному паттерну в виде частого поверхностного дыхания. Также, изменяются соотношения инструментально измеряемых объемов и емкостей легких. Так, для снижения потерь тепла при дыхании и защите легочной ткани от переохлаждения уменьшается ЖЕЛ, что, соответственно ведет к увеличению функциональной остаточной емкости легких, а по причине учащения дыхательных движений растет МОД [5].

Невысокая абсолютная влажность вдыхаемого воздуха приводит к снижению проницаемости мембран стенок альвеол для молекул кислорода и, как следствие этого уменьшения коэффициента кислорода [6]. В результате это может привести к ухудшению газообменной функции легких, формированию интерстициального отека в нижних и базальных зонах легкого, развитию гипоксии или гипокпапии. [7].

Кроме того, стоит упомянуть о таком состоянии, как полярный гипоксический синдром или полярная одышка, суть которой заключается в хронической гипоксии у людей, продолжительное время проживающих в климате высоких широт. Развитие данного состояния связывают как с разреженностью воздуха в северных регионах и, соответственно, сниженным парциальным давлением  $O_2$  во вдыхаемом воздухе, так и с метаболическими изменениями в организме северян.

Одним из наиболее серьезных эффектов гипоксии в северных широтах можно считать ее влияние на функциональную активность мозга: недостаток кислорода в крови, вкупе с увеличенными затратами на фоне более интенсивного метаболизма, приводит к усилению мощности сверхмедленных дельта ритмов.

С помощью АПК Нейро-КМ «Нейроэнергокартограф» (ООО Статокин, Россия) проводилась оценка уровня постоянных потенциалов во время проведения функциональной пробы Штанге. Проба штанге использовалась как способ смоделировать кратковременное состояние гипоксии с целью оценить обеспечение организма кислородом.

Было обследовано 30 молодых людей из Индии, проживающих в условиях Арктической зоны РФ не более 3 месяцев. Контрольную группу в данной серии исследований составили 30 молодых северян, родившихся и постоянно проживающих в г. Архангельске.

Регистрация УПП проводилась с использованием 12 монополярных отведений в течение 2 минут до выполнения пробы, на протяжении задержки дыхания и в течение минуты после возобновления дыхательных движений обследуемым.

Перед проведением пробы Штанге каждому из обследуемых молодых людей объяснялся правильный порядок выполнения дыхательных маневров; для студентов из Индии порядок выполнения пробы объяснялся на английском языке. Также непосредственно перед проведением пробы наглядно демонстрировалось правильное выполнение дыхательных маневров обследуемым с целью исключить некорректное понимание действий.

Во время выполнения пробы Штанге обследуемым участникам зажимался нос с помощью зажима носового медицинского со сменными подушечками ЗН-«ПАЙП» для спирометрии. К выполнению данной пробы не допускались обследуемые, у которых, по данным опроса и анкетирования, имелись острые и хронические нарушения работы дыхательной системы, а также курившие обычные или электронные сигареты менее чем за 2 часа перед обследованием.

Статистический анализ полученных результатов проводился с помощью пакета программ IBM SPSS Statistics 26. Критическому уровню статистической значимости  $p$  было присвоено значение 0,05. При проведении описательного анализа исследуемых данных, распределение признаков на нормальность оценивалось по критерию Шапиро – Уилка в случае объема выборки менее 50 наблюдений. Для сравнения групп с нормальным распределением применялся параметрический  $t$ -критерий Стьюдента. Внутригрупповые сравнения проводились с помощью  $t$ -критерия для парных выборок в виду нормального распределения данных.

Для оценки активности головного мозга в гипоксических условиях было смоделировано состояние кратковременной нехватки кислорода путем выполнения функциональной пробы Штанге с задержкой дыхания на вдохе.

При оценке результатов пробы сравнивалось время задержки дыхания обследуемых с нормативами: от 50 сек – хорошая реакция организма на пробу, от 40 до 49 сек – удовлетворительная, меньше 40 сек – неудовлетворительный результат.

Сравнивались следующие значения УПП:

1. усредненное значение за последние 10 секунд перед выполнением дыхательных маневров;

2. значение УПП в последнюю секунду задержки дыхания перед вдохом, когда обследуемым достигалось максимальное для выдержки состояние нехватки кислорода.

Зафиксированное время задержки дыхания проверялось на нормальность распределения данных критерием Шапиро-Уилка и сравнивалось между собой при помощи  $t$ -критерия Стьюдента.

Среднее время задержки дыхания в группе студентов из Индии составило  $34,83 \pm 9,51$  с; среднее время задержки дыхания у студентов-северян составило  $56,08 \pm 8,56$  с. Парное сравнение продолжительности задержки дыхания показало достоверные различия с уровнем значимости  $p < 0,001$ .

Парные сравнения УПП студентов из Индии до и после выполнения пробы Штанге представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Значения уровня постоянных потенциалов в группе студентов из Индии при выполнении пробы Штанге, мВ

Отведение	До пробы	После пробы	$p$
Fd	10,04±10,15	9,46±10,38	0,198
Fs	5,81±13,21	5,41±13,96	0,340
Cd	9,59±10,36	9,05±10,59	0,178
Cz	10,16±9,01	9,61±9,55	0,172
Cs	10,54±12,14	9,87±12,18	0,101
Pd	8,50±7,98	7,60±8,54	0,103
Pz	9,63±8,91	8,77±9,18	0,078
Ps	10,59±9,07	9,54±8,94	0,033
Oz	10,22±11,92	9,78±12,25	0,265
Td	5,71±11,22	5,28±11,46	0,384
Ts	9,86±10,32	9,50±10,41	0,421

Парные сравнения УПП студентов-северян до и после выполнения пробы Штанге представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Значения уровня постоянных потенциалов в группе студентов-северян при выполнении пробы Штанге, мВ

Отведение	До пробы	После пробы	p
Fd	8,60±11,81	8,11±11,78	0,072
Fs	8,34±11,83	7,71±12,02	0,047
Cd	15,17±13,29	14,48±13,19	0,012
Cz	15,43±12,38	14,56±12,59	0,015
Cs	10,42±10,58	9,52±11,06	0,014
Pd	12,00±12,45	11,30±12,53	0,037
Pz	11,20±12,00	10,45±11,97	0,011
Ps	10,97±13,85	10,22±14,06	0,028
Oz	11,76±9,63	11,21±9,83	0,01
Td	10,45±10,49	9,74±10,50	0,002
Ts	7,29±10,94	6,36±10,81	0,023

Оценка результатов исследования, позволяет выявить тот факт, что в группе студентов из Индии за время выполнения пробы Штанге статистически значимые различия в регистрируемом УПП обнаружены только в отведении Ps ( $p=0,033$ ). Во всех остальных отведениях различия были статистически не значимыми ( $p>0,05$ ).

В свою очередь, в группе российских студентов-северян единственным отведением, в котором была зафиксирована разница в УПП до и после выполнения пробы не имеющая статистически значимых различий, является правое лобное отведение Fd ( $p>0,05$ ). Кроме того, по данным исследований, уменьшение УПП в остальных отведениях является нормальной реакцией со стороны головного мозга на снижение парциального давления кислорода в крови, наполняющей сосуды головного мозга [9, 10].

Подобные различия могут быть объяснены тем, что обследованная группа студентов из Индии на данном этапе своего пребывания в северном климате уже испытывает характерное для высоких широт состояние гипоксии, о чем также свидетельствует подавляюще неудовлетворительная продолжительность задержки дыхания при выполнении пробы Штанге.

По этой же причине, вероятно, уровень постоянных потенциалов не успел в достаточной степени измениться за время задержки дыхания, тогда как у северян, метаболически адаптированных к состоянию полярной одышки зафиксированы как характерное при нехватке кислорода падение УПП, так и способность задержать дыхание на более продолжительное время.

С другой стороны, есть вероятность, что одной из причин низких цифр по пробе Штанге была низкая мотивация выполнения пробы у студентов-индийцев. Кроме того, на срочном этапе адаптации к любому фактору в любой группе будет широкий диапазон индивидуальных реакций мозговой активности, что в усредненном виде может не выявить групповых различий. У северян же, как более адаптированных, несмотря на внутригрупповой разброс данных, реакция мозга на пробу была более однонаправленная.

Таким образом, с целью повышения достоверности и исключения возможности неоднозначной трактовки результатов пробы Штанге при измерении УПП планируется провести расширение обследуемых групп с целью формирования исследуемой и

контрольной выборки достаточного объема, результаты пробы Штанге в которых не будут статистически значимо различаться.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Иллариошкин, С. Н. Функциональная межполушарная асимметрия и пластичность мозга / С. Н. Иллариошкин. – Текст : непосредственный // Материалы Всероссийской конференции с международным участием / под ред. С. Н. Иллариошкина [и др.]. – М. : ФГБУ «НЦН» РАМН, 2012.
- 2 Аникина, Н. Ю. Характеристика церебральных энергетических процессов у людей при адаптации к условиям Арктического региона / Н. Ю. Аникина, А. В. Грибанов, И. С. Кожевникова, М. Н. Панков, С. Ф. Багрецов. – Текст : непосредственный // Человек. Спорт. Медицина. – 2019. – Т. 19, № 2. – С. 7–13.
- 3 Грибанов, А. В. Церебральный энергетический метаболизм у подростков, употребляющих психоактивные вещества / А. В. Грибанов, М. Н. Панков, А. Н. ПодоPLEкин. – Текст : непосредственный // Вестник новых медицинских технологий. – 2009. – Т. 16, № 3. – С. 184–186.
- 4 Грибанов, А. В. Церебральный энергообмен как маркер адаптивных реакций человека в природно-климатических условиях Арктической зоны Российской Федерации / А. В. Грибанов, Н. Ю. Аникина, А. Б. Гудков. – Текст : непосредственный // Экология человека. – 2018. – № 8. – С. 32–40.
- 5 Гудков, А. Б. Внешнее дыхание человека на Европейском Севере : моно-графия / А. Б. Гудков, О. Н. Попова ; Сев. гос. мед. ун-т. – Архангельск : СГМУ, 2012. – 252 с. – Текст : непосредственный.
- 6 Бурых, Э. А. Электрическая активность мозга и кислородное обеспечение когнитивно-мнестической деятельности человека при различных условиях гипоксии / Э. А. Бурых, Е. А. Сергеева. – Текст : непосредственный // Физиология человека. – 2008. – Т. 34, № 6. – С. 51–62.
- 7 Нагорнев, С. Н. Влияние климатографических факторов Арктики на здоровье человека: метаболические и патофизиологические аспекты / С. Н. Нагорнев, И. П. Бобровницкий, С. М. Юдин, В. В. Худов, М. Ю. Яковлев. – Текст : непосредственный // RussianJournalofRehabilitationMedicine. – 2019. – № 2. – С. 4–30.
- 9 Фокин, В. Ф. Факторы, определяющие динамические свойства функциональной межполушарной асимметрии / В. Ф. Фокин, Н. В. Пономарева, М. В. Кротенкова, Р. Н. Коновалов, М. М. Танашян, О. В. Лагода. – Текст : непосредственный // Асимметрия. – 2011. – Т. 5, № 1. – С. 4–20.
- 10 Фокин, В. Ф. Регуляция линейной скорости кровотока в парных магистральных артериях при когнитивной нагрузке у больных дисциркулярной энцефалопатией / В. Ф. Фокин, Р. Б. Медведев, Н. В. Пономарева, О. В. Лагода, М. М. Танашян. – Текст : непосредственный // Асимметрия. – 2017. – Т. 11, № 3. – С. 37–45.

## ПРИРОДНЫЕ ВОДЫ КАК ОДИН ИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА

*Колубаева Ю.В.<sup>1</sup>, Иванова И.С.\*<sup>1,3</sup>, Широкова Л.С.<sup>2,3</sup>*

<sup>1</sup>Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г.Томск, IvanovaIS@ipgg.sbras.ru

<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск

<sup>3</sup>Томский государственный университет, г. Томск

Наличие и свободный доступ к чистой питьевой воде является необходимым условием для социально-экономического развития территорий. В последнее время недостаток чистой питьевой воды является глобальной проблемой в мире, в том числе и в Арктике, где природные воды претерпевают значительные изменения, обусловленные как природными, так антропогенными факторами. Наличие многолетнемерзлых пород, заболоченность, климатические изменения; активная добыча углеводородов – все это, несомненно, оказывает влияние на химический состав природных вод. Следует отметить, что в основном, коренное население Арктики – это кочевой народ, не имеющий длительного определённого места жительства. Примерно 40% всего населения арктических районов пьёт воду непосредственно из рек и водоёмов без какой-либо водоподготовки, поскольку ресурсы подземных вод, являющихся приоритетными при организации хозяйственно-питьевого водоснабжения, ограничены. Вода является жизненно важным ресурсом, качество и доступность которого влияют на здоровье и благополучие человека. Проведенное исследование [1] показало, что употребление жителями Арктики речной воды способствует развитию артериальной гипертензии. Традиционное потребление ультрапресной талой воды (льда и снега) может способствовать нарушению обменных процессов и развитию патологических изменений в организме человека.

В связи с этим является актуальным изучение химического состава природных вод, которые могут использоваться населением в качестве возможных источников питьевых вод, их проверки на соответствие нормативам качества вод, а также оценки неканцерогенного риска для здоровья, обусловленного их употреблением.

В 2020-2022 гг. на территории Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) сотрудниками ТФ ИНГГ СО РАН были проведены комплексные гидрогеохимические исследования, результаты которых положены в основу данной работы. Исследуемый район, расположенный в Арктической зоне Западной Сибири, характеризуется высокой степенью заболоченности и развитостью озерно-речной системы. Наличие многолетнемерзлых пород осложняет доступ населения к питьевым пресным подземным водам, которые являются наиболее приоритетными при организации хозяйственно-питьевого водоснабжения, в силу своей защищенности от возможного антропогенного загрязнения. В результате проведенных экспедиционных работ, было отобрано 25 проб подземных вод из водозаборных скважин глубиной от 5 до 244 м, также в качестве возможных источников питьевых вод для кочевого населения были отобраны пробы из 13 рек и 6 крупных озер (рис. 1).

В каждой точке опробования измерялись температура, рН, окислительно-восстановительный потенциал. В ТФ ИНГГ СО РАН методом капиллярного электрофореза и титрованием были определены содержания основных макрокомпонентов и биогенных соединений. В Лаборатории георесурсов и окружающей среды г. Тулузы определено содержание растворенного органического углерода ( $C_{орг}$ ) методом высокотемпературного каталитического окисления, концентрации микроэлементов определены методом ICP-MS.

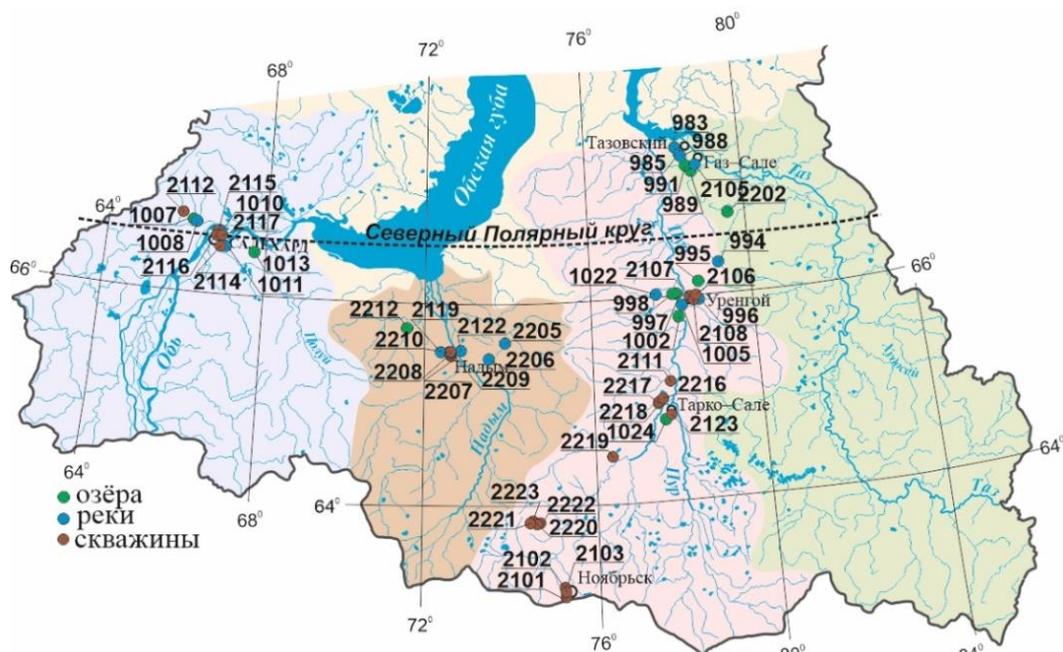


Рис. 1 – Схема отбора проб природных вод на территории ЯНАО

Оценку риска развития неканцерогенных эффектов проводили на основе расчёта коэффициента опасности (НҚ) для детской (до 6 лет) и взрослой возрастных групп по методике, разработанной Американским агентством по охране окружающей среды [2], и согласно [3] по формуле:  $HQ = I/RfD$ , где:  $I$  – средняя суточная доза при пероральном поступлении химического вещества с питьевой водой, мг/(кг · день);  $RfD$  – референтная (безопасная) доза при хроническом пероральном поступлении химического вещества с питьевой водой, мг/(кг · день).

Все природные воды ультрапресные с минерализацией от 10 до 140 мг/л (табл. 1). Значения рН варьируют в широком диапазоне от 4,9 до 7,9, но преимущественно характерна нейтральная и слабокислая среда. В анионном составе преобладает гидрокарбонат ион, в катионном, главным образом, кальций и магний. Кроме того, в озерных водах отмечены высокие концентрации иона аммония, который характеризуются сильной положительной корреляцией со значениями  $C_{орг}$ . Озерные воды характеризуются минимальными значениями минерализации (от 10 до 27 мг/л) и рН (4,9–6,1), при этом воды характеризуются максимальными концентрациями органических веществ ( $C_{орг}$  от 8,7 до 44,2 мг/л). Воды рек более минерализованные (до 140 мг/л), с более высоким показателем рН, при этом воды ручьев и маленьких рек более кислые (5,52–6,0), воды крупных рек более щелочные (до 7,4). Концентрация  $C_{орг}$  снижается и изменяется в пределах от 1,3 до 21,3 мг/л. Среди анионов преобладает гидрокарбонат-ион, среди катионов – кальций, иногда натрий и магний.

Опробованные подземные воды приурочены к двум водоносным комплексам (ВК): четвертичному и эоцен-олигоценному, являющихся основными источниками водоснабжения на территории исследований. Четвертичный ВК имеет повсеместное распространение, но в качестве источника водоснабжения используется в основном в г. Салехарде. Величина рН вод варьирует в пределах от 5,5 до 7,9 (при среднем значении 6,2). Воды являются ультрапресными с минерализацией от 28 до 287 мг/л, низкие содержания солеобразующих элементов  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  характеризуют воды от очень мягких до умеренно жестких. Эоцен-олигоценный ВК пользуется широким распространением в центральной части ЯНАО, является основным источником водоснабжения Пуровского района (рис.1). Воды являются нейтральными, ультрапресными с минерализацией от 41 до 357 мг/л, очень мягкими. По химическому типу воды эоцен-олигоценного ВК так же, как и воды четвертичного ВК, как правило,

являются гидрокарбонатными кальциево-магниевыми. При сравнении с речными водами исследуемой территории, подземные воды характеризуются невысокими значениями РОУ, максимальные содержания которого достигают 12,7 мг/л в водах четвертичного ВК, ниже с глубиной залегания вод, его концентрация снижаются.

Таблица 1 – Основные физико-химические показатели состава природных вод

Компонент, ед. изм.	Поверхностные воды		Подземные воды		ПДК [4]
	Озерные	Речные	Эоцен- олигоценый ВК	Четвертичный ВК	
pH	<u>4,9–6,1</u> 5,7	<u>5,52–7,95</u> 6,8	<u>5,6–7,4</u> 6,8	<u>5,5–7,9</u> 6,2	6-9
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	<u>4,3–22,0</u> 11,0	<u>4,8–87,8</u> 35,6	<u>26,8–204,0</u> 94,0	<u>17,7–210,0</u> 71,6	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	<u>1,0–2,1</u> 1,8	<u>0,9–10,8</u> 3,8	<u>&lt; 0,5–4,2</u> 1,3	<u>&lt; 0,5–25,7</u> 8,3	500
Cl <sup>-</sup>	<u>0,1–0,6</u> 0,3	<u>0,1–15</u> 2,7	<u>&lt; 0,5–86,7</u> 1,3	<u>&lt; 0,5–18,0</u> 2,7	350
Ca <sup>2+</sup>	<u>0,4–3,0</u> 1,3	<u>1,3–15,2</u> 6,3	<u>1,8–32,9</u> 11,3	<u>2,6–30,7</u> 14,1	
Mg <sup>2+</sup>	<u>0,1–1,3</u> 0,6	<u>0,9–6,2</u> 2,4	<u>1,2–16,1</u> 4,9	<u>0,6–26,5</u> 4,2	50
Na <sup>+</sup>	<u>0,3–2,1</u> 0,8	<u>0,3–16,6</u> 3,5	<u>2,1–83,8</u> 4,7	<u>1,2–13,4</u> 2,6	200
K <sup>+</sup>	<u>&lt; 0,5–2,0</u> 0,4	<u>&lt; 0,5–1,8</u> 0,5	<u>&lt; 0,5–3,0</u> 1,5	<u>0,5–4,0</u> 0,7	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	<u>&lt; 0,5–2,1</u> 0,7	<u>&lt; 0,5–1,5</u> 0,4	<u>&lt; 0,5–4,6</u> 0,8	<u>&lt; 0,5–1,7</u> 0,8	1,5
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<u>&lt; 0,2–1,7</u> 0,87	<u>&lt; 0,2–0,7</u> 0,18	<u>&lt; 0,2–0,48</u> 0,25	<u>0,34–24,1</u> 1,1	45
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	<u>&lt; 0,25</u>	<u>&lt; 0,2–0,9</u> 0,2	<u>&lt; 0,25–4,4</u> 0,7	<u>&lt; 0,25–2,8</u> –	3,5
C <sub>орг</sub>	<u>8,7–44,2</u> 20,8	<u>1,3–21,3</u> 10	<u>0,6–9,5</u> 4,1	<u>0,4–12,7</u> 2,1	
Минерализация	<u>10,2–27,8</u> 16,6	<u>14–140</u> 55	<u>41–357</u> 131	<u>28–287</u> 115	1000
Fe общ	<u>0,2–1,4</u> 0,6	<u>0–1,8</u> 0,8	<u>1,4–9,1</u> 3,6	<u>0,01–14,8</u> 2,4	0,3
Mn, мкг/л	<u>0–90,1</u> 18	<u>0–59,9</u> 14	<u>154,7–918,7</u> 364,3	<u>1,1–1394,7</u> 453,7	100
Li	<u>0–1</u> 0,3	<u>0–2,4</u> 0,6	<u>0,5–7,7</u> 2,4	<u>0,5–3,4</u> 1,1	30
B	<u>0–4,1</u> 1	<u>0–18,3</u> 3,6	<u>4,8–342,5</u> 55,5	<u>0,9–92,9</u> 9,2	500
Al	<u>0–235,7</u> 62,6	<u>0–228,5</u> 28,7	<u>0,2–63,3</u> 6,5	<u>2,6–38,3</u> 7,9	200
Ni	<u>0–1,8</u> 0,48	<u>0–2,7</u> 0,45	<u>0,03–1,2</u> 0,25	<u>0,2–35,9</u> 5,1	20
Zn	<u>0–14,2</u> 2,7	<u>0–2,8</u> 0,5	<u>0,4–28,1</u> 3,6	<u>2,2–645,6</u> 9,6	5000
As	<u>0–0,9</u> 0,3	<u>0–1,3</u> 0,2	<u>0,07–9,3</u> 1,0	<u>0,02–3,9</u> 0,7	10

Примечание: в числителе – пределы содержаний, в знаменателе – среднее; ПДК – предельно-допустимая концентрация компонента.

В целом же анализ результатов химического состава природных вод на несоответствие гигиеническим нормативам показал, что по обобщенным показателям качества вод и элементам макрокомпонентного состава, как правило, превышений относительно ПДК не обнаружено. При этом среди элементов микрокомпонентного

состава вод обнаружены превышения относительно установленных нормативов [4] для  $Fe_{общ}$  и  $Mn$  (табл. 1). Максимальные содержания  $Fe_{общ}$  и  $Mn$  характерны для подземных вод четвертичного ВК. Максимальные концентрации железа и марганца установлены в неглубоких подземных водах (5 м), отобранных вблизи г. Надыма, что обусловлено наличием торфов, проницаемых песчаных отложений и заболоченных территорий, что способствует обогащению вод растворенным органическим веществом и накоплению данных элементов.

На основе данных о содержании в водах  $Fe_{общ}$  и  $Mn$  были рассчитаны средние суточные дозы веществ при пероральном поступлении с питьевой водой. Полученные результаты и значение референтной дозы использовали для расчёта коэффициента опасности (HQ) (табл. 2).

Таблица 2 – Результаты расчетов коэффициента опасности по возрастным группам

Компонент	RfD	HQ для возрастных групп			
		Дети		Взрослые	
		Минимум	Максимум	Минимум	Максимум
$Fe_{общ}$	0,3	0,0	3,16	0,0	1,35
$Mn$	0,14	0,0	0,64	0,0	0,27

По данным, приведённым в табл. 2, видно, что максимальные значения коэффициента опасности для марганца не превышают единицы, а для железа – варьируют в широком диапазоне. При этом максимальные величины HQ для детской возрастной группы отличаются в два раза большими значениями по сравнению со взрослой возрастной категорией, что объясняется большей дозой токсического вещества, поступающей в организм, на единицу массы тела ребенка по сравнению со взрослым человеком.

По результатам расчётов HQ в соответствии с классификацией, приведённой в руководстве по комплексной профилактике экологически обусловленных заболеваний на основе оценки риска [5], установлено, что ситуация по марганцу не вызывает опасения, так как значения коэффициента опасности для данного компонента укладываются в диапазон минимального и допустимого уровней риска для обеих возрастных групп (табл. 3). В отличие от марганца для железа небольшой процент проб попадает в настораживающий уровень риска, а для детской возрастной группы – даже в высокий уровень риска, однако такая ситуация отмечается в единичном случае.

Таблица 3 – Распределение результатов расчета HQ по уровням риска в % от общего числа опробованных вод

Компонент	Уровень риска							
	Минимальный (0.1 и <)		Допустимый (0.11–1.0)		Настораживающий (1.1–3.0)		Высокий (> 3)	
	Дети	Взрослые	Дети	Взрослые	Дети	Взрослые	Дети	Взрослые
Fe	22,7	50	63,6	45,5	11,4	4,5	2,3	0
Mn	63,6	84,1	36,4	15,9	0	0	0	0

Таким образом, опираясь на результаты, полученные при расчетах, можно сделать вывод, что основным фактором риска для здоровья населения ЯНАО при использовании вод в питьевых целях является избыточное содержание железа.

Необходимо также отметить, что при существующей проблеме вторичного загрязнения питьевой воды в связи с неудовлетворительным санитарно-техническим состоянием распределительных сетей ЯНАО вероятен риск фиксирования и более высоких концентраций железа в воде. Что, в свою очередь, повышает риск неблагоприятного прогноза в отношении развития заболеваний, которые могут возникнуть в результате хронического употребления вод с высоким содержанием

железа. В частности, речь идет о таких заболеваниях неинфекционного характера, как: болезни кожи и подкожной клетчатки, болезни мочеполовой системы, органов пищеварения (гастрит, дуоденит, колит), болезни печени и органов дыхания, болезни эндокринной и костно-мышечной систем, болезни крови и кроветворных органов, нейродегенеративные заболевания (болезнь Альцгеймера) и некоторые другие [6-11].

Употребление озерных и речных вод, содержащих высокие концентрации растворенных органических веществ, ведет к снижению водопотребления населением и формированию питьевых привычек ограничения употребления воды. Несоблюдение питьевого режима также способствует нарушению обменных процессов в организме [1] с изменением свёртываемости крови (повышается риск тромбозов), сгущением жидких сред организма (желчнокаменной и мочекаменной болезни), нарушению функционирования суставов (формирования артрозов и артритов). «Невкусная» мутная или «цветная» вода способствует развитию болезней желудка и кишечника, сопровождающихся моторными и секреторными нарушениями. То есть, при оценке рисков возникновения заболеваний у населения, обусловленных качеством питьевой воды, необходимо учитывать не только макро- и микрокомпонентный состав вод, но и содержащееся в них растворенное органическое вещество, влияющее на органолептические ее показатели.

*Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания по теме «Цифровые гидрогеологические и гидрогеохимические модели нефтегазоносных бассейнов центральных и южных территорий Западной Сибири» № 0266-2022-0016, Программы развития Томского государственного университета (Приоритет-2030).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bogdanova E., Lobanov A., Andronov S.V., Soromotin A., Popov A., Skalny A.V., Shaduyko O., Callaghan T.V. Challenges of Changing Water Sources for Human Wellbeing in the Arctic Zone of Western Siberia // Water. 2023. № 15(8).1577.
2. Exposure Factors Handbook (EPA/600/R-09/052F). Washington: United States Environmental Protection Agency, 2011. 1466 p.
3. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.
4. СанПиН 1.2.3685–21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [Электронный ресурс]. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 г. № 2. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения 02.09.2023).
5. Руководство по комплексной профилактике экологически обусловленных заболеваний на основе оценки риска. – М.: Министерство здравоохранения Российской Федерации, 2017. 68 с.
6. Егорова Н.А., Канатникова Н.В. Влияние железа в питьевой воде на заболеваемость населения г. Орла // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96. № 11. С. 1049-1053.
7. Безрукова Д.А., Джумагазиев А.А., Мясищева А.Б., Шелкова О.А. Качество питьевой воды и заболеваемость атопической патологией у детей и подростков, проживающих в условиях йодного дефицита и антропогенного загрязнения окружающей среды // Экология человека. 2010. № 6. С. 24-29.
8. Лапенко В.В., Бикбулатова Л.Н., Терникова Е.М. Эколого-физиологическая оценка химического состава водопроводной воды городов Ханты-Мансийск и Салехард // Ульяновский медико-биологический журнал. 2020. № 3. С. 159-167.

9. Aamodt G., Bukholm G., Jahnsen J., Moum B., Vatn M.H. The association between water supply and inflammatory bowel disease based on a 1990–1993 cohort study in southeastern Norway // *American Journal of Epidemiology*. 2008. V. 168(9). P. 1065-1072.
10. Brewer G.J. Risks of copper and iron toxicity during aging in humans // *Chemical Research in Toxicology*. 2010. V. 23(2). P. 319-326.
11. Campbell A. The role of aluminium and copper on neuroinflammation and Alzheimers disease // *Journal of Alzheimer's Disease*. 2006. V. 10(2–3). P. 165-172.

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДЛЯ КЛИНИЧЕСКОГО ТЕСТА ВЫЯВЛЕНИЯ ПАТОЛОГИИ ШЕЙКИ МАТКИ, ПРИМЕНИМОЙ В ТРУДНОДОСТУПНЫХ МЕСТАХ АРКТИКИ**

*Кононова И.В.*

Якутский научный центр комплексных медицинских проблем, г. Якутск,  
irinakon.07@mail.ru

Несмотря на проводимый скрининг патологии шейки матки (ШМ) с целью профилактики и выявления рака шейки матки (РШМ) на ранних стадиях смертность от него имеет значительную долю в структуре показателей злокачественных новообразований (ЗНО). Стандартизованные по возрасту и рассчитанные на 100 тысяч населения показатели смертности от РШМ, опубликованные в текущее время в интернет-портале Международного агентства по изучению рака, указывают, что в 2020 г. в России в структуре всех ЗНО смертность от РШМ среди женщин 15-44 лет вышла на 1-ое место (4,6 случаев), среди женщин всех возрастов - 7-ое место (6,1 случаев) [1].

Сравнительный анализ смертности от РШМ в 2016-2020 гг., проведенный среди государственных образований (ГО), поселения которых относятся к Арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ) выявил неблагоприятную ситуацию – в Республике Коми, Красноярском крае и Чукотском автономном округе смертность от РШМ в этот период времени превысила общероссийскую, ни в одном из остальных шести ГО – Архангельской и Мурманской областях, Республиках Карелия и Саха (Якутия), Ямало-Ненецком и Ненецком автономных округах смертность от РШМ не была ниже общероссийской и имела сопоставимые уровни [2].

Регионы АЗРФ испытывают значительные трудности в реализации государственных задач по повышению уровня жизни населения, обеспечению его качественными товарами и услугами. Считается, что основными причинами являются климатические условия, размер территории, недостаточность или даже отсутствие транспортной инфраструктуры, значительная дисперсность населенных пунктов, низкая плотность населения, номадизм и т.д. [3,4]. Эти трудности негативно влияют, в том числе на использование и эффективность традиционных методов скрининга патологии ШМ у женщин, проживающих в Арктике. Это препятствует снижению смертности от РШМ. Поэтому в Якутском научном центре комплексных медицинских проблем приступили к разработке системы для клинического теста выявления патологии ШМ, который можно будет проводить женщинам, не имеющих доступ к традиционным методам скрининга или не желающим его проходить.

Система будет маловесна, компактна по размерам и легко мобильна. Подразумевается, что она будет состоять из прибора биоимпедансометрии, цервикального электрода (ЦЭ) и программно-аппаратного комплекса для хранения и анализа информации в виде ноутбука или любого другого гаджета с оригинальными программами для ЭВМ, содержащими алгоритмы с поддержкой искусственного интеллекта. Передача данных электрических измерений, снятых с поверхности шейки

матки и ее канала, от прибора биоимпедансометрии к программно-аппаратному комплексу будет проводиться беспроводными технологиями. Схематически система представлена на рисунке 1.

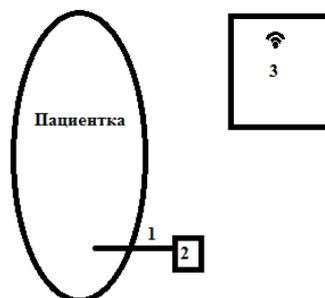


Рис. 1 - Схематическое изображение системы для разрабатываемого клинического теста малотравматичного выявления патологии ШМ в режиме реального времени методом биоимпеданса с использованием цервикального электрода.

1-цервикальный электрод, 2 – биоимпедансометр, 3- программно-аппаратный комплекс для хранения и анализа информации.

Биоимпедансный анализ является эффективной технологией, которая широко применяется в медицине – оториноларингологии, стоматологии, реаниматологии, кардиологии, спортивной медицине, диетологии и т.д. Основываясь на знаниях о том, что клетки тканей ЗНО имеют более высокую удельную электрическую проводимость по сравнению с нормальными, в настоящее время проводятся исследования по использованию биоимпедансного анализа для выявления рака молочной железы в режиме реального времени [5]. Однако для выявления злокачественной патологии ШМ биоимпедансометрия не используется, так как электрические проводники для ШМ и ее канала отсутствовали. Изобретение ЦЭ заполнило этот пробел [6]. В настоящее время получен первый материальный прототип ЦЭ и идет разработка второго прототипа с учетом рекомендаций и замечаний гинекологов-онкологов Якутского республиканского онкологического диспансера. Также проводятся стартовые исследовательские работы по разработке оригинального аппарата для биоимпедансометрии, совместимого с ЦЭ.

Использование в арктических территориях разрабатываемой инновационной системы для выявления патологии ШМ представляет собой потенциальную альтернативу традиционным методам скрининга патологии ШМ, проведение которых, как было отмечено выше в некоторых арктических поселениях или других местах жительства женщин затруднительно или даже невозможно. Во-первых, разрабатываемая система будет удобна для транспортировки. Подразумевается, что ее вес составит не более 1 кг, из них - вес аппарата биоимпедансометрии – до 0,5 кг, его габариты в сумме не более 40 см, вес ЦЭ одноразового - до 0,015 кг, длина – не более 30 см, максимальный диаметр – не более 2 см. Для традиционного скрининга патологии ШМ необходимо в арктическое поселение доставить значительное количество и объем расходных материалов, требующих особых условий транспортировки – предметные стекла, виалы с транспортными средами, зонды и т.д. Во-вторых, система позволит выявлять патологию ШМ в режиме реального времени врачом-гинекологом, в то время как при традиционном скрининге патологии ШМ, из арктического поселения нужно вывезти обратно расходные материалы с забраным биоматериалом женщин в специализированную клиничко-диагностическую лабораторию, где уже другим медицинским специалистом будет сделано заключение. В третьих – использование ЦЭ делает выявление патологии ШМ менее болезненным, так как не требует забора

материала из шейки матки и цервикального канала. Тем самым, можно ожидать, что меньшее количество женщин будет уклоняться от процедуры выявления патологии ШМ с помощью разрабатываемой системы.

Таким образом, научные исследования в Якутском научном центре комплексных медицинских проблем по разработке инновационной системы для клинического теста малотравматичного выявления патологии шейки матки в режиме реального времени методом биоимпеданса с использованием цервикального электрода актуальны, оригинальны, имеют новизну и потенциал применения в клинической практике на территориях Арктики.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. International Agency for Cancer Research [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gco.iarc.fr/> (дата обращения 25.08.2023).
2. Кононова И.В. и др. Рак шейки матки в субъектах Арктической зоны России: сравнительный анализ заболеваемости и смертности в период с 2016 по 2020 г. // Якутский медицинский журнал. 2022 №2. С. 85-89
3. Гасий В.В., Постников А.В. Современные условия реализации политики социально-экономического развития арктических регионов России // Бизнес. Образование. Право. 2020. № 2. С. 31–36.
4. Глобальная стратегия по ускорению ликвидации рака шейки матки как проблемы общественного здравоохранения [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.who.int/ru/publications/i/item/9789240014107> (дата обращения 30.08.2023).
5. Ястребов А.В. и др. Распределения биоимпеданса в тканях молочной железы с новообразованием (моделирование и эксперимент) / // Вопросы радиоэлектроники. 2020. № 2. С. 16–22.
6. Кононова И.В. ЯНЦ КМП. Цервикальный электрод для устройств измерения электрических сигналов. Патент РФ 204 874. Заявка: 2020113336, 02.04.2020. Опубликовано: 16.06.2021 Бюл. № 17.

#### **ИНДИВИДУАЛЬНО-ТИПОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РЕАКТИВНОСТИ ВЕГЕТАТИВНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ПО РИТМУ СЕРДЦА В УСЛОВИЯХ ОБЩЕГО ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА И ПАРАМЕТРЫ ПРОИЗВОЛЬНОГО ВНИМАНИЯ**

*Кривоногова Е.В., Кривоногова О.В., Поскотинова Л.В.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лавёрова УрО РАН, г. Архангельск, elena200280@mail.ru

В настоящее время в связи со значимостью развития территорий Арктической зоны оценка адаптационных возможностей человека остается одним из актуальных направлений. В условиях Севера, где на организм действуют дискомфортные факторы среды (низкие температуры, низкая солнечная активность) происходит напряжение адаптационных механизмов человека для поддержания гомеостаза [1]. В ряде исследований показано замедление функции переключения внимания и удлинение латентного времени P300 у молодежи, проживающей на Севере, в сравнении с ровесниками, проживающими в южных регионах [2,3]. Внимание часто определяется, как способность выбирать релевантную информацию и игнорировать нерелевантную, отвлекающую и связано с активностью вегетативной нервной системы [4]. Взаимодействие между вегетативной и центральной нервной системой имеет решающее значение для когнитивной регуляции. Приспособительные реакции

индивидуальны и реализуются у разных лиц с различной степенью участия функциональных систем [5]. О характере приспособительных реакций можно судить по динамике показателей физиологических систем организма под воздействием функциональных нагрузок [1]. Однако вопрос о механизмах взаимодействия вегетативной и центральной нервной системы с точки зрения индивидуальных различий в приспособительных реакциях и обеспечения когнитивной деятельности в условиях адаптации человека к Северу остается малоизученным. Цель работы заключалась в оценке взаимосвязи индивидуально-типологических реакций вариабельности ритма сердца и параметров произвольного внимания на кратковременный холод.

**Материалы и методы.** В исследовании приняли участие 28 испытуемых мужского пола в возрасте 18—21 года (средний возраст  $19,9 \pm 1,2$  лет, практически здоровые, жители г. Архангельска). Исследование было одобрено Этическим комитетом Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН (протокол № 2 от 28.03.2018). Все лица, участвующие в исследовании, подписали информированное согласие. Исследования проводились в зимний период года (январь—февраль) в первой половине дня. Индекс массы тела обследуемых не выходил за границы нормальных значений (от 18,5 кг/м<sup>2</sup> до 24,9 кг/м<sup>2</sup>). Все обследуемые были в однотипной одежде — кроссовки, хлопчатобумажные брюки, футболка и медицинский халат. Проводили запись вариабельности сердечного ритма (BCP) (5 минут), температуры кожного покрова кисти (Тк) в теплом помещении (этап — фон), при нахождении в холодной камере «УШЗ-25Н» (-20<sup>0</sup> С) и через 5 минут после выхода из холодной камеры. Предварительно проводилась оценка произвольного внимания по тесту Тулуз—Пьерона [6] в теплом помещении (скорость, точности выполнения заданий теста и количества ошибок). Оценка состояния вегетативной нервной системы осуществлялась по показателям BCP, которые оценивались с помощью АПК «Варикард» (г. Рязань). Использовали временной и спектральный виды анализа: частота сердечных сокращений (ЧСС, уд. в мин.), среднее квадратичное отклонение (SDNN, мс), отражающее суммарное значений показателей вегетативной регуляции кровообращения; квадратный корень из суммы квадратов разности величин последовательных пар RR-интервалов (RMSSD, мс) и процент количества пар последовательных кардиоинтервалов в кардиограмме, отличающихся более чем на 50 мс (PNN50%), отражают активность парасимпатического звена вегетативной регуляции, индекс напряжения регуляторных систем (SI, усл. ед.), мощность спектра BCP в диапазоне высоких частот (HF, 0,4—0,15 Гц), в низкочастотном (LF, 0,04 до 0,15 Гц) и в сверхнизкочастотном диапазоне (VLF, 0,04—0,015 Гц); суммарная мощность спектра BCP (TP, мс<sup>2</sup>). Тк регистрировали медицинским электронным инфракрасным термометром V.Well WF — 1000 (Швейцария). Статистическую обработку данных проводили в программе Statistica 10.0. Проверка распределения количественных данных на нормальность осуществлялась с использованием критерия Shapiro—Wilk. Показатели BCP, параметры произвольного внимания, Тк представлены в виде медианы и 25- и 75-перцентилей (Me (25p; 75p)). Для выделения однородных групп по параметрам BCP (TP, SI), показателям произвольного внимания (V, K) и температуры поверхности тела (Тк) в фоне использовали кластерный анализ методом k-средних. Сравнение количественных данных для трех независимых групп проводили с помощью критерия Краскела—Уоллиса, двух независимых групп — критерия Манна—Уитни. Для анализа повторных измерений применяли критерий хи-квадрат Фридмана, при попарном сравнительном анализе — метод Вилкоксона, использовали критический уровень значимости менее 0,05 при сравнении с фоновыми значениями.

**Результаты исследования и обсуждение.** Методом кластеризации было выявлено три группы респондентов, различающиеся по параметрам произвольного

внимания, по параметрам ВСР при фоновой оценке. Анализ параметров произвольного внимания выявил, что у испытуемых групп I и II наблюдалась средняя скорость выполнения заданий теста (I группа 58,9(50,5;61,1), II группа 59,4(54,8;66,2) знаков/мин), а у испытуемых группы III отмечалась низкая скорость (44,7(38,4;53,2) знаков/мин). По точности выполнения теста статистических значимых различий не выявлено между испытуемыми трех групп. В группе I точность выполнения задания составила 0,98(0,95;0,98), в группе II - 0,96(0,93;0,97), в группе III - 0,97(0,96;0,98). Однако в группе I отмечался высокий уровень точности выполнения заданий, в то время как у испытуемых группы II было выявлено большее количество ошибок в тесте. Анализ температуры кожного покрова кисти рук (Тк) показал, что у молодых людей II и III показатели Тк были статистически более низкими, чем у испытуемых группы I. При воздействии холода отмечалось снижение Тк ( $p < 0,05$ ) во всех группах испытуемых, при этом в группе III наблюдались более низкие значения ( $p < 0,01$ ). Оценка аналогичных показателей через 5 минут после пребывания на холоде не выявила восстановления Тк у испытуемых. Показатели испытуемых трех исследуемых групп различались по параметрам ВСР, большие значения SDNN, pNN50%, RMSSD, TP ( $p < 0,01$ ) регистрировались у испытуемых группы II, где SI меньше 50 у.е. отмечалось у 75% обследуемых. Наименьшие значения SDNN, pNN50%, RMSSD, TP ( $p < 0,01$ ) наблюдались у испытуемых группы III, где SI больше 150 у.е. регистрировалось у 62,5% обследованных. В группе I значения SI находились в пределах 50—150 у.е. в 75% случаев. При воздействии холода у испытуемых всех групп отмечалось повышение значений SDNN и TP ( $p < 0,05$ ). Анализ спектральной мощности ВСР выявил повышение HF, мс<sup>2</sup>, LF, мс<sup>2</sup> ( $p < 0,05$ ) у испытуемых группы I после пребывания на холоде. В группе II отмечалось повышение HF, мс<sup>2</sup> ( $p < 0,05$ ); у респондентов группы III повышались HF, мс<sup>2</sup>, LF, мс<sup>2</sup>, VLF, мс<sup>2</sup> ( $p < 0,05$ ). Через 5 минут после прекращения холода показатели ВСР у испытуемых групп I и II достигали фоновых значений, а в группе III не восстанавливались до фоновых значений. Таким образом, выявлено три варианта адапционно-приспособительных реакций у молодых мужчин в ответ на воздействие низких температур (-20<sup>0</sup>C). У испытуемых группы I, отличающихся высокой точностью выполнения задания и средней скоростью обработки информации, отмечался более оптимальный режим функционирования систем организма в ответ на холод, что проявлялось в умеренном снижении температуры поверхности кожи, активацией парасимпатической нервной системы и вазомоторного центра. У испытуемых группы II, показавших среднюю скорость выполнения с большим по сравнению с испытуемыми других групп количеством ошибок, наблюдалась приспособительная реакция на холод с недостаточной мобилизацией ресурсов, что отражалось в меньшем снижении температуры поверхности кожи, повышением активности парасимпатической нервной системы. У испытуемых группы III, характеризовавшихся низкой скоростью выполнения заданий теста, но достаточно высокой точностью, отмечалось напряжение адапционно-приспособительных механизмов в ответ на холод, что проявлялось в выраженном снижении температуры поверхности кожи, усиленном ответе со стороны вегетативной нервной системы в виде повышения как парасимпатических, так и симпатических влияний на регуляцию ритма сердца.

*Исследование выполнено по программе фундаментальных научно-исследовательских разработок ФИЦКИА УрО РАН, № № 122011300469-7.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Максимов А.Л., Аверьянова И.В. Особенности гемодинамики и вариабельности сердечного ритма у юношей-европеоидов при проведении активной ортостатической пробы // Экология человека. 2021. № 1. С. 22-31.

2. Кривоногова Е.В. Когнитивный вызванный потенциал р300 у школьников 16-17 лет, проживающих в регионах арктической зоны РФ // Журнал медико-биологических исследований. 2020. Т. 8. № 4. С. 360-367.
3. Солонин Ю.Г. Исследования по широтной физиологии (обзор) // Журнал медико-биологических исследований. 2019. Т. 7. № 2. С. 228-239.
4. Siennicka A., Quintana D.S., Fedurek P., Wijata A., Paleczny B., Ponikowska B., Danel D.P., Resting heart rate variability, attention and attention maintenance in young adults // International Journal of Psychophysiology. 2019. Vol. 143. P.126-131.
5. Марков А.Л., Солонин Ю.Г., Бойко Е.Р. Влияние метеорологических параметров на вегетативную регуляцию ритма сердца у жителей европейского севера: индивидуальный контроль // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. 2018. № 1. С. 21-29.
6. Ясюкова Л.А. Оптимизация обучения и развития детей с ММД. Диагностика и компенсация минимальных мозговых дисфункций Методическое руководство – СПб.: ГП "ИМАТОН", 1997. 80 с.

## **АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПИТАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ**

*Лебедева У.М.<sup>1</sup>, Степанов К.М.<sup>2,3</sup>, Чиряева Л.М.<sup>2,4,5</sup>*

<sup>1</sup>Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Амосова, г. Якутск, ulev@bk.ru

<sup>2</sup>ФГБУН ФИЦ Якутский научный центр СО РАН, г. Якутск

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО Арктический ГАТУ, г. Якутск

<sup>4</sup>ФГБУН Институт социально-политических исследований ФНИСЦ РАН, г. Москва

<sup>5</sup>ФГБОУ ВО «РАНХИГС при Президенте РФ», г. Москва

Экстремально суровые природно-климатические условия северных и арктических территорий предъявляют повышенные требования к сохранению здоровья, снижению распространенности алиментарно-зависимых заболеваний, увеличению ожидаемой продолжительности жизни и повышению качества жизни коренного и пришлого населения Республики Саха (Якутия). Здесь, в условиях изменяющегося климата Арктических территорий, чрезвычайно важную социальную и медицинскую значимость имеет обеспечение населения оптимальным питанием [2, 3].

Это достигается за счет развития теории и практики персонализированного питания, разработки эффективных нутрициологических и диетологических технологий и методов профилактики нарушений здоровья с раннего детства, а также методов повышения адаптационных возможностей и обеспечения продовольственной безопасности, которые являются крайне актуальными задачами социально-экономического развития региона. При этом, главную роль в решении этих задач играют эффективные взаимодействия Главы, Правительства Республики Саха (Якутия), Федеральных надзорных, образовательных и научных учреждений, производственных и бизнес – структур, общественных организаций [1, 2].

**Основные результаты.** Отсутствие единой системы питания приводит к различным толкованиям при разработке различных программ не только по производству, завозу продуктов, расходованию бюджетных средств, а также по рациональному питанию человека в условиях Республики Саха (Якутия) [1, 2]. Поэтому, результаты мониторинговых эпидемиологических исследований, проведенных в Республике Саха (Якутия) за последние десятилетия, являются фундаментальной научно-методической и аналитической базой для обоснования научно-практических рекомендаций по оптимизации системы питания различных

групп населения. Эта база в перспективе должна быть инструментом для разработки проектов, законодательных актов и нормативно-правовых документов в области совершенствования системы питания различных групп населения Республики Саха (Якутия).

Проведенные исследования показали, что рацион жителей северных и арктических территорий представлен низкокалорийной пищей с низким содержанием не только основных макронутриентов (белков, жиров, углеводов), но и сочетан с недостатком жизненно важных микронутриентов, таких как Са, К, Mg и Р, а также витаминов: А, группы В и С как в городе, так и в селах Якутии.

Многие аспекты принципов питания народов Крайнего Севера: молочнокислая пища, кумыс, бессолевая диета, повышенное потребление высококалорийной пищи (жиров) в условиях низких температур и других явлений, признаются гигиенически целесообразными и полезными. В Республике Саха (Якутия) имеется уникальное природное сырье для производства продуктов общего и функционального назначения [3, 4, 5].

Особое значение приобретает употребление продуктов, произрастающих в местных условиях. Помимо продуктов растительного происхождения в рационе северян присутствуют продукты животного происхождения. Северная рыба – естественный источник таких веществ, как йод, витамин D, фосфор и качественный белок с полным спектром аминокислот [3, 4]. Сочетание в рационе продуктов растительного и животного происхождения необходимо для укрепления иммунитета и может расцениваться как биологически более полноценное из-за взаимного обогащения одних белков аминокислотами других. При этом суточная потребность в белке должна восполняться как общий расход белка, так и потребность в незаменимых аминокислотах.

Актуальность вопроса оптимизации системы питания различных групп населения Республики Саха (Якутия) очевидна для органов государственной власти и местного самоуправления [1, 2].

За период 2001-2021 гг. в Республике Саха (Якутия) проведены ряд клинико-эпидемиологических мониторинговых исследований по изучению и оценке фактического питания и пищевых привычек, состояния здоровья и культуры питания среди детского и взрослого населения Республики Саха (Якутия). Научные исследования доказали связь питания не только с социально-экономическим положением конкретного человека, но и выявили недостаточную информированность населения о принципах здорового питания, для осуществления которых необходимо, чтобы все структуры и организации, имеющие отношение к здоровому питанию, предпринимали согласованные действия, выработали общую политику, т.е. согласие партнеров о том, какие проблемы надо решать и с помощью каких стратегий.

Проведенный анализ свидетельствует о том, что повышенный уровень заболеваемости населения, особенно в экстремальные сезоны года (полярная ночь, полярный день) можно рассматривать как проблему формирования транзитного индуцированного иммунного нарушения на Крайнем Севере. Одной из причин этого является несбалансированное питание, определяющее особенности функционирования иммунной системы в условиях Крайнего Севера [6].

Решить проблему необходимо с помощью коррекции рационов питания за счет использования витаминов и витаминсодержащих комплексов, микро- и макроэлементов, пробиотиков, пребиотиков, специализированных продуктов с иммуномодифицирующими свойствами и продуктов функционального питания промышленного производства. Необходимо также использовать продукты местных сырьевых ресурсов, которые могут повысить уровень иммунной защиты и снизить распространенность как инфекционных, так и неинфекционных заболеваний и их последствий на Крайнем Севере.

Основа здоровья населения в экстремальных условиях – это этническое питание.

При организации питания в условиях Крайнего Севера следует учитывать национальные особенности питания. Необходимо также широко рекомендовать традиционно используемые в питании все группы продуктов, включая молоко и молочные продукты, мясо различных животных, рыбу, плоды и ягоды, произрастающие в данных климатических зонах.

Питание в период беременности и лактации оказывает значительное влияние на развитие и состояние здоровья ребенка в дальнейшем. Поэтому, нами изучены особенности питания беременных и кормящих женщин, детей раннего, дошкольного и школьного возраста, проживающих в условиях Крайнего Севера. Одновременно, изучены национальные молочные, мясные, рыбные продукты, большинство из которых могут быть рекомендованы в условиях Крайнего Севера. Также, представлен новый персонализированный подход к организации питания беременных и кормящих женщин, ассортимент используемых продуктов в их питании с учетом проживания в условиях Крайнего Севера [7, 8].

Проведенные исследования по изучению фенотипического проявления полиморфизма rs 9939609 гена *FTO* в диаде мать-дитя, подтвердили известный факт ассоциации полиморфизма rs9939609 гена *FTO* с развитием избыточной массы тела и ожирения. Аллель А изучаемого полиморфизма вносит свой вклад в риск развития ожирения, причем клиническое проявление носительства полиморфизма связано с возрастом матери. Женщины-носители генотипа АА имели повышенную прибавку массы тела во время беременности, сопровождавшуюся, в то же время, снижением массы тела новорожденного. Вместе с тем, показано, что в развитии избыточной массы тела и ожирения у обследованных женщин играют роль не только генетические, но и другие факторы (климатогеографические, национальные, возрастные) [9].

Приведенные данные свидетельствуют о необходимости дальнейшего изучения роли аллеля А полиморфизма rs9939609 гена *FTO* в развитии ожирения и возможности дифференцированного подхода к организации питания матерей в условиях Крайнего Севера. Освещены основные положения по результатам исследования генов-кандидатов, таких как *PPARG*, *FABP2*, *ADRB2*, *ADRB3*.

Проблема сохранения и поддержки продолжительности грудного вскармливания является актуальной задачей первичной профилактики заболеваний детского возраста, которая обеспечивает ребёнку долгосрочную защиту, формируя основу будущего здоровья [7].

В 2012 году Якутия вступила в реализацию глобальной инициативы Всемирной организации здравоохранения по поддержке и охране грудного вскармливания. Внедрены два больших проекта: первый – программа ВОЗ «Больница, доброжелательная к ребёнку». В новом Перинатальном центре Минздрав республики открыт Центр грудного вскармливания для реализации проектов и программ по поддержке, пропаганде и поощрению грудного вскармливания в республике. В течение более десяти лет аттестованы на присвоение звания ВОЗ «Больница, доброжелательная к ребёнку» девять больниц Минздрава Якутии, имеющие показатели уровня грудного вскармливания от 70-94%. Это говорит о том, что практически все дети кормятся грудным молоком.

Второй проект – внедрение мероприятий Всемирной недели грудного вскармливания, которые проводятся каждый год в начале августа месяца. С тех пор приказом Минздрава Якутии ежегодно проводятся широкомасштабные мероприятия по пропаганде и популяризации грудного вскармливания, здорового питания матерей и детей.

В динамике за последние годы отмечается повышение показателей общей и первичной заболеваемости детей Республики Саха (Якутия). Показатель первичной и общей заболеваемости детей Республики Саха (Якутия) выше, чем в целом по РФ и ДФО и имеет региональные особенности [1]. При рассмотрении по районам

республики заболеваемость весьма неоднородна, первичная заболеваемость выше в ряде арктических районов, что также является региональным компонентом, влияющим от многих факторов.

Проведенные сравнительные эпидемиологические исследования фактического питания и пищевых привычек среди детей и подростков Республики Саха (Якутия) выявили, что энергетический вклад макронутриентов у городских и сельских детей и подростков распределился соответственно следующим образом: углеводы – 54 % и 57 %, белки – 14 % и 14 %, жиры – 33 % и 30 %. Таким образом, вклад белков в энергоценность рациона был ниже рекомендуемых величин, что, в свою очередь, не соответствует вкладу по нормативам, рекомендуемым ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» для северных регионов. Вклад углеводов составил более 50 % как среди городских, так и сельских детей и подростков. Вклад жиров был несколько выше у городских обследуемых. Среднесуточное потребление витаминов среди детей и подростков города и села составило: В<sub>1</sub> – 61,5 % и 46,1 %, В<sub>2</sub> – 73,3 % и 53,3 %, РР – 55 % и 45 % соответственно от рекомендуемых величин.

Основными проблемами питания в организованных учреждениях республики являются отсутствие единой системы питания; несоответствие материально-технической базы и качества технологического оборудования в части пищеблоков и столовых; отсутствие комбинатов питания; слабое внедрение в практику методологии единых рационов-меню по физиологическим потребностям с учетом особенностей проживания, обучения, традиций питания; наличие проблемы обеспечения пищеблоков сельских учреждений системами холодного и горячего водоснабжения; недостаточное внедрение системы мониторинга питания, здоровья и обучения; недостаточное развитие транспортной инфраструктуры по широкой территории республики, в отдаленных северных районах – продукты доставляются только в короткие сроки навигации или авиатранспортом, что затрудняет поставки продуктов и соответственно организацию питания в образовательных организациях (детские сады, школы); недостаточное обеспечение или отсутствие профессиональными кадрами для качественной организации общественного питания [8, 10, 11].

Реализация Национальных проектов в Республике Саха (Якутия) предполагает решение приоритетных задач по обеспечению безопасным и качественным питанием путем создания научно обоснованных технико-технологических, производственных, финансово-экономических и организационных условий, определяющих социально-экономическое и инновационное развитие региона. Все проекты и программы по обеспечению здоровым питанием различных групп населения Республики Саха (Якутия) направлены на согласование усилий государственных органов и организаций в части разработки и проведения комплекса мероприятий по совершенствованию системы управления, мониторинга и контроля за организацией обеспечения качественным и безопасным питанием в целях улучшения здоровья и повышения качества жизнедеятельности, что, безусловно, актуализировано в рамках реализации Указа Главы Республики Саха (Якутия) от 31.03.2021 года №1782 «О стратегических направлениях укрепления общественного здоровья и развития системы здравоохранения в Республике Саха (Якутия)».

В соответствии с Указом в целях оптимизации системы питания, сохранения и укрепления здоровья воспитанников дошкольных образовательных организаций Республики Саха (Якутия) вышло Распоряжение Правительства РС(Я) от 26 мая 2023 г. № 419-р «Об утверждении региональной модели здорового детского питания в дошкольных образовательных организациях Республики Саха (Якутия) и дорожной карты по реализации региональной модели здорового детского питания в дошкольных образовательных организациях Республики Саха (Якутия)». Министерство образования и науки Республики Саха (Якутия) определен координатором взаимодействия исполнительных органов государственной власти Республики Саха (Якутия) по

реализации региональной модели здорового детского питания в дошкольных образовательных организациях Республики Саха (Якутия).

Под региональной моделью здорового детского питания в дошкольных образовательных организациях Республики Саха (Якутия) (далее – региональная модель) понимается комплекс мероприятий, направленных на обеспечение детей дошкольного возраста здоровым питанием с учетом возраста, нутригенетических и антропонурициологических характеристик. Реализация региональной модели предполагает решение приоритетных задач по обеспечению безопасным и качественным питанием путем создания нормативных правовых, технико-технологических, производственных, финансово-экономических, организационных, комфортных здоровьесберегающих условий, определяющих личностное разностороннее развитие воспитанника в дошкольных образовательных организациях и социально-экономическое, инновационное развитие региона.

Негативное влияние на структуру питания оказывают не только социально-экономическое положение населения, но и низкий уровень знаний населения по вопросам рационального питания как составляющей здорового образа жизни [1]. При этом, в распространении информации о здоровом питании должны принимать активное участие не только официальные средства массовой информации республики, но и в качестве партнеров – коммерческие организации [1, 2]. Поэтому, в условиях изменяющегося климата арктической зоны нашей задачей является переориентация населения на потребление продуктов наиболее значимых с позиций здорового питания.

**Заключение.** Полученные результаты обширных научных исследований в области питания населения в условиях изменяющегося климата арктической зоны будут способствовать выработке научно-обоснованных рекомендаций в области оптимизации системы питания и сохранения здоровья населения, способствующих повышению качества жизни различных групп населения Арктической зоны Российской Федерации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебедева, У. М. Опыт научно-методического сопровождения оптимизации системы питания населения Якутии / У. М. Лебедева // Новые технологии в рекреации здоровья населения: Материалы VII научно-практической конференции, Владикавказ, 07–08 октября 2021 года. – Владикавказ: Институт биомедицинских исследований Владикавказского научного центра Российской академии наук, 2021. – С. 104-109. – EDN IQJONA.
2. Политика в области здорового питания населения Республики Саха (Якутия) / В. А. Тутельян, А. В. Горохов, Е. И. Михайлова [и др.] // Якутский медицинский журнал. – 2015. – № 3(51). – С. 6-9. – EDN TXTHRJ.
3. Степанов, К. М. Основы рационального питания в условиях воздействия низких температур / К. М. Степанов, У. М. Лебедева // Якутский медицинский журнал. – 2018. – № 2(62). – С. 70-73. – DOI 10.25789/YMJ.2018.62.20. – EDN XQKGJV.
4. Роль витаминов, витаминсодержащих продуктов и других нутриентов в снижении острых инфекционных заболеваний у населения Севера / Э. В. Каспаров, Е. И. Прахин, В. П. Новицкая [и др.] // Якутский медицинский журнал. – 2022. – № 3(79). – С. 90-96. – DOI 10.25789/YMJ.2022.79.23. – EDN LDVSXA.
5. Содержание цинка и селена в местных пищевых продуктах Якутии / В. Т. Васильева, Т. В. Слепцова, У. М. Лебедева [и др.] // Вопросы питания. – 2023. – Т. 92, № 3(547). – С. 93-99. – DOI 10.33029/0042-8833-2023-92-3-93-99. – EDN OPJQIF.
6. Основы нутригенетики на Севере / У. М. Лебедева, К. М. Степанов, А. М. Дохунаева, Л. С. Захарова // Якутский медицинский журнал. – 2014. – № 2(46). – С. 35-37. – EDN SQWCXX.

7. Эпидемиология грудного вскармливания, его значение для здоровья матери и ребенка, благополучия и устойчивого развития общества: обзор современных данных / Л. В. Абольян, У. М. Лебедева, К. М. Степанов, С. В. Новикова // Якутский медицинский журнал. – 2017. – № 3(59). – С. 107-112. – EDN ZENRDX.
8. Гмошинская, М. В. Особенности продуктового разнообразия рационов питания детей 7-18 лет с использованием региональной пищевой продукции в Республике Саха (Якутия) / М. В. Гмошинская, У. М. Лебедева, И. В. Алешина // Медицинский совет. – 2022. – Т. 16, № 19. – С. 146-152. – DOI 10.21518/2079-701X-2022-16-19-146-152. – EDN ZISWTU.
9. Фенотипические проявления полиморфизма rs 9939609 гена FTO в диаде мать-дети / Н. М. Шилина, Е. Ю. Сорокина, А. А. Джумагазиев [и др.] // Вопросы детской диетологии. – 2017. – Т. 15, № 4. – С. 14-20. – DOI 10.20953/1727-5784-2017-4-14-20. – EDN YMROBG.
10. Лебедева, У. М. Питание детей дошкольного и школьного возраста: состояние проблемы / У. М. Лебедева, М. В. Гмошинская, Е. А. Пырьева // Фарматека. – 2021. – Т. 28, № 1. – С. 27-33. – DOI 10.18565/pharmateca.2021.1.27-33. – EDN TONUZM.
11. Организация питания детей и подростков на региональном уровне / У. М. Лебедева, П. П. Баттахов, К. М. Степанов [и др.] // Вопросы питания. – 2018. – Т. 87, № 6. – С. 48-56. – DOI 10.24411/0042-8833-2018-10066. – EDN SNKRLF.

## **СОСТОЯНИЕ САНАТОРНО-КУРОРТНОГО КОМПЛЕКСА РЕСПУБЛИКИ КОМИ И ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ПРИРОДНЫМИ ЛЕЧЕБНЫМИ РЕСУРСАМИ**

*Митюшева Т. П.*

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, mityusheva@geo.komics.ru

Минеральные воды и лечебные грязи, являются мощным лечебным фактором, оказывают на организм человека сильное физиологическое воздействие и широко используются для лечения, профилактики и медицинской реабилитации в санаторно-курортных учреждениях страны и мира в целом. Для повышения качества жизни людей, проживающих в суровых природно-климатических условиях Севера и Арктики, особенно восстановительному лечению и решению задач геронтологии использование местных хорошо изученных природных лечебных ресурсов особенно актуально.

В работе представлены результаты анализа состояния санаторно-курортного комплекса Республики Коми и сопредельных областей, находящихся в условиях Европейского Севера и Арктики. Показана обеспеченность санаторно-курортных учреждений природными лечебными ресурсами, использование достоверно установленных запасов месторождений лечебных минеральных вод и грязей.

Республика Коми обладает слабой санаторно-курортной базой, о чем свидетельствуют статистические данные [1]: если в 2002 г. в республике насчитывалось 20 санаторно-курортных организаций, к 2023 г. их число сократилось до 9. Рисунок 1 показывает уменьшение числа санаторно-курортных организаций в Республике Коми и сопредельных регионах за последние двадцать лет. График демонстрирует, что северные регионы Европейской части России – Республика Коми и Архангельская область имеют не только наименьшее количество санаторно-курортных организаций, но и прослеживается отрицательная тенденция – закрытие учреждений. В Кировской области обстановка стабилизировалась, а в Вологодской – за последние два года даже улучшается. Это связано в первую очередь с ухудшением общего социально-экономического состояния северных регионов, снижением численности населения при

их большой площади. Играет роль и неблагоприятные в сравнении с субъектами средней полосы и юга России, природно-климатические условия.

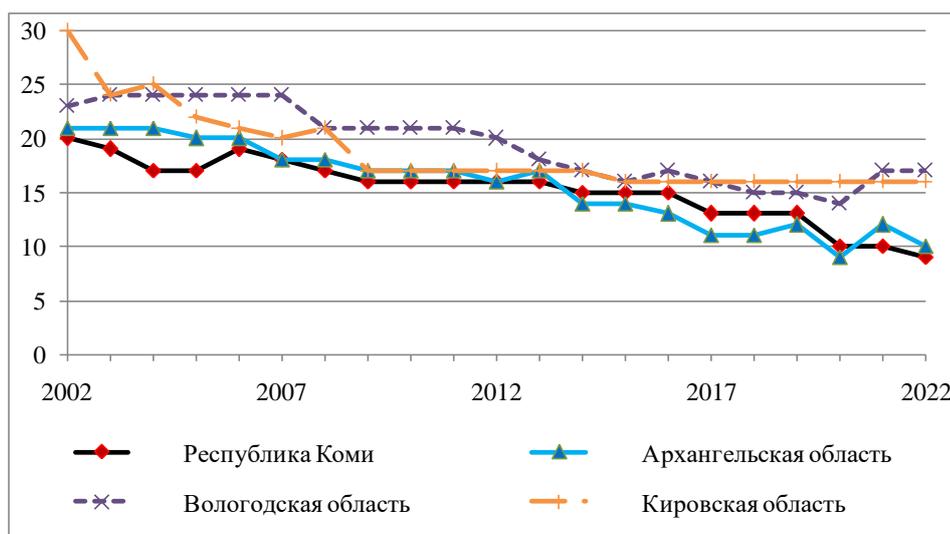


Рис. 1 – Число санаторно-курортных организаций в Республике Коми и сопредельных регионах (на основе данных [1])

Неблагополучное состояние санаторно-курортного комплекса республики видно и из анализа распределения общего числа мест в санаторно-курортных организациях субъектов (рис. 2). И здесь Республика Коми, среди сопредельных регионов занимает худшее положение: менее одной тысячи мест (868 – в 2022 г. [1]) имеется во всех учреждениях и, следовательно, только 1,19 чел. на тысячу населения получили возможность пройти лечение в местных санаторно-курортных учреждениях.

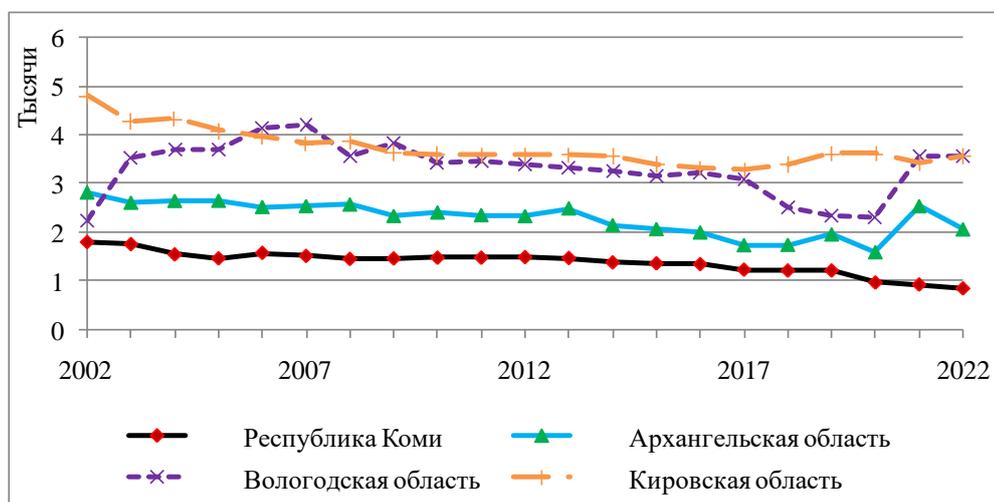


Рис. 2 – Число мест в санаторно-курортных организациях Республики Коми и смежных областей, значение показателя за год (на основе данных [1])

Санаторно-курортное лечение, оздоровление и реабилитация граждан в Республике Коми с использованием минеральных вод и лечебных грязей как мощных лечебных факторов, проводятся на базе учреждений, подведомственных Министерству здравоохранения Республики Коми: ГАУ РК «Санаторий «Серегово» (Княжпогостский район, с. Серегово), ГБУЗ РК «Ухтинская физиотерапевтическая поликлиника» (относится к самостоятельным амбулаторно-поликлиническим учреждениям) и также на базе санаторий-профилактория ЛПО АО «Монди СЛПК», который обеспечивает лечение, прежде всего сотрудников крупного предприятия АО «Монди СЛПК» в

Эжвинском районе г. Сыктывкара. Республика направляет часть жителей (и прежде всего детей) в санатории и на курорты Кировской области, Крыма, Кавказа и других регионов, обладающих лучшей материально-технической базой и расположенных в более благоприятных лечебных природно-климатических условиях.

В Государственный реестр курортного фонда Российской Федерации [2] включены только два учреждения, осуществляющие лечение минеральными водами и грязями – санаторий-профилакторий ЛПО АО «Монди СЛПК» (г. Сыктывкар) и ГАУ РК «Санаторий «Серегово» (с. Серегово) – находящиеся в южной части республики.

Приведем общую характеристику действующих санаторно-курортных учреждений Республики Коми, с комплексом имеющихся в их распоряжении природных лечебных ресурсов (табл. 1).

ГАУ РК «Санаторий «Серегово» (ранее курорт «Серегово») на 100 бюджетных мест находится на берегу р. Вымь в селе Серегово Княжпогостского муниципального района, в 90 км от г. Сыктывкара. Это первый курорт на территории республики, который функционирует с 1929 г. Лечебная база основана на использовании для приема ванн процедур хлоридно-натриевых рассолов с минерализацией до 131 г/дм<sup>3</sup> (с разбавлением) месторождения минеральных подземных вод (ММПВ) Сереговское-1 (ранее Сереговское). Санаторий также имеет Сереговское 2 ММПВ (скважина № 101) с минеральными водами лечебно-питьевого назначения и лечебные грязи месторождения «Озеро Чернамское». Они не используются, и предназначены для нового санаторного комплекса «Серегово» на 750 мест.

Санаторий-профилакторий ЛПО АО «Монди СЛПК» находится в микрорайоне Эжва г. Сыктывкара, функционирует с 1980 г. Здравница ежегодно принимает для оздоровления до полутора тысячи человек. Минеральные воды скважины 4-М Эжвинского ММПВ (минерализация 15–19 г/дм<sup>3</sup>) для бальнеологических целей (для ванн) стали использоваться с 1995 г. Для грязелечения используют часть лечебных грязей Суксунского пруда Пермского края (природные лечебные ресурсы ЗАО «Курорт Ключи»).

Таблица 1 – Природные лечебные ресурсы действующих санаторно-курортных учреждений Республики Коми

Санаторно-курортное учреждение	Природные лечебные ресурсы		
	Наименование месторождения, номер скважины (использование)	Утвержденные запасы [3]	Характеристика
ГАУ РК «Санаторий «Серегово»	«Сереговское 1» ММПВ скв. 1–К (эксплуатируется) скв. 100 (в консервации)	18 м <sup>3</sup> /сут	Бальнеологические рассолы Cl–Na бромные борные
	«Сереговское 2» ММПВ скв. 101 (в консервации)	3,63 м <sup>3</sup> /сут	Питьевые минеральные воды Cl-SO <sub>4</sub> Na
	лечебные грязи месторождения «Озеро Чернамское» (в консервации)	200 тыс. м <sup>3</sup>	Сапропели пресноводные высокозольные слабо- и среднесульфидные
Санаторий-профилакторий ЛПО АО «Монди СЛПК»	«Эжвинское» ММПВ, скв. 4М	71 м <sup>3</sup> /сут	Бальнеологические высокоминерализованные минеральные воды Cl (Cl–SO <sub>4</sub> ) Na йодо-бромные
	лечебные грязи ЗАО "Курорт Ключи"	19,499 тыс. м <sup>3</sup>	Иловые сульфидные сапропели
ГБУЗ РК «Ухтинская»	«Ухтинское» ММПВ	30 м <sup>3</sup> /сут	Бальнеологические рассолы

Санаторно-курортное учреждение	Природные лечебные ресурсы		
	Наименование месторождения, номер скважины (использование)	Утвержденные запасы [3]	Характеристика
физиотерапевтическая поликлиника”	(Ухтинский-1 участок), скв. 6-Б		Cl –Na бромные
	лечебные грязи месторождения «Озеро Пионерское»	193,595 тыс. м <sup>3</sup>	Сапропели пресноводные бессульфидные низкосолевые

ГБУЗ РК «Ухтинская физиотерапевтическая поликлиника» расположена в г. Ухте, на берегу р. Чибью. Для лечебных целей использует местные природные факторы: хлоридно-натриевые рассолы с минерализацией 40–63 г/дм<sup>3</sup> скважины №6 Б Ухтинского ММПВ и сапропелевые лечебные грязи месторождения «Озеро Пионерское» (табл. 2) с 1986 г. Пропускная способность учреждения 1100 посещений в день.

В целом, недра Республики Коми обладают значительными лечебными ресурсами. Установлены различные по составу и свойствам минеральные воды [4] практически на всей площади республики. По основным бальнеологическим показателям лечебной значимости выявлены минеральные воды групп [по 5]: бромные, йодобромные, борные, сероводородные, радоновые (радоно-радиевые), железистые, с повышенным содержанием органического вещества и “без специфических компонентов и свойств”. На государственном учете состоит десять месторождений минеральных подземных вод находящихся на территории Республики Коми, общий объем запасов 2161,03 м<sup>3</sup>/сут [3]. Минеральные воды месторождений отличаются составом микро- и макрокомпонентов [4], они расположены в разных административных районах. Используется всего пять ММПВ. «Сереговское–1», «Ухтинский–1», «Эжвинское» ММПВ добывают минеральные воды для наружных бальнеологические процедур местных санаторно-курортных учреждений. Минеральные воды месторождений «Аким» и «Исток-Д» используются для розлива питьевых лечебно-столовых минеральных вод, которые можно употреблять для лечения во внекурортных условиях. Всего добывается 1% от разведанных запасов минеральных вод месторождений.

Таблица 2 – Месторождения лечебных минеральных подземных вод Республики Коми и смежных областей (по данным [3], по состоянию на 2020 г.)

Регион	Республика Коми	Архангельская область	Кировская область	Вологодская область
Количество месторождений /эксплуатируются	10/5	20/7	13/12	14/10
Запасы минеральных вод, м <sup>3</sup> /сут	2161,03	21253,89	864,9	527,8
Фактическая добыча в 2019 г., м <sup>3</sup> /сут	22,792	33,403	108,854	65,318
Использование, %	1,05	0,15	12,59	12,38

Ресурсы лечебных грязей в республике мало оценены. Установлена как слабая изученность территории Республике Коми данным полезным ископаемым, так и низкий показатель использования имеющихся ресурсов. Разведаны запасы всего трех месторождений лечебных сапропелевых грязей пресноводных водоемов: Пионерское, Чернамское и Сейты (табл. 3). В эксплуатации одно

месторождение «Озеро Пионерское», добыча сапропеля осуществляется только в определенные периоды по мере востребованности грязей (например, в 2019 г. не производилась).

Таблица 3 – Месторождения лечебных грязей Республики Коми и смежных областей (по данным [3], по состоянию на 2020 г.)

Регион	Республика Коми	Архангельская область	Кировская область	Вологодская область
Количество месторождений /эксплуатируются	3/1	3/3	7/3	2/2
Балансовые запасы лечебных грязей, тыс. м <sup>3</sup>	805,195	925,446	402,939	1833,517
Фактическая добыча в 2019 г., тыс.м <sup>3</sup>	0	0,198	0,035	0,12
Использование в 2019 г, %	0	0,02	0,009	0,006

Представленное в таблицах 2 и 3 сопоставление природных лечебных ресурсов смежных с республикой регионов свидетельствует о достаточно больших имеющихся установленных ресурсах для санаторно-курортного развития территорий. Приведенные показатели доказывают незначительное использование минеральных вод в Республике Коми и Архангельской области, которые наиболее богаты разведанными запасами минеральных вод. Кировская и Вологодская области, в силу особенностей геолого-гидрогеологического строения обладают меньшим объемом разведанных запасов минеральных вод месторождений. Но поскольку они находятся в более благоприятных климатических условиях, более доступны по расположению и развитию транспортных путей, эти регионы демонстрируют лучшие показатели водопотребления до 13% и эксплуатации имеющегося фонда месторождений (92 и 71%, соответственно). Слабая освоенность месторождений лечебных грязей (табл. 3) наблюдается во всех представленных регионах.

**Заключение.** Исследования санаторно-курортного комплекса и природных лечебных ресурсов, применяемых для лечения в местных санаторно-курортных учреждениях Республики Коми, показали, что недостаточно оценена роль и ограничено применение лечебных минеральных вод и грязей. Степень освоения разведанных запасов месторождений минеральных вод всего 1% от общего количества, и еще меньше лечебных грязей. На сегодняшний день, используются лечебные минеральные воды только пяти месторождений (трех для наружных бальнеологические процедур, двух – для промышленного розлива лечебно-столовых минеральных вод) и одно месторождение лечебных грязей.

Проведенное сопоставление санаторно-курортных комплексов и установленных природных лечебных ресурсов северных субъектов Европейской части России, показало различное их положение и возможности для развития. Состояние санаторно-курортного комплекса Республика Коми по данным показателям слабое, но перспективы огромны. Развитие санаторно-курортной базы республики возможно как за счет строительства новых, так и расширения действующих местных санаторно-оздоровительных учреждений в различных районах республики. В первую очередь, необходимо завершить строительство строящегося с 1986 г. нового санаторного комплекса «Серегово» на 750 мест, а также рассмотреть возможность использования месторождений минеральных вод на территории Арктической зоны.

Развитию санаторно-курортного комплекса в регионе должно было бы способствовать принятое в 2017 г. Постановление Правительства Республики Коми «О лечебно-оздоровительных местностях и курортах республиканского и местного

значения на территории Республики Коми» [6]. Но оно не действует. За прошедший со дня принятия постановления период, не признано не одной новой территории лечебно-оздоровительной местностью и курортом республиканского значения. Хотя это необходимо сделать для ГАУ РК «Санаторий «Серегово» и ГБУЗ РК «Ухтинская физиотерапевтическая поликлиника», в связи с организацией новых округов санитарной и горно-санитарной охраны, включающих все лечебные ресурсы.

*Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания по теме «Развитие минерально-сырьевого комплекса Тимано-Североуральско-Баренцевоморского региона на основе эффективного прогноза, геологического моделирования, геолого-экономической оценки ресурсного потенциала и новых технологий переработки полезных ископаемых» (№ гос. регистрации 1021051101666-2-1.5.1).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики ЕМИСС. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.fedstat.ru/> (дата обращения 21.06.2023).
- 2 Государственный реестр курортного фонда РФ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://kurort.minzdrav.gov.ru/> (дата обращения 21.06.2023).
- 3 Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 1 января 2020 года. Минеральные воды. Лечебные грязи. М.: МПР, 2020. Режим доступа: <http://rosnedra.gov.ru>.
- 4 Митюшева Т.П. Минеральные подземные воды. Карта «Минеральные подземные воды». Масштаб 1:4 000 000/ Атлас Республики Коми. М.: Феория, 2011. С. 72–75.
- 5 Приказ Министерства здравоохранения РФ от 31 мая 2021 г. № 557 н "Об утверждении классификации природных лечебных ресурсов, медицинских показаний и противопоказаний к их применению в лечебно-профилактических целях" (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ivo.garant.ru/document/402856628>.
- 6 Постановление Правительства Республики Коми от 2 ноября 2017 года № 585 «О лечебно-оздоровительных местностях и курортах республиканского и местного значения на территории Республики Коми» (с изменениями на 17.09.2020 г.) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/555614321>.

#### МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ СУБАРКТИКИ, ВЛИЯЮЩИЕ НА УРОВНИ ТИРЕОИДНЫХ И ПОЛОВЫХ ГОРМОНОВ

*Молодовская И.Н., Елфимова А.Э., Типисова Е.В., Аликина В.А.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, [pushistiy-86@mail.ru](mailto:pushistiy-86@mail.ru)

Гормоны щитовидной и половых желёз необходимы для нормального функционирования физиологических систем. Поэтому знание любого фактора (будь то генетического, экологического или внутреннего), который изменяет уровни гормонов, имеет решающее значение. В этой работе обсуждается исследование, в котором анализировалось влияние погодных факторов, таких как температура, влажность и атмосферное давление воздуха, а также продолжительность светового дня, на уровни тиреоидных и половых гормонов у здоровых взрослых мужчин, постоянно проживающих в условиях субарктики.

Цель исследования – оценить влияние окологодовой динамики метеорологических факторов умеренно-континентального климата на уровни половых, тиреоидных гормонов и дофамина, а также антиспермальных антител у мужчин, проживающих в условиях субарктики.

Материалы и методы: Объект исследования – практически здоровые мужчины, жители г. Архангельска в возрасте от 25 до 45 лет. Ежеквартально методом иммуноферментного анализа в крови определяли уровни показателей гипоталамо-гипофизарно-тиреоидной и гипоталамо-гипофизарно-гонадной систем. Климатические данные за период исследования были получены из архива погоды на сайте [https://rp5.ru/Архив\\_погоды\\_в\\_Архангельске](https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Архангельске). Взаимосвязь между гормональными данными и климатическими данными оценивали с помощью коэффициента корреляции Спирмена.

Результаты. Пик ТТГ, а минимум Т4 и ТСГ приходится на период минимального светового дня (декабрь), когда также наблюдались максимальные значения относительной влажности и атмосферного давления. Т4 и ТСГ имеют положительную корреляцию с продолжительностью светового дня и температурой наружного воздуха в день взятия проб крови; отрицательная корреляция с атмосферным давлением на момент сдачи крови, среднемесячной относительной влажностью воздуха. Т3 и Т4 имеют отрицательную корреляцию со среднемесячным атмосферным давлением; Т3 имеет положительную связь с продолжительностью светового дня.

Сезонные колебания уровня эстрадиола и антиспермальных антител сравнимы с изменениями светового дня, колебаниями атмосферного давления, температуры и относительной влажности. Сезонные изменения уровня лютеинизирующего гормона связаны с колебаниями атмосферного давления воздуха. Дневной свет влияет на годовую динамику дофамина, которая также коррелирует с атмосферным давлением и относительной влажностью воздуха. Уровни общего и свободного тестостерона у мужчин относительно постоянны в течение года и, по-видимому, не зависят от погодных факторов.

Таким образом, атмосферное давление имеет наибольшее число отрицательных корреляционных связей с уровнями изучаемых гормонов, демонстрирующими некоторое снижение в осенне-зимний период, характеризующийся повышенным атмосферным давлением и низкой температурой воздуха. Увеличение длины светового дня и температуры воздуха ассоциировано с повышением уровней эстрадиола и дофамина и снижением значений АСАТ. Мы считаем, что сезонность эстрадиола и антиспермальных антител является эффектом дневного света, опосредованным изменениями уровня мелатонина, точно так же, как сезонность дофамина опосредована изменениями уровня витамина D. Комплексное влияние таких факторов как температура воздуха, продолжительность светового дня, влажность и атмосферное давление воздуха приводит к небольшой вариации уровней общих фракций гормонов щитовидной железы и ТСГ в разные сезоны, что приводило к несколько более высокому уровню ТТГ и снижению значений Т4, Т3 и ТСГ зимой. Эти данные свидетельствуют о том, что снижение циркулирующих тиреоидных гормонов зимой частично связано с понижением значений температуры и солнечного света, а также с увеличением влажности и атмосферного давления воздуха.

*Работа выполнена в рамках программы ФНИР ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН (номер гос. регистрации 122011800392-3), с использованием оборудования ЦКП КТ РФ-Арктика (ФИЦКИА УрО РАН).*

## УРОВЕНЬ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ВНЕБОЛЬНИЧНОЙ ПНЕВМОНИЕЙ ВЗРОСЛОГО НАСЕЛЕНИЯ РЕГИОНА ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ В 2011-2021 ГГ.

*Никифорова Н.А., Караетян Т.А., Доршакова Н.В.*

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»

Медицинский институт, г. Петрозаводск, nadusha\_nikifor@mail.ru

Геополитические интересы государства направлены на освоение Арктических территорий, что делает сохранение здоровья и работоспособности населения в экстремальных условиях среды одной из приоритетных задач современной медицины.

Республика Карелия (РК), входящая в состав Северо-западного Федерального округа, является одним из пяти регионов Европейского севера Российской Федерации (РФ), а 38% ее территории входит в состав Арктической зоны страны.

На Крайнем Севере организм человека подвергается негативному воздействию комплекса климато-географических факторов, таких как низкие температуры воздуха, резкие перепады барометрического давления, нестабильность магнитосферы, контрастный фотопериодизм, дефицит и дисбаланс микроэлементов и пр., адаптация к которым требует значительного морфофункционального напряжения с последующим срывом компенсаторных механизмов и развитием заболевания.

Внебольничная пневмония (ВП), в связи с высоким уровнем заболеваемости и смертности, продолжает оставаться сложной проблемой для современной медицины [1]: согласно данным ВОЗ, пневмония и грипп занимают третье ранговое место среди причин смерти населения, обуславливая более 3 млн смертей ежегодно [2]. В период пандемии COVID-19, согласно официальным статистическим данным, произошел резкий рост заболеваемости ВП. Если в 2011-2019 гг. заболеваемость ВП в РФ находилась в интервале 315,1-518,9 на 100 тыс. населения, а среднемноголетний показатель за этот временной период составлял 391,8 на 100 тыс. населения, то в 2020 г. он вырос в 3,6 раза, а заболеваемость достигла 1856,18 на 100 тыс. населения, а в 2021 г. – 1148,43 на 100 тыс. населения [3, 4]. Подобная ситуация, согласно официальным данным, отмечалась и в Карелии: в 2020 г. произошел рост заболеваемости в 2,1 раза по сравнению с 2019 г. – до 1517,9 на 100 тыс. населения, в 2021 г. – 1306,4 на 100 тыс. населения [5, 6]. Учитывая высокую медицинскую и социально-экономическую значимость проблемы ВП, следует обратить особое внимание на выяснение причин сложившейся эпидемиологической ситуации, так как они до сих пор не до конца понятны.

### **Цель исследования**

Оценить заболеваемость внебольничной пневмонией, не ассоциированной с COVID-19, взрослого населения Республики Карелия в возрасте 18 лет старше и ее существующих трендов в период 2011-2021 гг.

### **Материалы и методы**

Выполнено обсервационное описательное эпидемиологическое исследование на основании анализа официальных статистических данных ГБУЗ «Республиканский медицинский информационно-аналитический центр» Министерства здравоохранения Республики Карелия по заболеваемости внебольничной пневмонией, не ассоциированной с COVID-19, взрослого населения Республики Карелия в возрасте 18 лет и старше в период 2011-2021 гг. Используются относительные величины, показатели динамического ряда.

### **Результаты**

Внебольничной считают только пневмонию, развившуюся вне стационара, либо диагностированную в первые 48 ч с момента госпитализации [7, 8]. Каждый случай любого развивающегося у человека заболевания, включая пневмонию, кодируется в

медицинских учреждениях согласно Международной статистической классификации болезней и проблем, связанных со здоровьем, X пересмотра (МКБ X), в основе которой для пневмонии лежит этиологический принцип классификации. В соответствии с Клиническими рекомендациями РФ «Внебольничная пневмония у взрослых», действующим на территории России [7], к ВП относятся только рубрики J13-J16 и J18 МКБ X, при этом вирусная пневмония (кодируемая рубрикой J12), тоже возникающая во внебольничных условиях, согласно Клиническим рекомендациям, к ней не относится. В этом заключается сложность проведения аналитической работы по изучению заболеваемости ВП: в учреждениях, ответственных за формирование массивов статистических данных, к ней по-прежнему продолжали относить и вирусную пневмонию (J 12), что искажало получаемые результаты и приводило к искусственному увеличению заболеваемости ВП, изменяя объективную ситуацию. Только с 2021 г. заболеваемость вирусной пневмонией начала регистрироваться отдельно.

В результате пандемии новой коронавирусной инфекции ВОЗ внесла изменения в МКБ X для кодирования COVID-19. Министерство здравоохранения РФ разъяснило порядок кодировки статистической информации при наличии подозрения или установленного диагноза новой коронавирусной инфекции (Письмо Министерства здравоохранения РФ от 8 апреля 2020 г. № 13-2/И/2-4335), что позволяет при анализе заболеваемости ВП не учитывать внебольничную пневмонию, ассоциированную с COVID-19.

Несмотря на существующие сложности получена фактическая картина заболеваемости ВП, не ассоциированной с COVID-19, взрослого населения в РК в возрасте 18 лет и старше в период с 2011 по 2021 гг. (табл. 1).

Таблица 1 – Заболеваемость внебольничной пневмонией, не ассоциированной с COVID-19, населения в возрасте 18 лет и старше в административно-территориальных подразделениях Республики Карелия в 2011-2021 гг. (на 1000 взрослого населения)

Территория	Год										
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
г. Петрозаводск	5,7	5,0	4,7	4,6	5,0	5,8	4,3	6,6	6,0	7,0	4,2
г. Костомукша	4,5	3,9	3,2	5,1	4,3	5,2	4,6	5,2	5,4	4,8	4,7
Беломорский	5,5	5,2	2,8	3,3	3,8	3,1	3,6	5,9	6,9	6,0	4,8
Калевальский	6,0	5,1	3,3	3,9	4,3	4,4	3,6	3,8	3,8	4,7	3,8
Кемский	5,0	3,2	4,1	4,3	3,7	4,4	4,7	5,9	5,7	6,2	6,6
Кондопожский	7,0	7,0	5,6	3,8	3,9	4,6	3,8	4,7	4,0	5,9	5,3
Лоухский	4,4	6,3	7,4	5,6	5,8	6,5	6,9	8,7	8,9	9,1	8,9
Медвежьегорский	4,3	4,2	4,2	3,5	2,4	4,1	3,4	4,3	4,0	6,6	5,3
Олонецкий	11,4	13,9	10,3	11,0	9,9	14,3	12,6	16,0	12,0	17,3	17,7
Питкярантский	7,7	9,7	6,5	6,4	5,2	7,4	7,4	3,2	3,7	8,1	5,4
Прионежский	5,0	2,8	4,7	5,0	5,3	6,2	6,6	6,0	5,8	10,0	7,4
Пряжинский	4,7	1,6	4,0	3,1	2,4	3,4	2,1	1,6	3,6	6,6	7,5
Пудожский	3,4	2,7	2,4	3,7	5,2	8,1	5,6	5,9	5,6	6,2	6,7
Сегежский	5,5	2,6	4,0	4,1	3,6	3,4	4,6	3,7	5,2	8,4	6,7
Сортавальский	4,6	4,1	2,7	3,1	1,7	3,7	2,5	3,3	5,2	3,6	2,5
Суоярвский	6,6	5,8	8,7	6,9	9,9	9,5	8,6	7,3	7,2	7,4	4,5
По территории Республики Карелия в целом	5,7	5,1	4,7	4,6	4,7	5,6	4,2	5,9	5,5	7,6	5,2

При анализе заболеваемости во временной период с 2011 по 2021 гг. ее уровень в республике в целом находился в пределах 4,2-7,6 на 1000 населения соответствующего возраста. Минимальная заболеваемость зафиксирована в 2017 г., максимальная – в 2020 г., что соответствовало началу пандемии COVID-19, однако уже в 2021 г. произошло снижение заболеваемости до 5,2 на 1000 взрослого населения.

При сравнении заболеваемости ВП, не ассоциированной с COVID-19, в административно-территориальных подразделениях республики с уровнем заболеваемости в Карелии в целом, среди районов выделены две группы, в которых заболеваемость ВП проживающего взрослого населения в возрасте 18 лет и старше была стабильно (на протяжении 8 и более лет из рассматриваемого временного периода) выше и ниже среднереспубликанской. В первую группу вошли Олонецкий, Лоухский, Суоярвский, Питкярантский и Прионежский районы, в которых заболеваемость превышала среднюю по республике на протяжении 11, 10, по 9 и 8 лет соответственно и находилась в эти временные периоды в интервале 5,0-17,7 на 1000 взрослого населения, превышая средний по республике уровень в 1,02-3,4 раза. Наихудшая эпидемиологическая обстановка складывалась в Олонецком районе, в котором на протяжении 2011-2021 гг. уровень заболеваемости был выше среднереспубликанского в 2-3,4 раза с максимальным значением 17,7 на 1000 взрослого населения в 2021 г. и минимальным 9,9 на 1000 взрослого населения в 2015 г. Следует отметить, что из перечисленных районов наивысший уровень заболеваемости ВП в Лоухском и Прионежском районах был в 2020 г., в Суоярвском – в 2015 г., а в Питкярантском – в 2012 г.

Во вторую группу вошли Сортавальский, Пряжинский, Медвежьегорский, Калевальский районы и г. Костомукша, а также Сегежский и Беломорский районы, в которых заболеваемость была ниже среднереспубликанского уровня на протяжении 11, по 10, по 9 и по 8 лет соответственно и находилась в эти временные периоды в интервале 1,6-6,6 на 1000 взрослого населения, будучи ниже средней по республике в 1,02-3,69 раза. Наиболее благоприятная обстановка складывалась в Сортавальском районе, в котором на протяжении 2011-2021 гг. уровень заболеваемости был ниже среднереспубликанского в 1,06-2,76 раза с минимальным значением 1,7 на 1000 взрослого населения в 2015 г. и максимальным 5,2 на 1000 взрослого населения в 2019 г. Следует отметить, что из перечисленных районов наименьший уровень заболеваемости ВП в Сортавальском и Медвежьегорском районах был в 2015 г., в Калевальском, Беломорском и г. Костомукша – в 2013 г., а в Пряжинском и Сегежском – в 2012 г. Показатель заболеваемости был выше среднереспубликанского в 5 районах Карелии в 2013, 2018 и 2020 гг.; в 6 – в 2011 и 2014 г.; в 7 – в 2012, 2015, 2016 и 2019 гг.; в 10 – в 2017 и 2021 гг.

В период пандемии COVID-19 (2020-2021 гг., вошедшие в исследование) уровень заболеваемости ВП в республике превысил среднемноголетние значения только в 2020 г. В это время заболеваемость ВП выросла в 13 районах Карелии по сравнению с 2019 г. в 1,02-2,9 раза, а в среднем по республике – в 1,38 раз. В 2021 г. по сравнению с 2020 г. уровень заболеваемости в республике снизился в 1,46 раза, заболеваемость уменьшилась в 12 районах Карелии в 1,02-1,67 раза.

Одновременно в Карелии существуют административно-территориальные подразделения, где постоянно фиксируются показатели заболеваемости как выше (Олонецкий район), так и ниже (Сортавальский район) среднереспубликанских. Оба района, тем не менее, являются экологически чистыми и располагаются в южной части республики, характеризуясь более мягкими климатическими условиями. В указанных районах заболеваемость ВП в годы пандемии соответственно увеличивалась для Олонецкого района (в 2019 г. – 12,0, а в 2020 г. – 17,3 и в 2021 г. – 17,7 на 1000 взрослого населения) и, наоборот, снижалась для Сортавальского (в 2019 г. – 5,2, а в 2020 г. – 3,6 и в 2021 г. – 2,5 на 1000 взрослого населения).

#### **Выводы**

1. Необходимы проведение вакцинации населения из групп риска в административно-территориальных подразделениях республики с высоким уровнем заболеваемости ВП пневмококковой вакциной (с учетом высокой роли в этиологии

заболевания *Str. pneumoniae*), а также ежегодная вакцинопрофилактика вирусных респираторных инфекций.

2. Учитывая, что ВП у взрослых относится к группе экологически обусловленных болезней, когда неблагоприятные факторы окружающей среды выступают как факторы риска, способствуя возникновению или утяжелению течения заболевания, необходимо проводить исследования, направленные на изучение возможной роли данных факторов северных регионов в развитии патологии.

*Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда №22-25-00204, <https://rscf.ru/project/22-25-00204/>*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cilloniz C., Dominedo C., Garcia-Vidal C., Torres A. Community-acquired pneumonia as an emergency condition. *Curr Opin Crit Care*. 2018; 24(6): 531-39. DOI: 10.1097/MCC.0000000000000550
2. Global action plan for prevention and control of pneumonia (GAPP): technical consensus statement. Geneva: World Health Organization; 2009. Available from: [https://www.unicef.org/media/files/GAPP3\\_web.pdf](https://www.unicef.org/media/files/GAPP3_web.pdf).
3. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2020 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2021. 256 с.
4. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2020 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2022. 340 с.
5. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Республике Карелия в 2020 году: Государственный доклад. Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Республике Карелия, 2021. 181 с.
6. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Республике Карелия в 2021 году: Государственный доклад. Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Республике Карелия, 2022. 180 с.
7. Внебольничная пневмония у взрослых [Электронный ресурс] // Клинические рекомендации 2022. URL: [https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/654\\_1](https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/654_1) (дата обращения: 13.03.2023).
8. Guidelines for the management of adults with hospital-acquired, ventilator-associated, and healthcare-associated pneumonia. American Thoracic Society/Infectious Diseases Society of America. // *Am. J. Respir. Crit. Care Med*. 2005. V.171. P. 388–416.

#### **ОЦЕНКА УРОВНЯ СПЕЦИФИЧЕСКИХ IgG К ПИЩЕВЫМ АНТИГЕНАМ У ЛЮДЕЙ С МЕТАБОЛИЧЕСКИМ СИНДРОМОМ**

*Патракеева В.П., Добродеева Л.К., Самодова А.В., Штаборов В.А.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П.Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, [patrakeewa.veronika@yandex.ru](mailto:patrakeewa.veronika@yandex.ru)

Постоянное поступление антигенов пищевых продуктов связано с необходимостью формирования толерантности к ним и в норме это происходит в первые месяцы жизни. Специфические иммуноглобулины G, отражающие активность иммунных реакций на антигенную нагрузку, определяются в периферической крови

как при различных патологиях (заболевания желудочно-кишечного тракта, депрессивные состояния, расстройства аутистического спектра, тиреодите Хашимото и пр.), так и у практически здоровых людей [1, 2, 3, 4]. Несмотря на эффективность использования элиминационных диет, вопрос необходимости определения уровня специфических IgG для оценки их значимости в патогенезе заболеваний остается спорным. Уровень IgG отражает интенсивность проникновения пищевых антигенов через кишечный барьер, проницаемость которого может нарушиться в результате применения лекарственных препаратов, например, аспирина и глюкокортикоидов, употребления алкоголя и наличия хронического воспаления.

Проведено сравнение клинических, биохимических показателей, а также уровня специфических IgG к пищевым антигенам у 200 человек. Первая группа – 100 человек с метаболическим синдромом (70 женщин и 30 мужчин) с индексом массы тела (ИМТ) более  $27 \text{ кг/м}^2$ , средний ИМТ –  $31,65 \pm 0,65 \text{ кг/м}^2$ ; средний возраст –  $33,92 \pm 1,09$  года; систолическое артериальное давление  $133 \pm 2,48$  мм.рт.ст.; диастолическое артериальное давление  $84,66 \pm 1,84$  мм.рт.ст.; индекс талия/бедр у женщин – 0,88; индекс талия/бедр у мужчин – 0,92; уровень глюкозы натощак –  $6,28 \pm 0,04$  ммоль/л; общий холестерин –  $5,28 \pm 0,30$  ммоль/л; триглицериды  $2,39 \pm 0,50$  ммоль/л. Вторая группа – 100 практически здоровых человек (75 женщин и 25 мужчин) с индексом массы тела (ИМТ) менее  $25 \text{ кг/м}^2$ , средний ИМТ –  $21,63 \pm 0,34 \text{ кг/м}^2$ ; средний возраст –  $28,78 \pm 0,77$  лет; систолическое артериальное давление  $120 \pm 2,41$  мм.рт.ст.; диастолическое артериальное давление  $75,36 \pm 1,38$  мм.рт.ст.; индекс талия/бедр у женщин – 0,78; индекс талия/бедр у мужчин – 0,84; глюкоза натощак –  $4,16 \pm 0,17$  ммоль/л; общий холестерин  $3,97 \pm 0,11$  ммоль/л; триглицериды –  $0,73 \pm 0,05$  ммоль/л. Обследование проводилось с письменного согласия волонтеров врачом медицинской компании «Биолам» (г. Архангельск) с соблюдением норм и правил биомедицинской этики, утвержденных Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации об этических принципах проведения медицинских исследований (2013). Диагноз был подтвержден результатами лабораторных исследований. На проведение исследования получено разрешение этической комиссии Института физиологии природных адаптации ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН (протокол № 8 от 30 марта 2022г).

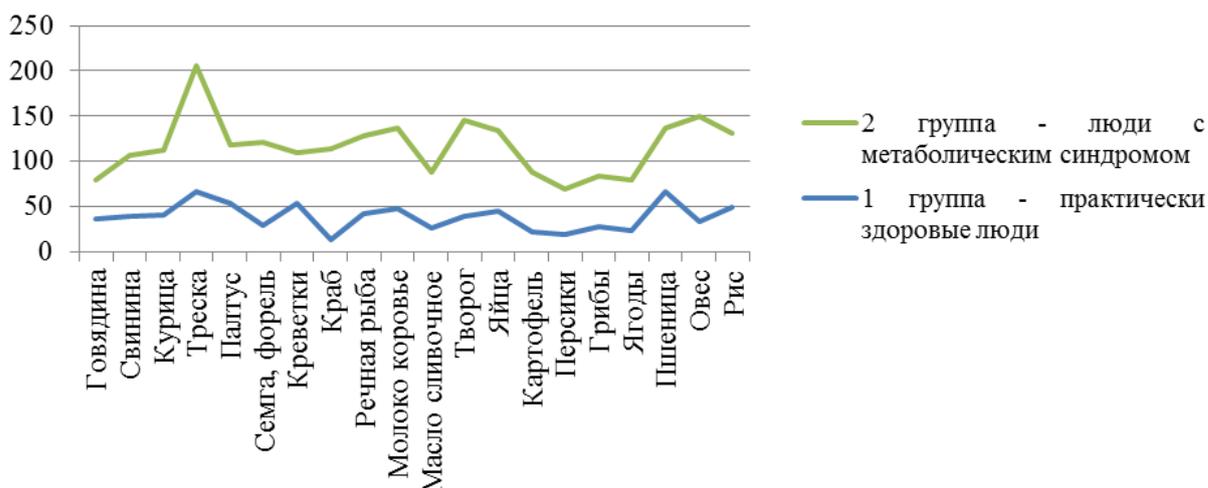


Рис. 1 – Среднее содержание специфических IgG к пищевым продуктам (Ед/мл),  $p < 0,01$

Также у лиц с метаболическими нарушениями гораздо чаще выявляются повышенные уровни (более 100 Ед/мл) IgG к пищевым антигенам (рис. 2).

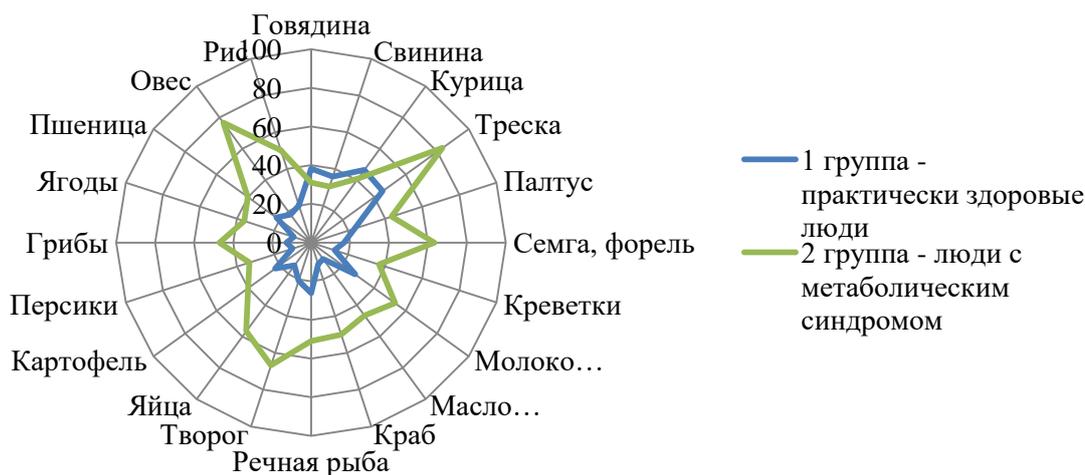


Рис. 2 – Частота выявления повышенных уровней специфических IgG к пищевым продуктам

Концентрации специфических IgG отражают интенсивность иммунной реакции на повышение парацеллюлярного транспорта пищевых антигенов через кишечный барьер. При метаболическом синдроме это может быть связано с наличием хронического вялотекущего воспаления, а также с высокими концентрациями глюкозы, повышающими проницаемость и снижающими плотные контакты эпителия за счет фосфорилирования/дефосфорилирования соединительных белков в области плотных контактов [5]. У обследованных лиц с метаболическим синдромом регистрируются более высокие уровни провоспалительных цитокинов IL-6, TNF $\alpha$  (соответственно  $14,33 \pm 1,95$  и  $18,40 \pm 1,12$  пг/мл против  $3,20 \pm 0,15$  и  $7,04 \pm 0,21$  пг/мл – у практически здоровых) и С-реактивного белка (в 1 группе –  $3,19 \pm 0,35$ , во 2 группе –  $1,96 \pm 0,25$  мг/мл). Провоспалительные цитокины активируют воспалительные реакции в кишечнике и сосудистой стенке, повышая адгезию моноцитов и запуская каскад реакций оксидативного стресса, способствуя формированию дислипидемии [6].

Таким образом, наличие метаболического синдрома ассоциируется с нарушением проницаемости кишечного барьера для пищевых антигенов на фоне хронического вялотекущего воспаления. Учитывая то, что некоторые антигены пищевых продуктов по своей структуре гомологичны тканям организма человека, то повышенное их поступление увеличивает риск формирования воспалительных, нейро- и аутоиммунных заболеваний у лиц с нарушением обмена веществ.

*Исследования проведены при финансовой поддержке РФФ, проект № 22-25-20145 «Выяснение механизмов влияния снижения толерантности к пищевым антигенам на утилизацию глюкозы».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черевко Н.А., Скирневская А.В., Розенштейн М.Ю., Новиков П.С., Муравейник О.А. Особенности специфической гиперчувствительности к пищевым антигенам молочного и злакового кластеров у детей с расстройством аутистического спектра. Бюллетень сибирской медицины. 2018. № 17 (1). С. 159–166.
2. Добродеева Л.К., Штаборов В.А. Риски формирования нарушения толерантности к пищевым антигенам. Вопросы питания. 2023. Т. 92. № 1 (545). С. 55–62.

3. Tao R., Fu Z., Xiao L. Chronic food antigen-specific IgG-mediated hypersensitivity reaction as a risk factor for adolescent depressive disorder. *Genomics, Proteomics & Bioinformatics*. 2019. Vol. 17(2). pp. 183-189. DOI: 10.1016/j.gpb.2019.05.002.
4. Wang G., Ren J., Li G., Hu Q., Gu G., Ren H., Hong Z., Li J. The utility of food antigen test in the diagnosis of Crohn's disease and remission maintenance after exclusive enteral nutrition. *Clinics and Research in Hepatology and Gastroenterology*. 2018. Vol. 42(2). pp. 145-152. DOI: 10.1016/j.clinre.2017.09.002.
5. Mongelli-Sabino B.M., Canuto L.P., Collares-Buzato C.B. Acute and chronic exposure to high levels of glucose modulates tight junction-associated epithelial barrier function in a renal tubular cell line. *Life Sciences*. 2017. Vol. 188. Pp. 149-157. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2017.09.004>
6. He W.Q., Wang J., Sheng J.Y., Zha J.M., Graham W.V., Turner J.R. Contributions of Myosin Light Chain Kinase to Regulation of Epithelial Paracellular Permeability and Mucosal Homeostasis. *International journal of molecular sciences*. 2020. Vol. 21(3). Pp. 993. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms21030993>

## **СОСТОЯНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ КРОВИ И ИММУННОЙ СИСТЕМЫ У ПРАКТИЧЕСКИ ЗДОРОВЫХ ЖИТЕЛЕЙ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА И АРКТИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

*Пашинская К.О., Самодова А.В., Добродеева Л.К.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, nefksu@mail.ru

При действии неблагоприятных климатогеографических факторов Севера и Арктики изменение содержания транспортных белков крови [1,2] может отображать как эффективность адаптационных перестроек, так и снижение функциональных возможностей организма. Показано изменение протеома в условиях микрогравитации, высокогорья и при действии неблагоприятных факторов труда: химических факторов, выбросов металлургических производств, повышенном уровне вибрации, шума. [1,2,3,4,5].

Эффективность компонентов транспортных систем крови и их влияние на состояние иммунной системы недостаточно изучено у жителей Европейского Севера и Арктики. Цель исследования – определить взаимосвязь состояния транспортных систем крови с физиологическими параметрами, характеризующими состояние иммунной системы у практически здоровых жителей Европейского Севера и Арктики Российской Федерации.

*Материал и методы.* Проведено определение физиологических параметров системы крови у населения Севера и Арктики Европейской территории РФ, включая 789 жителей Архангельской области и 191 жителя Мурманской области трудоспособного возраста с 21 до 55 лет в зимний период (ноябрь-декабрь) 2017-2020 гг. Все волонтеры на момент обследования не имели хронических и/или рецидивирующих заболеваний. Обследование проводили с письменного согласия и с соблюдением норм биомедицинской этики в соответствии с документом «Этические принципы проведения медицинских исследований с участием людей в качестве субъектов исследования» (Хельсинкская декларация Всемирной медицинской ассоциации 1964 г., с изменениями и дополнениями на 2013 г.).

В периферической венозной крови определяли количество эритроцитов и уровень агрегации эритроцитов, общее содержания гемоглобина, тромбоцитов, лейкоцитов с 5-компонентной дифференциацией, фагоцитарную активность

нейтрофилов, содержание фенотипов лимфоцитов (CD3+, CD4+, CD8+, CD10+, CD16+, CD25+, CD71+, HLA DR+, CD19+, CD95), цитокинов (TNF- $\alpha$ , IFN- $\gamma$ , IL-6, IL-10), свободных форм рецепторов (sCD71, sCD62L, sApo-1/Fas, sFasL), циркулирующих иммунных комплексов (ЦИК) и компонентов транспортных систем крови (гаптоглобина, трансферрина, иммуноглобулинов, липидтранспортных частицы и их лигандов).

Эритроцитарные, тромбоцитарные, лейкоцитарные параметры крови определяли на гематологическом анализаторе XS-500i (Sysmex, Япония). В мазках крови, окрашенных по методу Романовского-Гимзе, методом микроскопии подсчитывали количество и соотношение клеток гемограммы и определяли уровень агрегации эритроцитов. Фагоцитарную активность нейтрофилов определяли с помощью тест-набора «Реакомплекс». Выделение мононуклеаров из периферической крови проводили по методу А. Воупн. У жителей Арктики содержание лимфоцитов изучали методом непрямой иммунопероксидазной реакции с использованием моноклональных антител в связи с проведением исследований в сложных экспедиционных, климатогеографических условиях и методом проточной цитометрии у жителей Европейского Севера. Полученные результаты фактически полностью соответствовали при сравнении двух методов фенотипирования лимфоцитов у жителей Европейского Севера. Концентрацию ЦИК определяли в реакции преципитации с использованием различных концентраций ПЭГ-6000 (3,5%, 4,0% и 7,5%). В сыворотке крови содержание гаптоглобина, трансферрина, иммуноглобулинов, липидтранспортных частиц и их лигандов, цитокинов, свободных форм рецепторов внеклеточного пула, определяли с использованием реактивов «Bender MedSystems», «AccBind Elisa Microwells», «Biosource Europe S.A.», «AssayMax Human Haptoglobin», «Seramun Diagnostica GmbH», «Orgentec Diagnostica GmbH», «Alere Cholestech LDX System», «Biomedica Gruppe» методом твердофазного иммуноферментного анализа на автоматическом иммуноферментном анализаторе «Evolis» фирмы «Bio-RAD».

Группы сравнения для обследуемых жителей Европейского Севера и Арктики сформированы в зависимости от уровня содержания транспортных белков крови: дефицит содержания, содержание в пределах нормы, повышенные концентрации. По данным частоты регистрации повышенных и пониженных концентраций от нормативных пределов колебаний рассчитывали уровень дисбалансов. Статистическая обработка полученных данных проведена с применением пакета прикладных программ «Statistica 21.0» (StatSoft, США). Критический уровень значимости ( $p$ ) в работе принимался равным 0,05.

*Результаты и обсуждение.* Средний уровень содержания гаптоглобина у жителей Европейского Севера составил  $1194,86 \pm 32,25$  мг/л с преимущественным преобладанием концентраций в пределах нормы (350-2000 мг/л) и частотой регистрации повышенных концентраций в 1,27%. У лиц, проживающих в условиях Арктики, средняя концентрация гаптоглобина в 2 раза выше и составила  $2590,55 \pm 57,49$  мг/л с широким пределом колебания содержания (350-4980 мг/л) и повышенным содержанием в 63,3%. Увеличение синтеза гаптоглобина у жителей Арктики обусловлено потребностью связывания свободного гемоглобина при увеличении повреждения и разрушения эритроцитов в циркуляции в результате активации процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) эритроцитарных мембран, истощения антиоксидантной защиты, снижения энергообеспеченности эритроцитов. Дезинтеграция эритроцитов приводит к нарушению диффузии газов, обуславливая увеличение вязкости крови и уменьшение скорости кровотока в капиллярном русле с последующим развитием тканевой гипоксии [6]. К уменьшению оксигенации тканей, усугубляя развитие северной тканевой гипоксии приводит агрегация эритроцитов. У лиц, проживающих в условиях Арктики выше частота агрегации эритроцитов по сравнению с жителями Европейского Севера [7]. У обследованных лиц в условиях

Арктики при повышенном содержании гаптоглобина в 1,3 раза выше частота агрегации эритроцитов. Повышение концентрации гаптоглобина ассоциировано с увеличением уровня содержания активированных Т-лимфоцитов, Т-хелперов, цитотоксических лимфоцитов, антителообразующих клеток, а также с повышением концентраций IgA, ЦИК IgA, компонентов внеклеточного пула sL-селектина, sFasL и снижением концентрации противовоспалительного цитокина IL-10. Полученные данные подтверждают, что помимо антиоксидантной функции, гаптоглобин обладает иммуномодулирующим действием [8].

Средний уровень содержания трансферрина у жителей Европейского Севера составил  $295,60 \pm 3,65$  мг/дл, повышенные концентрации регистрировали в 31,8%. Увеличение концентрации трансферрина в крови ассоциировано со снижением уровня зрелых Т-лимфоцитов, Т-лимфоцитов с рецептором к трансферрину и к программируемой клеточной гибели. У жителей Европейского Севера при увеличении концентрации трансферрина снижение лимфоцитов с рецептором к трансферрину (CD71+) отражает закономерность изменения активности мембранных рецепторов путем изменения экспрессии или щеддинга в межклеточную среду. У жителей Европейского Севера регистрируется увеличение внеклеточного пула рецепторов к трансферрину sCD71 в 41,8%. Увеличение содержания трансферрина происходит при увеличении потребности в обеспеченности костного мозга железом одновременно с повышением активности утилизации железа, освобождающегося при разрушении эритроцитов в селезенке и направлено на обеспечение оптимального в данных конкретных условиях эффективности кислородного и трофического снабжения тканей [7]. Однако, при повышенном уровне содержания в крови трансферрин является прокоагулянтом, способствуя повышению тромбообразования [9]. У жителей Арктики среднее содержание трансферрина составило  $284,76 \pm 2,43$  мг/дл, повышенных концентраций не установлено, что обусловлено избыточной активностью провоспалительных цитокинов, преимущественно со стороны IFN- $\gamma$  (47,9%), повышенные концентрации которого обладают отрицательным влиянием на транспортную форму железа.

У жителей Европейского Севера содержание IgM ( $1,78 \pm 0,03$  г/л), IgA ( $1,74 \pm 0,07$  г/л), IgG ( $17,64 \pm 0,12$  г/л) и IgE ( $48,46 \pm 2,36$  МЕ/мл) находится в физиологических пределах колебаний; в 55,6% установлен дефицит содержания IgA ( $<1,2$  г/л). При повышенных концентрациях IgM (7,6%) и IgE (7,8%) установлено снижение уровня содержания натуральных киллеров, обладающих цитотоксическим действием. У жителей Арктики концентрации IgM ( $2,57 \pm 0,07$  г/л), IgA ( $4,63 \pm 0,24$  г/л) и IgE ( $94,71 \pm 8,48$  МЕ/мл) находятся в пределах нормы, однако в 1,4-2,6 раза выше по сравнению с таковыми у лиц, проживающих на территории Европейского Севера и с большей частотой регистрации повышенных концентраций в 2,4-8,8 раза; в 72,3% установлен дефицит IgG ( $<7,0$  г/л). У жителей Севера и Арктики возможны разные варианты иммунного дисбаланса содержания иммуноглобулинов в крови. Негативными сдвигами со стороны иммунной системы при адаптации к неблагоприятным климатическим условиям Севера и Арктики является снижение содержания зрелых Т-лимфоцитов (CD3+) и IgA [1]. При дефиците лимфоцитов с молекулой ассоциированного комплекса трансдукции сигнала – CD3+ происходит снижение активности гуморального ответа IgG и IgA при преимущественном преобладании содержания IgM. При повышении концентраций иммуноглобулинов у жителей Арктики наиболее статистически значимо установлено снижение содержания лимфоцитов преимущественно за счет цитотоксических лимфоцитов и натуральных киллеров. Приоритетная роль IgM в снижении уровня чрезмерной активности данных иммунокомпетентных клеток до уровня физиологической нормы свидетельствует о развитии компенсаторной адаптационной реакции с предотвращением повышения в крови продуктов повреждения. При недостаточности механизмов клиренса

иммуноглобулины связывают продукты клеточного распада, повреждения, в том числе транспортные формы метаболитов, продукты обмена, продукты жизнедеятельности, ферменты, токсины, гормоны [10].

Действие комплекса неблагоприятных климатических условий северных и арктических территорий вызывает достаточно высокое напряжение регуляции метаболических процессов, создавая значительное напряжение транспортного обеспечения продуктов метаболизма [10].

У жителей Европейского Севера установлено повышение уровня ЛПНП ( $> 3,3$  ммоль/л) в 10,2%; содержание ЛПВП находится в референсных пределах. Установлена высокая частота регистрации дефицита апоВ–лиганда ЛПНП, апоА–I–лиганда ЛПВП в 46,9% и 56,2% соответственно. У лиц, проживающих на территории Европейского Севера, при дефиците апоА–I–лиганда ЛПВП установлено снижение содержания натуральных киллеров, повышение содержания В-лимфоцитов и противовоспалительного цитокина IL-10. У жителей Арктики больше частота регистрации повышенного уровня ЛПНП в 24,9% и в 21,1% установлено снижение уровня ЛПВП. У обследованных лиц в условиях Арктики установлен высокий уровень дефицита апоВ–лиганда ЛПНП, апоА–I–лиганда ЛПВП в 20,4 и 58,1% соответственно. Увеличение содержания в крови ЛПНП и снижение уровня ЛПВП свидетельствует о блокаде апоВ-лигандрецепторного взаимодействия ЛПНП с клетками, обуславливая недостаточность поглощения жирных кислот в качестве субстрата. Нарушении лиганд-рецепторного взаимодействия ЛПНП и функциональная дисфункция ЛПВП происходит при гипертриглицеридемии, а также при конкуренции со стороны малых по размерам протеинов с ЛПНП за места связывания и при конкурентном замещении апоА–I–лиганда ЛПВП малыми по размерам белками, белками острой фазы, компонентами системы комплемента.

У обследованных лиц, проживающих на территории Арктики, при дефиците содержания апоА–I–лиганда ЛПВП установлена активизация иммунокомпетентных клеток преимущественно за счет цитотоксических лимфоцитов (CD8+), натуральных киллеров (CD16+), обладающих перфорин- и гранзим-зависимыми механизмами цитотоксичности относительно макрофагов, содержащих оЛПНП [11]. Накопление в крови продуктов метаболизма (ОХС, ТГ, ЛПНП, оЛПНП) обуславливает развитие эндогенной интоксикации и свидетельствует о недостаточности механизмов утилизации и клиренса. Сдвиги показателей липидного обмена у жителей Севера и Арктики отображают мобилизацию энергетических ресурсов в ответ на комплексное действие неблагоприятных факторов. При мобилизации резервов организма снижение уровня ЛПВП обуславливает недостаточность компенсации дислипидемии.

#### *Заключение.*

Повышение концентрации гаптоглобина ассоциировано с увеличением уровня агрегации эритроцитов и их лизиса. Показано, что гаптоглобин инициирует эффекторный иммунный ответ.

Увеличение концентрации трансферрина ассоциировано со снижением в циркуляции лимфоцитов с рецептором к трансферрину и более высокими концентрациями свободного рецептора к трансферрину. Повышенный уровень трансферрина может обуславливать гиперкоагуляцию и повышение тромбообразования.

Повышение концентрации иммуноглобулинов направлено на эффективное связывание, утилизацию и элиминацию субстрата или компонентов при недостаточности и напряжении механизмов клиренса. Активность иммуноглобулинового транспорта проявляется преимущественно стороны IgM, что обеспечивает наиболее эффективное связывание продуктов адаптивных реакций и реакции превентивного воспаления.

Для жителей Севера и Арктики характерен высокий риск развития нарушений в липидном обмене, проявляющийся снижением антиатерогенной защиты организма.

Изменение состояния транспортных систем крови и иммунной системы направлено на поддержание оптимального в конкретных условиях функционального состояния организма. Уровень содержания транспортных белков крови необходимо рассматривать в совокупности для анализа направленности изменения метаболизма, гомеостаза и оценки риска срыва адаптации. Взаимосвязь транспортных белков крови с состоянием иммунной системы важна для характеристики функционального состояния организма и оценки межсистемного соотношения в процессе адаптации.

*Работа выполнена в рамках программы фундаментальных научных исследований по теме «Механизмы взаимодействия системных и местных иммунных реакций у лиц, работающих в условиях Арктики (пос. Баренцбург, арх. Штицберген, пос. Ревда и Ловозеро Мурманской области)», № гос. регистрации 122011800217-9.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добродеева Л.К. Иммунологическая реактивность человека на Севере. Архангельск, 1993. 126 с.
2. Панин Л.Е. Полярный метаболический тип // Вопросы экологии человека в условиях Крайнего Севера. Новосибирск. 1979. С. 23-32.
3. Ларина О.Н., Беккер А.М. Исследование индивидуальных возможностей регуляции уровней белков крови при моделировании воздействия микрогравитации на человека // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2009. Т. 43. № 1. С. 52-56.
4. Li M., Tang X., Liao Z. et al. Hypoxia and low temperature upregulate transferrin to induce hypercoagulability at high altitude // Blood. 2022. Vol. 140. N 19. P. 2063-2075.
5. Зайцева Н.В., Землянова М.А. Нарушение протеомного профиля плазмы крови у населения, проживающего в зоне влияния выбросов металлургических производств // Медицина труда и промышленная экология. 2016. № 12. С. 1-5.
6. Куликов В.Ю., Ким Л.Б. Кислородный режим при адаптации человека на Крайнем Севере. Новосибирск: Наука, 1987. 158 с.
7. Dobrodeeva L.K., Samodova A.V., Balashova S.N. Intercellular interactions in peripheral venous blood in practically healthy residents of High latitudes // BioMed Research International. 2021. Vol. 2021. 11p.
8. Torres A., Vivanco S., Lavin F. et al. Haptoglobin induces a specific proteomic profile and a mature-associated phenotype on primary human monocyte-derived dendritic cells // Int J Mol Sci. 2022. V. 23. N 13. P. 6882. doi: 10.3390/ijms23136882
9. Cooper S. Transferrin-induced thrombosis in hypoxia // Blood. 2022. Vol. 140. N 19. P. 2006-2008.
10. Добродеева Л.К., Самодова А.В., Карякина О.Е. Взаимосвязи в системе иммунитета. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2014. 198 с.
11. Saito Y., Kondo H., Hojo Y. Gransim B as a novel factor involved in cardiovascular disease // J. Cardiol. 2011. Vol. 57. N. 2. P. 141-147.

## СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОВНЯ СМЕРТНОСТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Половинкина Ю.С., Кулебакин В.А.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,  
г. Архангельск, kulebakin.v@yandex.ru

В медицине прогнозирование смертности имеет важное значение. Модели прогнозирования позволяют оценить эффективность здравоохранения и определить наиболее эффективные методы лечения для конкретных групп пациентов путём оценки влияния изменения образа жизни на вероятность смерти. Результаты прогнозирования могут быть использованы при планировании ресурсов медицинских учреждений: количества свободных мест и помещений, количества медицинских работников, медицинской техники и медикаментов. Также полученные результаты можно использовать при разработке государственной политики в области здравоохранения и социальной защиты населения.

Обычно для прогнозирования используют статистические модели: метод скользящего среднего, модель Бокса — Дженкинса, регрессионную модель Пуассона и другие. На сегодняшний день в Министерстве здравоохранения Архангельской области ведётся регистр ежедневной смертности в г. Архангельске. На основе этих данных и статистической регрессионной модели Пуассона в Северном государственном медицинском университете (СГМУ, г. Архангельск) еженедельно делаются прогнозы смертности.

Нейронные сети могут обрабатывать большие объемы данных и выявлять скрытые связи между различными факторами, что позволяет создавать эффективные модели прогнозирования смертности, из-за чего в последнее время сильно возросла популярность данной технологии. В связи с этим в результате сотрудничества с СГМУ решалась задача разработки и сравнения различных статистических и нейросетевых моделей прогнозирования смертности [1].

Данные о смертности для обучения нейросетевых моделей предоставлены Министерством здравоохранения Архангельской области. Данные о метеорологических факторах взяты с сайта [gr5.ru](http://gr5.ru), за период с 01.12.2005 по 31.12.2019. Они включают в себя 13 признаков: скорость ветра, давление, влажность, температуру, их максимальные и минимальные значения за день и другие. Входные данные – это значения погоды климатических факторов и смертности за 7 дней, представленные в виде двумерного массива. Выход — это прогноз смертности на один день.

При использовании статистических методов в работе рассмотрены три модели временных рядов: метод скользящего среднего (MA); модель авторегрессии (скользящего среднего, ARMA); модель Бокса — Дженкинса (ARIMA). Также строились три обобщённых линейных модели: Пуассона, Гамма и Гаусса. Это класс статистических моделей, которые обобщают линейную регрессионную модель для случаев, в которых переменные реакции имеют распределение отличное от нормального, или когда связь между зависимой и независимыми переменными не является линейной [4]. Результативность моделей представлена в таблице 1 в виде средней абсолютной ошибки.

Таблица 1 – Сравнение статистических моделей

Модель	MA	ARMA	ARIMA	Пуассона	Гамма	Гаусса
Средняя ошибка	2.105	2.103	2.107	1.995	2.001	2.002

Как видно из таблицы, модели временных рядов хуже справляются с задачей, в среднем имея более высокую ошибку по сравнению с регрессионными. Наименьшей же ошибкой среди представленных моделей обладает регрессионная модель Пуассона, которая в дальнейшем при разработке приложения сравнивалась с нейросетевыми моделями.

Известно, что нейросетевые модели удобны для решения задач прогнозирования. Преимущество использования нейронных сетей для прогнозирования смертности определяется их способностью адаптации к новым данным. Если в будущем появятся новые факторы, влияющие на смертность, нейронная сеть сможет быстро адаптироваться и улучшить свои прогнозы.

Для прогнозирования смертности с помощью нейронных сетей необходимо иметь большой объем данных для различных факторов, влияющих на неё. Эти данные используются для обучения нейронной сети, которая на основе полученных знаний может прогнозировать как вероятность смертности, так и абсолютное её значение на определённый период времени [3].

В рамках исследования рассмотрены основные типы нейросетевых моделей: свёрточная модель, нацеленная на эффективное распознавание образов, рекуррентная модель, связи элементов которой образуют направленную последовательность, LSTM модель, являющаяся доработкой рекуррентной модели, и полносвязная модель, имеющая полную связь между всеми нейронами [2]. Для обучения моделей использовался оптимизатор Adam. В качестве функции активации выбрана функция ReLU, так как область ее допустимых значений от нуля до бесконечности.

Средняя абсолютная ошибка для свёрточной модели на период за 2019 год составила 2,104, что хуже статистической модели Пуассона с ошибкой 1,995. Это говорит о неэффективности свёрточной модели для решения проблемы прогнозирования смертности на основе метеорологических данных. Обучение проведено на 50 эпохах с батчем 100.

Обучение рекуррентной модели проходило на 20 эпохах с батчем 50. На тестовых данных за 2019 год абсолютная средняя ошибка модели составила 1,9608, что уже лучше статистической модели Пуассона. Рекуррентная модель так же, как и свёрточная, способна выявлять тренды в зависимости от данных.

Обучение LSTM модели также проведено на 20 эпохах с батчем 50 на данных за 2019 год. Абсолютная средняя ошибка модели составила 1,914, что заметно лучше обычной рекуррентной модели. Выборочный вывод релевантной информации из текущего состояния позволяет сети LSTM поддерживать полезные долгосрочные зависимости для прогнозирования из-за чего результат модели и лучше.

Обучение полносвязной модели проводилось на 30 эпохах с батчем равным 200. Абсолютная средняя ошибка модели составила 1,904. Это лучший результат среди всех рассмотренных моделей. Её эффективность объясняется тем, что данный тип нейронных сетей предназначен в основном для обработки изображений.

Ожидаемо стандартная рекуррентная модель показала себя хуже, чем модель долгой краткосрочной памяти. Выборочный вывод релевантной информации из текущего состояния позволяет сети LSTM поддерживать полезные долгосрочные зависимости для прогнозирования, из-за чего по результату модель и превосходит стандартную рекуррентную.

Лучше всего себя показала полносвязная модель с минимальной средней абсолютной ошибкой равной 1,904. Из-за того, что каждый нейрон слоя связан с каждым нейроном предыдущего слоя, полносвязные модели эффективны для очень разного спектра задач, в том числе и для прогнозирования, так как они принимают любые данные и могут автоматически извлекать признаки из входных данных. Пример прогнозирования полносвязной модели представлена на рисунке 1.

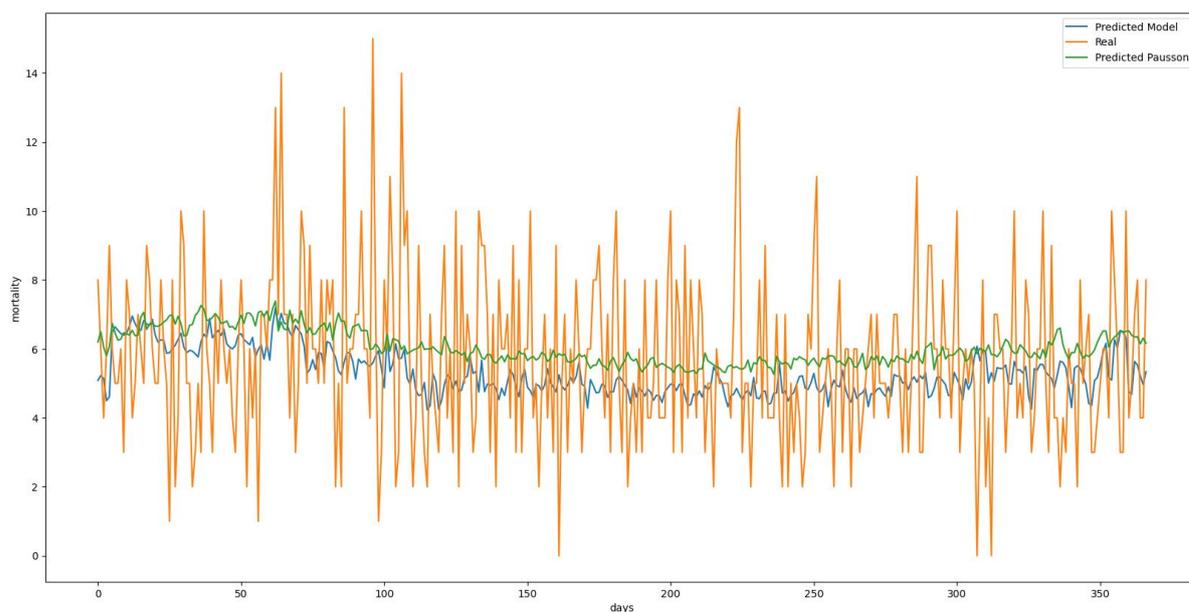


Рис. 1 – Прогноз для полносвязной модели за 2019 год

В каждом из полносвязных слоёв по 672 нейрона. Чем больше нейронов в нейросети, тем больше информации она может обрабатывать и тем точнее может делать прогнозы. Большое количество нейронов позволяет нейросетям обучаться на сложных задачах и создавать более точные модели.

В случае полносвязных моделей возможно обучение сети на различных входных данных, включая данные по сезонам, а также с исключением малозначимых признаков, которые слабо коррелируют со смертностью. Это позволяет учитывать сезонные изменения в данных, что может повысить точность прогнозирования.

Для выявления малозначимых признаков проведен корреляционный анализ. Выяснилось, что для всех сезонов сразу малозначимыми оказались признаки атмосферного давления и минимальной силы ветра, для зимнего периода - признаки температуры и влажности, для весеннего сезона все признаки имеют приблизительно равные низкие показатели корреляции, для летнего сезона - признаки атмосферного давления и минимальной силы ветра, для осеннего сезона признаки максимальной влажности и направления ветра. На основе этих данных построены модификации полносвязной модели с исключением малозначимых признаков. Их сравнение представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Абсолютная ошибка модификаций полносвязных нейросетей

	Все сезоны	Зима	Весна	Лето	Осень
По сезонам	1,981	2,165	2,035	1,97	1,92
При удалении малозначимых признаков	2,02	2,28	-	2,21	2,1

Из таблицы видно, что точность прогнозирования не увеличивается при разбиении данных по сезонам и исключении незначительных признаков.

Таким образом, в ходе решения поставленной задачи проведено сравнение различных моделей прогнозирования смертности в зависимости от метеорологических условий и выявлено, что полносвязная модель является наиболее эффективной для выполнения данной задачи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галушкин, А.И. Нейронные сети: основы теории. / А.И. Галушкин. - М.: ГЛТ, 2010. - 496 с.
2. Гафаров Ф.М Г12 Искусственные нейронные сети и приложения: учеб. пособие / Ф.М. Гафаров, А.Ф. Галимянов. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2018. – 121 с.
3. Груздева А.Ю., Яковлев М.Ю., Датий А.В. Влияние климатических условий на организм человека // Вестник восстановительной медицины. 2019. №3 (91). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-klimaticheskikh-usloviy-na-organizm-cheloveka> (дата обращения: 12.06.2023).
4. Carolyn J. Anderson, Jay Verkuilen, Timothy R. Johnson Applied Generalized Linear Mixed Models: Continuous and Discrete Data. – Springer, 2012.

## ВЛИЯНИЕ НОВОГО КИСЛОМОЛОЧНОГО ПРОДУКТА – АЦИДОФИЛИНА С ВОДОРОСЛЯМИ НА ЗДОРОВЬЕ РАБОТНИКОВ КРУПНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ

*Попов В.В.<sup>1</sup>, Новикова И.А.<sup>1</sup>, Гречаный А.Н.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Северный государственный медицинский университет, г. Архангельск, [ianovikova@mail.ru](mailto:ianovikova@mail.ru)

<sup>2</sup>ООО «Управляющая компания «Агрохолдинг Белозорие», г. Архангельск

### **Введение.**

Правильное питание в Арктическом регионе – это основа здоровья и долголетия. К сожалению, только небольшая часть населения придерживается принципов здорового питания. Наибольший дефицит по уровню потребления в Арктическом регионе отмечается в отношении картофеля и других овощей, фруктов, яиц, молока и молочных продуктов [1].

Питание является важнейшим условием, определяющим более чем на половину состояние здоровья человека с учетом его образа жизни и социально-экономического положения в обществе. Полноценное питание составляет основу жизнедеятельности человека и является одним из важнейших факторов, способствующих снижению риска развития алиментарно-зависимых заболеваний, обеспечивающих активное долголетие, участвующих в формировании и реализации адаптационного потенциала организма [2].

Кисломолочные продукты – это уникальные в своем роде продукты, полученные путем ферментации [3]. Польза кисломолочных продуктов заключается в легкой усвояемости организмом питательных веществ, которые в них содержатся. Кисломолочные напитки повышают иммунитет организма, нормализуют работу кишечника, активизируют обменные процессы, обладают высокими пищевыми, диетическими и лечебными свойствами [4]

Создание продуктов, способствующих улучшению здоровья человека при их ежедневном употреблении, является ведущей перспективой в области питания [5].

Используя биологически активные добавки из биоресурсов Арктики к кисломолочным продуктам можно получить инновационные продукты питания, способствующие здоровью.

Цель исследования: оценить влияние нового кисломолочного продукта – ацидофилина с водорослями на здоровье работников крупного промышленного предприятия в Арктическом регионе

### **Материал и методы**

Исследование полезных свойств инновационного напитка проводилась у работников Архангельского целлюлозно-бумажного комбината, которые проходили

оздоровительный курс в санатории-профилактории «Жемчужина Севера» (АО БЫТ, учредитель АЦБК).

Было обследовано две группы работников, каждая группа состояла из 38 человек. 1 группа - принимали ацидофилин с водорослями, 2 группа – ацидофилин. Средний возраст в 1 группе  $46,13 \pm 1,42$  лет, во 2 –  $45,97 \pm 1,33$  лет. Состав: 1 группа – 30 женщин (78,95%) и 8 мужчин (21,05%); 2 группа 26 женщин (68,42%) и 12 мужчин (31,58).

Исследование было выполнено в соответствии со стандартами надлежащей клинической практики и принципами Хельсинской Декларации. Протокол исследования был одобрен Этическим комитетом Северного государственного медицинского университета. До включения в исследование у всех участников было получено письменное информированное согласие.

Все работники на момент обследования не имели обострения заболеваний. Оздоровительный курс был направлен на заболевания костно-суставной системы – остеохондроз позвоночника или остеоартрит.

Работники в течение 3-х недель ежедневно принимали кисломолочный продукт – ацидофилин (200 г.) или ацидофилин (200 г.) с водорослями.

Проводилось обследование до и после приема кисломолочного напитка, включающее клиническое обследование, анкетирование с оценкой симптомов и функций желудочно-кишечного тракта на основе опросников GerdQ (Gastro Esophageal Reflux Disease) [8] и GSRS (Gastrointestinal Symptom Rating Scale) [9], определение веса, роста, индекса массы тела.

Среди работников 1 группы 24 чел. (63,15%) и 2 группы 20 чел. (52,63%) имели заболевания ЖКТ – преимущественно в виде кислотозависимых заболеваний (ГЭРБ, функциональная диспепсия, гастропатия, язвенная болезнь двенадцатиперстной кишки). На момент обследования активно жалоб пациенты со стороны ЖКТ не сообщали и заболевания находились в состоянии ремиссии.

Обследуемые принимали ацидофилин 2,7% 200 г Белозорие, произведенный ООО «Управляющая компания «Агрохолдинг Белозорие». Состав ацидофилина Белозорие: молоко цельное, молоко обезжиренное, восстановленное молоко, с использованием закваски, приготовленной на кефирных грибках.

В качестве добавки использовался наполнитель для пищевых продуктов «Водоросли беломорские». Он разработан в ООО «Компания «Зеленый город» (г. Нижний Новгород). Согласно ТР ТС 021/2011 Техническому регламенту Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции», СТО 57851025.006-2021.

Наполнитель предназначен для применения в качестве компонента рецептуры при производстве пищевых продуктов. Состав: патока, водоросли беломорские пищевые, загуститель крахмал кукурузный (E1442), соль, регулятор кислотности лимонная кислота (E330), консервант сорбат калия (E202). Наполнитель специально был произведен для исследования из водорослей, предоставленных ООО «Архангельский водорослевый комбинат». В 200 г. ацидофилина с водорослями наполнитель составил 10%.

Обработка результатов осуществлялась с помощью пакета прикладных статистических программ SPSS Statistics (версия 23.00, лицензия Z125-5301-14). Распределение данных оценивали с помощью теста Колмогорова-Смирнова. Для анализа данных использовали параметры описательной статистики, для оценки различий по частоте встречаемости – тест  $\chi^2$ .

#### **Результаты и их обсуждение**

Анализ симптомов со стороны желудочно-кишечного тракта у обследуемых до и после приема кисломолочных продуктов за предшествующую неделю (таб. 1) показал, что при приеме как ацидофилина, так и ацидофилина с водорослями, уменьшилось число симптомов со стороны желудочно-кишечного тракта (ЖКТ). При приеме

ацидофилина в динамике уменьшились симптомы на: изжогу ( $p<0,001$ ), отрыжку ( $p<0,001$ ), боли в эпигастральной области ( $p<0,001$ ), тошноту ( $p<0,05$ ), урчание в животе ( $p<0,01$ ), вздутие живота ( $p<0,01$ ), запоры ( $p<0,001$ ) и твердый стул ( $p<0,001$ ).

При приеме ацидофилин с водорослями показал сходную динамику. Так, отмечалось в динамике уменьшение числа симптомов на изжогу ( $p<0,001$ ), отрыжку ( $p<0,001$ ), боли в эпигастральной области ( $p<0,001$ ), тошноту ( $p<0,05$ ), урчание в животе ( $p<0,05$ ), вздутие живота ( $p<0,001$ ), запоры ( $p<0,001$ ) и твердый стул ( $p<0,001$ ).

Исходя из полученных результатов, можно сказать, что применение кисломолочного напитка – ацидофилина в дозе 200 г. в течение 3 недель существенно уменьшает жалобы со стороны ЖКТ, что можно объяснить составом кисломолочного продукта, включающим *Lactobacillus acidophilus*.

Таблица 1 - Анализ симптомов со стороны желудочно-кишечного тракта у работников АЦБК до и после приема кисломолочных продуктов за предшествующую неделю (абс.ч., %)

Симптомы	До приема				После приема			
	Ацидофилин с водорослями		Ацидофилин		Ацидофилин с водорослями		Ацидофилин	
	абс. ч.	%	абс. ч.	%	абс. ч.	%	абс. ч.	%
Изжога	13	34,21	12	31,58	1	2,63 a***	5	13,16 a***б*
Отрыжка	13	34,21	12	31,58	1	2,63 a***	5	13,16 a***б*
Боли под ложечкой	9	23,68	7	18,42	1	2,63 a***	1	2,63 a***
Тошнота	5	13,16	3	7,89	2	5,26 a*	1	2,63 a*
Урчание в животе	10	26,32	12	31,58	5	13,16 a*	6	15,79 a**
Вздутие живота	17	44,74	15	39,47	2	5,26 a***	9	23,68 a**б***
Частый стул (2 и более раз в день)	5	13,16	6	15,79	3	7,89	3	7,89
Неоформленный (кашицеобразный или жидкий) стул	5	13,16	8	21,95	7	18,42	6	15,79
Запоры (по 3 и более дней)	7	18,42	7	18,42	0	0 a***	0	0 a***
Твердый стул (или «орешками»)	7	18,42	5	13,16	0	0 a***	4	10,53 б**

Примечание: различия достоверны при \* $p<0,05$ , \*\* $p<0,01$ , \*\*\* $p<0,001$ ; а – до и после приема, б – сравнение между ацидофилином и ацидофилином с водорослями.

Сравнение симптомов в динамике при приеме ацидофилина с водорослями с ацидофилином показал, что данный продукт достоверно чаще уменьшал жалобы на изжогу ( $p<0,05$ ), отрыжку ( $p<0,05$ ), вздутие живота ( $p<0,001$ ) и твердый стул ( $p<0,01$ ). Таким образом, результаты говорят о том, что включение добавки в ацидофилин водорослей существенно улучшает лечебно-профилактические качества кисломолочного напитка.

Опрос показал, что после 3-х недельного приема кисломолочных напитков, несмотря, на наличие симптомов за предшествующую неделю все пациенты отмечали хорошее самочувствие. Все отметили хорошую переносимость кисломолочных продуктов, даже учитывая тот факт, что 4 человека в 1 группе (10,52%) и 3 человека (7,89%) во 2 группе имели непереносимость молока. Это указывает на тот факт, что ацидофилин могут принимать и пациенты с лактозной недостаточностью.

Динамика показателей по опроснику GSRS у работников АЦБК до и после приема ацидофилина с водорослями показала, что при приеме ацидофилина достоверно снижались: абдоминальный болевой синдром ( $p<0,05$ ), рефлюкс-синдром ( $p<0,01$ ), диспептический синдром ( $p<0,001$ ), синдром запоров ( $p<0,01$ ) и суммарный показатель ( $p<0,01$ ).

При приеме ацидофилина с водорослями отмечались снижение следующих синдромов: абдоминального болевого синдрома ( $p<0,001$ ), рефлюкс-синдрома ( $p<0,001$ ), диспептического синдрома ( $p<0,001$ ), синдрома запоров ( $p<0,001$ ) и суммарного показателя ( $p<0,001$ ).

Сравнение показателей по опроснику GSRS в динамике при приеме ацидофилина с водорослями с ацидофилином показал, что данный продукт достоверно чаще снижал выраженность рефлюкс-синдрома ( $p<0,001$ ), синдрома запоров ( $p<0,05$ ) и суммарного показателя ( $p<0,05$ ).

Таким образом, прием кисломолочных продуктов ацидофилина и ацидофилина с водорослями у работников промышленного предприятия уменьшает частоту симптомов со стороны желудочно-кишечного тракта (изжогу, отрыжку, боли в эпигастральной области, тошноту, урчание в животе, вздутие живота, запоры и твердая консистенция стул).

По опроснику GerdQ (GastroEsophageal Reflux Disease) установлено, что значения более 8 баллов до приема ацидофилина наблюдались у 11 чел. (28,95%), что указывало на наличие симптомов гастроэзофагорефлюксной болезни (ГЭРБ), а после приема у 4 чел. (10,53%) данные симптомы остались. До приема ацидофилина с водорослями у 13 чел. (34,21%) отмечались показатели по шкале GerdQ выше 8 баллов, а после приема пациентов с такими показателями не было выявлено.

Анализ влияния приема кисломолочных продуктов на обследуемых показал, что все обследуемые отметили, что кисломолочный продукт по вкусовым качествам понравился. Среди них более 2/3 респондентов в обеих группах отметили, что очень понравился напиток.

Стоит отметить, что 8 человек (21,95%) в 1 группе и 10 человек во 2 группе (26,32%) имели ранее опыт приема ацидофилина. Однако прием носил разовый характер, и регулярно никто ацидофилин не принимал. Подавляющее большинство обследуемых ни разу не принимали ацидофилин.

Положительное влияние на состояние здоровья отметили более 1/2 обследуемых как при приеме ацидофилина, так и ацидофилина с водорослями. Незначительное улучшение отмечали более 1/3 пациентов обеих групп. В тоже время достоверно значительное улучшение чаще отмечали обследуемые, принимающие ацидофилин с водорослями, в сравнении с ацидофилином ( $p<0,05$ ).

У каждого пятого респондента, принимающего ацидофилин с водорослями, отмечалось снижение веса ( $p<0,001$ ). Подобных изменений не отмечалось при приеме ацидофилина. В среднем снижение веса отмечалось на  $2,72\pm 0,23$  кг.

Распределение респондентов по индексу массы тела показало, что в группе респондентов, принимающих ацидофилин с водорослями, в сравнении с принимающими ацидофилин отмечалось больше пациентов с ожирением ( $p<0,01$ ). Можно отметить, что снижение веса от приема ацидофилина с водорослями отмечали пациенты, имеющие ожирение.

Пациенты, имеющие положительный эффект от приема ацидофилина с водорослями, отмечали, что прием этого напитка в вечернее время способствовал снижению чувства голода и уменьшало вероятность приема пищи в ночное время. Респонденты с нормальной массой тела или с ее снижением этого эффекта не отметили.

Таким образом, можно сказать, что прием напитка ацидофилина с водорослями способствует снижению веса преимущественно у лиц, имеющих ожирение, и не влияет на лиц с нормальным ИМТ. Однако стоит учесть тот момент, что исследование проводилось в течение 3-х недель приема кисломолочного напитка, возможно более длительный прием мог бы вызвать еще более положительные результаты.

В период приема кисломолочных напитков никто из обследуемых не болел ОРВИ несмотря на то, что исследование проводилось в период эпидемиологического подъема ОРВИ.

Положительные субъективные изменения в пищеварении отметили 3/5 респондентов. Значительное улучшение в пищеварении отмечали чаще респонденты принимающие ацидофилин с водорослями ( $p < 0,01$ ), а незначительное улучшение у лиц, принимавших ацидофилин ( $p < 0,01$ ). Исходя из этого, можно сказать, что прием ацидофилина с водорослями вызывает более выраженные положительные субъективные изменения в деятельности ЖКТ.

На вопрос, касающийся продолжения приема кисломолочного напитка в перспективе подавляющее большинство ответили, что будут принимать в дальнейшем, только 5% лиц принимающих ацидофилин высказали, что не желают его принимать. Причину свою они объяснили, тем что, не любят принимать кисломолочную продукцию.

#### **Выводы**

1. Прием кисломолочных продуктов ацидофилина и ацидофилина с водорослями у работников промышленного предприятия уменьшает частоту симптомов со стороны желудочно-кишечного тракта (изжогу, отрыжку, боли в эпигастральной области, тошноту, урчание в животе, вздутие живота, запоры).
2. Ацидофилин с водорослями в сравнении с ацидофилином без добавок имеет более выраженный лечебно-профилактический эффект, который проявляется в более частом уменьшении симптомов на изжогу, отрыжку, вздутие живота и твердую консистенцию стула.
3. Положительное влияние на состояние здоровья отметили более 1/2 обследуемых как при приеме ацидофилина, так и ацидофилина с водорослями. Значительное улучшение чаще отмечали работники, принимавшие ацидофилин с водорослями. Каждый пятый респондент, принимающий ацидофилин с водорослями, отмечает снижение веса. Положительные субъективные изменения в пищеварении отметили 3/5 респондентов.
4. Полученные результаты указывают на эффективность использования нового кисломолочного продукта – ацидофилина с водорослями с лечебно-профилактической целью у работников крупного промышленного предприятия.

*Исследования проведены в рамках проекта «Научное обоснование разработки инновационных молочных продуктов для жителей Арктического региона, способствующих здоровью, на основе биоресурсов Арктики» при финансовой поддержке НОЦ «Российская Арктика: новые материалы, технологии и методы исследования»*

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Истомина А.В., Федина И.Н., Шкурихина С.В., Кутакова Н.С. Питание и север: гигиенические проблемы арктической зоны России (обзор литературы). Гигиена и санитария. 2018. Т.97. №6. С.557-563.

2. Кайшев В.Г., Серегин С.Н. Функциональные продукты питания: основа для профилактики заболеваний, укрепления здоровья и активного долголетия. Пищевая промышленность. 2017. №7. С.8-14.
3. Хавкин А.И., Ковтун Т.А., Макаркин Д.В., Федотова О.Б. Кисломолочные продукты и здоровье ребенка. Российский вестник перинатологии и педиатрии. 2020. Т.65. №6. С.155-165.
4. Бельмер С.В. Кисломолочные продукты: от истории к современности. Российский вестник перинатологии и педиатрии. 2019. Т. 64. №6. С.119-125.
5. Корнен Н.Н., Викторова Е.П., Евдокимова О.В. Методологические подходы к созданию продуктов здорового питания. Вопросы питания. 2015. Т. 84. №1. С.95-99.

## **СЫВОРОТОЧНЫЙ КРЕАТИНИН КАК БИОМАРКЕР, АССОЦИИРОВАННЫЙ С СОХРАНЕНИЕМ КОГНИТИВНЫХ ФУНКЦИЙ У ПОЖИЛЫХ МУЖЧИН, ЖИТЕЛЕЙ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ**

*Поскотинова Л.В.<sup>1,2</sup>, Концевая А.В.<sup>3</sup>, Кудрявцев А.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, liliya200572@mail.ru

<sup>2</sup>Северный государственный медицинский университет, г. Архангельск

<sup>3</sup>Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины, г. Москва

Уровень сывороточного креатинина отражает функцию почек, а его повышение отражает почечную недостаточность. Низкий уровень креатинина может свидетельствовать о снижении эффективности белкового обмена, риске саркопении, особенно у пожилых лиц. В настоящее время известны данные о связи уровня креатинина в сыворотке крови с когнитивными функциями, однако связь эта нелинейная у лиц трудоспособного возраста, то есть как низкий, так и высокий уровни креатинина может рассматриваться как метаболическая основа когнитивных нарушений [1]. Несмотря на значительные трансформации в структуре питания у современных жителей Арктического региона, сохраняется преобладание потребления жиров и белков (белково-липидный тип питания), то есть активность ферментных систем, обеспечивающие синтез белка и его метаболитов, достаточно высока у северян. Нарушение памяти является одним из первых признаков общего когнитивного снижения у пожилых лиц. Представляется важным определить пределы колебаний уровня сывороточного креатинина, на фоне которого остаются сохранными показатели функции памяти у пожилых лиц, постоянно проживающих в одном из регионов Арктической зоны РФ – Архангельской области.

В рамках многоцентрового популяционного исследования ЭССЕ-РФ3 (2021 г) проведено обследование 262 мужчин в возрасте от 60 до 74 лет, постоянно проживающих на территории Архангельской области, без неврологических расстройств. Все участники ЭССЕ-РФ3 подписали добровольное информированное согласие на участие в исследовании. Для анализа использована выборка лиц без выраженных когнитивных нарушений по данным краткой шкалы оценки психического статуса (Mini-Mental State Examination - MMSE) - более 24 баллов. Дополнительно в рамках MMSE выделен параметр оценки воспроизведения трех слов после предварительного запоминания (функция отсроченной памяти). У мужчин были определены группы с сохранной функцией памяти (n=86), сниженной (n=114) и низкой, n=62 (воспроизведение 3-х слов, 2-х слов и 0-1 слов соответственно). Уровень креатинина в сыворотке крови определяли в лаборатории Национального

медицинского исследовательского центра терапии и профилактической медицины Минздрава России (г. Москва), используя анализатор Architect с8000 (США). Нормативные значения креатинина использовали в диапазоне 50,4-110,5 мкмоль/л. Статистический анализ данных проводили с помощью программного обеспечения STATA 17.0 (StataCorp, USA, Texas, College Station).

Установлено, что распределение средних величин по группам в зависимости от числа воспроизведенных слов имело U-образный вид, то есть наименьшая медиана креатинина была у лиц с воспроизведением 2-х слов (82 мкмоль/л), более высокие равные друг другу медианы – у лиц с сохранной и низкой функцией памяти – 87 мкмоль/л ( $p < 0,05$ ). Пределы колебаний креатинина в диапазоне 10-90% перцентилей у лиц с низкой функцией памяти (воспроизведение 0-1 слов) выходили за пределы нормативных значений (75-115 мкмоль/л), в то время как у лиц с сохранной функцией памяти и у лиц со сниженной функцией памяти диапазоны 10-90% перцентилей соответствовали нормативным значениям (73-109 мкмоль/л и 69-101 мкмоль/л соответственно).

Относительное снижение уровня креатинина может отражать снижение скорости метаболизма белкового обмена, ассоциированное также с начальными признаками снижения функции памяти (воспроизведение 2-х слов из 3-х). Последующее повышение уровня креатинина с выходом за пределы физиологических значений у мужчин с более существенным нарушением функции памяти (воспроизведение 0-1 слов) может быть связано с риском почечной недостаточности, накоплением продуктов азотистого обмена, которое оказывает токсическое действие на нервную ткань и, следовательно, неизбежно приводит к более выраженному нарушению когнитивного статуса [2,3], в первую очередь, к нарушениям памяти.

На фоне отсутствия когнитивных нарушений или начального когнитивного снижения (MMSE более 24 баллов) у мужчин 60-74 лет диапазон значений сывороточного креатинина 73-109 мкмоль/л ассоциирован с сохранной функцией памяти, диапазон 69-101 мкмоль/л – с начальным снижением функции памяти, а диапазон 75-115 мкмоль/л – с выраженным снижением функции памяти по данным оценки воспроизведения 3-х слов теста MMSE.

Полученные предварительные данные могут быть методологической основой для дальнейшего изучения показателей крови, в том числе, креатинина, в качестве биомаркеров, ассоциированных с сохранением когнитивных функций у пожилых жителей Европейского Севера России.

*Исследования проведены при финансовой поддержке РНФ, проект № 23-15-20017 «Биомаркеры индивидуальной жизнеспособности у жителей Европейского Севера России».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nakala J.O., Pakkala K., Juonala M., et al. Repeatedly Measured Serum Creatinine and Cognitive Performance in Midlife: The Cardiovascular Risk in Young Finns Study // Neurology. 2022. Vol. 98(22). P.2268-2281.
2. Etgen T., Sander D., Chonchol M., et al. Chronic kidney disease is associated with incident cognitive impairment in the elderly: the INVADE study // Nephrol Dial Transplant. 2009. Vol.24(10). P. 3144-3150.
3. Фомина Н.В., Егорова М.В. Особенности когнитивных нарушений у пациентов с хронической болезнью почек в зависимости от наличия артериальной гипертензии // Нефрология. 2016. Т. 20(5). С.62-68.

## ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕННЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ МОЗГОВОГО НАТРИЙУРЕТИЧЕСКОГО ПЕПТИДА НА УРОВЕНЬ ГЕМОДИНАМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ У ЛИЦ, РАБОТАЮЩИХ В АРКТИКЕ

*Самодова А.В., Добродеева Л.К.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, annapoletaeva2008@yandex.ru

Резкая смена климатических факторов ассоциирована с выраженными колебаниями функциональной активности различных систем с расширением пределов содержания практически всех физиологических параметров, с сокращением резервных возможностей и формированием функциональной недостаточности регуляции гомеостаза. Это касается, в первую очередь, нейро-иммуно-эндокринной регуляции функций сердечно-сосудистой системы. При этом наиболее рано возникают срочные реакции вазоконстрикторов, вазодилататоров эндотелиоцитов и коротких нейропептидов, обеспечивающих изменение гемодинамики, микроциркуляции и влияющих на артериальное давление, объемы циркулирующей крови, её текучесть и, вследствие этого, на частоту, силу сердечных сокращений и распределение объемов крови. Мозговому натрийуретическому пептиду (Nt-pro-BNP) по началу приписывали роль критерия сердечно-сосудистого неблагополучия [1, 2, 3, 4]. Однако, появились сведения о повышении содержания пептида у практически здоровых людей, при различной патологии почек, изменениях водного и солевого обменов. По предварительным нашим данным есть основание считать, что данный пептид, регулируя осмотическое давление, может быть использован при оценке состояния клеточных и базальных мембран, а также как критерий риска опасных изменений осмотического давления клетки и межклеточного пространства.

**Цель исследования.** Влияние повышенных концентраций мозгового натрийуретического пептида на уровень гемодинамических реакций у практически здоровых взрослых людей, проживающих и работающих в Арктике.

**Материалы и методы.** Обследовано 111 практически здоровых лиц, 66 женщин и 45 мужчин в возрасте 46-55 лет, проживающих и работающих в Арктике (пос. Баренцбург арх. Шпицберген, пос. Ревда и Ловозеро Мурманской области). В группу сравнения включены 118 практически здоровых людей, родившихся и проживающих в Приморском районе Архангельской области, 59 женщин и 59 мужчин 46–55 лет. Проведено сравнительное изучение концентраций биологически активных компонентов сыворотки крови, участвующих в регуляции сосудистого тонуса, у лиц с повышенными и физиологическими концентрациями в крови Nt-pro-BNP. Обследование проводили в июне и июле 2017–2021 гг., в утренние часы (8:00–10:00) с согласия волонтеров и в соответствии с требованиями Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации об этических принципах проведения медицинских исследований (2013). Исследования одобрены и утверждены комиссией по биомедицинской этике при Федеральном исследовательском центре комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук (протокол № 8 от 30.03.2022).

**Результаты.** Повышенные концентрации Nt-pro-BNP в крови (более 200 фмоль/мл) выявлены в 32,43% случаев (36 человек) среди жителей Арктики и в 27,11% случаев (32 человека) — у жителей территорий, приравненных к районам Крайнего Севера. Установлено, что при повышении концентрации в крови Nt-pro-BNP (с  $74,61 \pm 22,54$  до  $300,89,48 \pm 76,81$  фмоль/мл;  $p < 0,001$ ) снижается содержание циркулирующих лейкоцитов ( $8,71 \pm 0,69$  и  $5,81 \pm 0,76 \times 10^9$  кл/л;  $p < 0,01$ ) преимущественно за счёт нейтрофильных гранулоцитов ( $5,26 \pm 0,64$  и  $3,26 \pm 0,67 \times 10^9$  кл/л;  $p < 0,01$ ) без

статистически значимых отличий со стороны лимфоцитов ( $2,85 \pm 0,45$  и  $2,31 \pm 0,57 \times 10^9$  кл/л) и моноцитов ( $0,37 \pm 0,10$  и  $0,26 \pm 0,08 \times 10^9$  кл/л).

У лиц с повышенными концентрациями Nt-pro-BNP ( $257,35 \pm 43,26$  фмоль/мл) выше содержание норадреналина ( $469,35 \pm 43,51$  и  $239,48 \pm 31,16$  пг/мл;  $p < 0,001$ ) и кортизола ( $465,45 \pm 43,82$  и  $243,53 \pm 34,51$  нмоль/л;  $p < 0,001$ ). Увеличенные концентрации натрийуретического пептида отличает отсутствие повышения концентрации эндотелина-1 ( $1,25 \pm 0,06$  и  $1,73 \pm 0,09$  фмоль/мл;  $p < 0,01$ ) и адреналина ( $51,88 \pm 5,21$  и  $66,81 \pm 6,53$  пг/мл;  $p < 0,05$ ).

Обсуждение результатов. Известно, что изменение соотношения циркулирующего и пристеночного пулов является основным сигналом для развития гемодинамической реакции. Глюкокортикоиды обеспечивают сохранение оптимального уровня циркулирующих клеток, увеличивая содержание нейтрофилов, эритроцитов и тромбоцитов, путём перемещения их из маргинального пула в пул циркулирующих клеток [5]. Нейтрофильные гранулоциты первыми появляются в очаге превентивных реакций [6]. Высвобождающиеся в процессе адгезии и агрегации клеток крови серотонин, гистамин, простагландины, кинины и ацетилхолин, содержание которых у лиц, проживающих и работающих в Арктике, заметно выше [7], обеспечивают миграцию лейкоцитов через сосудистую стенку в ткани. Наиболее частым проявлением недостаточности регуляции состояния микроциркуляторного русла служит дефицит эндотелий-зависимой вазодилатации в результате сдвига баланса синтеза оксида азота и вазоконстрикторов в сторону доминирования вазоконстрикторов, в первую очередь эндотелина-1. Вероятно, в данном случае имеет значение тот факт, что эндотелиоциты обеспечивают циклическое влияние вазодилататоров и постоянную секрецию эндотелина. Эндотелин-1 обладает мощным сосудосуживающим действием [8]. По всей вероятности, повышение концентраций Nt-pro-BNP обуславливает расширение терминальных артериол, проявляя свойства вазодилатации через стимуляцию активного энергозависимого переноса ионов Na и K.

Повышенные концентрации норадреналина, увеличивая частоту сердечных сокращений и минутного сердечного выброса, формируют напряжение сосудистой сети [9]. Секреция катехоламинов индуцируется истощением энергетических ресурсов, нарушением АТФ-зависимого протонного насоса и снижением внутриклеточного Ph. Известно, что не менее 90% норадреналина, присутствующего в крови, высвобождается из пресинаптических нервных окончаний симпатическими нервами и только 7% его поставляется в циркуляцию мозговым слоем надпочечников. Увеличение концентраций норадреналина в крови на фоне повышенного содержания Nt-pro-BNP свидетельствует о том, что данная реакция обеспечивается симпатическим влиянием.

Глюкокортикоиды обеспечивают переход срочных приспособительных реакций, осуществляемых катехоламинами, и пролонгируют их. Под влиянием глюкокортикоидов на клетке увеличивается количество рецепторов и их чувствительность к физиологически активным веществам, в том числе катехоламинам.

Основной особенностью реакций сердечно-сосудистой системы человека, проживающего в условиях влияния полярных климатических и геофизических факторов, является гиперфункция [10]. Реализация терморегуляции осуществляется увеличением функций внешнего дыхания и сердечно-сосудистой системы. Гиперфункция внешнего дыхания обуславливает повышенную нагрузку на малый круг кровообращения спастической реакцией лёгочных сосудов. Таким образом, создаются условия для повышенной нагрузки правого отдела сердца и левого желудочка. У северян увеличена плотность капиллярной сети для защиты от тканевой гипоксии и улучшения снабжения тканей [11]. У практически здоровых лиц, проживающих в неблагоприятных климато-географических условиях севера, ниже продолжительность жизни эритроцитов, среднего содержания в них гемоглобина с повышением концентрации фетального гемоглобина [12, 13]. Развитие северной тканевой гипоксии

характеризуется изменениями на всех этапах доставки O<sub>2</sub>, начиная с внешнего дыхания до потребления его тканями. У северян снижены резервные возможности регуляции проницаемости капилляров для белка и жидкости, а с возрастом поступление белка и жидкости из крови в ткани существенно преобладает над активностью выведения [14]. Изменения сосудистой проницаемости и эритроцитов могут обуславливать нарушение микроциркуляции с повышением активности агрегации всех клеток крови, а также создавать риск трофической недостаточности капилляров и обуславливать низкую эффективность оксигенации тканей [15].

Итак, у людей, проживающих в условиях Арктики и территорий, приравненных к районам Крайнего Севера, выше содержание в венозной периферической крови мозгового натрийуретического пептида. Увеличение концентраций Nt-pro-BNP выше физиологических пределов ассоциировано с более высоким уровнем норадреналина и кортизола на фоне менее выраженных реакций эндотелина-1 и адреналина, а также перераспределения лимфоцитов и моноцитов из циркулирующего пула в маргинальный.

*Исследования проведены в ходе выполнения гранта РФФИ № 22-25-20135 «Выявление иммунологических критериев риска сосудистых катастроф у лиц, работающих в Арктике».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мареев В.Ю., Агеев Ф.Т., Арутюнов Г.П., и др. Национальные рекомендации ВНОК и ОССН по диагностике и лечению ХСН (третий пересмотр) // Журнал Сердечная недостаточность. 2009. Т. 10, № 2. С. 64–106.
2. Bazzino O., Furreni J.J., Botto F., et al. Relative value of N-terminal probrain natriuretic peptide, TIMI risk score, ACC/ АНА prognostic classification and other risk markers in patients with non-ST-elevation acute coronary syndromes // Eur Heart J. 2004. Vol. 25, N 10. P. 859–866. doi: 10.1016/j.ehj.2004.03.004
3. Шрейдер Е.В., Шахнович Р.М., Казначеева Е.И., и др. Прогностическое значение маркеров воспаления и NT-proBNP при различных вариантах лечения больных с острым коронарным синдромом // Кардиологический вестник. 2008. Т. 3, № 2. С. 44–53.
4. Макоева М.Х., Федорова М.М., Автандилов А.Г., и др. Динамика и прогностическое значение мозгового натрийуретического пептида и С-реактивного белка при остром инфаркте миокарда в зависимости от тактики лечения // Клиническая лабораторная диагностика. 2014. Т. 59, № 2. С. 23–26.
5. Wright D.G., Fauci A.S., Dale D.C., Wolff S.M. Correction of human cyclic neutropenia with prednisolone // N Engl J Med. 1978. Vol. 298, N 6. P. 295–300.
6. Carlo D.E., Forni G., Musiant P. Neutrophils is the antitumoral immune response // Chem Immunol Allergy. 2003. Vol. 83. P. 182–203.
7. Самодова А.В., Добродеева Л.К., Штаборов В.А., Пашинская К.О. Влияние реакций мозгового натрийуретического пептида, ирисина, эндотелина-1 на состояние иммунной системы у лиц, работающих на архипелаге Шпицберген, в зависимости от срока проживания // Вестник Кольского научного центра РАН. 2018. Т. 10, № 3. С. 87–92.
8. Шурыгин М.Г., Шурыгина И.А., Дремина Н.Н., Каня О.В. Экспрессия эндотелина при экспериментальном инфаркте миокарда в условиях измененной концентрации фибробластического и вазоэндотелиального факторов роста // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. 2013. № 1. С. 125–129.
9. Shondorf R., Wieling W. Vasoconstrictor reserve in neutrally mediated syncope // Clin Auton Res. 2000. Vol. 10, N 2. P. 53–55.

10. Коробицын А.А., Иванова А.А. Экология ишемической болезни сердца у трудоспособного населения на Европейском Севере // Экология человека. 1997. № 2. С. 10–14.
11. Устюжанинова Н.В., Шишкин Г.С., Милованов А.П. Морфологические основы изменений газообмена в респираторных отделах легких у жителей Севера // Бюллетень Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. 1997. Т. 17, № 2. С. 106–112.
12. Марачев А.Г., Сороковой В.И., Корнев А.В., и др. Биоэнергетика эритроцитов у жителей Севера // Физиология человека. 1982. Т. 8, № 3. С. 185–194.
13. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Марачев А.Г., и др. Патология человека на Севере. Москва: Медицина, 1985. 416 с.
14. Ким Л.Б. Транспорт кислорода при адаптации человека к условиям Арктики и кардиореспираторной патологии. Новосибирск: Наука, 2015. 216 с.
15. Stoltz J.F., Donner M. New trends in clinical hemorheology: an introduction to the concept of the hemorheological profile // Schweiz Med Wochenschr Suppl. 1991. Vol. 43. P. 41–49.

## **ВЗАИМОСВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО СТАТУСА У ЮНОШЕЙ 16-18 ЛЕТ, ПРОЖИВАЮЩИХ В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Уханова А.В., Поскотинова Л.В.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, [Karmy-anny@yandex.ru](mailto:Karmy-anny@yandex.ru)

**Введение.** В 2022 году Архангельская область заняла второе место среди арктических регионов России по числу умерших от болезней системы кровообращения в расчете на 100 тыс. человек населения, при этом указанный показатель превышал среднероссийское значение почти на 25% [1].

По данным Всемирной организации здравоохранения, Всемирной федерации сердца и Всемирной организации по борьбе с инсультом, до 42 % случаев смерти от сердечно-сосудистых заболеваний в мире преждевременны и большую часть из них можно избежать благодаря профилактике [2]. Наряду с этим все больше ученых отмечает омоложение сердечно-сосудистых заболеваний [3, 4, 5], что указывает на необходимость проведения их ранней профилактики уже в подростковом возрасте.

Для разработки научно обоснованных рекомендаций по совершенствованию системы профилактики сердечно-сосудистых заболеваний среди подростков и более эффективного расходования финансовых средств государства, которые всегда ограничены, необходимо понять от чего зависит здоровье сердечно-сосудистой системы подростков, и какие факторы его определяют.

Известно, что у взрослых лиц болезни системы кровообращения во многом обусловлены социально-экономическим статусом индивида, который зачастую играет определяющую роль в распространенности вредных привычек, соблюдении тенденций здорового питания, возможности медицинской профилактики, различиях в получаемом лечении [6, 7]. У молодежи неблагоприятные социально-экономические условия жизни способны вызвать нарушения вегетативной регуляции сердечного ритма и иные нарушения здоровья. Поэтому *целью* настоящего исследования стали выявление и анализ взаимосвязей параметров вегетативной регуляции сердечного ритма и социально-экономического статуса у молодых людей мужского пола в возрасте 16-18 лет, проживающих в Архангельской области. Выбор в качестве объекта исследования

молодых лиц мужского пола обусловлен следующим. Мужское население обеспечивает потенциал страны, особенно в сфере обороны, промышленности, технических разработок. Однако продолжительность жизни мужчин в России существенно отстает от аналогичного показателя у женщин. Так, по состоянию на 2021 год ожидаемая продолжительность жизни (ОПЖ) женщин в Российской Федерации составила 74,5 лет, в то время как у мужчин – всего 65,5 лет. В Архангельской области разрыв ОПЖ по полу был еще более выраженным: в 2021 году ожидаемая продолжительность жизни у женщин находилась на уровне – 75,1 лет, у мужчин – 64,3 года [8]. По мнению некоторых ученых, «высокая смертность от сердечно-сосудистых заболеваний – главный виновник российского отставания от других стран по продолжительности жизни» [9]. При этом стандартизированные коэффициенты смертности от болезней системы кровообращения у мужчин в России значительно превышают женские [9]. Результаты многочисленных эпидемиологических исследований доказывают, что мужчины больше и чаще курят, чаще избыточно потребляют алкоголь (особенно в молодом и среднем возрасте), реже имеют полезные пищевые привычки. Всё это является факторами, провоцирующими развитие сердечно-сосудистых заболеваний и увеличивающими риск смертности от них [10]. Также стоит отметить более низкую приверженность мужчин, по сравнению с женщинами, к лечению уже выявленной сердечно-сосудистой патологии [11].

**Материалы и методы.** В исследовании (январь-март 2023 г.) приняли участие 35 подростков мужского пола в возрасте 16-18 лет (средний возраст 17,3 ±0,8 лет), обучающихся в учебных заведениях г. Архангельска. Критерии соответствия выборке представлены в таблице 1.

Таблица 1 — Критерии соответствия участников исследования выборке

Критерия включения в выборку	Критерии исключения из выборки
<ul style="list-style-type: none"> <li>- мужской пол;</li> <li>- 1 и 2 группы здоровья;</li> <li>- наличие информированного согласия для участия в исследовании.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3, 4 и 5 группы здоровья;</li> <li>- признаки острой респираторной инфекции;</li> <li>- рост и индекс массы тела выше 97-й и ниже 3-й перцентилей по шкалам длины тела (Height-for-age) и индекса массы тела (BMI for-age) для соответствующего возраста и пола.</li> </ul>

Кардиоритмограмму проводили в положении сидя, регистрируя показатели во II стандартном отведении и используя для этих целей аппаратно-программный комплекс «Варикард» (ООО «Рамена», г. Рязань). Параметры variability сердечного ритма (BCP) анализировались в фоне (сессия 5 минут) и при проведении пробы с фиксированным темпом дыхания (ФТД), с частотой 6 дыхательных циклов в минуту (сессия 5 минут). Определяли показатели BCP, отражающие симпатическую регуляцию сердечного ритма – частота сердечных сокращений (ЧСС), индекс напряжения (Stress-Index), спектральные показатели LF и VLF (Low frequency, Very low frequency), и вагусную регуляцию – pNN50, RMSSD, Min-Max RR, спектральный показатель HF (High Frequency). При коротких записях кардиоритмограммы (5 мин) общая variability (SDNN) и общая спектральная мощность BCP (Total Power – TP) также рассматривались как отражение вагусной активности. Увеличение показателей вагусной активности при ФТД в сравнении с фоном оценивался как критерий сохранности вагусных резервов вегетативной регуляции сердечного ритма.

Оценка качества жизни проводилась с использованием Краткого опросника Всемирной организации здравоохранения для оценки качества жизни (WHOQOL-BREF). Опросник включает в себя 26 пунктов, позволяющих оценить по 5-бальной шкале, насколько часто и в какой степени подростки переживали определенные состояния, связанные с различными сферами качества жизни: собственным здоровьем,

физическим и психологическим благополучием, самовосприятием, микросоциальной поддержкой, социальным благополучием.

Для оценки благосостояния семьи подростков использовалась Шкала достатка семьи (Family affluence scale–FASII), включающая 4 вопроса о наличии у подростка собственной комнаты, имеющихся в семье транспортных средствах и компьютерах, а также о проведенных с семьей отпусках.

Кроме того, участникам исследования предлагалось заполнить анкету, содержащую вопросы о финансовом положении, составе (полная/неполная/неродной родитель/нет родителей) и многодетности семьи. Для оценки финансового положения семьи использовался вопрос, применяемый Федеральной службой государственной статистики в рамках проведения серии ежегодных выборочных обследований бюджетов домашних хозяйств. Данный вопрос позволяет выбрать наиболее подходящий вариант ответа по шкале от «зачастую денег не хватает даже на еду» до «средств достаточно, чтобы купить все, что нужно».

Статистическая обработка данных осуществлялась в программе Statistica 13.0 (StatSoft, США). Корреляционный анализ проводился с учетом и последующей оценкой статистически значимых коэффициентов корреляции Спирмена ( $p < 0,05$ ).

**Результаты.** У обследованных юношей как фоновые показатели ВСР, так и полученные при выполнении пробы с ФТД, взаимосвязаны с параметрами качества жизни и социально-экономического благополучия.

По данным корреляционного анализа возрастание достатка по таким показателям как наличие автомобиля ( $r = -0,37$ ), частота проведенного с семьей отпуска ( $r = -0,36$ ,  $p < 0,05$ ) и балл Шкалы семейного достатка (FAS) ( $r = -0,34$ ) сопровождается снижением фоновой ЧСС, что свидетельствует об уменьшении симпатической активности вегетативной нервной системы. Проведенные пробы с ФТД также позволили выявить взаимосвязь более низкой ЧСС с более высокими баллами FAS ( $r = -0,39$ ), наличием автомобиля ( $r = -0,36$ ), проживанием в полной семье с родными родителями ( $r = -0,37$ ), а также с более высокими баллами такой сферы оценки качества жизни как самовосприятие ( $r = -0,39$ ).

Параметр финансового положения семьи положительно связан ( $r = 0,41$ ) с показателем вариационного размаха Min-Max RR-интервалов кардиоритмограммы, отражающем вагусную активность.

Показатель RMSSD, также характеризующий вагусную активность вегетативной нервной системы, как в фоне, так и при пробе с ФТД, положительно взаимосвязан с баллами оценки качества жизни в рамках сферы «состояние здоровья» ( $r = 0,41$ ), наличием автомобиля ( $r = 0,37$ ), количеством семейных отпусков (фон:  $r = 0,37$ ); ФТД:  $r = 0,48$ ) и баллом FAS (фон:  $r = 0,40$ ; ФТД:  $r = 0,38$ ).

Показатель SDNN положительно связан с параметром частоты семейных отпусков ( $r = 0,36$ ), а также с баллами оценки качества жизни по сфере «состояние здоровья» ( $r = 0,35$ ).

Индекс напряжения отрицательно взаимосвязан с такими параметрами социально-экономического благополучия как балл оценки качества жизни в рамках сферы «состояния здоровья» ( $r = -0,37$ ,  $p < 0,05$ ), частота семейных отпусков ( $r = -0,39$ ), балл FAS ( $r = -0,40$ ,  $p < 0,05$ ) и финансовое положение семьи ( $r = -0,34$ ). Индекс напряжения при ФТД отрицательно связан с баллом оценки качества жизни ( $r = -0,34$ ), количеством семейных отпусков ( $r = -0,38$ ), баллом FAS ( $r = -0,39$ ).

Фоновая общая мощность спектра ВСР (TP) положительно связана с баллами оценки качества жизни по сфере «состояния здоровья» ( $r = 0,34$ ). TP при ФТД взаимосвязан с баллами оценки качества жизни в рамках сферы «физическое и психическое благополучие» ( $r = 0,34$ ), а также частотой проведенных с семьей отпусков ( $r = 0,44$ ).

**Заключение.** Согласно результатам проведенного исследования социально-экономическое благополучие и качество жизни оказывают влияние на уровень напряжения адаптивных механизмов сердечной деятельности у юношей, проживающих на одной из территорий Арктической зоны РФ (Архангельская область). Проведение пробы с ФТД дополняют сведения о вегетативной регуляции сердечной деятельности с оценкой ее функциональных резервов, взаимосвязанных с социально-экономическим благополучием человека. Возрастание уровня благополучия (главным образом по таким оцениваемым параметрам как обеспеченность автомобилем, Шкала семейного достатка (FAS), частота семейного отпуска) и качества жизни (в особенности таких его сфер как «состояние здоровья», «самовосприятие», «физическое и психическое благополучие») взаимосвязано с повышением вагусных и снижением симпатических влияний на ритм сердца, что обеспечивает сохранение оптимальной сердечной деятельности молодых людей в Арктике.

Таким образом, создание комфортных социально-экономических условий в Арктике должно стать важнейшим приоритетом для всех уровней административного управления. Это обеспечит компенсацию негативного воздействия неблагоприятных климатических условий проживания северян, будет способствовать продлению их трудоспособности и жизни, а также поможет сдержать отток молодого населения из региона.

*Исследования проведены при финансовой поддержке проекта №123050500036-7 «Роль социально-экономического благополучия в возникновении признаков нарушения здоровья у подростков, проживающих на арктических территориях Архангельской области».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ЕМИСС. Государственная статистика: число умерших по основным классам и отдельным причинам смерти в расчете на 100000 населения за год [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.fedstat.ru/indicator/31270> (дата обращения 08.08.2023).
2. Всемирный атлас профилактики сердечно-сосудистых заболеваний и борьбы с ними / Под ред.: Mendis S., Puska P., Norrving B. Всемирная организация здравоохранения. Женева, 2013. 155 с.
3. Чистик Т. Омоложение инфарктов миокарда и инсультов: современные методы профилактики // Артериальная гипертензия. 2016. №4 (48). С. 57-69. DOI: 10.22141/2224-1485.4.48.2016.76997
4. Халилова У.А., Скворцов В.В. МикроРНК как предиктор сердечно-сосудистых заболеваний // Лечащий врач. 2021. №7 (24). С. 34-38. DOI: 10.51793/08.2021.24.7.007
5. Китаева Э.А., Суетина Т.А., Китаев М.Р., Бакирова Э.А., Салыхова Л.Я., Вафин А.Ю. Прогноз медико-экономической эффективности внедрения пациентоориентированной программы, направленной на формирование приверженности к лекарственной терапии сельского населения // Казанский медицинский журнал. 2018. Т. 99. №1. С. 92-100. DOI:10.17816/KMJ2018-092
6. Topel M.L., Kim J.H., Mujahid M.S., Sullivan S.M., KoY. A., Vaccarino V., Quyyumi A.A., Lewis T.T. Neighborhood socioeconomic status and adverse outcomes in patients with cardiovascular disease // The American journal of cardiology. 2019. Vol. 123. No 2. P. 284-290. DOI: 10.1016/j.amjcard.2018.10.011
7. Всемирная организация здравоохранения. Глобальные факторы риска для здоровья: смертность и бремя болезней, обусловленные некоторыми основными факторами риска. 2015. Режим доступа: [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44203/9789244563878\\_rus.pdf;jsessionid=...](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44203/9789244563878_rus.pdf;jsessionid=...) (дата обращения: 08.08.2023).

8. ЕМИСС. Государственная статистика: ожидаемая продолжительность жизни при рождении [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.fedstat.ru/indicator/31293> (дата обращения 08.08.2023).
9. Вишневецкий А., Андреев Е., Тимонин С. Смертность от болезней системы кровообращения и продолжительность жизни в России // Демографическое обозрение. 2016. Т. 3. №1. С. 6-34.
10. Шаповалова Э.Б., Максимов С.А., Артамонова Г.В. Половые и гендерные различия сердечно-сосудистого риска // Российский кардиологический журнал. 2019. №24 (4). С. 99-104. DOI: 10.15829/1560-4071-2019-4-99-104.
11. Мачильская О.В. Факторы, определяющие приверженность к лечению больных артериальной гипертензией (обзор литературы) // Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия. 2016. № 9(3). С. 55-65. DOI: 10.17116/kardio20169355-65.

### **ВЗАИМОСВЯЗЬ РОСТО-ВЕСОВЫХ ПАРАМЕТРОВ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕРДЦА У ДЕТЕЙ 3-7 ЛЕТ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Чуб И.С.<sup>1</sup>, Карякина О.Е.<sup>1</sup>, Артемов А.В.<sup>2</sup>, Карякин А.А.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Северный (Арктический) федеральный университет имени имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск, [i.chub@narfu.ru](mailto:i.chub@narfu.ru)

<sup>2</sup> Архангельская детская клиническая больница им. П.Г. Выжлецова, г. Архангельск

<sup>3</sup> Северный государственный медицинский университет, г. Архангельск

Одной из наиболее уязвимых категорий населения в силу незавершенности морфофункционального развития органов и систем являются дети. На формирование здоровья подрастающего поколения влияет значительное количество факторов риска, среди которых можно выделить несбалансированное питание, неудовлетворительную экологическую обстановку, отсутствие надлежащих гигиенических условий, несоблюдение научно-обоснованных условий обучения и характера учебного процесса. [1].

Несмотря на значимость сохранения и укрепления здоровья детей разных возрастных периодов, особый интерес специалистов в сфере возрастной физиологии обращен на детей раннего и первого детства, в особенности на диапазон от 3 до 7 лет. В качестве причин столь пристального внимания следует отметить фундаментальное значение обозначенного возрастного периода, на протяжении которого происходит формирование психофизиологических особенностей, определяющих успешность адаптации в последующие возрастные периоды онтогенеза.

Исследованию возрастных особенностей сердечно-сосудистой системы растущего организма, адаптации её к условиям среды, физическим и умственным нагрузкам посвящено большое количество работ. Состояние сердечно-сосудистой системы в детском возрасте можно рассматривать как индикатор адаптационно-приспособительной деятельности целостного организма [2].

Важнейшей частью клинической оценки в детской кардиологической практике являются количественные измерения морфофункциональных параметров сердца с использованием одного из самых информативных и перспективных методов инструментальной диагностики - эхокардиографии. Ультразвуковое исследование сердца дает возможность не только оценить размеры, форму, положение магистральных сосудов, состояние, характер движения клапанов, определить толщину стенок камер сердца и сократительную способность левого и правого желудочка, но и выявить септальные дефекты, аномалии хорд и папиллярных мышц, наличие локальных образований или жидкости как в полостях сердца, так и в перикарде. Благодаря

эхокардиографии возможны ранняя диагностика целого ряда заболеваний, выбор тактики дальнейшего лечения, оценка адекватности проводимой терапии с учетом состояния центральной гемодинамики и последующий прогноз заболевания, что весьма актуально при заболеваниях в детском возрасте [3].

Современные методы ультразвуковых исследований позволяют сравнивать функциональные параметры сердца в разные периоды постнатального онтогенеза, что является важным в прогнозировании заболеваемости при адекватном развитии целостного организма. Несмотря на множество работ, посвященных исследованию сердечно-сосудистой системы, и опубликованных эхокардиографических данных, они являются противоречивыми и не учитывают особенности конкретного региона. Это требует разработки региональных эхокардиографических справок. Для интерпретации эхокардиографических данных размеры сердца должны сравниваться с нормальными значениями. Необходимо постоянное обновление количественных данных методов ультразвуковой диагностики с учетом этнической и региональной принадлежности детей [4].

Если у взрослых пациентов обычно говорят о выпадающих значениях ультразвуковых показателей из нормальных пределов, то у детей эта практика не работает, поскольку нормальные значения у детей существенно различаются в разные возрастные периоды и определяются морфофункциональными характеристиками физического развития [5].

Относительный рост сердечных структур по отношению к соматическому росту чрезвычайно важен, и эта связь известна как кардиоваскулярная аллометрия [6]. Наиболее часто встречающаяся связанная проблема заключается в переоценке исследуемых показателей у индивидуумов с малыми росто-весовыми показателями, и, наоборот – их недооценка у крупных пациентов. Идентификация корректной аллометрической связи и модели для измерений сердечно-сосудистых структур имеет решающее значение для ее интерпретации и клинического применения.

На базе отделения функциональной диагностики ГБУЗ АО «Архангельской областной детской клинической больницы им. П.Г. Выжлецова» было обработано 1211 сонограмм сердца детей в возрасте от 3 до 7 лет без признаков органической патологии со стороны сердечно-сосудистой системы и нарушений ритма сердца. Среди обследованных детей 54,7% мальчиков, 45,3% девочек. Половозрастная структура обследованных детей представлена на рис. 1.

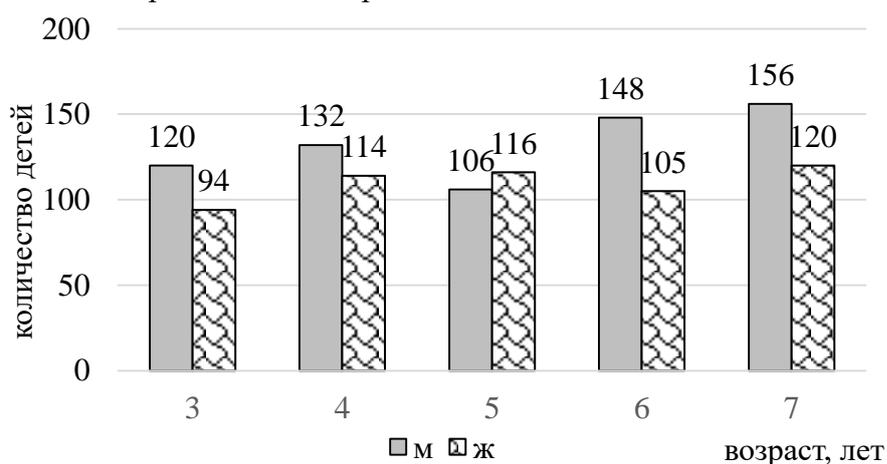


Рис. 1 – Половозрастная структура обследованной выборки

На базе отделения функциональной диагностики ГБУЗ АО «Архангельской областной детской клинической больницы им. П.Г. Выжлецова» было обработано 1211 протоколов эхокардиографии детей в возрасте от 3 до 7 лет без признаков органической патологии со стороны сердечно-сосудистой системы и нарушений ритма сердца.

Измерение морфометрических показателей сердца проводилось методом эхокардиографии в М-режиме (АК - раскрытие аортального клапана, АО - ширина корня аорты на уровне синусов Вальсальвы, ЛП - размер левого предсердия, ПЖ - размер правого желудочка, ЛЖкдр – диастолический размер левого желудочка, ЛЖксер – систолический размер левого желудочка, ТЗСЛЖ – толщина задней стенки левого желудочка, ТМЖП – толщина межжелудочковой перегородки) и В-режиме (ЛА - ширина легочной артерии, ПП - размер правого предсердия). Исследования выполнены на ультразвуковом диагностическом сканере экспертного класса GE «Vivid E9» с использованием матричных фазированных секторных датчиков M5S-D 1,5 - 4,6 МГц и 12S-D 4,0 -12,0 МГц. Стандартными антропометрическими методами определялись длина и масса тела. Показатель площади поверхности тела (ППТ) рассчитывали по формуле Мостеллера. Вычисляли одномерную описательную статистику для каждого из анализируемых показателей, подчинение количественных данных нормальному закону распределения оценивалось с использованием критерия Шапиро-Уилка,  $\chi^2$ -Пирсона. Взаимосвязь антропометрических параметров и морфометрических показателей сердца устанавливалась на основании достоверных значений корреляционного коэффициента Пирсона.

В возрастной физиологии известен феномен гетерохронности морфофункционального развития, проявляющийся в более раннем функциональном созревании, опережающем морфологическое становление [7]. Результаты нашего исследования демонстрируют соответствие параметров длины и массы тела обследованных детей установленным нормативам ВОЗ для всех возрастно-половых групп [8]. Аналогичным образом соответствуют нормативам и весоростовые отношения, установленные на основании индекса массы тела (ИМТ). Половые различия по антропометрическим показателям выявлены в возрастной группе детей 3-х лет и характеризуются несколько большей массой тела у мальчиков, по сравнению с девочками ( $15,58 \pm 2,34$  и  $14,91 \pm 2,51$  кг, соответственно). Отсутствие половых различий в остальных группах вполне соответствует современным представлениям в возрастной физиологии.

Сравнение антропометрических параметров между возрастными группами демонстрирует наличие статистически значимых различий, связанных с положительными приростами данных показателей. В группе мальчиков наблюдаются более равномерные различия между соседними возрастными группами, чем в группе девочек. При этом наблюдается различная тенденция в изменении значений ИМТ и ППТ по возрастно-половым группам. В частности, статистически значимые различия между группами по значениям ИМТ наблюдаются только между 6- и 7-летними мальчиками, тогда как в остальных группах различия отсутствуют. ППТ различается во всех возрастно-половых группах, с максимальными значениями у 7-летних детей. Для мальчиков характерны более равномерные переходы различий между соседними возрастными группами, у девочек, напротив, наблюдается снижение интенсивности прироста этого параметра у 7-летних детей, по сравнению с 6-летними.

Морфометрические параметры сердца изменяются в ходе онтогенеза в соответствии с растущими потребностями детского организма. Возрастной этап, приходящийся на окончание раннего детства и весь период первого детства, характеризуется сенситивным периодом развития когнитивных функций, которые повышают требования к кислородтранспортным системам организма. Анализ половых различий морфометрических особенностей сердца продемонстрировал наименьшее число таких различий в возрастной группе 3-летних детей, тогда как в возрасте 7 лет наблюдается их максимальное число. Половой диморфизм связан с большими значениями морфометрических параметров сердца у мальчиков, по сравнению с девочками. Во всех рассмотренных возрастных группах сохраняются статистически значимые половые различия по параметрам: ширина корня аорты на уровне синусов

Вальсальвы и диастолический размер левого желудочка на уровне  $p$  не ниже 0,01. Наименьшим числом половых различий в рассматриваемых возрастных группах характеризуются толщина задней стенки левого желудочка (у детей 5 и 7 лет), размеры правого желудочка (4 и 5 лет) и ширина лёгочной артерии (4 и 7 лет).

Интересны возрастные различия морфометрических параметров сердца, характеризующиеся закономерными приростами в ходе онтогенеза. Отмечается тенденция отсутствия статистически значимых различий рассматриваемых параметров у девочек 6 и 7 лет (за исключением ЛЖкдр и ЛЖкдс), тогда как у мальчиков они присутствуют. Наибольшее число различий между соседними возрастными группами установлено для следующих показателей: АК, АО, ЛП, ТМЖП, ЛЖкдр, ЛЖкдс. Обращает внимание толщина задней стенки миокарда левого желудочка: в группе девочек различия проявляются лишь на этапе 4-5 лет, тогда как у мальчиков они сохраняются по всем группам. Установленные различия достаточно однородны по всем возрастным группам, что объясняется отсутствием ярко выраженных изменений габаритных размеров телосложения на данном этапе онтогенеза.

Заключительным этапом исследования явилось определение взаимосвязи структурных параметров сердца и антропометрических показателей и индексов. Для всех рассматриваемых характеристик установлены положительные корреляционные взаимосвязи, по-разному проявляющиеся в различных возрастных периодах. Анализ данных показал отсутствие корреляционной зависимости большинства морфометрических параметров сердца и антропометрических показателей у детей в возрасте 3-х лет. Исключение составляет диастолический размер левого желудочка, имеющий умеренную положительную связь с ППТ ( $r=0,39$ ;  $p\leq 0,05$ ), массой тела ( $r=0,37$ ;  $p\leq 0,05$ ) и длиной тела ( $r=0,30$ ;  $p\leq 0,05$ ). Наибольшее число умеренных корреляционных связей наблюдается у детей в возрасте 6 и 7 лет. Установлено, что масса тела и ППТ формирует большее число взаимосвязей со структурными параметрами сердца, нежели длина тела и ИМТ. Установлена возрастная асимметрия в формировании взаимосвязей между исследуемыми параметрами: так правые отделы сердца характеризуются наличием корреляционных зависимостей на этапе: ПЖ – 5 и 7 лет, ПП – 4,6 и 7 лет, тогда как для левых отделов сердца характерны взаимосвязи во всех возрастных периодах.

Таким образом в результате проведённого исследования проанализированы антропометрические показатели и морфометрические параметры сердца у детей 3-7 лет, проживающих на территории Архангельской области. Установлено соответствие параметров физического развития нормативам ВОЗ. Выявлено, что более лабильной величиной в возрастном аспекте является ППТ, которая формирует большое число умеренных корреляционных взаимосвязей со структурными параметрами сердца.

*Исследованию выполнено при поддержке Министерства экономического развития, промышленности и науки Архангельской области, соглашение №3 от 28.03.2023 г."*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Литовченко О.Г., Уханова А.А. Функциональные изменения сердца у детей 10-12 лет, проживающих в условиях Ханты-Мансийского автономного округа Югры // Журнал медико-биологических исследований. №4. 2019. С. 399-409.
2. Глебов В.В. Состояние сердечно-сосудистой системы как адаптационный показатель в процессе развития человека // Мир науки, культуры и образования. №5. 2014. С. 183-185.
3. Лебеденко А.А., Семерник О.Е., Тюрина Е.Б., Семерник Ю.В. Особенности морфометрического строения правых и левых отделов сердца у детей с бронхиальной астмой // Апробация. №3. 2016. С. 103-105.

4. Васильев В.А., Мурейси К.А., Басий Р.В., Вакуленко И.П., Коктышев И.В. Морфофункциональные особенности строения сердца у детей грудного возраста по данным ультразвукового исследования // Университетская клиника. №4. 2020. С. 26-30.
5. Соколов А.А., Солдатенко М.В., Сморгон А.В. Предсказательная ценность модели расчета эхокардиографических показателей у здоровых пациентов // Российский кардиологический журнал. 2018. №12. С. 98-102.
6. John K-J. Li Cardiovascular Allometry: Analysis, Methodology, and Clinical Applications // Advances in Experimental Medicine and Biology. 2018. Vol. 1065. P. 207-224.
7. Кучма В.Р., Сухарева Л.М., Рапопорт И.К., Шубочкина Е.И., Скоблина Н.А., Милушкина О.Ю. Популяционное здоровье детского населения, риски здоровью и санитарно-эпидемиологическое благополучие обучающихся: проблемы, пути решения, технологии деятельности // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96, No 10. С. 990–995.
8. Нормативы оценки антропометрических показателей у детей от 0 до 19 лет в соответствии с рекомендациями Всемирной организации здравоохранения. Издание 2-ое, дополненное / Н.Л. Черная, Г.С. Маскова, В.М. Ганузин, Е.В. Шубина, О.Б. Дадаева. – Ярославль. 2018. 116 с.

## **ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ПИЩЕВЫХ РАЦИОНОВ ВИТАМИНАМИ А, Е, D, С У ПАЦИЕНТОВ С АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИЕЙ, ПРОЖИВАЮЩИХ НА СЕВЕРЕ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Шарифов М.И., Корчина Т.Я., Терникова Е.М.*

БУ «Ханты-Мансийская государственная медицинская академия», г. Ханты-Мансийск  
mamed\_sharifov@mail.ru

Артериальная гипертензия (АГ) представляет собой группу патологических состояний, имеющих различный патогенез, но общее клиническое проявление – повышение артериального давления (АД). Данная патология имеет широкое распространение во всех странах мира со средней частотой наблюдаемости примерно 30–45% [1]. Нерегулируемая АГ имеет серьезные медицинские, социальные и экономические последствия в виде тяжелых осложнений: инфарктов, инсультов, сердечной недостаточности, нарушений психики и пр. При чем эффективность антигипертензивной терапии составляет около 23% в развитых странах, а в России еще меньше [2]. Тем не менее ученые считают АГ модифицируемым фактором риска кардиоваскулярной смертности: для оптимизации рационов питания и образа жизни характерны минимальные затраты, универсальность влияния, возможность избежать негативных проявлений и пр. [3]. Одной из причин развития Основным патогенетическим фактором формирования АГ, определяющим поражение органов-мишеней, включая эндотелий сосудов, признан окислительный стресс [4]. В этой связи важной является оценка обеспеченности организма больных АГ микронутриентами, обладающими антиоксидантными свойствами.

**Цель:** анализ потребления с пищей витаминов-антиоксидантов А, Е, D, С взрослыми пришлыми жителями г. Ханты-Мансийска с артериальной гипертензией в анамнезе.

**Материалы и методы.** Под наблюдением находились 50 жителей г. Ханты-Мансийска из числа некоренного населения длительное время (10 лет и более) пребывающих в северном регионе, имеющими в анамнезе диагноз «Артериальная гипертензия». Среди них мужчины составили 28(56%), женщины 22 (44%) в возрастном диапазоне 36-48 лет. Анализировали потребление микронутриентов за 3-дневный период с обязательным включением выходного дня при помощи программы «АСПОН-

питание». Полученная медиана (Me) сопоставлялась с нормами физиологической потребности (НФП) в витаминах с учетом половых отличий согласно МР 2.3.1.0253-21 (Москва, 2021).

**Результаты и обсуждение.** Перекисное окисление липидов (ПОЛ) является процессом физиологическим, непрерывно протекающим в организме человека с образованием высокоактивных продуктов. Регуляция свободнорадикальными процессами осуществляется поликомпонентной системой антиоксидантной системы защиты организма (АОЗ), способной предотвращать разрушение структур клеток. Оптимальное, сбалансированное питание – это базовый детерминант здоровой продолжительной жизни, а неполноценное питание способствует развитию более 80% заболеваний и патологических состояний. Недостаточная обеспеченность рационов питания витаминами, особенно обладающими антиоксидантным спектром действия, неизменно влечет за собой ухудшение возможностей организма человека к адаптации, являясь в этой связи предиктором формирования и развития множества патологических состояний и болезней неинфекционного генеза [5].

В таблице отображены данные результатов поступления с продуктами питания изучаемых витаминов у обследованных нами пациентов.

Таблица 1 - Обеспеченность суточных рационов питания взрослых пришлых жителей г. Ханты-Мансийска с артериальной гипертензией в анамнезе микронутриентами (НФП %)

показатель	Нормы физиологической потребности	Жители г. Ханты-Мансийска, страдающие артериальной гипертензией (n=50)
Витамин А	мужчины – 900 мкг рет. экв.	134
	женщины – 800 мкг рет. экв.	129
Витамин Е	15 мг	72
Витамин D	15 мкг	44
Витамин С	100 мг	63

Определено избыточное поступление с фактическими рационами питания витамина А подавляющим большинством пациентов с АГ: 134% НФП у мужчин и 129 % НФП у женщин в сочетании с недостаточным пищевым потреблением витамина Е (72% НФП), витамина С (63% НФП) и глубококом дефиците обеспеченности пищевых рационов обследованных жителей Севера витамином D (44% ФП).

Ключевым компонентом защиты биологических мембран клеток от разрушительного воздействия свободными радикалами кислорода являются жирорастворимые витамины А и Е, обладающие антиоксидантной способностью. Антиоксидантная способность витамина А обеспечена присутствием в молекуле двойных связей, проявляющаяся регуляторным влиянием на процессы свободнорадикального окисления в мембранах клеток: ретинол нейтрализует пероксидные радикалы и восстанавливает SH- группы белков. Доказан синергизм ретинола и токоферола [6]. Пищевое поступление избыточных количеств витамина А, вероятно, связано со значительными объемами потребления ретинола с животными жирами (сливочное масло, сметана, сыр, яйца и пр.). Исследователи считают это связанным с необходимостью покрывать высококалорийными липидами повышенную энергетическую ценность пищи для жителей Севера [7].

Витамин Е обеспечивает нейтрализацию активных форм кислорода путем перехвата свободных радикалов, прерывая цепь повреждений липидов, ограждает липопротеиды низкой плотности от разрушения, способствует стабилизации клеточных мембран [8]. Токоферол содержат нерафинированные растительные масла, орехи, семена, гречневая крупа, листья салата и пр. Ограниченное пищевое потребление данных повлекло за собой дефицит поступления витамина Е с продуктами питания, в

действительности повсеместно встречающемся внутри популяции пришлого населения Севера. Доказана регенеративная способность витамина С по отношению к витамину Е, что усиливает антиоксидантную способность последнего.

Важно подчеркнуть потенцирование взаимного усваивания жирорастворимых витаминов-антиоксидантов А, Е, D при одновременном поступлении с пищей в организм человека [9]. В этой связи для оптимального усвоения витамина D необходимо и равнозначное содержание в пище и витамина Е.

Самым низким оказалось поступление витамина D, составившее менее половины от физиологической нормы (табл.), что закономерно ввиду незначительного числа продуктов, его содержащих (жирные сорта рыбы, яйца, печень, молочные продукты). Пищевые источники данного витамина присутствовали в меню обследованных нами лиц всего 0-5 раз в неделю. Результаты нашего исследования вполне согласуются с данными других авторов и проведенным ранее изучением концентрации витамина D в крови населения Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО): установлена повсеместная недостаточность последнего. Широко распространенный дефицит витамина D у жителей севера Тюменской области детерминирован постоянным употреблением с питьевой целью маломинерализованной питьевой воды, характеризующей минеральный состав природной воды ХМАО: концентрация кальция (Са), физиологически непосредственно связанным с витамином D более чем в пять раз меньше рекомендованных норм содержания этого химического элемента для пресной воды, предназначенной для питья [10]. Исследованиями доказана бинаправленность взаимной связи Са и витамина D, которые усиливают функциональные проявления друг друга и выполняют существенную роль в стабилизации артериального давления [9].

К тому же у жителей Севера возможность пополнения запасов витамина D за счет синтеза его в коже под действием ультрафиолетовых лучей сведена к минимальной из-за низкого угла падения солнечных лучей на поверхность земли [9]. Повсеместно широко распространенная витамин-D недостаточность – своего рода фон для формирования дефицитов остальных витаминов и микроэлементов [11]. Вместе с тем витамин D обладает антиоксидантными свойствами: активизирует ферменты антиоксидантной системы защиты организма супероксиддисмутазу, каталазу и глутатионпероксидазу и способствует снижению продукции свободных радикалов кислорода [12].

Ключевую позицию в антиоксидантной системе защиты организма человека от разрушительного воздействия активными формами кислорода на мембраны клеток, липиды, нуклеиновые кислоты, белки и пр. занимает витамин С. При этом исключительный антиоксидантный потенциал витамина С заключается в его способности восстанавливать окисленные формы витаминов А и Е путем возврата двух атомов водорода [13].

Будучи антиоксидантом прямого воздействия, аскорбиновая кислота ингибирует окислительные процессы на стадии инициализации потенцируя нейтрализацию пероксидных радикалов и прерывая окисление липопротеидов низкой плотности. Кроме того, аскорбиновая кислота участвует в активации синтеза глюкокортикоидных гормонов, обладающих адаптогенными свойствами, участвует в синтезе коллагена, чем обеспечивает мембраностабилизирующее и капилляроукрепляющее действие и пр. [14].

В нашем исследовании установлено, что физиологическая потребность в аскорбиновой кислоте покрыта едва больше, чем наполовину (табл.) свежими овощами, фруктами и ягодами. Но территории Севера обеспечиваются вышеназванными продуктами практически полностью за счет ввозимой из южных регионов плодовой продукции, исключая дикорастущие ягоды: клюкву, бруснику, чернику, морознику и др. (содержащийся в свежей растительной продукции фермент аскорбиназа обладает способностью разрушать витамин С в процессе длительного хранения). В этой связи

действительное потребление с поставленной издалека овощной и фруктовой продукцией витамина С окажется меньше. В то же время используемая нами для подсчета количества потребленных витаминов программа не учитывает содержание витамина С в северных дикорастущих ягодах, что увеличивает количество поступившей аскорбиновой кислоты жителями Севера. Доказано, что свежая фруктово-овощная продукция является важным элементом здорового питания, которое уменьшает риск формирования большого числа заболеваний, в первую очередь кардиоваскулярных, а ее недостаточное поступление с пищей считают независимым фактором риска их развития [14]. Обследованные нами пациенты с АГ употребляли в пищу каждый день овощи, фрукты, ягоды и соки примерно 1- 4, а в среднем 2-3 порции в день из рекомендуемых ВОЗ пяти порций, что и явилось причиной недостаточного поступления с пищей витамина С.

Общеизвестно, что профилактика и лечение любой болезни, а артериальная гипертензия не является исключением, имеют лучший эффект особенно в ранние периоды формирования болезни [15].

#### **Выводы:**

1. Пациенты с артериальной гипертензией, длительно проживающие в г. Ханты-Мансийске, отличаются недостаточным потреблением с пищей витаминов Е (72% НФП) и С (63% НФП), что отрицательно влияет на активность антиоксидантной системы защиты организма.
2. Установленный в нашем исследовании глубокий дефицит пищевого потребления витамина D (44% НФП) затрудняет адекватное усвоение кальция, играющего существенную роль в поддержании артериального давления.
3. Рационализация пищевых рационов в сочетании с приемом витаминов-антиоксидантов в виде витаминно-минеральных комплексов и высокообогащенных витаминами пищевых продуктов в дополнение к базовому лечению артериальной гипертензии улучшит общее состояние и окажет превентивное воздействие на развитие возможных осложнений данного заболевания.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Ланцева М.А., Сасунова А.Н., Власова А.В. и др. Особенности питания и артериальная гипертензия: есть ли взаимосвязь // Терапевтический архив. 2020. Т.92, №8. С. 79–85.
2. Тармаева И.Ю., Баглушина С.Ю. Ефимова Н.В. Оценка дисбаланса химических элементов у пациентов с артериальной гипертензией // Казанский медицинский журнал. 2016. Т.97, №4. С. 501-507.
3. Kirkland E.B., Heincelman M., Bishu K.G. et al. Trends in Healthcare Expenditures Among US Adults With Hypertension: National Estimates, 2003–2014 // J Am Heart Assoc. 2018. V. 7(11). e008731.
4. Рахманова О.В. Выраженность оксидативного, нитрозативного и карбонильного стрессов у пациентов разного возраста, страдающих артериальной гипертензией // Здоровье и образование в XXI веке. 2018. Т.20, № 5. С. 20-25.
5. Loewen O.K., Ekwaru J.P., Ohinmaa A. Economic Burden of Not Complying with Canadian Food Recommendations in 2018 // Nutrients. 2019. V.11, №10. P. 2529.
6. Лабыгина А.В., Колесникова Л.И., Гребенкина Л.А. и др. Содержание ретинола и репродуктивные нарушения у жителей Восточной Сибири (обзор литературы) // Экология человека. 2018. №4. С. 53-60.
7. Першина И.В. Особенности питания жителей Крайнего Севера // Научный вестник Арктики. 2019. № 6. С. 97-107.
8. Yamanashi Y., Takada T., Kurauchi R. Transporters for the intestinal absorption of cholesterol, vitamin E, and vitamin K // J. Atheroscler. Tromb. 2017. V. 24. P. 347-359.

9. Громова О.А. Торшин И.Ю. Витамин D – смена парадигмы / под ред. акад. РАН Е.И. Гусева, проф. И.Н. Захаровой. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2017. 576 с.
10. Корчина Т.Я., Сухарева А.С., Корчин В.И. и др. Обеспеченность витамином D женщин Тюменского Севера // Экология человека. 2019. № 5. С.31-36.
11. Коденцова В.М., Рисник Д.В. Микронутриентные метаболические сети и множественный дефицит микронутриентов: обоснование преимуществ витаминно-минеральных комплексов // Микроэлементы в медицине. 2020. Т. 21 (4). С. 3-20.
12. Ferrari D., Lombardi G., Strollo M. et al. A Possible Antioxidant Role for Vitamin D in Soccer Players: A Retrospective Analysis of Psychophysical Stress Markers in a Professional Team // Int. J. Environ Res. Public Health. 2020. 17, № 10. P. 3484.
13. Sardarodian M., Sani A.M. Natural antioxidants: sources, extraction and application in food systems // Nutr. Food. Sci. 2016. V. 46, № 3. P. 363-373.
14. Martin-Calvo N., Martinez-Gonzalez M.A. Vitamin C Intake is Inversely Associated with Cardiovascular Mortality in a Cohort of Spanish Graduates: The SUN Project // Nutrients. 2017. V. 9. P. 954.
15. Татарникова И.С. Изучение питания и состава тела пациентов с диппинг- и нондиппинг-вариантами суточной регуляции артериального давления при артериальной гипертензии // Вопросы диетологии. 2019. Т. 9, №1. С. 18–24

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИНЕНАСЫЩЕННЫХ ЖИРНЫХ КИСЛОТ В ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ У ЖИТЕЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТОГЕОГРАФИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ**

*Шенгоф Б.А., Бичкаева Ф.А., Нестерова Е.В.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, b-shengof@yandex.ru

Исследования в области экологической физиологии показывают, что климатогеографические факторы высоких широт оказывают неблагоприятное влияние на организм человека и могут вызывать развитие тяжелых стрессовых реакций [1]. Процесс адаптации человека в значительной степени связан с увеличением энергетических трат, что, как правило, индуцирует активацию липидного обмена. Такой метаболический ответ будет влиять на скорость реацилирования жирных кислот, что может вызывать напряжение энергетического гомеостаза, оканчивающееся в ряде случаев развитием декомпенсации. В связи с этим количество и качество потребляемых нутриентов является функционально важным для регуляции гомеостатических процессов в компенсаторно-приспособительных реакциях.

К настоящему времени накоплено достаточно данных указывающих на пищевую ценность полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) [2, 3]. Наличие двойной связи у 3 или 6 атома углерода относительно метильной группы в алифатической цепи карбоновых кислот делает их частично либо полностью жизненно необходимыми экзогенными компонентами для человека. При алиментарном дефиците ПНЖК снижается биосинтез их метаболитов. Вместе с этим происходит замещение эссенциальных жирных кислот их эндогенными производными. Такие изменения в конечном итоге могут стать причиной не только метаболически обусловленных заболеваний, но и вызвать серьезные нарушения в работе иммунной системы [4, 5].

Проведенные в последнее время исследования в целом позволили получить представление о состоянии метаболизма ПНЖК у населения Крайнего Севера и приравненных к ним местностям [6]. В свою очередь в представленных данных метаболические параметры жителей высоких широт рассматриваются в отрыве от

показателей уроженцев южных регионов, что по нашему мнению может не в полной мере отражать процессы адаптационных перестроек метаболизма жирных кислот. В связи с этим целью данного исследования было установление отличительных особенностей содержания полиненасыщенных жирных кислот (линолеиладиновой, линолевой, арахидоновой,  $\alpha$ -линоленовой, тимнодоновой, цервоновой) в периферической крови у жителей арктического, приполярного регионов Севера России и южного региона Кавказа.

**Материалы и методы исследования.** За период с 2008 по 2018 год обследовано 697 человека (мужчины и женщины) в возрасте от 22 до 60 лет. По месту своего рождения и постоянного проживания все участники исследования были разделены на три группы. В первую группу входили обследованные жители арктического региона (АР) – 265 человек (71°-65°с.ш. Ямало-Ненецкий автономный округ: село Гыда; село Сёяха; село Антипоюта; село Ныда; город Надым. Ненецкий автономный округ: поселок Нельмин-нос; село Несь). Во вторую группу вошли лица проживающие в приполярном регионе (ПР) – 246 человек (64°с.ш. Архангельская область: посёлок Пинега; город Архангельск). Третья группа обследованных включала жителей южного региона Кавказа (ЮРК) – 186 человек (42°с.ш.: Республика Южная Осетия: город Цхинвал).

Территория Арктики характеризуется экстремальными природно-климатическими условиями для постоянного проживания человека. К специфическим экологическим факторам высоких широт можно отнести продолжительную зиму с частыми бурями, метелями и морозами, резкие перепады атмосферного давления, контрастную динамику светового дня и факторы электромагнитной природы. Климат обследованных регионов формируется преимущественно под влиянием арктических и атлантических воздушных масс, которые обуславливают отрицательную среднегодовую температуру воздуха около  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . [7]. Условия для проживания в приполярных регионах, не столь экстремальны как на Крайнем Севере, но также являются дискомфортными для местного населения. Выбранный регион обследования находится в зоне умеренного климатического пояса, с умеренно-континентальным климатом, который формируется под влиянием северных морей в условиях малого количества солнечной радиации зимой. Частая смена воздушных масс, усиленная циклоническая деятельность обуславливают неустойчивую погоду в приполярных регионах. Средняя годовая температура воздуха положительная от 0,1 до 2,0  $^{\circ}\text{C}$  [8]. Климатогеографические условия Южной Осетии неоднородны, но в целом соответствуют климату умеренных широт, поскольку основная часть ее территории расположена в горной местности. Исследование проводилось в городе Цхинвал, где эколого-климатические условия для проживания человека считаются физиологически комфортным. Территория города расположена в предгорьях Большого Кавказа на высоте 500-600 м над уровнем моря в зоне субтропического климата, со среднегодовой температурой воздуха 11,2  $^{\circ}\text{C}$  [9].

Средний возраст обследованного населения составил ( $M\pm SD$ ): АР - 42,41 $\pm$ 11,06 лет; ПР - 42,56 $\pm$ 10,85 лет; ЮРК - 39,40 $\pm$ 11,09 лет, все они относились к I и II группам здоровья, вне периода обострения своих хронических заболеваний. Исследование проводилось на добровольной основе с соблюдением всех норм и принципов биомедицинской этики в соответствии с требованиями Хельсинской декларации Всемирной Медицинской Ассоциации «Этические принципы проведения медицинских исследований с участием людей в качестве субъектов исследования» (2013 год).

Оценка пула жирных кислот в сыворотке крови включала в себя экстракцию липидов с последующим их метилированием. Анализ метиловых производных проводился на газовом хроматографе «Agilent 7890A» (США) с пламенно-ионизационным детектором. Для разделения полученных образцов использовали капиллярную колонку «Agilent DB-23», 60 $\times$ 0,25 $\times$ 0,15, США. Идентификация пиков

осуществлялась с использованием стандарта «GLS-569B Nu-Chek-Prep.» (США). Количественный расчет ПНЖК: линолеаидиновой (C18:2n-6t); линолевой (C18:2n-6c); арахидоновой (C20:4n-6c);  $\alpha$ -линоленовой (C18:3n-3c); тимнодоновой (C20:5n-3c); цервоновой (C22:6n-3c) кислот проводился по методу внутреннего стандарта (нонадекановая кислота) в программе «Agilent ChemStation B.03.01» (США).

Статистический анализ собранных данных выполнялся в программе IBM SPSS Statistics 22.0 (США). Проверку гипотезы о нормальном распределении случайной величины в исследуемых выборках проводили с помощью критерия Шапиро-Уилка. По результатам проверки была выявлена асимметрия рядов распределения. В связи с этим в качестве меры центральной тенденции рассчитывались значения медианы (Me), а меры рассеяния включали в себя значения первого и третьего квартилей (25; 75). Предварительная оценка статистически значимых различий между тремя независимыми группами осуществлялась с использованием непараметрического анализа Крускала-Уоллиса (H-тест). Апостериорные сравнения были выполнены с применением критерия Манна-Уитни (U-тест). Для удержания ошибки первого типа в пределах 5% использовалась поправка Бонферрони. Найденные различия считались статистически достоверными при величине уровня статистической значимости  $p < 0,05$ .

**Результаты исследования.** Анализ критерия Крускала-Уоллиса в сравниваемых группах показал наличие статистически значимых различий по всем обследуемым параметрам (таблица 1). В ходе апостериорных сравнений было установлено, что у жителей Арктики концентрация линолеаидиновой кислоты (C18:2n-6t) в периферической крови находилась на уровне статистически значимо низких значениях по сравнению с обследованными в группах ПР и ЮРК. При этом статистически значимо высокие показатели этого трансизомера были зарегистрированы у жителей Кавказа, где в 50% случаях концентрация транс-9,12-октадекадиеновой кислоты находилась в диапазоне от 1,31 до 3,59 мкг/мл.

Таблица 1 – Сравнительный анализ содержания ПНЖК в периферической крови у жителей арктического, приполярного регионов Севера России и южного региона Кавказа

Показатель	Регион	n	Me (25; 75)	H-тест	U- тест
C18:2n-6t, мкг/мл	1-АР	265	0,76 (0,38; 1,68)	$\chi^2 = 97,47$ $p = 6,84 \times 10^{-22}$	$p_{1-2} = 1,04 \times 10^{-8}$ $p_{1-3} = 9,17 \times 10^{-22}$ $p_{2-3} = 1,00 \times 10^{-7}$
	2-ПР	246	1,06 (0,61; 2,74)		
	3-ЮРК	186	2,55 (1,31; 3,59)		
C18:2n-6c, мкг/мл	1-АР	265	596,78 (463,90; 758,44)	$\chi^2 = 84,22$ $p = 5,15 \times 10^{-19}$	$p_{1-2} = 4,789 \times 10^{-11}$ $p_{1-3} = 7,93 \times 10^{-3}$ $p_{2-3} = 3,60 \times 10^{-15}$
	2-ПР	246	712,14 (526,89; 933,45)		
	3-ЮРК	186	550,29 (377,33; 703,01)		
C20:4n-6c, мкг/мл	1-АР	265	63,51 (33,92; 92,73)	$\chi^2 = 39,50$ $p = 2,65 \times 10^{-9}$	$p_{1-2} = 5,308 \times 10^{-4}$ $p_{1-3} = 5,36 \times 10^{-10}$ $p_{2-3} = 3,54 \times 10^{-3}$
	2-ПР	246	78,01 (35,81; 121,60)		
	3-ЮРК	186	100,84 (53,22; 135,97)		
$\Sigma n-6$ , мкг/мл	1-АР	265	671,91 (505,51; 855,72)	$\chi^2 = 65,43$ $p = 6,18 \times 10^{-15}$	$p_{1-2} = 7,471 \times 10^{-11}$ $p_{1-3} = 5,71 \times 10^{-1}$ $p_{2-3} = 2,64 \times 10^{-10}$
	2-ПР	246	814,91 (570,75; 1068,63)		
	3-ЮРК	186	661,47 (449,92; 829,76)		
C18:3n-3c, мкг/мл	1-АР	265	4,73 (2,96; 7,16)	$\chi^2 = 43,25$ $p = 4,06 \times 10^{-10}$	$p_{1-2} = 2,772 \times 10^{-1}$ $p_{1-3} = 8,74 \times 10^{-7}$ $p_{2-3} = 2,75 \times 10^{-10}$
	2-ПР	246	4,36 (2,64; 6,57)		
	3-ЮРК	186	6,44 (3,94; 9,76)		
C20:5n-3c, мкг/мл	1-АР	265	13,35 (5,44; 24,67)	$\chi^2 = 15,61$ $p = 4,08 \times 10^{-4}$	$p_{1-2} = 6,481 \times 10^{-4}$ $p_{1-3} = 1,49 \times 10^0$ $p_{2-3} = 4,05 \times 10^{-2}$
	2-ПР	246	9,55 (4,46; 18,17)		
	3-ЮРК	186	11,69 (6,26; 20,75)		

C22:6n-3c, мкг/мл	1-АР	265	21,86 (11,43; 40,30)	$\chi^2 = 55,43$ $p = 9,19 \times 10^{-13}$	$p_{1-2} = 1,707 \times 10^{-7}$
	2-ПР	246	36,69 (12,51; 68,29)		$p_{1-3} = 3,40 \times 10^{-12}$
	3-ЮРК	186	49,61 (19,78; 82,38)		$p_{2-3} = 1,96 \times 10^{-2}$
$\sum n-3$ , мкг/мл	1-АР	265	42,25 (23,22; 70,90)	$\chi^2 = 26,68$ $p = 1,61 \times 10^{-6}$	$p_{1-2} = 7,418 \times 10^{-03}$
	2-ПР	246	51,89 (24,02; 91,11)		$p_{1-3} = 6,75 \times 10^{-7}$
	3-ЮРК	186	68,40 (31,62; 108,26)		$p_{2-3} = 1,38 \times 10^{-2}$
$\sum n-6/\sum n-3$	1-АР	265	15,99 (10,33; 25,25)	$\chi^2 = 71,10$ $p = 3,64 \times 10^{-16}$	$p_{1-2} = 2,13 \times 10^0$
	2-ПР	246	15,89 (9,62; 27,75)		$p_{1-3} = 3,53 \times 10^{-14}$
	3-ЮРК	186	10,11 (7,03; 15,07)		$p_{2-3} = 1,06 \times 10^{-14}$

Сравнивая полученные результаты по содержанию линолевой кислоты (C18:2n-6c) было обнаружено, что значение её медианы в группе ЮРК статистически значимо ниже по сравнению с обследованными из АР и ПР. В свою очередь в группе ПР у 50% обследованных лиц размах концентрации цис-9,12-октадекадиеновой кислоты составлял от 526,89 до 933,45 мкг/мл, что статистически значимо превышало значения обследованных жителей АР.

Изучение величины арахидоновой кислоты (C20:4n-6c) в сравниваемых группах показало, что у жителей АР её концентрация в сыворотке крови находилась на статистически значимо низком уровне по сравнению с обследованным населением ПР и ЮРК. Вместе с тем у уроженцев ЮРК в 75% случаях регистрировались значения концентрации цис-5,8,11,14-эйкозатетраеновой кислоты не ниже 53,22 мкг/мл, что сравнительно было выше, чем её содержания в группе ПР.

Таким образом, анализ n-6 жирных кислот показывает наличие их выраженных особенностей у жителей различных климатогеографических территорий. В целом ориентируясь на показатель  $\sum n-6$  в периферической крови, можно сделать вывод, что уровень этой группы кислот у обследованных лиц ПР статистически значимо выше по сравнению с жителями АР и ЮРК. При этом суммарное содержание n-6 жирных кислот в обследованных группах АР и ЮРК статистически значимо не различалось.

Дальнейший анализ полученных результатов включал в себя попарные сравнения показателей n-3 жирных кислот. Было установлено, что у обследованных из ЮРК концентрация  $\alpha$ -линоленовой кислоты (C18:3n-3c) статистически значимо выше, чем у жителей АР и ПР. Причем в группе уроженцев АР и ПР подобных изменений не обнаружено. Необходимо также отметить, что у жителей ЮРК верхний квартиль концентрации цис-9,12,15-октадекатриеновой кислоты составлял 9,76 мкг/мл, т.е. 25% обследованных в этой группе имели достаточно высокое её содержание.

Оценивая уровень тимнодоновой кислоты (C20:5n-3c) было выявлено, что её медиана в выборочных данных ПР имела статистически значимо низкое значение по сравнению с АР и ЮРК. При этом интервал концентрации цис-5,8,11,14,17-эйкозапентаеновой кислоты у половины обследованных ПР составил 4,46-18,17 мкг/мл. В то же время каких-либо статистически значимых различий в группах АР и ПР установлено не было.

Анализ содержания цервоновой кислоты (C22:6n-3c) показывает существенные статистически значимые её различия в обследуемых группах. Так, у жителей Арктики концентрация цис-4,7,10,13,16,19-докозагексаеновой кислоты в 75% случаях не превышала 40,30 мкг/мл, что являлось статистически значимо низким показателем, относительно обследованных лиц ПР и ЮРК. Вместе с тем в группе уроженцев ЮРК наблюдались статистически значимо высокие её значения, по сравнению с жителями ПР.

В конечном итоге, анализ  $\sum n-3$  жирных кислот свидетельствует о статистически значимо низких значениях их содержания у населения, проживающего на Крайнем Севере, чем у жителей ПР и ЮРК. При этом совокупность выявленных изменений у

лиц ЮРК показывает наличие статистически значимо высокого уровня концентрации  $\Sigma n-3$  жирных кислот по сравнению с обследованными в зоне субарктики.

При оценке алиментарного дефицита  $n-3$  жирных кислот важно учитывать не только их количество, но и соотношение  $\Sigma n-6$  к  $\Sigma n-3$ . Так, у жителей ЮРК величина  $\Sigma n-6/\Sigma n-3$  была статистически значимо ниже, чем в группах АР и ПР. В тоже время для обследованных лиц АР и ПР статистически значимой разницы в  $\Sigma n-6/\Sigma n-3$  обнаружено не было.

Исходя из представленных данных, можно сделать следующие выводы:

1. У обследованных жителей АР и ЮРК концентрация  $\Sigma n-6$  жирных кислот в периферической крови статистически значимо ниже, относительно лиц ПР. В частности у жителей АР зарегистрированы низкие концентрации линолеадиновой и арахидоновой кислот по сравнению с обследованными из ПР и ЮРК, а в группе ЮРК был зафиксирован низкий уровень линолевой кислоты по сравнению АР и ПР. При этом у обследованных ПР показатели линолевой кислоты были смещены в сторону высоких значений относительно лиц АР.

2. Низкие значения показателя  $\Sigma n-3$  жирных кислот были отмечены у обследованных из АР и ПР по сравнению с жителями ЮРК. Так, в группе ПР была выявлена наиболее частая встречаемость низких значений  $\alpha$ -линоленовой кислоты относительно обследованных в АР и ЮРК. Причем, у жителей ЮРК концентрация  $\alpha$ -линоленовой кислоты была выше, чем у лиц АР. В тоже время в группе АР установлено низкое содержание цервоновой кислоты по сравнению с уроженцами ПР и ЮРК, а у лиц ПР выявлены низкие концентрации тимнодоновой кислоты относительно лиц АР и ЮРК. В свою очередь, в группе ЮРК содержание цервоновой кислоты было выше чем у лиц ПР, а содержание тимнодоновой кислоты было на уровне значений жителей АР.

3. В целом у обследуемого населения АР и ПР наблюдается дефицит  $n-3$  жирных кислот. Так, у жителей АР и ПР величина  $\Sigma n-6/\Sigma n-3$  была статистически значимо выше, чем в группе уроженцев ЮРК.

Таким образом, экстремальные климатогеографические условия проживания и особый уровень жизнеобеспечения на Севере формируют у человека адаптационные перестройки в метаболизме ПНЖК. Выявленные особенности у жителей Крайнего Севера и приравненных к ним территорий отражают определенную роль  $\beta$ -окисления ПНЖК в поддержании энергетического гомеостаза. При этом наблюдаемые изменения неотъемлемо связаны с низким уровнем эссенциальных жирных кислот в структуре питания местных жителей, что может свидетельствовать о снижении традиционного белково-липидного рациона. Такая ситуация способна привести к неблагоприятным для здоровья последствиям в популяциях местных жителей и требует дополнительных исследований.

*Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания по теме «Эндокринное обеспечение и характер питания в формировании адаптивных изменений в липидном обмене у различных групп населения Арктики на современном этапе» № гос. регистрации 122011800399-2*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адаптация человека к экологическим и социальным условиям Севера / Отв. ред. Бойко Е.Р. / Сыктывкар: УрО РАН. 2012. 443 с.
2. Russo G.L. Dietary  $n-6$  and  $n-3$  polyunsaturated fatty acids: from biochemistry to clinical implications in cardiovascular prevention // Biochemical Pharmacology. 2009. Vol. 77. No. 6 pp. 937-946.
3. Saini R.K., Keum Y.S. Omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids: Dietary sources, metabolism, and significance – A review // Life sciences. 2018. Vol. 203. pp. 255-267.

4. Psota T.L., Gebauer S.K., Kris-Etherton P. Dietary omega-3 fatty acid intake and cardiovascular risk // The American journal of cardiology. 2006. Vol. 98. No. 4. pp. 3-18.
5. Miles E.A., Childs C.E., Calder P.C. Long-chain polyunsaturated fatty acids (LCPUFAs) and the developing immune system: a narrative review // Nutrients. 2021. Vol. 13. No. 1. pp. 247-268.
6. Изучение состава полиненасыщенных жирных кислот и их индивидуальных соотношений у лиц зрелого возраста климатогеографически разных районов севера / Ф.А. Бичкаева, Н.И. Волкова, Д.С. Галстян [и др.] // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2020. Т. 106. № 7. С. 898-915.
7. Влияние климатогеографических факторов Ямало-Ненецкого автономного округа на здоровье населения / В.И. Корчин, Т.Я. Корчина, Е.М. Терникова [и др.] // Журнал медико-биологических исследований. 2021. Т. 9. № 1. С. 77-88.
8. Общая характеристика климата Архангельской области и Ненецкого автономного округа // Северное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. URL: <http://www.sevmeteo.ru/files/arh-nao.pdf> (дата обращения: 10.05.2023).
9. Бадов А.Д., Джигоева В.Д. Природные условия и ресурсы как важнейший фактор устойчивого социально-экономического развития Южной Осетии // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. 2017. №. 1(196). С. 91-94.

#### **ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ РИСКА ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ВЕРОЯТНОСТИ СЕРДЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ С СОХРАНЕННОЙ ФРАКЦИЕЙ ВЫБРОСА ПО ШКАЛЕ H2FPEF У БЕССИМПТОМНЫХ ПАЦИЕНТОВ В АРКТИКЕ**

*Шуркевич Н.П., Ветошкин А.С., Гапон Л.И., Симонян А.А., Карева М.А.*

Тюменский кардиологический научный центр, г. Тюмень

Томский национальный исследовательский медицинский центр РАН, г. Томск,  
Shurkevich@infarkta.net

Хроническая сердечная недостаточность с сохраненной фракцией выброса является актуальной проблемой. Число лиц с данным заболеванием неуклонно растет и будет дальше увеличиваться в связи с постарением населения, малоактивным образом жизни, ожирением и высокой распространенностью артериальной гипертензии (АГ), которые на сегодняшний день являются главными причинами заболевания [1].

Факторами, способствующими формированию СНсФВ, являются нарушения метаболизма в сердечной мышце, коронарная микрососудистая дисфункция, мультигормональные дефициты и другие, еще не изученные, факторы [2]. Начальная стадия сердечной недостаточности (СН) определяется как бессимптомное нарушение сократительной и диастолической функций сердца, что предполагает стремление усовершенствовать существующие алгоритмы диагностики [3].

Исследовательская группа [4] для диагностики СНсФВ предложила использовать шкалу H2FPEF. Диагностическая значимость оценки СН по шкале H2FPEF была продемонстрирована в нескольких независимых исследованиях [5]. Шкала классифицирует пациентов по 3 группам: 0-1 (балла) – отсутствуют признаки СН; 2 – 5 (баллов) – ПБСН и более 5 – высокая вероятность СН. Группа 2 мало изучена и представляет интерес в плане изучения предикторов СНсФВ с целью определения алгоритма ранней диагностики и профилактики прогрессирования заболевания у бессимптомных пациентов.

В заполярном п.Ямбург (68° 21' 40" с.ш.) на базе МСЧ одномоментно обследовано 99 мужчин (М) и 81 женщина (Ж) с АГ 1, 2 степени и нормотензивных лиц, сопоставимых по возрасту ( $p=0,450$ ), северному стажу ( $p=0,956$ ), числу лет работы вахтой ( $p=0,824$ ), по уровню офисного САД ( $p=0,251$ ), ДАД ( $p=0,579$ ). Исследование проводили в соответствии с этическими стандартами Хельсинкской декларации и правилами клинической практики в РФ (2005). Протокол исследования одобрен Этическим комитетом Тюменского кардиологического научного центра №149 от 03.06.2019. У всех обследованных лиц взято информированное согласие на участие в исследовании. Всем пациентам проведена ЭхоКГ. Для расчета вероятности наличия СНсФВ использовали шкалу H2FPEF: Heavy (индекс массы тела  $> 30$  кг/м<sup>2</sup> - 2 балла); Hypertensive (применение двух и более антигипертензивных препаратов - 1 балл); Atrial Fibrillation (наличие фибрилляции предсердий - 3 балла); Pulmonary Hypertension (величина систолического давления в легочной артерии (СДЛА)  $> 35$  мм рт. ст. - 1 балл); Elder (возраст  $>60$  лет - 1 балл); Filling Pressure (величина E/e' - отношение скорости E трансмитрального диастолического потока к средней скорости движения фиброзного кольца митрального клапана  $>9$  - 1 балл) с подсчетом в баллах [6]. При оценке СНсФВ по шкале H2FPEF использовали классификацию: (0-1) балла - низкая вероятность ( $<20\%$ ) или маловероятная СНсФВ; (2-5) баллов - промежуточная вероятность СНсФВ; (6-9) баллов - высокая вероятность СНсФВ ( $>90\%$ ) [7]. Проведен тредмил-тест по методике «Bruce» с использованием тредмил-эргометрического комплекса «Cardiovit CS 200», Schiller, Швейцария, определены адаптационные возможности организма в покое путем расчета индекса Баевского (ИБ). Использована формула:  $ИБ = ((0,0011 * ЧСС) + (0,014 * САД покоя) + (0,008 * ДАД покоя) + (0,009 * МТ) - (0,009 * Рост) + 0,014 * возраст) - 0,27$ . Градация уровней адаптации (А): ниже 2,6 – удовлетворительная А; 2,6 - 3,09 – напряжение механизмов А; 3,10-3,49 – неудовлетворительная А; 3,5 и выше – срыв А [8]. Проведено биохимическое исследование крови с определением высокочувствительного СРБ (вч-СРБ), гомоцистеина, С-пептида, инсулина, кортизола, предшественника мозгового натрийуретического пептида (NTpro-BNP), интерлейкинов (IL-1 $\beta$ , IL-6, IL-8, IL-10), фактора некроза опухоли (ФНО- $\alpha$ ), ФСГ, тестостерона. Оценка вегетативных изменений проводилась по критериям А.М. Вейна [9]. Для расчета индекса массы тела (ИМТ) использована формула: масса тела, кг/(рост, м)<sup>2</sup>. Значения оценены по критерию International Obesity Task Force (IOTF). Нормой считали индекс массы тела  $< 25$  кг/м<sup>2</sup>; избыточной массой тела – 25-29 кг/м<sup>2</sup>; ожирением  $> 30$  кг/м<sup>2</sup>.

Данные проанализированы в программах Statistica 8,0 (Stat Soft, USA) и IBM SPSS Statistics 23. (IBM. USA).

В зависимости от числа баллов по шкале H2FPEF, обследованные М и Ж были разделены на группы (гр.): от 0 до 1 балла (гр.1 - норма), от 2 до 5 баллов (гр. 2 – ПВСН). Группу «1» составили 95 пациентов обоего пола с низкой вероятностью наличия СН (сумма баллов H2FPEF от 0-1 балла), из них: 52 М и 43 Ж, гр. «2» – 85 человек с ПВСН (сумма баллов H2FPEF от 2-5), из них: 47 М и 38 Ж.

Таблица 1 - Межгрупповые различия основных показателей пробы с дозированной ФН (Тредмил-тест)

А. Мужчины			
Показатель	Группа 1 (n = 52)	Группа 2 (n = 47)	p
Число ступеней	4 (3 – 5)**	3 (2 – 4)**	-
METS	13,3 (9,9; 13,3)	10 (9,9; 13,3)	0,0417
Индекс Баевского	2,1 (1,9; 2,3)	2,8 (2,1; 3,5)	0,0048
Илотропный резерв (мм рт.ст)	54 (40; 74)	64 (50-79)	0,0610
Хронотропный резерв (уд./мин.)	69,5 (57,5; 78,5)	51 (42; 64)	$< 0,0001$

Гипертензивный ответ (абс n)	2 (4%)	13 (28%)	0,0058*
Напряжение адаптации (абс n (%))	3 (6%)	13 (25%)	0,0121*
Срыв адаптации (абс n (%))	0 (0%)	4 (9%)	0,0394*
Одышка (абс n (%))	3(6%)	11 (23%)	0,0293*
Б. Женщины			
Показатель	Группа 1 (n = 43)	Группа 2 (n = 38)	p
Число ступеней	3 (2 - 3)**	2 (0 - 3)**	-
METS	9,9 (7; 13,4)	7,0 (7,0 ; 9,9)	0,0485
Индекс Баевского	2,0 (1,8; 2,3)	2,1 (1,9 – 2,4)	0,2601
Инотропный резерв (мм рт.ст.)	45,0 (30; 62)	56 (40 – 73)	0,0740
Хронотропный резерв (уд/мин)	57 (48; 66)	54 (35; 59)	0,1399
Гипертензивный ответ (абс n (%))	6 (13%)	9 (24%)	0,3517*
Напряжение адаптации (абс n (%))	3 (6%)	13 (34%)	0,0120*
Срыв адаптации (абс n (%))	1 (2%)	4 (11%)	0,1509*
Одышка (абс n (%))	4 (9%)	19 (50%)	0,0024*

Примечание: абс n-абсолютное число (%), p – уровень значимости различий между группами (непараметрический U-критерий Манна-Уитни); Данные представлены в виде Me (Q25-Q75). \*\* - данные представлены в виде Mo – Мода; - в качестве уровня значимости различий использован  $p_{\chi^2}$ .

Одним из проявлений СН является снижение толерантности к нагрузкам. В таблице 1 приведены данные результатов пробы с дозированной физической нагрузкой (ДФН). Выявлено, что у Ж появление одышки на высоте ДФН регистрировалось значимо чаще, чем у М, независимо от уровня АД. Как видно из таблицы 2, если М 1 гр. достигали уровень субмаксимальной нагрузки на 3-5 ступени, то М 2 гр. только на уровне 2-4 ступеней (наиболее часто – 3 ступень). Также у М 2 гр. был выше индекс Баевского ( $p=0,004$ ), характеризующий напряжение и срыв адаптационных резервов организма ( $p=0,039$ ) в состоянии покоя, отмечен быстрый прирост АД в период ДФН ( $p=0,005$ ), снижение хронотропного резерва (ХТР) ( $p<0,0001$ ), чаще регистрировалась одышка на ДФН ( $p=0,029$ ).

У женщин с ПВСН отмечался меньший уровень потребления кислорода на высоте нагрузки ( $p=0,0485$ ), чаще определялось состояние напряжения адаптации к нагрузке в покое ( $p=0,0120$ ) и одышка на высоте ДФН ( $p=0,002$ ). Между М и Ж в гр. 1 различие ХТР было значимым:  $M>Ж$  ( $p=0,0005$ ), в гр. 2 показатели не различались ( $p=0,571$ ). При этом, в обеих гр. М и Ж ХТР определялся меньше популяционной нормы (75-60 уд/мин.),  $p<0,0001$  за счет повышенной ЧСС покоя.

Оценка вегетативных нарушений по данным опросника показала значимые гендерные различия: у Ж с ПВСН был значимо выше оценочный балл нарушений ВНС 14,1(6,5-22,0) против 21,5(11,5-37,0) ( $p=0,025$ ). У мужчин с ПВСН значимо чаще, чем у М 1 гр. имели место структурные изменения сердца: значимо большие ММЛЖ и ИММЛЖ, объем и индекс ЛП, значимо ниже определялись скорости движения фиброзного кольца митрального клапана в области МЖП, значимо более высокие значения вч-СРБ ( $p=0,001$ ) и более низкие IL 10 ( $p=0,044$ ). У женщин 2 гр. в сравнении с Ж 1 гр. были более высокие уровни инсулина ( $p=0,004$ ), С-пептида ( $p=0,004$ ), кортизола ( $p=0,041$ ) и медиаторов воспаления: вч-СРБ ( $p=0,048$ ), IL 6 ( $p=0,002$ ), IL1  $\beta$  ( $p=0,043$ ). Следует отметить, что уровень NTpro-BNP у Ж, вне зависимости от уровня АД, был выше, чем у М ( $p=0,0002$ ,  $p=0,025$ , соответственно).

Наличие АГ у М выраженно влияло на ПВСН, увеличивая ее в 3,6 раза, выявление (появление) одышки процессе выполнения ДФН - в 10 раз, напряжение адаптационного потенциала в покое в 5 раз. Значимое влияние имело наличие структурных изменений сердца в виде концентрического ремоделирования ЛЖ:

увеличение шанса ПБСН в 8-10раз и повышение биомаркеров воспаления ( вч-СРБ, IL10) (табл. 2).

Таблица 2 - Анализ зависимости ПБСН у мужчин (результаты логистической регрессии, метод «Enter»)

Показатель	B(SE)	Exp (B); 95% ДИ	P
АГ (= 1)	1,282(0,475)	3,604; 1,420 – 9,150	0,007
САД24	0,461(0,116)	1,586; 1,264-1,99	<0,0001
Одышка при ДФН	2,303(0,81)	10,006; 2,046-48,922	0,004
Гипертензивн. ответ ДФН	0,398(0,577)	1,489; 1,217-2,082	0,009
Напряжение адаптации	1,621(0,161)	5,058; 1,969-11,321	0,009
Инотропный резерв	0,023(0,011)	1,024; 1,002-1,046	0,036
ИММЖ	0,191(0,086)	1,210; 1,074-1,488	0,033
ЛП индекс	0,216(0,072)	1,241; 1,183-5,997	0,014
Е' - скорость движения ФК МК (септальная)	-1,062(0,219)	0,346; 0,095 –0,899	0,029
Концентрическое ремоделирование ЛЖ	2,128(1,381)	8,398; 3,208-11,783	0,003
вч-СРБ	0,275(0,115)	1,316;1,052-1,648	0,016
IL10	-0,467(0,221)	0,627;0,407-0,967	0,035

Примечание к табл. 2 и 3: B(SE) – коэффициент регрессионного уравнения соответствующего фактора, в скобках – ошибка средней коэффициента; Exp (B); 95% ДИ – экспонента (B) или отношение шансов влияния фактора на вероятность события с 95% доверительным интервалом. P - уровень значимости критерия Вальда.

Таблица 3 - Анализ зависимости вероятности ПБСН у женщин (результаты логистической регрессии, метод «Enter»)

Показатель	B(SE)	Exp (B); 95% ДИ	P
АГ (= 1)	0,746(0,495)	2,109; 0,8-5,56	0,131
ВНС (баллы)	0,012(0,009)	1,012; 1,006-1,073	0,047
ВСАД24	0,345(0,147)	1,412; 1,06-1,883	0,018
ВСАДд	0,061(0,116)	1,063; 1,013-1,068	0,025
Одышка	2,352(0,631)	10,508; 3,050-36,195	<0,0001
METS	-0,212(0,101)	0,809; 0,430-0,933	0,009
Напряжение адаптации	0,034(1,007)	1,035; 1,017-2,740	0,044
ММЛЖ	0,061(0,029)	1,063;1,004-1,125	0,036
Концентрическое ремоделирование ЛЖ	0,043(0,005)	1,044; 1,012-1,331	0,045
Е' - скорость движения ФКМК (септальная)	0,212(0,128)	1,236; 1,063-1,587	0,057
Е' - скорость движения ФКМК (латеральная)	0,043 (0,166)	1,044; 0,754-1,445	0,796
вч-СРБ	0,047 (0,007)	1,027; 1,012-1,278	0,047
IL1β	0,082(0,015)	1,085; 1,026-1,623	0,049
IL6	0,088(0,216)	1,095; 1,025-1,454	0,052
С-пептид	0,340 (0,243)	1,405; 1,073-2,262	0,042

Наличие АГ у Ж незначимо влияло на наличие ПВСН. Шанс выявления ПВСН у Ж увеличивался при напряжении адаптационных возможностей в покое, дисфункции ВНС, увеличении среднесуточной вариабельности САД, появлении одышки (в 10 раз) при ДФН, выявлении концентрического ремоделирования ЛЖ и повышении маркеров неспецифического воспаления (вч-СРБ, IL 1  $\beta$ , IL 6) (табл. 3).

Таким образом, у М с АГ с исходным напряжением адаптационного потенциала в состоянии покоя и снижением ХТР на фоне концентрического ремоделирования ЛЖ и диастолической дисфункции, наблюдается дезадаптивная реакция на высоте ДФН в виде гипертензивного ответа и появления одышки, что является дополнительным маркером ПВСН. У женщин важным фактором, ассоциированным с ПВСН и дополнительным маркером, является напряжение адаптации к нагрузке (снижение ХТР, снижение потребления кислорода, дезадаптивная одышка), дисфункция ВНС, концентрическое ремоделирование ЛЖ, повышение циркулирующих биомаркеров воспаления при меньшей значимости наличия АГ. Раннее выявление у бессимптомных пациентов с АГ дополнительных факторов риска ПВСН, потенциально может снизить риск последующей клинической стадии сердечной недостаточности, что позволяет сосредоточить внимание на стратегиях профилактики и вмешательства в этой группе пациентов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Brandt MM, Nguyen ITN, Krebber MM, et al. Limited synergy of obesity and hypertension, prevalent risk factors in onset and progression of heart failure with preserved ejection fraction. *J Cell Mol Med.* 2019;23(10):6666-6678. doi: 10.1111/jcmm.14542.
2. Yang JH, Obokata M, Reddy YNV, et al. Endothelium-dependent and independent coronary microvascular dysfunction in patients with heart failure with preserved ejection fraction. *Eur J Heart Fail.* 2020; 22:432-441. doi: 10.1002/ejhf.1671.
3. Vasyuk YUA, SHupenina EYU, Namazova GA, et al. New algorithms for the diagnosis of heart failure with preserved left ventricular ejection fraction in patients with hypertension and obesity. *Cardiovascular therapy and prevention.* 2021;20(1):2569. (In Russ.) Васюк Ю.А.,
4. Шупенина Е.Ю., Намазова Г.А., и др. Новые алгоритмы диагностики сердечной недостаточности с сохраненной фракцией выброса левого желудочка у пациентов с артериальной гипертензией и ожирением. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика.* 2021;20(1):2569. doi:10.15829/1728-8800-2021-2569.
5. Sueta D, Yamamoto E, Nishihara T, et al. H2FPEF score as a prognostic value in HFpEF patients. *Am J Hypertens.* 2019;32(11):1082-90. doi:10.1093/ajh/hpz108.
6. Dzhioeva O. Diagnosis and Management of Patients with Heart Failure with Preserved Ejection Fraction (HFpEF): Current Perspectives and Recommendations. *Therapeutics and Clinical Risk Management.* 2020; 16:769-785. DOI: 10.2147/TCRM.S207117.
7. Reddy YNV, Carter RE, Obokata M, et al. A Simple, Evidence-Based Approach to Help Guide Diagnosis of Heart Failure with Preserved Ejection Fraction. *Circulation.* 2018;138(9):861–70. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.118.034646.
8. Baevskij RM, Berseneva AP. Assessment of the adaptive capabilities of the body and the risk of developing diseases. *M.Medicina,* 1997. p.265. (In Russ.) Баевский Р.М. Берсенева А.П. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний. *М.Медицина.* 1997. 265с. FB 98-8/90-1.
9. Vejn AM. Vegetative disorders. M.: Medicinskoe informacionnoe agentstvo, 2003. p.752. (In Russ.) Вейн А.М. Вегетативные расстройства. М.: Медицинское информационное агентство, 2003. p.752. ISBN 5-89481-121-X.

## ИЗМЕНЕНИЕ УРОВНЯ ВИТАМИНОВ-АНТИОКСИДАНТОВ У БЕРЕМЕННЫХ С ИЗБЫТОЧНОЙ МАССОЙ ТЕЛА, ПРОЖИВАЮЩИХ В СЕВЕРНОМ РЕГИОНЕ (ХМАО-ЮГРА)

Яковенко С.В.<sup>1</sup>, Корчин В.И.<sup>1</sup>, Вешкина Н.В.<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Ханты-Мансийская государственная медицинская академия, г. Ханты-Мансийск, sofya yakovenko@mail.ru

<sup>2</sup>Нефтеюганская окружная клиническая больница им. В.И.Яцкив, г. Нефтеюганск

Особенности климато-географических факторов северного региона безусловно накладывает отпечаток на состояние здоровья человека. Весь спектр экстремальных воздействий окружающей среды, от низких температур, перепадов влажности, атмосферного давления до особенностей фотопериодизма и солнечной активности в высоких широтах, оказывает неблагоприятное влияние на организм [1,2].

Высокий уровень метаболизма беременных, обусловленный происходящими анатомическими, физиологическими и биохимическими изменениями, приводит к избыточному образованию активных форм кислорода (АФК). Антиоксиданты противодействуют высокому содержанию АФК, образующихся в результате метаболизма митохондрий, уменьшая повреждение клетки. При формировании дисбаланса между количеством вырабатываемых антиоксидантов и АФК в пользу последних приводит к окислительному стрессу [3,4,5].

Для беременных, проживающих в условиях северного региона, природные факторы сочетаются с повышенным метаболизмом матери и плода, что усугубляет развитие окислительного стресса, который на определенном уровне необходим для развития физиологической беременности [3,6].

Предшествующая беременности избыточная масса тела и ожирение могут влиять на развитие повышенного уровня окислительного стресса и играть существенную роль в развитии неблагоприятных исходов беременности, таких как гестационный сахарный диабет, преждевременные роды и преэклампсия [7,8].

При этом установлено, что эффективной профилактикой окислительных процессов является сбалансированная диета с достаточным количеством экзогенных антиоксидантов [8,9], и, следовательно, достижение оптимального физиологического уровня в крови витаминов А, С, Е, D.

Целью исследования явилось определение уровня витаминов А, Е, С и D в сыворотке крови у беременных с избыточной массой тела, проживающих в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре (ХМАО-Югре), сравнение их концентрации по триместрам и с физиологическими значениями.

В исследовании приняли участие 70 беременных, у которых рассчитан индекс массы тела (ИМТ) с учетом данных, полученных при измерении роста в сантиметрах и массы тела в килограммах в первом триместре беременности. В группе исследования средний ИМТ составил  $28,4 \pm 1,8$  кг/м<sup>2</sup>. При этом беременные распределились по триместрам следующим образом: в I триместре 30, во II и III триместрах по 20 человек.

Критериями включения в исследование послужили наличие одноплодной беременности, возраст от 18 лет и более, проживание в городах Ханты-Мансийск и Нефтеюганск, постановка на учет по беременности до 12 недель, отсутствие патологии со стороны сердечно-сосудистой системы, сахарного диабета до беременности.

Содержание витаминов А, Е, С в сыворотке крови определялось методом ВЭЖХ с масс-селективным флуоресцентным детектированием на приборе Agilent 1260 Infinity фирмы «Agilent Technologies Ins» (США), витамина D методом иммунохемилюминесцентного анализа при помощи тест-систем 25-(ОН) D3 фирмы Abbott (США) на анализаторе Abbott Architect i2000 SR (США).

Статистический анализ полученных результатов исследования проводили с использованием прикладных программ STATISTICA 13.0 и Microsoft Excel.

Исследование проведено при наличии письменного добровольного информированного согласия испытуемых в соответствии с этическими принципами, регламентированным Хельсинской декларацией, одобрено экспертной оценкой Локального этического комитета Ханты-Мансийской государственной медицинской академии.

Таблица 1. - Содержание витаминов антиоксидантов в сыворотке крови беременных с избыточной массой тела.

Витамины	Физиологические значения	Группа исследования, n=70			p1/p2*
		I триместр, n=30	II триместр, n=20	III триместр, n=20	
		M±m	M±m	M±m	
Витамин А, мкг/мл	0,3-0,8	0,49±0,11	0,46±0,13	0,52±0,12	0,346/0,367
Витамин Е, мкг/мл	5,0-18,0	6,29±1,38	5,05±1,14	6,86±1,17	<b>0,002</b> /0,136
Витамин С, мкг/мл	4,0-20,0	6,01±1,41	5,3±0,75	6,62±1,48	<b>0,045</b> /0,146
Витамин D, нг/мл	30,0-100,0	13,38±1,77	13,48±1,05	24,6±8,06	0.685/ <b>0.0001</b>

\*p1 – I и II триместров беременности,

p2 – I и III триместров беременности.

В ходе исследования отмечено, что уровень витаминов А, Е и С у беременных с избыточной массой тела находится в пределах физиологических значений, а витамин D не достигает нормального показателя ни в одном из триместров беременности.

Концентрация витамина А в сыворотке крови беременных изменяется в течение гестации, снижаясь во II (на 6,1%) и повышаясь к III триместру (на 6,1%) по отношению к I триместру. При этом достоверного различия между уровнями витамина А в период беременности не установлено ( $p > 0,05$ ).

В отношении витамина Е зарегистрировано различие концентрации между I и II триместрами в 1,25 раза с достоверным уменьшением содержания к середине беременности ( $p < 0,05$ ), а также повышение на 6,1% его концентрации к сроку родов в сравнении с I триместром беременности.

Похожая динамика отмечена и по содержанию аскорбиновой кислоты у беременных – достоверное снижение ( $p < 0,05$ ) во II на 11,8% и повышение на 10,1% к III триместру.

Результат исследования витамина D в сыворотке крови беременных с избыточной массой тела демонстрирует дефицитное состояние в течение всей беременности. Уровень холекальциферола не отличается при исследовании в I и II триместре, но возрастает к концу беременности, демонстрируя достоверное различие между его содержанием в ранние и поздние сроки ( $p < 0,05$ ).

Таблица 2 - Доля беременных с уровнем витаминов ниже физиологических значений.

	I триместр, %	II триместр, %	III триместр, %
Витамин А	0	0	0
Витамин Е	13,3	55,0	0
Витамин С	6,6	5,0	0
Витамин D, в том числе	100%	100%	80%
ниже 20 нг/мл	83,3%	84,2%	40%
20,0-30,0 нг/мл	16,87%	15,8%	40%

Отмечено, что средний уровень витаминов Е и С соответствует физиологическому значению на протяжении всего периода гестации. При этом в I и II триместрах витамин Е ниже нормы у 13,3% и 55% исследуемых соответственно, а витамин С - у 6,6% и 5,0% пациенток.

Особое внимание заслуживает динамика уровня витамина D. Так в I триместре установлен дефицит у 83,3% и недостаточность у 16,7% беременных, во II триместре – у 84,2% и 15,8% человек соответственно. В III триместре у 20% исследуемых отмечается достижение концентрации выше 30 нг/мл, что соответствует физиологическому значению. Но у 80% женщин по-прежнему регистрируется дефицитное состояние.

Состояние статуса витаминов антиоксидантов во время беременности изучается в целях разработки практических мероприятий по профилактике осложнений беременности, связанных с повышенным окислительным стрессом. Низкий уровень витаминов А и Е некоторыми учеными рассматривается как возможный биомаркер повышенного риска развития осложнений как со стороны матери, так и новорожденного [6,10]. Результаты исследований подтверждают взаимосвязь высокого уровня антиоксидантов материнской сыворотки и их защитной роли в предотвращении неблагоприятных исходов беременности [6].

В нашем исследовании по результатам анкетирования беременных отмечено, что менее половины пациенток с повышенным ИМТ соблюдали рекомендации по приему витаминных препаратов в I половине беременности. Наряду с повышением метаболических процессов во время беременности, этот фактор обусловил установленное нами снижение практически всех витаминов антиоксидантов к 20-24 неделе беременности, что согласуется с данными других исследований [11,12]. Рост их концентрации во второй половине беременности возможен за счет повышения комплаентности пациенток к приему витаминно-минеральных комплексов.

Дефицит витамина D относится к глобальным проблемам мирового здравоохранения. При этом проживание в высоких широтах и наличие избыточной массы тела усугубляют состояние дефицитного статуса витамина D у беременных, что и обусловило результаты нашего исследования. Несмотря на саплементацию в составе витаминно-минеральных комплексов содержание холекальциферола осталось ниже нормальных значений к концу беременности.

Коррекция недостаточности витамина D регламентирована клиническими рекомендациями (Нормальная беременность: клинические рекомендации, 2020) в дозе 400 МЕ для группы высокого риска. Исследователями рассматривается возможность увеличения дозировки до 2000 – 4000 МЕ особенно у лиц, проживающих в условиях Севера, учитывая значимую роль витамина D в развитии физиологически протекающей беременности и снижении риска неблагоприятных исходов для матери и новорожденного при условии достижения концентрации циркулирующего 25(OH)D на уровне не менее 40 нг/мл [13,14,15].

**Заключение.** Вынашивание беременности в гипокомфортных условиях северного региона ХМАО-Югры у женщин с догестационной избыточной массой тела накладывает дополнительную ответственность в части соблюдения полноценного рациона питания и дотации витаминно-минеральных комплексов в целях эффективной компенсации повышенных окислительных процессов. Особенно важно проведение разъяснительной работы о необходимости прекоцепционной подготовки и начале приема витаминов в первой половине беременности. Необходимо также предусмотреть прием витамина D в дозировке, обеспечивающей компенсированное состояние, при необходимости проводить определение его содержания в сыворотке крови.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никифорова Н.А., Карапетян Т.А., Доршакова Н.В. Особенности питания жителей Севера (обзор литературы) // Экология человека. 2018. № 11. С. 20-22. DOI 10.33396/1728-0869-2018-11-20-25.
2. Никитин Ю.П., Хаснулин В.И., Гудков А.Б. Итоги деятельности Академии полярной медицины и экстремальной экологии человека за 1995-2015 года: современные проблемы северной медицины и усилия ученых по их решению // Медицина Кыргызстана. 2015. № 2. С. 8-14.
3. Rodríguez-Cano AM, Calzada-Mendoza CC, Estrada-Gutierrez G, Mendoza-Ortega JA, Perichart-Perera O. Nutrients, Mitochondrial Function, and Perinatal Health. // *Nutrients*. 2020 Jul 21;12(7):2166. doi: 10.3390/nu12072166. PMID: 32708345; PMCID: PMC7401276.
4. Rodríguez-Varela C, Labarta E. Clinical Application of Antioxidants to Improve Human Oocyte Mitochondrial Function: A Review. // *Antioxidants (Basel)*. 2020 Nov 28;9(12):1197. doi: 10.3390/antiox9121197. PMID: 33260761; PMCID: PMC7761442.
5. Gulcin İ. Antioxidants and antioxidant methods: an updated overview. // *Arch Toxicol*. 2020 Mar;94(3):651-715. doi: 10.1007/s00204-020-02689-3. Epub 2020 Mar 16. PMID: 32180036.
6. Kerver JM, Holzman CB, Tian Y, Bullen BL, Evans RW, Scott JB. Maternal Serum Antioxidants in Mid Pregnancy and Risk of Preterm Delivery and Small for Gestational Age Birth: Results from a Prospective Pregnancy Cohort. // *J Womens Health (Larchmt)*. 2021 Sep;30(9):1233-1242. doi: 10.1089/jwh.2020.8722. Epub 2021 Feb 17. PMID: 33600258; PMCID: PMC8558052.
7. Jauniaux E, Burton GJ. The role of oxidative stress in placental-related diseases of pregnancy. // *J Gynecol Obstet Biol Reprod (Paris)* 2016;45(8):775–785. doi: 10.1016/j.jgyn.2016.02.012.
8. El Sherbiny S, Squillacioti G, Colombi N, Ghelli F, Lenta E, Dalla Costa C, Bono R. The Effect of Dietary Patterns and Nutrient Intake on Oxidative Stress Levels in Pregnant Women: A Systematic Review. // *Antioxidants (Basel)*. 2023 Jul 15;12(7):1427. doi: 10.3390/antiox12071427. PMID: 37507965; PMCID: PMC10376333.
9. Miyake Y., Tanaka K., Okubo H., Sasaki S., Arakawa M. Maternal Consumption of Vegetables, Fruit, and Antioxidants during Pregnancy and Risk for Childhood Behavioral Problems. // *Nutrition*. 2020;69:110572. doi: 10.1016/j.nut.2019.110572.
10. Lyu Y, Wang G, Sun Z, Cui X, Xiu Q, Wu L. The association of maternal fat-soluble antioxidants in early pregnancy with gestational diabetes mellitus: a prospective cohort study. // *Nutr Diabetes*. 2022 Dec 9;12(1):49. doi: 10.1038/s41387-022-00227-x. PMID: 36494332; PMCID: PMC9734187.
11. Громова О.А., Торшин И.Ю., Тетруашвили Н.К., Баранов И.И., Городнова Е.А., Коденцова В.М., Коган И.Ю., Тапильская Н.И., Ярмолинская М.И., Башмакова Н.В., Мозговая Е.В., Гришина Т.Р., Лапочкина Н.П., Галустян А.Н. О перспективах использования витаминов и минералов в профилактике ранних потерь беременности. // *Акушерство и гинекология*. 2021. № 4. С.12-22. <https://dx.doi.org/10.18565/aig.2021.4.12-22>.
12. Макарова С.Г., Коденцова В.М., Ладодо О.Б., Продеус А.П., Басаргина М.А., Буцкая Т.В., Ясаков Д.С. Микронутриентный статус беременной женщины: риски, связанные с дефицитом, и методы коррекции. // *Акушерство и гинекология*. 2020. №5. С.156-164. <https://dx.doi.org/10.18565/aig.2020.5.156-164>.
13. Ших Е.В., Махова А.А., Сизова Ж.М., Ших Н.В. Витамин D в профилактике осложнений беременности и заболеваний у детей первого года жизни. // *Вопросы гинекологии, акушерства и перинатологии*. 2021. № 20(5). С.114–123. DOI: 10.20953/1726-1678-2021-5-114-12.

14. Захарова И.Н., Мальцев С.В., Зубков В.В. и др. Влияние витамина D на течение беременности и здоровье новорожденных и детей раннего возраста: современный взгляд на проблему. // РМЖ. Мать и дитя. 2020. №3(3). С.174–181. DOI: 10.32364/2618-8430-2020-3-3-174-181.
15. A. Rusinska [et al.] Vitamin D Supplementation Guidelines for General Population and Groups at Risk of Vitamin D Deficiency in Poland-Recommendations of the Polish Society of Pediatric Endocrinology and Diabetes and the Expert Panel With Participation of National Specialist Consultants and Representatives of Scientific Societies-2018 Update // Front Endocrinol (Lausanne). 2018. Vol. 9, Art. 246. P. 1-21. doi: 10.3389/fendo.2018.00246.

**СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО И  
ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ  
БЕЗОПАСНОСТИ В ПОЛЯРНЫХ И  
ПРИПОЛЯРНЫХ РЕГИОНАХ**

---

## ПРОДУКТИВНОСТЬ ПАСТБИЩНОГО ФИТОЦЕНОЗА В НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЯХ

*Вахрушева В.В., Прядильщикова Е.Н., Симонов Г.А.*

Вологодский научный центр РАН, г. Вологда, vvesnina@mail.ru

Важным резервом обеспечения крупного рогатого скота качественными и дешевыми кормами является организация культурных пастбищ. При создании и использовании пастбищных фитоценозов необходимо учитывать климатические особенности территории [1]. Глобальные изменения климата способствуют продвижению ряда сельскохозяйственных культур на север, внедрению в производство новых сортов традиционных трав, а также появлению видов с лучшими хозяйственно-полезными признаками, что заставляет постоянно совершенствовать системы кормопроизводства с учетом последних изменений [2].

С потеплением климата обычным явлением для многих регионов России стали засухи [3]. По мнению Турко С.Ю. для рационального использования пастбищ необходимо знать основные закономерности их функционирования, с одной стороны, и уметь оценивать их возможности при эксплуатации в разных почвенно-климатических условиях, с другой [4]. В своих исследованиях Иванов Д.А. установил, что возраст травостоев является основной причиной трансформации адаптивных реакций растений на природные условия агроландшафта [5].

Исследователи К.Н. Привалова, Р.Р. Каримов по результатам проведенных опытов выявили, что определяющим фактором продуктивности пастбища в условиях изменения климата в нечерноземной зоне является атмосферное увлажнение почвы. В годы с теплым и влажным вегетационным периодом продуктивность пастбища в зависимости от системы удобрений составляла от 60 до 98 ГДж/га обменной энергии (от 5 до 8 тыс. корм.ед./га). В годы с теплым и сухим вегетационным периодом продуктивность долголетнего культурного пастбища снижалась в 2,0-2,3 раза. Рекомендуют для стабилизации продуктивности долголетних пастбищ в условиях возможных изменений климата включать в пастбищные системы антропогенные факторы управления – наиболее устойчивые виды и сорта многолетних трав, ежегодное внесение минеральных удобрений, рациональный режим использования [6].

Важной частью в создании адаптивных кормовых травостоев становится всестороннее изучение и внедрение новых кормовых культур (фестулолиум). Но для долгосрочных агрофитоценозов необходимо включать в состав травосмесей и традиционные для зоны культуры (тимофеевка луговая, овсяница луговая, мятлик луговой), для удовлетворения потребностей крупного рогатого скота не только в протеине, но и в водорастворимых углеводах. Увеличение их разнообразия может повысить адаптацию к сезонным изменениям и увеличить производство высококачественных кормов [7, 8].

Целью наших исследований являлось изучение воздействия видов многолетних злаковых и бобовых трав на продуктивность пастбищных травостоев в погодных условиях Европейского Севера Российской Федерации.

**Методика и условия проведения исследования.** Полевой опыт был проведен на опытном поле СЗНИИМЛПХ, расположенном в д. Дитятьево Вологодского района. В 2017 году для посева травосмесей пастбищного использования применялись следующие культуры: фестулолиум *Festulolium* (норма высева - 6 кг/га), райграс пастбищный *Lolium perenne* (6 кг/га), тимофеевка луговая *Phleum pratense* (8 кг/га), овсяница луговая *Festuca pratensis* (12 кг/га), кострец безостый *Bromus inermis* (6 кг/га), мятлик луговой *Poa pratensis* (2 и 4 кг/га), клевер луговой *Trifolium pratense* (5 кг/га), клевер белый *Trifolium repens* (4 кг/га) в составе четырех-, пяти- и шестикомпонентных травосмесей. Достаточно распространенной для Северо-Западного региона является

трехкомпонентная травосмесь, состоящая из овсяницы луговой, тимофеевки луговой и мятлика. По этой причине она выбрана в качестве контрольного варианта. Включение в схему опыта варианта без внесения удобрений было необходимо для демонстрации роли минеральных удобрений в формировании ботанического состава и урожайности многолетних трав в агрофитоценозах.

Почва опытного участка дерново-подзолистая, среднесуглинистая. Вариантов в опыте 10, трёхкратная повторность. Размещены делянки систематически, площадь одной делянки – 11 м<sup>2</sup>. Режим использования травостоев — 4-5 циклов за сезон по принципу имитации стравливания скашиванием. Фон удобрений — в вариантах 2-10 фосфорно-калийные удобрения вносили весной в начале вегетации в дозе P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> кг/га д.в. Со второго по шестой варианты внесение азота проведено дробно: весной –N<sub>60</sub> кг/га д.в. и после первого и второго цикла использования по N<sub>30</sub> кг/га д.в. На бобово-злаковых травостоях внесение азота было проведено в два этапа весной N<sub>20</sub> кг/га д.в. и после первого цикла использования N<sub>25</sub> кг/га д.в. Для наблюдений и учёта урожайности использовались общепринятые методики ВНИИ кормов им. Вильямса.

За годы проведения научных исследований агроклиматические условия характеризовались большим разнообразием по температурному режиму и количеству поступающих осадков, тем самым оказав существенное влияние на рост, развитие, урожайность и качество травостоев.

В целом 2018 год на территории Вологодской области по температурному режиму соответствовал предыдущему 2017 году. Средние годовые температуры воздуха были на 0,8-1,3°C выше среднееголетних значений. Количество выпавших осадков составило от 542 до 782 мм, что составляет 88-117% от годовой нормы. Вегетационный период характеризуется как тёплый и влажный.

В 2019 году в Вологде средняя годовая температура воздуха составила 4,7°C, что выше нормы на 1,9°C. При этом май и июнь были теплее среднееголетних значений на фоне дефицита осадков. Отрицательные аномалии температуры воздуха (ниже нормы на 4-6,0°C) отмечались в июле и августе. В июле-августе количество выпавших осадков поднималось до 165-215% от средних многолетних значений.

Вегетационный период 2020 года отмечался неустойчивой погодой с частой сменой периодов жаркой и прохладной погоды и неравномерным распределением осадков – дефицитом в июне и обилием в мае, июле. Максимальное среднее количество осадков выпало в мае и июле (105-132 мм), что для мая составляет 203%, а для июля – 167% от нормы.

В 2021 году преобладали положительные среднемесячные аномалии температуры воздуха. Аномально жаркие периоды были отмечены в мае, июне и июле на фоне дефицита осадков. Наибольшие положительные аномалии отмечались в июне (5,1°C). В августе погода была тёплой, количество осадков составило 113 % от нормы.

Анализ погодных условий вегетационного периода показывает, что погода носит неустойчивый характер, с большими колебаниями, как по температуре воздуха, так и осадкам по годам исследований и в течение всего периода роста растений.

**Результаты исследований и их обсуждение.** На формирование урожайности исследуемых травосмесей большое влияние оказали состав травосмеси и климатические условия, что показывают значительные колебания урожайности по годам проведения эксперимента (табл. 1). Анализ урожайности сухой массы показал, что в условиях вегетационного периода 2018 года, который характеризуется, как тёплый и влажный, получена достоверная прибавка урожайности по всем вариантам опыта на удобренном фоне. В первой половине вегетационного периода 2019 года наблюдалась засушливая погода на фоне пониженного температурного режима, а во второй половине выпало избыточное количество осадков. В сложившихся условиях достоверную прибавку урожайности обеспечили шестикомпонентные травостои с включением клевера лугового и клевера ползучего, пятикомпонентный травостой с

включением в состав клевера лугового и фестулолиума. Вегетационные периоды в 2020 и 2021 году отмечены резкими колебаниями, как температуры, так и количества осадков. В данных стрессовых условиях достоверная прибавка урожайности получена на шестикомпонентных травостоях с включением клевера лугового и клевера ползучего. В целом за период исследований достоверную прибавку урожайности обеспечили шестикомпонентные травостои с включением клевера лугового и клевера ползучего, пятикомпонентный травостой с включением в состав клевера лугового и фестулолиума. Замена фестулолиума на райграс пастбищный в аналогичной смеси не обеспечила достоверной прибавки за период исследований.

Таблица 1 – Урожайность пастбищных травостоев за 2018-2021 гг., т/га

Варианты	СВ, т/га				
	2018 год	2019 год	2020 год	2021	Среднее за 4 года
1.Овсяница+тимофеевка+ мятлик	2,3	3,3	1,9	1,8	2,3
2.Овсяница+тимофеевка + мятлик (контроль)	7,0	6,0	7,0	5,6	6,4
3.Райграс+овсяница+тимофеевка+ мятлик	7,9	5,0	6,5	4,9	6,1
4.Фестулолиум+овсяница + тимофеевка+мятлик	8,7	4,8	7,3	6,1	6,7
5.Фестулолиум+райграс + овсяница +тимофеевка+ мятлик	8,5	4,6	7,1	5,2	6,4
6.Фестулолиум+райграс + овсяница +тимофеевка + мятлик	9,5	6,6	7,2	5,4	7,2
7.Райграс+овсяница+ тимофеевка +клевер+ кострец	9,0	6,8	5,2	5,2	6,6
8.Фестулолиум+ овсяница +тимофеевка + клевер + кострец безостый	9,5	7,1	5,6	5,7	7,0
9.Фестулолиум+ овсяница + тимофеевка + мятлик + клевер луговой + клевер ползучий	10,5	7,6	7,8	7,7	8,4
10.Райграс пастбищный + овсяница+ тимофеевка+ мятлик + клевер луговой+ клевер ползучий	10,1	7,6	7,5	7,4	8,2
НСР <sub>05</sub>	0,61	0,93	0,37	0,35	0,57

Исследуемые агрофитоценозы обеспечили получение корма с показателями, соответствующими зоотехническим требованиям (табл. 2). За 4 года исследований на злаковом травостое с применением удобрений продуктивность составила 5,7-6,7 т сухой массы, содержание к.ед 4,9-5,7 тыс., переваримого протеина 0,7-0,8 т, обменной энергии – 60,8-70,4 ГДж.

Бобово-злаковые травостои, включающие в себя клевера луговой и ползучий, обеспечили существенную прибавку и наибольшую урожайность сухой массы – 7,8-8,0 т, высокий выход обменной энергии 88,2-90,8 ГДж/га, сбор кормовых единиц 7,4-7,6 тыс. и переваримого протеина 1,2 т с гектара.

**Закключение.** Результаты исследований 2018-2021 гг. по выявлению продуктивности пастбищных агрофитоценозов в условиях в Европейского Севера Российской Федерации установлено, что на формирование урожайности повлияли погодно-климатические условия и видовой состав агрофитоценозов. Исследуемые травостои обеспечивали урожайность в среднем за 4 года 5,7-6,7 т/га, гарантировали

получение корма с показателями, соответствующими зоотехническим требованиям. Включение в состав травосмесей двух видов клевера лугового и ползучего, фестулолиума, обеспечило наибольшую адаптацию агрофитоценозов к неблагоприятным погодным условиям.

Таблица 2 – Продуктивность пастбищных травостоев за 2018-2021 годы

Вариант	Выход с 1 га за сезон					
	зеленая масса, т	сухая масса, т	± к контролю	к.ед, тыс.	ОЭ ГДж	ПП, т
1. Овсяница+тимopheевка+мятлик (без удобрений)	9,5	2,3	-3,8	2,0	24,0	0,2
2. Овсяница+тимopheевка+мятлик (контроль)	32,3	6,1	-	5,2	64,4	0,8
3. Райграс+овсяница+ тимopheевка+мятлик	29,8	5,7	-0,4	4,9	60,8	0,7
4. Фестулолиум+овсяница+ тимopheевка+мятлик	34,2	6,3	0,2	5,4	66,8	0,8
5. Фестулолиум+райграс+овсяница+ тимopheевка+мятлик	31,6	5,9	-0,2	5,1	62,5	0,8
6. Фестулолиум+райграс+овсяница+ тимopheевка+мятлик (Лимаги)	36,6	6,7	0,6	5,7	70,4	0,8
7. Райграс+овсяница+ тимopheевка+ клевер луговой +кострец	36,7	6,4	0,3	5,9	72,1	0,8
8. Фестулолиум+овсяница + тимopheевка+ клевер луговой+кострец	39,7	6,7	0,6	6,2	75,3	0,8
9. Фестулолиум+овсяница+ тимopheевка+ мятлик+клевер луговой+клевер ползучий	51,0	8,0	1,9	7,6	90,8	1,2
10. Райграс+овсяница+ тимopheевка+ мятлик+ клевер луговой+клевер ползучий	46,7	7,8	1,7	7,4	88,2	1,2
НСР <sub>05</sub> =0,57						

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сарайкин В.А. Методика расчета рисков отклонений температур и осадков от климатических норм при планировании выращивания сельскохозяйственных культур // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2019. № 1. С. 29-35.
2. Талипов Н.Т. Экологические аспекты подбора бобовых трав для создания пастбищных травостоев // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2009. № 11 (203). С.51-55.
3. Пряхина С.И., Гужова Е.И., Смирнова М.М. Климатические риски в сельскохозяйственном производстве и некоторые пути их преодоления // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о земле. 2011. № 2. Т. 11. С. 35-41.
4. Турко С.Ю., Трубакова К.Ю. Математическое моделирование в оптимизации использования пастбищ // Вестник БГАУ. 2017. № 2. С. 30-34.
5. Иванов Д.А., Рублюк М.В., Карасева О.В. Мониторинг влияния факторов природной среды на урожайность травостоев // Кормопроизводство. 2019. № 8. С. 10-14.

6. Привалова К.Н., Каримов Р.Р. Продуктивность долголетних пастбищных травостоев в зависимости от погодных условий // Орошаемое земледелие. 2020. № 2. С. 38-41.
7. Коновалова Н.Ю., Вахрушева В.В., Коновалова С.С. Урожайность и питательность бобово-злаковых агрофитоценозов с включением фестулолиума // Вестник АПК Верхневолжья. 2019. № 1 (45). С. 9-15.
8. Шаманин А.А., Попова Л.А. Особенности формирования злаково-бобовых травосмесей первого и второго года жизни в условиях Европейского Севера России // Аграрная наука ЕвроСеверо-Востока. 2021. Т. 22, № 3. С. 376–384.

## РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ И ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОТРАСЛЕЙ ЖИВОТНОВОДСТВА – ОСНОВЫ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ БЕЛАРУСИ

*Герман Ю.И.*

РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству», г. Жодино (Республика Беларусь), belhorses@mail.ru

Достигнутые за последние 5-7 лет в Беларуси объемы производства животноводческой продукции полностью обеспечивают внутренние потребности населения республики и экспортный потенциал. Если в 2000 году удельный вес экспортируемого молока составлял лишь 15 % от производимого в стране, то с 2009 года – более 50 % (около 3,0 млн. тонн). Также необходимо отметить, что по производству белка животного происхождения на человека в год Беларусь лидирует в мировом рейтинге, как и по производству основных видов животноводческой продукции [1].

На современном этапе развития аграрного сектора в странах мира происходит трансформация структуры производства продукции, и Беларусь, не исключение. Рассмотрим показатели производство животноводческой продукции и продуктивности сельскохозяйственных животных и птицы в республике за 2011-2023 годы, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Динамика производства животноводческой продукции и продуктивности сельскохозяйственных животных и птицы (на 1 января отчетного года)

Показатели	Годы			
	2011	2020	2022	2023
Поголовье крупного рогатого скота, тыс. голов	4151,3	4290,8	4232,4	4209,3
Поголовье коров, тыс. голов	1478,1	1492,1	1456,7	1447,3
Поголовье свиней, тыс. голов	3886,7	2853,1	2526,3	2512,6
Поголовье овец, тыс. голов	51,8	85,2	82,7	78,7
Поголовье коз, тыс. голов	72,3	57,6	53,3	52,1
Поголовье лошадей, тыс. голов	113,0	33,0	25,6	22,7
Поголовье кроликов, тыс. голов	282,0	235,1	186,3	178,4
Поголовье птицы, млн. голов	37,5	53,0	48,1	52,8
Производство молока по республике, тыс. тонн	5826,0	7509,3	7587,9	---
Производство яиц по республике, млн. шт.	2422,3	2894,8	3462,3	---
Реализация скота и птицы на убой в живой массе, тыс. тонн	1283,4	1681,1	1670,2	---
Удой молока на 1 корову, кг	4524	5314	5477	---
Среднесуточный прирост на выращивании и откорме, г:				
- крупного рогатого скота	613	600	606	---
- свиней	530	622	627	---

Производство яиц на курицу-несушку, шт.	295	298	301	---
Выращивание скота и птицы в живой массе, тыс. тонн	1445,4	1767,2	1735,6	---
в т.ч. крупного рогатого скота	607,2	632,1	622,9	---
свиней	441,9	453,1	437,8	---
птицы	396,2	681,4	671,0	---

Анализ репрезентированных таблиц показал как положительную, так и отрицательную динамику производства животноводческой продукции и продуктивности сельскохозяйственных животных и птицы. Следует подчеркнуть, что по данным Национального статистического комитета за период с 2011 по 2022 годы производство продукции сельского хозяйства увеличилось в т. ч. по молоку и реализации скота и птицы на убой в живом весе - на 23,0 %; производству яиц – на 30,0% ; производству КРС – на 2,5%; птицы – на 41,0%, производству яиц на курицу-несушку - на 2,0%, снизилось производство свинины – на 1,0%.

На сегодняшний день среднегодовая структура производства мяса в республике следующая: говядина – 36,0%, свинина – 25,0 %, мясо птицы – 39,0%.

Стоит отметить, что среднесуточные приросты крупного рогатого скота и свиней на откорме за последние два года практически не изменились (плюс 1,0%) и составили 606 и 627 г., соответственно. Следует признать, что такие показатели, на сегодняшний день, не соответствуют технологическим нормам выращивания и откорма.

Вместе с тем, агропромышленному комплексу удалось улучшить не только производственные показатели, но и выполнить задачи по поставкам собственной продукции на внешние рынки. По последним данным Национального статистического комитета Республики Беларусь, за январь-август 2023 года на экспорт было поставлено сельскохозяйственной продукции и продуктов питания, в основном животного происхождения, на сумму свыше 4,0 млрд. долларов, что превышает указанный показатель за аналогичный период 2022-го более чем на 20 %.

Необходимо подчеркнуть, что краеугольным камнем в достижении всех вышеперечисленных показателей является племенная работа с поголовьем. Обязательным элементом селекционных мероприятий является оценка производителей по качеству потомства. От точности оценки зависит эффективность селекционного процесса на основе отбора производителей. Систематическая оценка производителей позволяет использовать для репродукции животных, которые гарантировано дают потомство лучшего качества, в зависимости от выбранного направления селекции.

Следует признать, что Республика Беларусь относится к странам с успешно развивающимся животноводством, и по его развитию занимает лидирующее место среди стран СНГ. Тем не менее, имеется значительное отставание по применению интенсивных технологий производства продукции животноводства и продуктивности сельскохозяйственных животных по сравнению с высокоразвитыми странами дальнего зарубежья.

Анализируя динамику поголовья скота и птицы в сельскохозяйственных организациях республики можно заметить, что с 2011 по 2023 годы поголовье КРС увеличилось на 1,4% и составило 4209,3 тыс. голов. Однако допущено незначительное снижение поголовья коров до 1447,3 тыс. голов (минус 2,1%) при возросшем удое на 17,5 % или 5477 кг на корову. За исключением увеличения поголовья птицы на 9,0% к уровню 2022 года (диаграмма 1), в животноводческой отрасли наблюдается снижение поголовья: свиней – на 0,5%; овец – на 5,1%; коз – на 2,3%; кроликов – на 4,4%. Особенно катастрофическая ситуация сложилась в коневодстве республики, где за 12 лет поголовье сократилось в 5,0 раз и, на данный момент, составляет 22,7 тыс. голов. За 2022 год сокращение составило – 0,8%. Показатели плотности скота, представленные в таблице 2, за пять последних лет остались неизменными.

Среди основных недостатков производства продукции животноводства важнейшим является необоснованно высокие затраты кормов.

Повышение рентабельности и конкурентоспособности животноводства нашей Республики, ее продовольственной независимости возможно только путем наращивания его продуктивности, снижения издержек на производство и максимальной реализации имеющегося генетического потенциала.

Таблица 2 - Плотность скота в расчете на 100 гектаров сельскохозяйственных земель, голов

	КРС, всего		В том числе коровы		Свины (на 100 га пахотных земель)	
	на 1.01.2022	на 1.01.2023	на 1.01.2022	на 1.01.2023	на 1.01.2022	на 1.01.2023
Хозяйства всех категорий						
	52	52	18	18	45	45
Сельскохозяйственные организации						
	57	57	19	19	46	46

В животноводстве на первом месте должно быть животное и удовлетворение всех его потребностей для получения максимума отдачи. Для безупречной работы длинного механизма «агронимия – кормозаготовка – кормление и содержание животных – получение качественной продукции» нельзя выпускать из виду ни один вопрос, ни одну самую мелкую проблему. Только тогда этот механизм будет работать и приносить прибыль отрасли.

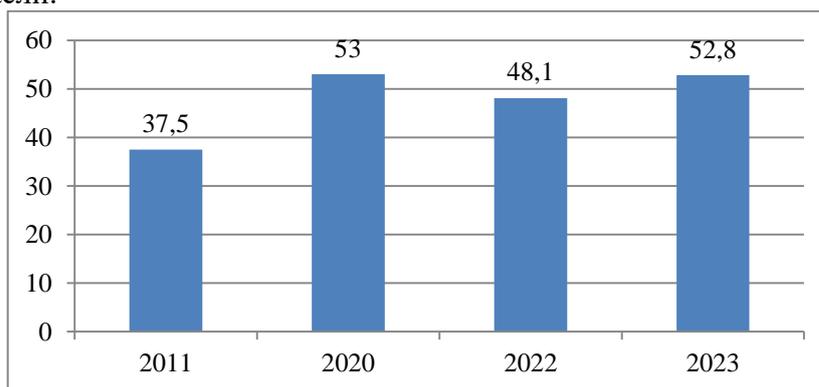


Рис.1 – Поголовье птицы, млн. голов

Следовательно, основным направлением развития животноводства на период 2019-2025 гг. должна стать экономическая составляющая получения конкурентоспособной продукции отрасли.

Дальнейшее наращивание объемов производства и повышение качественных характеристик продукции животноводства возможно только на основе передовых ресурсосберегающих технологий и новейших научных разработок, оптимизации ресурсного обеспечения отрасли. В этих целях необходимо довести удельный вес производства товарной продукции животноводства до 70 % от общей стоимости реализованной продукции сельского хозяйства. В связи с указанным, необходима разработка специальной комплексной программы дальнейшего развития комбикормовой промышленности, отвечающей современным технологическим требованиям и обеспечивающей потребности животноводства республики в соответствии с планируемыми объемами производства.

Так же одним из приоритетных направлений является развитие интенсивного кормопроизводства, гарантирующего обеспечение животноводства высококачественными сбалансированными дешевыми кормами при достижении энергетической питательности одного килограмма сухого вещества травяных кормов не

менее 10-10,5 МДж с содержанием белка на уровне 18-20 %, а энергетическая питательность кукурузного силоса должна быть не менее 0,35-0,4 к. ед.

Стоимость кормового зерна собственного производства необходимо формировать исходя из гарантированной рентабельности производства конечного продукта – молока, мяса, яиц.

Молочное скотоводство является (и будет оставаться) ведущей отраслью животноводства, где сосредоточено около 40 % производственных фондов животноводства и расходуется примерно такое же количество общих кормовых ресурсов. Это одна из немногих отраслей, позволяющая получать стабильную выручку в течение всего календарного года и от эффективности ее работы зависит экономическое состояние большинства сельскохозяйственных организаций республики и доходы сельского населения.

В соответствии с программой развития молочной отрасли к 2025 году в республике предусмотрено иметь поголовье в 1500-1600 тыс. коров молочного направления продуктивности со средним удоем 6500-6700 кг молока в год. Это позволит получить в сельскохозяйственных организациях 10000 тыс. тонн молока, что обеспечит рост его производства на 12-15 % к уровню 2020 года.

Следует подчеркнуть, что темпы увеличения численности поголовья и уровня молочной продуктивности должны быть научно обоснованы и тесно взаимосвязаны с обеспечением надлежащей кормовой базы и необходимым расширением молокоперерабатывающей отрасли. В современных условиях в основу должна быть положена экономика, а не производство ради самого производства.

Концепция дальнейшего развития молочного скотоводства республики должна заключаться в создании конкурентоспособной белорусской молочной коровы, которая была бы способна на каждые 100 кг живой массы производить 1400-1500 кг молока при затратах корма 0,8-0,85 к. ед. на 1 кг молока.

К 2025 году основное производство молока необходимо сосредоточить в 700-800 специализированных сельскохозяйственных организациях на крупных фермах по 900-1000 и более коров, в которых будет производиться не менее 70 % общего объема молока. Планируется иметь около 1000 ферм с поголовьем 1000 голов и 1000-1200 реконструированных ферм со средним размером 400-600 голов. При этом число ферм в стране сократиться в два раза, а их размер увеличится с 250 до 400-450 голов.

В мировой практике принято считать, что молочная продуктивность коров зависит на 50-60 % от уровня кормления и качества кормов, на 20-25 % - от селекционной работы и воспроизводства, на 20-25 % - от условий содержания и технологии доения.

Следовательно, корма являются определяющими в экономической эффективности производства молока и показателях продуктивности животных. При этом, с увеличением уровня продуктивности снижается удельный расход кормов на единицу продукции и резко повышаются требования к качеству кормов.

В большинстве хозяйств Беларуси около 20 % ежегодно заготавливаемых кормов относят к неклассным и только около 20-25 % к I классу. Недобор кормовых единиц из-за низкого качества этих кормов составляет 1500-1900 тыс. тонн. *Справочно: энергетическая питательность кормов II и III классов качества по сравнению с I снижается на 10-28 %, а относительно неклассных – на 40-50 %. Недобор молока при использовании низкокачественных кормов составляет 25-45 %. Чтобы компенсировать потери продукции при снижении качества кормов на один класс, требуется дополнительно расходовать 80-100 г концентратов на 1 к. ед.*

В целях кардинального решения проблемы кормопроизводства в условиях Республики Беларусь необходимо:

а) повысить эффективность использования многолетних трав и прежде всего за счет увеличения до 80 % доли бобовых культур и бобово-злаковых травосмесей в общей структуре трав. При этом выход белка увеличивается в 1,5 раза;

б) перейти на уборку травостоев в биологически оптимальные сроки, с целью получения качественных кормов, обеспечивающих конкурентоспособность молока и гарантированную рентабельность на уровне 25-30 %;

в) решить проблему белка за счет использования зернобобовых культур и рапса. За счет рапса нужно произвести около 700 тыс. тонн белкового сырья (жмых, шрот) и практически исключить ввоз в республику дорогостоящих белковых кормов импортного производства, за исключением необходимых объемов белкового сырья из сои для молодняка птицы и свиней.

Только за счет этого стоимость 1 к. ед. концентрированных кормов для птицеводства и свиноводства снизится как минимум на 30 %. Чрезвычайно важным является внедрение ресурсосберегающих технологий и решение проблем ускоренного развития интенсивного кормопроизводства, гарантирующих обеспечение животноводства высококачественными сбалансированными дешевыми кормами при обеспечении энергетической питательности одного килограмма сухого вещества травяных кормов не менее 10-10,5 МДж с содержанием белка на уровне 18-20 %. Для этого в последние годы созданы принципиально новые технологии заготовки консервированных, сочных и грубых кормов, обеспечивающие получение кормовых средств с питательной ценностью, незначительно отличающейся от исходного сырья. Их необходимо широко внедрять в практику.

В системе производства высококачественных кормов важнейшими являются следующие элементы:

- технология заготовки силоса из провяленных трав в рулонах или крупногабаритных тюках с упаковкой в самоклеющуюся полимерную пленку или пленочный рукав;

- технология заготовки сенажа и силоса из измельченной массы с упаковкой в полимерный рукав большого диаметра;

- технология заготовки прессованного сена повышенной влажности с упаковкой в самоклеющуюся пленку;

- консервирование влажного зерна методом плющения и дробления.

Для обеспечения своевременной оценки и эффективного использования высокопитательных кормов при составлении рационов необходимо восстановить сеть районных и областных лабораторий, которые осуществляли бы оценку класса качества корма не только по сухому веществу, как это происходит сейчас, но и по полному зоотехническому анализу с учетом всех показателей. Важной проблемой является возрождение структуры отрасли кормопроизводства, начиная с ввода должности ответственного заместителя руководителя в хозяйстве, районе, области, республике.

Исходя из вышеизложенного, следует подчеркнуть, что только при комплексном научном подходе в организации селекционно-племенной работы, обеспечении животных недорогими качественными кормами, а также создании необходимых условий содержания можно вывести белорусское животноводство на уровень высокоразвитых стран мира.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Повышение эффективности ведения животноводства Беларуси на основе инновационной системы развития отрасли в 2012-2015 годах / Н. А. Попков, И.П. Шейко // Зоотехническая наука Беларуси: сб. науч. тр., Жодино, 2019. Т. 47, ч. 1 С. 3-9.
2. Годовые статистические данные по животноводству [Электронный ресурс]// <http://belstat.mitgroup.ru/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/selskoe-hozyaistvo/selskoe-khozyaistvo/godovye-dannye/> - Дата доступа: 20.09.2023.

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ РЕАЛЬНОГО СЕКТОРА ЭКОНОМИКИ, НАУЧНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ И ОРГАНОВ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ВЛАСТИ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ В ЦЕЛЯХ СОЗДАНИЯ ИННОВАЦИОННОГО ПРОДУКТА ПИТАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОРЕСУРСА АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ**

*Гречаный А.Н.*

ООО «Управляющая компания «Агрохолдинг Белозорие», г. Архангельск,  
granik29@yandex.ru

Проблема улучшения качества питания с точки зрения продовольственной безопасности Арктической зоны имеет разные аспекты. Это роль агропромышленных комплексов, изменение региональных стандартов питания как по объему продовольственной корзины и составу специальных продуктов, так и их доступность для потребителей с невысокой покупательной способностью, возможности предпринимателей обеспечить такой ассортимент. В связи с этим интересен опыт по созданию и производству специальной молочной продукции. В Архангельской области разрабатывают инновационные молочные продукты, рекомендуемые жителям Арктической зоны. Проект реализуют в партнерстве промышленные предприятия региона – Агрохолдинг «Белозорие», Архангельский целлюлозно-бумажный комбинат и Архангельский опытный водорослевый комбинат – совместно с Северным (Арктическим) федеральным университетом и Северным государственным медицинским университетом, в рамках проектной работы НОЦ мирового уровня «РОССИЙСКАЯ АРКТИКА»: новые материалы, технологии и методы исследования, при поддержке Правительства Архангельской области.

Природные, антропогенные, морально-психологические и другие особенности Арктической зоны серьезным образом влияют на здоровье человека. И речь не только об экологических проблемах, но и световом режиме: длинные белые ночи летом и короткий полярный день зимой. Из-за этого в организме людей происходят значительные изменения. По мнению Любви Горбатовой, ректора Северного государственного медицинского университета (СГМУ, основан в 1932 г. как база подготовки кадров для здравоохранения Европейского Севера России), д-ра мед. наук, профессора, на здоровье человека медицина влияет лишь на 20 %, все остальные факторы – это вода, воздух, питание и социальные условия. Пример тому вахтовики, не секрет, что рацион питания в вахтовых поселках не соответствует нормативам. Вместе с тем серьезные проблемы с рационом есть и у современных поморов. Директор НИИ Арктической медицины СГМУ д-р мед. наук Галина Дегтева считает, что в наши дни корни традиционного северного питания утрачены. А ведь поморы всегда жили долго во многом благодаря пище, в которую употребляли северные ягоды, морепродукты, хвою, дикорастущие травы и растения. Современные промышленные продукты существенно отличаются от тех, что веками употребляли коренные северные народы. Развитие Арктической зоны РФ ставит новые вызовы. С конца августа 2020 г. действует Федеральный закон «О государственной поддержке предпринимательской деятельности в Арктической зоне Российской Федерации». Фактически сформирована крупнейшая в мире особая экономическая зона, занимающая 1/5 материковой территории страны, на которой находятся девять субъектов РФ, с широким набором льгот и административных преференций для резидентов. В Арктической зоне Российской Федерации сегодня реализуются приоритетные для страны проекты социально-экономического развития с привлечением значительных кадровых и трудовых ресурсов. Условия проживания и работы здесь существенно отличаются от территорий умеренных широт. В холодном климате энергозатраты повышаются на 15–30 %, происходит обезвоживание организма, возникает гипоксия из-за низкого

содержания кислорода в воздухе, пропорционально возрастает потребность в макрои микронутриентах, особенно при субкалорийном рационе. Нарушаются основные принципы рационального питания. На первый план выходят проблемы адаптации человека и качества пищевых продуктов, способствующих поддержанию здоровья и включению резервных возможностей организма. Разработкой технологий диагностики, лечения, профилактики заболеваний в условиях Севера занимается специальный раздел медицинской науки – арктическая медицина. В круг ее задач также входят поиск методов и средств восполнения пищевых нутриентов, методологическое обоснование разработки ассортимента продуктов с необходимыми функциональными свойствами. Особое внимание уделяется изучению состава и свойств местного сырья. Доступность и полезность позволяют включить в технологические цепочки сбор и переработку природных ресурсов на территориях традиционного природопользования. Курс федерального правительства на усиление интеграции науки, образования и бизнеса привел к появлению научно-образовательных центров, объединяющих ведущие университеты, научные организации и компании реального сектора экономики. На их базе выстраивается современная модель исследований и разработок, а также подготовки специалистов для решения масштабных научно-технологических задач.

Самым северным сегодня является межрегиональный НОЦ мирового уровня «Российская Арктика: новые материалы, технологии и методы исследования», ядром которого является Северный (Арктический) федеральный университет (САФУ) им. М.В. Ломоносова в Архангельске. По словам д-ра физ.-мат. наук Марата Есеева, научного руководителя НОЦ и проректора по инновационному развитию САФУ, основная цель центра – решение задач бизнеса совместно с наукой и образованием. К направлениям работы центра относится изучение жизнедеятельности человека и биоресурсов Арктической зоны.

Активным участником проектов, связанных с созданием здоровьесберегающих технологий в условиях Севера, является входящий в состав НОЦ Северный государственный медицинский университет. Любовь Горбатова, ректор СГМУ: «Жители Арктического региона России живут меньше, болеют чаще и стареют быстрее, чем их соседи в других странах, расположенных на той же географической широте. Ученые нашего университета изучают причины этого и риски, с которыми могут столкнуться северяне в будущем. В этом нам помогают методы иммунодиагностики, разработанные на базе университета». С 2021 г. университет активно сотрудничает с Агрохолдингом «Белозорие», в его состав входят сельхозпредприятия по производству молока (АО «Важское» и «Холмогорский племзавод»), завод по его переработке АО «Молоко», производство минеральной и питьевой воды. Подписано соглашение о взаимодействии по созданию эффективных продуктов питания с учетом результатов научных исследований СГМУ.

По приглашению ВУЗа агрохолдинг вошел в состав консорциума «Арктическая медицина», в котором объединены научные и образовательные организации, индустриальные партнеры из 11 регионов, в том числе производители пищевой продукции, питательных смесей, продукции из местного биосырья. Логичным продолжением стало подписание пятистороннего соглашения о сотрудничестве трех крупных предприятий Поморья – Агрохолдинга «Белозорие», Архангельского целлюлозно-бумажного комбината, Архангельского опытного водорослевого комбината – и двух ключевых вузов САФУ и СГМУ. Соглашением предусмотрены внедрение отечественных инновационных научных идей, бизнес-предложений и продуктов в рамках проекта «Научное обоснование разработки инновационных молочных продуктов для жителей Арктического региона, способствующих долголетию, на основе биоресурсов Арктики». Исследованием кисломолочных продуктов и совмещением их с водорослями занимаются профессора СГМУ д-р мед. наук Владимир Попов и д-р мед. наук Ирина Новикова, получившие грант НОЦ

«Российская Арктика: новые материалы». Участником НОЦ официально стал Агрохолдинг «Белозорие». Руководство и специалисты агрохолдинга решительно настроены на участие в проекте. Сформирована рабочая группа, которая вместе с учеными СГМУ занимается созданием и исследованием нового продукта – ацидофилина с водорослями. Для агрохолдинга участие в этом проекте дает возможность придать ценные функциональные свойства своей продукции и не только выйти в новую нишу продовольствия, но также повысить технологический и технический уровень производства. Необходимо отметить, что впоследствии к проекту присоединились ООО «Компания Зеленый город» (г. Нижний Новгород) и объединение «Водоросли групп».

Новый этап развития.

Употребление местных биоресурсов традиционно поддерживало здоровье коренного населения Поморья. Многие рецепты с добавлением водорослей были разработаны еще в прошлом веке, но внедрить удалось далеко не все. Большой потенциал участники арктического консорциума видят в изучении полезных свойств водорослей Белого моря, способствующих процессам адаптации к условиям Крайнего Севера, повышению защиты детей от респираторных вирусных заболеваний. Архангельский опытный водорослевый комбинат – единственное в России предприятие, специализирующееся на добыче и глубокой переработке морских водорослей. Здесь освоены и внедрены уникальные технологии, позволяющие выпускать медицинскую, пищевую и косметическую продукцию мирового уровня. История комбината началась в конце Первой мировой войны, когда был построен и введен в эксплуатацию завод по производству из беломорских водорослей йода для нужд фронта.

Завод АО «Молоко» начал производить ацидофилин несколько месяцев назад. В качестве основы специального продукта он выбран за свои уникальные свойства, позволяющие нормализовать микрофлору желудочно-кишечного тракта, улучшать обменные процессы, восстанавливать естественный иммунитет, подавлять патогенные и условно-патогенные бактерии. Работники отбельного цеха Архангельского ЦБК стали первыми потребителями нового продукта, который планируется создать. Изучением его влияния и подтверждением функциональных свойств будут заниматься медики из СГМУ. В перспективе возможны поставки новой продукции в соседние регионы, где, как и в Архангельской области, актуальны вопросы здоровьесбережения. Особенностью продукции АО «Молоко» являются небольшие сроки годности, поэтому транспортировать ее далеко не представляется возможным. Однако технология производства может применяться и в других районах Севера.

При поддержке властей.

Идею проекта по производству инновационной молочной продукции поддержал губернатор Архангельской области Александр Цыбульский. После того, как будет доказан положительный эффект употребления продуктов, необходимо проработать вопрос их поставки в учреждения социальной сферы, а также на предприятия с вредными условиями труда. Сегодня эти вопросы обсуждаются холдингом совместно с Министерством здравоохранения и Министерством образования региона. Инновационный проект поддерживает областное Министерство экономического развития, промышленности и науки, поскольку жителям региона нужны новые, усовершенствованные продукты питания.

Результаты сегодняшнего дня.

Специалистами АО «Молоко» был разработан стандарт предприятия СТО 00425521–019–2023 «Ацидофилин с наполнителями. Технические условия» (приложение №3 – титульный лист СТО, характеристика продукта). Продукт прошел процедуру подтверждения соответствия на соответствие требованиям Технический Регламент Таможенного Союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС

021/2011), Технический Регламент Таможенного Союза «Пищевая продукция в части ее маркировки» (ТР ТС 022/2011), Технический Регламент Таможенного Союза «О безопасности молока и молочной продукции» (ТР ТС 033/2013), Технический Регламент Таможенного Союза «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств» (ТР ТС 029/2012) и имеет декларацию о соответствии № ЕАЭС N RU Д-RU.РА04.В.29580/23 (Приложение № 4) прилагается было написано

Для производства ацидофилина с водорослями используется резервуарный способ.

Первые пробные партии продукта, получившего название Ламинобаланс, были выпущены в декабре 2022 года и были представлены для дегустации на Северном машиностроительном предприятии (г. Северодвинск), на Архангельском целлюлозно-бумажном комбинате (г.Новодвинск) на юбилейных мероприятиях в СГМУ (г. Архангельск).

20 и 21 июня 2023 года в рамках выставки Neva Buyers Week в Санкт-Петербурге Агрохолдинг «Белозорие» принял участие в конкурсе по категориям «Инновационный продукт» и «Выбор сетей», представив свою продукцию.

По результатам голосования новым инновационным продуктам ацидофилину «с наполнителем водоросли с клюквой» ТМ «Lamina Balance» присуждены ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ и СЕРЕБРЯНАЯ МЕДАЛЬ ацидофилин «с наполнителем водоросли с чесноком» ТМ «Lamina Balance» в номинации – инновации в составе продукта, за высокое качество, оригинальность и полезные свойства, копии дипломов прилагаем (Приложение № 7). Глава экспертного совета – профессор биотехнологического Университета ИТМО Александр Ишевский, давая оценку архангельской разработке, отметил, что «не мог представить возможность скрестить эти два продукта – ацидофилин и водоросли».

15 сентября 2023 вышла первая промышленная партия продукта.

На 32-ой международной выставке продуктов питания "WorldFood Moscow 2023", проходящей с 19 по 22 сентября в МВЦ "Крокус Экспо", Москва. Агрохолдинг "Белозорие" принял участие в дегустационном конкурсе. Подведены итоги конкурса "Продукт года". Трём вкуса Lamina Balance: ацидофилин с водорослями, ацидофилин с водорослями и брусникой, ацидофилин с водорослями и чесноком, по результатам голосования новым инновационным продуктам присуждена главная награда – ГРАН-ПРИ в номинации "Инновации в продуктах питания»

## **ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОСПРОИЗВОДСТВА ЛОШАДЕЙ ВЯТСКОЙ ПОРОДЫ В ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЕ РАЗВЕДЕНИЯ**

*Журавлева Ю.Д.*

Всероссийский научно-исследовательский институт коневодства, г. Рязань,  
vet.zebra@gmail.com

**Актуальность.** Проблема сохранения и совершенствования аборигенных пород лошадей является одной из важнейших не только государственных, но и народнохозяйственных задач, ведь они играют огромную роль не только в культурном наследии и традиционном укладе жизни местного населения, но и являются обладателями уникального генетического разнообразия и потенциала [1,2,3]. Одной из ценных, малочисленных северных лесных аборигенных пород лошадей является вятская, сформировавшаяся концу XVII - началу XVIII веков в северных лесах Вятского края (в настоящее время Удмуртская республика и Кировская область) [4]. В

период с 2012 по 2015 г.г. для сохранения, разведения и популяризации вятской породы на территорию Природного парка «Олений» (Липецкая область, Краснинский район) из ведущих репродукторов Кировской области и Удмуртской республики поступила первая партия лошадей. Изменение ареала обитания вятской породы путем перевоза части племенного поголовья из лесной зоны в лесостепную вызывает интерес в изучении показателей воспроизводства, как критерия оценки процесса адаптации и потенциала физиологических реакций организма лошадей. В связи с чем, **целью исследования** являлась оценка показателей воспроизводства лошадей вятской породы в условиях нетрадиционной зоны разведения.

**Материал и методы.** Исследования проводились на территории Природного парка «Олений» Липецкой области, Краснинского района, с. Никольское. Объектом исследования послужили лошади вятской породы (кобылы  $n = 47$  и жеребцы  $n = 8$ ), а также данные журнала случки-выжеребки за 2015 по 2021 г.г. Для оценки воспроизводительных качеств лошадей были рассчитаны основные показатели: зажеребляемость – отношение зажеребевших кобыл к числу их плодовых лет (%) и фактический выход жеребят – отношение количества здоровых жеребят на момент отъема к числу плодовых лет кобыл (%).

Характеристика репродуктивных качеств жеребцов-производителей представлена за 2018-2021 г.г по двум видам случки.

**Результаты исследований.** Отличительной особенностью содержания лошадей в природном парке «Олений» является применение культурно-табунной технологии с круглогодичным полу вольным содержанием [5]. Особенностью данного разведения является использование косячной случки, а для сохранения редких и ценных линий или апробации молодых жеребцов применение ваковой случки. Важнейшим критерием успешно пройденной адаптации лошадей к новой зоне и технологии разведения является уровень воспроизводства поголовья. В таблице 1 представлена сравнительная характеристика основных показателей воспроизводства маточного состава. Выявлено, что для кобыл в возрасте 4-6 лет характерны самые высокие показатели воспроизводства: зажеребляемость и фактический выход жеребят находятся на уровне  $86,5 \pm 5,71\%$ , без эмбриональных потерь.

В ходе анализа установлено, что кобылы, продуцирующие в лесостепной зоне, обладают высокой плодовитостью: среднее значение зажеребляемости составляет  $83,1 \pm 2,57\%$ , а фактический выход жеребят находится на уровне  $81,1 \pm 2,54\%$ .

Таблица 11 - Сравнительная характеристика воспроизводственных качеств маточного состава природного парка «Олений»

Возраст кобыл, лет	Кол-во кобыл	Показатели воспроизводства				
		Плодовых лет	Получено жеребят, гол	Аборты, с/р, м/р*	Зажеребело, %	Факт. выход жеребят, %
4 – 6	16	35	29	0	<b>86,5±5,71</b>	86,5±5,71
7–10	12	66	53	0	81,4±3,81	81,4±3,81
11–18	19	195	160	5	81,3±3,75	78,9±3,54
Всего	47	296	242	5	<b>83,1±2,57</b>	<b>81,1±2,54</b>

Примечание: \* с/р – слаборожденные, м/р – мертворожденные (от зажеребевших кобыл)

Значение показателей воспроизводства у кобыл из второй и третьей группы находятся практически на одном уровне с зажеребляемостью в 81,3 - 81,4 %, однако фактический выход жеребят в группе самых возрастных кобыл снизился на 2,5 %. Следовательно, можно сделать вывод, что достоверность влияния возрастного фактора на репродуктивные способности вятских кобыл природного парка «Олений» не

установлена, а высокие значения данных показателей даже у кобыл в третьей группе позволяет сделать вывод о том, что данная технология содержания не оказывает негативного влияния на репродуктивные качества маточного поголовья.

Следует отметить, что уровень зажеребляемости у кобыл из традиционной зоны разведения находится на уровне 83,6 % с деловым выходом жеребят в 78,6 % [6], благодаря чему можно сделать вывод об успешно пройденной адаптации лошадей природного парка «Олений» к новому ареалу разведения.

Проведенный впервые для вятской породы анализ воспроизводительных качеств жеребцов-производителей позволил выявить, что среднее значение фактического выхода жеребят при использовании косячной случки составляет  $88,8 \pm 0,79\%$ , а результативность варковой случки достигает 100% (таблица 2).

Таблица 12 - Сравнительная характеристика репродуктивных качеств вятских жеребцов-производителей при варковой и косячной случке

Год выжеребки	Вид случки	Жеребцы, (n)	Всего кобыл в случке, гол	Рождено жеребят, гол	Факт. выход жеребят, %
2018	Косячная	3	43	41	95,3
	Варковая	2	2	2	100,0
2019	Косячная	3	43	41	95,3
	Варковая	3	6	6	100,0
2020	Косячная	3	40	33	82,5
	Варковая	5	14	14	100,0
2021	Косячная	3	52	43	82,6
	Варковая	2	5	5	100,0
Среднее	Косячная		$44,5 \pm 0,79$	$39,5 \pm 0,71$	<b><math>88,8 \pm 0,79</math></b>
	Варковая		$6,8 \pm 2,96$	$6,8 \pm 2,96$	<b>100</b>

В случной компании 2018 и 2019 года в косячной случке использовались три жеребца-производителя линии Боба, Бурана, Добрика. Однако важно отметить, в 2020 году произошла замена одного из основных производителей на молодого и мало опытного жеребца линии Бурана за счет чего произошло снижение показателей воспроизводства, в частности фактического выхода жеребят, на 12,8 %.

Анализируя данные таблицы 2, следует отметить, что ежегодно, за счет достигнутого трехлетнего возраста ремонтного молодняка и купленных кобыл, происходило плавное увеличение числа кобыл, шедших в случку на 8,8 %, 10,2 % и 5,5 %. Технологией содержания лошадей в хозяйстве не предусмотрено предварительное стабунивание кобыл в косяки, поэтому купленных кобыл, содержащиеся ранее в конюшенных условиях, принимают в табуне очень агрессивно и отгоняют от воды, корма и жеребца, провоцируя острую стрессовую ситуацию, что на прямую оказывает негативное влияние на воспроизводственные показатели.

**Выводы.** Выявлено, что при применении в лесостепной зоне культурно-табунной технологии содержания кобылы вятской породы сохраняют высокую плодовитость: среднее значение зажеребляемости составляет  $83,1 \pm 2,57\%$  с фактическим выходом жеребят на уровне  $81,1 \pm 2,54\%$ . При этом зажеребляемость при косячной случке находится на уровне  $88,8 \pm 0,79\%$ , а при варковой достигает максимума (100%). Следовательно, изменение технологии и ареала содержания не оказало негативного влияния на репродуктивные качества вятской породы лошадей, что свидетельствует о успешно пройденной адаптации в кратчайшие сроки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Храброва Л.А., Дубровская Р.М., Калинин Л.В. и др. Генетическая характеристика местных пород лошадей России // Научно-технический бюллетень Украин. Академия наук. 2009. № 11. С. 161-165.
2. Калашников В.В., Храброва Л.А., Зайцев А.М. и др. Полиморфизм микросателлитной ДНК у лошадей заводских и локальных пород // Сельскохозяйственная биология. 2011. Т. 2. С. 41-45.
3. Маркин С.С., Зиновьева С.А., Козлов С.А. Роль лошади в сохранении крестьянства, традиционного уклада и человеческих ценностей современного российского общества // Актуальные проблемы социально-гуманитарных наук. 2020. С. 180-189.
4. Продуктивное коневодство / Под ред. Барминцева Ю.Н., Ковешникова В.С. / М.: Колос, 1980. 207 с.
5. Журавлева Ю. Д. Особенности процесса воспроизводства и выращивания лошадей вятской породы в природном парке «Олений» (ООО «Вавилово») // Коневодство иконный спорт. 2020. № 5. С. 33–35.
6. Бобкова Н.Ф. Хозяйственно-биологические особенности лошадей вятской породы. Микроэволюция, методы сохранения и совершенствования: автореф. дис. канд. с.-х. наук: 06.02.01 / Бобкова Наталия Феликсовна. – Москва, 1996. – 19 с.

## ПОКАЗАТЕЛЬ МОЧЕВИНЫ МОЛОКА КАК ИНДИКАТОР БЕЛКОВОГО ОБМЕНА И ЭФФЕКТИВНОСТИ КОРМЛЕНИЯ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

*Кондакова А.А.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лавёрова УрО РАН, г. Архангельск, [Alen.Kondakovaf@yandex.ru](mailto:Alen.Kondakovaf@yandex.ru)

За последние 10 лет определение соотношения мочевины и массовой доли белка в молоке крупного рогатого скота приобрело особое значение в выявлении дисбаланса рациона коров по энерго-протеиновому соотношению.

Неполноценное кормление ведёт к нарушению метаболизма и снижению иммунной резистентности организма животного. Вследствие чего у коров развиваются заболевания репродуктивных органов, сокращается срок хозяйственного использования. На недостаточную эффективность использования сырого протеина рациона у высокопродуктивных коров указывает повышение уровня мочевины в молоке. В результате повышается восприимчивость животного к патогенной и условно-патогенной микрофлоре.

Снижение уровня мочевины в молоке приводит к снижению воспроизводительной функции и продуктивности коров. Показатель мочевины может меняться в зависимости от возраста, клинического и физиологического состояния, периода лактации и уровня удоя коров различных молочных пород. Своевременная корректировка рациона кормления животных позволяет сохранить их здоровье, продуктивность, воспроизводство, улучшить качественные показатели молока и снизить экономические затраты на перекармливание животных протеинами.

**Цель:** представить обзор исследовательских статей за последние 10 лет об анализе соотношения мочевины и массовой доли белка молока коров, о взаимосвязи изменений этих показателей и снижении репродуктивной функции, уровня соматических клеток, а также зависимость показателя мочевины молока от рациона кормления, способов содержания и доения коров.

**Введение.** На сегодняшний день технологии позволяют исследовать молоко на содержание мочевины тест-полосками в режиме реального времени, а также в лабораторных условиях на высокоточных анализаторах молока - FoodLab, MilkoScan FT+, КомбиФосс FT++, Bentley DairySpec FT. Вовремя скорректированный рацион позволяет снизить экономические затраты на перекармливание скота протеинами, улучшить показатели продуктивности и удоя, сохранить здоровье животных. Неполноценное кормление, наоборот станет предрасполагающим фактором возникновения яловости, повышения заболеваемости коров инфекционными заболеваниями. Показатель мочевины у коров в норме варьирует от 15,0 до 30,0 мг/100 мл.

Отечественными авторами написан ряд исследовательских статей, в которых представлены результаты исследований соотношения мочевины и массовой доли белка в молоке коров холмогорской, голштинской, айрширской и чёрно-пёстрой пород, разводимых на территориях Курской, Вологодской, Тюменской и других территорий. Авторы, прослеживая взаимосвязь уровня мочевины и её изменений с сезоном года, способами содержания и доения, способами кормления, разрабатывали новые адаптивные рационы для животных, исходя из результатов анализа соотношения мочевины и белка в молоке.

Так, для контроля и управления технологическими процессами в молочном скотоводстве, а также, для оценки влияния различных факторов на качество производимого молока и его потребительскую ценность Абрамова Н.И. и ряд других авторов исследовали влияние на содержание мочевины и массовой доли белка в молоке коров сезона года, привязного и беспривязного содержания, различных способов доения животных. В результате чего был предложен технологический контроль на основе анализа молока, который является одним из ключевых инструментов в управлении производством высококачественного молока за счет своевременной корректировки рационов кормления, диагностики выявления заболеваний животных [1, 2].

1) Показатель белка ниже 3,2% при мочеvine: менее 15 мг/100мл говорит о недостатке энергии и протеина; от 15 до 30 мг/100мл – дефицит энергии; свыше 30 мг/100мл – недостаток энергии и избыток протеина.

2) Показатель белка от 3,2% до 3,6% (норма) при мочеvine: менее 15 мг/100мл говорит о недостатке протеина; от 15 до 30 мг/100мл – сбалансированное кормление; свыше 30 мг/100мл – избыток протеина.

3) Показатель белка выше 3,6% при мочеvine: менее 15 мг/100мл говорит о избытке энергии и дефиците протеина; от 15 до 30 мг/100мл – избыток энергии; свыше 30 мг/100мл – избыток энергии и избыток протеина.

Следовательно, контролируя в молоке высокопродуктивных коров соотношение мочевины и белка, можно определить, как сбалансировать рацион и сделать его экономически выгодным [1].

Ряд авторов в условиях различных регионов и у различных пород крупного рогатого скота анализировали рацион и состав молока. Они пришли к выводу, что ежемесячный анализ соотношения белка и мочевины молока характеризует сбалансированность рациона по энерго-протеиновому соотношению, позволяет корректировать рацион, повышать качество молока, продуктивность и, в то же время, снижать затраты на кормление животных [3-6].

Некоторые авторы для большей информативности исследовали и анализировали не только рацион кормления животных и молоко на содержание мочевины и массовой доли белка, но и биохимический состав крови коров [7].

Также ряд авторов приводит результаты анализа состава молока и сбалансированности рациона по энерго-протеиновому соотношению. После чего, проведя коррекцию рациона с целью приведения этих показателей к нормативным

значениям они добились улучшения качественных и количественных показателей молока [8-12].

Исследуя молочную продуктивность, состав молока и анализируя уровень кормления и содержания основных питательных веществ в рационе коров голштинской породы разводимой на территории Казахстана, Айтмуханбетов Д.К. с соавторами приходят к выводу, что использование показателей молока в качестве показателей полноты кормления эффективно, поскольку уже на начальном этапе исследований было выявлено влияние уровня сырого протеина на содержание мочевины молока, а также изменение соотношения жира и белка менее чем на 1,1:1 при высокой доле концентрированных кормов в рационе [13].

Исакова С.М. и другие авторы статей исследовали взаимосвязь динамики изменений показателей мочевины и соматических клеток в молоке коров чёрно-пёстрой породы в течении трёх месяцев. В результате проведённых исследований ими было выявлено взаимовлияние изменения уровня мочевины молока с наличием у коров воспалительных процессов в молочной железе. Также было выявлено влияние нарушения энерго-протеинового обмена на репродуктивную функцию животных [14].

**Заключение.** Таким образом ежемесячное исследование молока коров с целью анализа соотношения массовой доли белка и мочевины в молоке коров, а также рациона кормления животных позволяет выявить нарушение белкового обмена, своевременно корректировать рацион, и тем самым улучшать качественные и количественные показатели молока, снижать расходы на белковый перекорм животных.

Повышение уровня мочевины в молоке свидетельствует о недостаточной эффективности использования сырого протеина рациона коровами с высокими показателями продуктивности. Как следствие снижается резистентность организма к патогенной и условно-патогенной микрофлоре.

Снижение уровня мочевины ведёт к снижению репродуктивной функции и молочной продуктивности коров. Также на показатель мочевины в молоке коров влияют возраст, состояние здоровья, период лактации и уровень удоя, сезон года, технология кормления, способ содержания и доения, концентрация поголовья и другие производственные факторы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихомиров И.А. Современные методы контроля и управления технологическими процессами производства высококачественного молока // Вестник ВНИИМЖ, №3(31). 2018. С.163-168.
2. Абрамова Н.И., Сереброва И.С., Иванова Д.А. Влияние сезона года на массовую долю белка и мочевины в молоке коров черно-пестрой породы при различных способах содержания и технологиях доения // Молочнохозяйственный вестник. 2017, №4(28). С.10-17.
3. Талызина Т.Л., Нуриев Г.Г., Талызин В.В. Показатели белкового обмена у молочных коров в разные периоды лактации // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. №2(66). 2018. С.61-64.
4. Скоркин В.К., Ларкин Д.К., Рахманова Т.А. Исследования показателей качества молока от коров разных ферм // Ежеквартальный научный журнал «Вестник ВНИИМЖ» №2(30), 2018. С.113-118.
5. Болгов А.Е., Комлык И.П., Гришина Н.В. Вариабельность и взаимосвязь пищевых и индикаторных показателей молока коров айрширской породы // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. №54. 2019. С.92-97;
6. Часовщикова М.А., Губанов М.В. Мониторинг качества молока при контрольном доении коров в племенных хозяйствах Тюменской области // Вестник КрасГАУ. 2021. № 9. С.132-137.

7. Иванова И.Е., Хамидуллина А.Ш., Иванова А.С. Влияние кормления на биохимический статус крови и качество молока в СПК «Таволжан» Тюменской области // Вестник КрасГАУ, №12. 2021. С.149-155.
8. Романенко Л.В., Волгин В.И., Федорова З.Л., Корочкина Е.А. Мочевина крови и молока у коров с продуктивностью свыше 9500 кг молока // Генетика и разведение животных. №4. 2017. С.12-20.
9. Сивкин Н.В., Карпов А.П., Гладырь Е.А., Гусев И.В. Состав молока в оценке полноценности кормления новотельных черно-пестрых коров // Достижение науки и техники АПК, №3, 2013. С.20-22.
10. Белякова А.Н., Богданова Т.В., Букаров Н.Г. Мониторинг состава молока при контрольном доении коров // Молочное и мясное скотоводство. №2. 2014.С.8-9.
11. Назаренко А.И., Букарова Н.Г. Показатели состава молока – индикаторы эффективного кормления коров // Молочное и мясное скотоводство, №4. – 2-14. С.27-28.
12. Макар З.Н. Влияние разного уровня в рационе источников труднораспадаемого в рубце протеина и крахмала на продукцию молочного белка у коров // Проблемы биологии продуктивных животных. №2. 2015. С.59-66.
13. Айтмуханбетов Д.К., Бостанова С.К., Валиева М.Ф., Шарипова Г. Влияние кормления молочных коров на содержание мочевины в молоке // Вестник науки казахского агротехнического университета имени С.Сейфуллина.- №3(110). 2021. С.4-10.
14. Исакова М.Н., Ряпосова М.В., Сивкова У.В. Определение мочевины в молоке высокопродуктивных коров – прогностический маркер развития мастита // Животноводство и производство. 2021 №3. С. 147-154.

## **ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АРКТИЧЕСКИХ КЛУБЕНЬКОВЫХ БАКТЕРИЙ ПРИ СОЗДАНИИ ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫХ ПАСТБИЩНЫХ АГРОФИТОЦЕНОЗОВ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА**

*Кузнецова И.Г.<sup>1</sup>, Карлов Д.С.<sup>1</sup>, Сазанова А.Л.<sup>1</sup>, Гуро П.В.<sup>1</sup>, Тихомирова Н.Ю.<sup>1</sup>,  
Поспелов И.Н.<sup>2</sup>, Поспелова Е.Б.<sup>3</sup>, Алехина И.А.<sup>4</sup>, Белимов А.А.<sup>1</sup>, Сафронова В.И.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Всероссийский институт сельскохозяйственной микробиологии, г. Санкт-Петербург, ds.karlov@arriam.ru

<sup>2</sup>Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова РАН, г. Москва

<sup>3</sup>ФГБУ «Заповедники Таймыра», г. Норильск

<sup>4</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург

Формирование высокопродуктивных пастбищных фитоценозов, основу которых составляют бобовые растения, образующие азотфиксирующий симбиоз с клубеньковыми бактериями, является необходимым условием распространения и устойчивого роста численности травоядных сельскохозяйственных животных в условиях изменения климата и кардинальной перестройки растительных экосистем в Арктике [1]. В тоже время, животноводство почти всех областей и природных зон Арктики испытывает недостаток в кормовых ресурсах, поскольку интенсивный выпас на ограниченных территориях и медленное самовосстановление приводит к неминуемой деградации пастбищных кормовых угодий [2,3]. Клубеньковые бактерии арктических широт являются уникальным генофондом, обладающим значительным потенциалом для формирования высокопродуктивных пастбищных и сенокосных агроценозов, способствующих увеличению кормовой базы для сельскохозяйственных животных на арктических территориях России. Однако вопросы биоразнообразия клубеньковых

бактерий Арктики и эффективность их симбиотического взаимодействия с бобовыми растениями в настоящее время остаются в России практически не изученными.

Целью работы было создание коллекции микросимбионтов диких сородичей кормовых и дикорастущих бобовых растений *Lathyrus pratensis*, *Vicia cracca*, *Trifolium repens* и *Astragalus schelichowii*, собранных нами в ходе научной экспедиции в окрестностях г. Норильска (Красноярский край); определение таксономического положения штаммов с помощью секвенирования последовательностей 16S рДНК и ITS региона, а также поиск симбиотических коровых генов *nodA* и *nodC*, наличие которых может свидетельствовать о потенциальной способности изолятов образовывать клубеньки на корнях бобовых растений.

Всего из четырех видов бобовых было выделено 19 бактериальных изолятов. На основании секвенирования и анализа гена 16S рРНК была показана принадлежность изолятов к трем родам порядка *Hyphomicrobiales* (ранее *Rhizobiales*): *Rhizobium* (сем. *Rhizobiaceae*), *Bosea* (сем. *Boseaceae*) и *Tardiphaga* (сем. *Bradyrhizobiaceae*) (табл. 1). С помощью секвенирования ITS-региона была уточнена видовая принадлежность 8 быстрорастущих ризобийных изолятов. Так, изоляты, выделенные из клубеньков *V. cracca* были идентифицированы как *Rhizobium herbae*. Изоляты *T. repens* были отнесены к *Rhizobium* sp. и *R. beringeri*, тогда как изоляты *L. pratensis* были идентифицированы как *R. herbae* и *R. beringeri*. Симбиотические гены *nodA* и *nodC* были обнаружены у штаммов *Rhizobium* sp. P8/5-2, P9/1-1 и P9/3-2, выделенных из клубеньков *L. pratensis* и *T. repens*, тогда как у штаммов *Rhizobium* sp. P7/3-1, P7/4-1 и P7/5-1, выделенных из клубеньков *V. cracca*, был выявлен только ген *nodA*. Отрицательные результаты амплификации *nodA* и *nodC* генов у некоторых ризобийных изолятов могут быть связаны как с непосредственным отсутствием целевых генов, так и с их отличительной структурой. Изучение способности селектированных штаммов формировать азотфиксирующий симбиоз с растениями-хозяевами будет проведено в условиях стерильного микровегетационного опыта.

Таблица 1 . Изоляты, выделенные из клубеньков бобовых *V. cracca*, *L. pratensis*, *T. repens* и *A. schelichowii*, собранных в окрестностях г. Норильска (Красноярский край)

Номер штамма	Растение-хозяин	Ближайший типовой штамм	Сходство по гену 16S рРНК, %	Результат идентификации
P7/1-1	<i>Vicia cracca</i>	<i>Rhizobium herbae</i> ССBAU 83011	100	<i>Rhizobium herbae</i>
P7/2-2		<i>Rhizobium herbae</i> ССBAU 83011 <i>Pararhizobium polonicum</i> F5.1	100	<i>Rhizobium herbae</i>
P7/3-1		<i>Rhizobium herbae</i> ССBAU 83011 <i>Pararhizobium polonicum</i> F5.1	100	<i>Rhizobium herbae</i>
P7/3-2		<i>Bosea psychrotolerans</i> 1131	99.85	<i>Bosea psychrotolerans</i>
P7/4-1		<i>Rhizobium herbae</i> ССBAU 83011 <i>Pararhizobium polonicum</i> F5.1	100	<i>Rhizobium herbae</i>
P7/4-3		<i>Bosea psychrotolerans</i> 1131	99.93	<i>Bosea psychrotolerans</i>
P7/5-1		<i>Rhizobium herbae</i> ССBAU 83011	100	<i>Rhizobium herbae</i>
P7/5-2		<i>Bosea psychrotolerans</i> 1131	99.93	<i>Bosea psychrotolerans</i>
P8/1-1		<i>Lathyrus pratensis</i>	<i>Rhizobium herbae</i> ССBAU 83011	100
P8/5-2	<i>Rhizobium beringeri</i> SM51		100	<i>Rhizobium beringeri</i>
P9/1-1	<i>Trifolium repens</i>	<i>Rhizobium beringeri</i> SM51	100	<i>Rhizobium beringeri</i>
P9/3-2		<i>R. indicum</i> JKLM 12A2, <i>R. laguerreae</i> FB206, <i>R. sophorae</i> LMG 27901, <i>R. leguminosarum</i> bv. <i>viciae</i> USDA2370	100	<i>Rhizobium</i> sp.
P22/2-5		<i>Bosea lathyri</i> R-46060	99.28	<i>Bosea</i> sp.
P22/2-6		<i>Bosea lathyri</i> R-46060	100	<i>Bosea lathyri</i>

P22/3-1	Astragalus schelichowii	<i>Bosea vaviloviae</i> Vaf-18	99.93	<i>Bosea vaviloviae</i>
P22/3-4		<i>Bosea lathyri</i> R-46060	99.14	<i>Bosea sp.</i>
P22/3-5		<i>Tardiphaga robiniae</i> R-45977	99.93	<i>Tardiphaga robiniae</i>
P22/4-2		<i>Bosea vaviloviae</i> Vaf-18	99.93	<i>Bosea vaviloviae</i>
P22/5-1		<i>Bosea vaviloviae</i> Vaf-18	99.93	<i>Bosea vaviloviae</i>

Девять из десяти медленно растущих изолятов было отнесено к роду *Bosea*. Три изолята из клубеньков *V. cracca* были отнесены к виду *Bosea psychrotolerans*. Шесть изолятов из клубеньков *A. schelichowii* были идентифицированы как *B. vaviloviae*, *B. lathyri* и *Bosea sp.* Несмотря на частое выделение представителей *Bosea* из клубеньков различных видов растений семейства *Fabaceae*, способность этих штаммов к самостоятельному формированию клубеньков до сих пор не доказана. Изолят, выделенный из клубенька *A. schelichowii*, был отнесен к виду *Tardiphaga robiniae*. Одновременное присутствие штаммов, относящихся к разным таксонам порядка *Hyphomicrobiales*, в клубеньках *V. cracca* и *A. schelichowii* (табл. 1) подтверждает предположение, что симбиотические системы бобовых растений могут быть многокомпонентными, в результате чего, создаются предпосылки для эффективного обмена генетическим материалом между микросимбионтами, совместно обитающими в корневых клубеньках. Не давно, в работах Сафроновой с соавт. была показана возможность ризобиальной синергии для таксономически разных штаммов [4, 5].

Таким образом, расширение знаний о разнообразии арктических ризобий позволит выявить наиболее эффективные азотфиксирующие штаммы, специально адаптированные к местным экстремальным условиям. Исследование будет способствовать мобилизации и сохранению генетических ресурсов арктических клубеньковых бактерий, обладающих огромным потенциалом использования при сельскохозяйственном освоении северных территорий России.

*Исследования проведены при финансовой поддержке РНФ, проект № 20-76-10042-П «Изучения генетических ресурсов полезных почвенных микроорганизмов Арктических регионов России в связи с изменением климата и перспективами расширения ареала сельскохозяйственных угодий на Север».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карлов Д.С., Гуро П.В., Сазанова А.Л. И.Г. Кузнецова, Н.Ю. Тихомирова, Лашинский Н.Н., Павлов И.С., Белимов А.А., Сафронова В.И. Генетическое разнообразие и симбиотическая эффективность микросимбионтов чины болотной (*Lathyrus palustris* L.) и горошка мышиноного (*Vicia cracca* L.), произрастающих в Арктической Якутии. Сельскохозяйственная биология, 2023, том 58, № 3, с. 403-415. doi: 10.15389/agrobiology.2023.3.403rus
2. Байкалова, Л. П. Сезонные изменения питания северных оленей в связи с состоянием кормовых угодий Арктики / Л. П. Байкалова, П. С. Сибирякова // Арктика 2018: международное сотрудничество, экология и безопасность, инновационные технологии и логистика, правовое регулирование, история и современность: Материалы международной научно-практической конференции, Красноярск, 16–17 мая 2018 года. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2018. С. 27-34.
3. Котелина Н.С., Арчегова И.Б., Романов Г.Г., Турубанова Л.П. Особенности природопользования и перспективы природовосстановления на Крайнем Севере России. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. - 148 с.
4. Safronova V.I., Belimov A.A., Sazanova A.L., Chirak E.R., Verkhovzina A.V., Kuznetsova I.G., Andronov E.E., Puhalsky J.V., Tikhonovich I.A. Taxonomically different co-microsymbionts of a relict legume, *Oxytropis popoviana*, have complementary sets of symbiotic genes and together increase the efficiency of plant nodulation, *Mol. Plant. Microbe. Interact.*, 2018, vol. 31, p. 833. <https://doi.org/10.1094/MPMI-01-18-0011-R>

5. Safronova V., Sazanova A., Belimov A., Guro P., Kuznetsova I., Karlov D., Chirak E., Yuzikhin O., Verkhovina A., Afonin A., Tikhonovich I. Synergy between rhizobial co-microsymbionts leads to an increase in the efficiency of plant-microbe interactions, *Microorganisms*, 2023, vol. 11, p. 1206. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11051206>

## ОСЕВЕРЕНИЕ САДОВОДСТВА: ОПЫТ СОТРУДНИЧЕСТВА ЮУНИИСК С ПОСВИР

Кутенева И.Е.<sup>1</sup>, Гасымов Ф.М.<sup>1</sup>, Нохрин Д.Ю.<sup>1</sup>, Давыдова Н.А.<sup>1</sup>, Михайлова И.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН, г. Екатеринбург, [info@uuniisk.ru](mailto:info@uuniisk.ru)

<sup>2</sup>Полярная опытная станция - филиал Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Николая Ивановича Вавилова, г. Апатиты

**Введение.** Глобальное потепление климата с усилением засушливости способствует смещению зон рискованного земледелия на север; вообще осевшение – естественный процесс в российском садоводстве и земледелии, так как треть территории нашей страны – Арктика [1. с. 235-241].

**Целью** работы является осевшение садоводства путем продвижения лучших ягодных культур селекции Южно-Уральского научно-исследовательского института садоводства и картофелеводства (далее - ЮУНИИСК) на Полярную опытную станцию - филиал Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Николая Ивановича Вавилова (далее - ПОСВИР).

**Методы и результаты исследования.** Мурманская область, где расположена ПОСВИР (г. Апатиты), находится целиком за Полярным кругом [2, с. 43-44], однако XX-XXI вв. знаменуются на Кольском п-ове значительным потеплением климата [3, с. 33-38]. Фонд растений ПОСВИР содержит 208 видов, 90 культурных форм и сортов из 53 семейств [4, с. 7-16]. На ПОСВИР проводилось изучение земляники (44 образца) [5, с. 180-182], жимолости синей (26 образцов) [6, с. 35-37], кормовых культур [7, с. 113], (козлятник восточный, люцерна изменчивая и серповидная, лядвенец рогатый, донник белый) [8, с. 122-131], бахчевых культур (тыквы, арбузы, дыни), в планах эксперимент по выращиванию винограда и киви [9, с. 79-80], [5, с. 180-182].

**Обмен сортами растений.** Совместная работа ЮУНИИСК и ПОСВИР ведется с 2020 года, в 2021 году были намечены ключевые направления сотрудничества.

В 2022 году ПОСВИР были переданы черенки смородины черной селекции ЮУНИИСК (сорта: Венера, Жемчужина, Зюраткуль, Маяк, Пигмей, Подарок Ильиной, Русалка, Сибилла и Сударушка). Нашей целью было сортоизучение районированных сортов Южного Урала в Арктическом климате. В 2023 году ЮУНИИСК отправил в командировку за Полярный круг младшего научного сотрудника Кутеневу И.Е., и на Полярную станцию были доставлены саженцы черной смородины селекции ЮУНИИСК (сорта: Киалим, Зюраткуль, Венера и Пигмей). Районированные сорта Южного Урала отличаются крупноплодностью и сладким вкусом плодов, что представляет интерес для северной селекции, однако данные сорта приспособлены к неблагоприятным климатическим условиям, в частности умеренно и резко континентальному климату Южного Урала, низким зимним температурам, высокому природному радиационному фону Уральских гор и химическому загрязнению Челябинской области.

В результате командировки 2023 г. в отдел садоводства ЮУНИИСК были доставлены образцы ягодных культур ПОСВИР, в частности черная смородина сортов Кольский сувенир, Имандра, Сюрприз Елсаковой и дикорастущие формы черной

смородины. Северные сорта черной смородины представляют интерес для Южного Урала, так как у всех районированных уральских сортов отмечается подмерзание, особенно при возвратных заморозках. Также интересны сорта ПОСВИР, выведенные от сортов черной смородины скандинавской селекции (например, Кольский сувенир, полученный от скрещивания сортов Имандра и Nietala), так как скандинавские сорта пригодны к механизированной уборке (высокая зимостойкость, прямостоячий стебель, скороплодность, устойчивость к грибным заболеваниям).

Осенью 2023 года планируется начать обмен дикорастущими растениями между ПОСВИР и ЮУНИИСК, ПОСВИР передаст образцы морошки, княженики, черники, брусники, клюквы и голубики, а ЮУНИИСК отправит на Север дикорастущие грушу и яблоню. Таким образом, осевшение садоводства повлияет на развитие северных регионов, в перспективе позволит им перейти на самообеспечение плодово-ягодной продукцией и поспособствует озеленению городов за Полярный кругом. В свою очередь северные сорта привнесут в селекцию Южного Урала качества зимостойкости и пригодности к механизированной уборке.

Относительно климатических условий Мурманской области, стоит отметить, что атмосферная циркуляция на Кольском полуострове имеет муссонный характер: зимой преобладают юго-западные ветры с материка, летом – северо-восточные с Баренцева моря [10, с. 41-50].

*Анализ воды.* Наиболее значимым водоёмом Кольского полуострова является озеро Экостровская Имандра. Питание подземных вод полуострова осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков. В поверхностных и в подземных водах содержание кремния соразмерно содержанию кальция, и значительно превышает концентрации натрия, магния и калия [11, с. 177-188]. В рамках направления исследований УрФАНИЦ УрО РАН по анализу качества воды для целей орошения в лаборатории ЮУНИИСК – филиале УрФАНИЦ УрО РАН был изучен химический состав и качество воды из 4-х водоисточников, расположенных в окрестностях Полярной опытной станции (г. Апатиты): родник 1 (близ аэропорта Хибин), родник 2 (по ул. Сидоренко), водопровод г. Апатиты и оз. Экостровская Имандра (берег у Полярной опытной станции, поверхностный горизонт, подлёдный период). Вода была проанализирована на 27 показателей, включая: общие и органолептические показатели, главные ионы, биогенное и органическое вещество, микроэлементы. Данные по минерализации (в г/дм<sup>3</sup>), соотношению главных ионов (в % эквивалентной концентрации) и водородному показателю представлены в таблице в виде формулы Курлова. Для всех образцов была характерна слабокислая или нейтральная реакция, а минерализация трёх из них была очень низка (по классификации И.К. Зайцева менее 0,1 г/л – «весьма пресная») и приближалась к таковой атмосферных осадков. Исследование воды произведено по следующим показателям: вкус, водород, жесткость общая, запах 20°С и 60°С, минерализация: сухой остаток и сумма ионов (tds), мутность, цветность, щёлочность общая, эл. проводимость уд., гидрокарбонаты, калий, кальций, карбонаты, магний, натрий, сульфаты, хлориды, аммония ион, нитриты, нитраты, фосфаты, окисляемость перманганатная, барий, железо, кремний, стронций, фтор, фториды; согласно нормативным документам (ГОСТ 3351-74, ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97 (2004), ГОСТ 31865-2012, ГОСТ 31869-2012, ГОСТ 3351-74, ГОСТ 18164-72, ГОСТ 27065-86, ГОСТ 3351-74, ГОСТ Р 52769-2007, ГОСТ 31957-2012, РД 52.24.495-2005, ГОСТ 31957-2012, ГОСТ 31869-2012, ГОСТ 31869-2012, ГОСТ 31957-2012, ГОСТ 31869-2012, ГОСТ 31869-2012, ПНД Ф 14.1:2:4.157-99 (2013), ПНД Ф 14.1:2:4.157-99 (2013), ГОСТ 31869-2012, ПНД Ф 14.1:2:4.157-99 (2013), ПНД Ф 14.1:2:4.157-99 (2013), ПНД Ф 14.1:2:4.157-99 (2013), ПНД Ф 14.1:2:4.154-99 (2012), ГОСТ 31869-2012, ПНД Ф 14.1:2:4.50-96 (2011), ПНД Ф 14.1:2:4.215-06, ГОСТ 31869-2012, ПНД Ф 14.1:2:4.157-99 (2013), СанПиН 2.1.4.1175-02, ГН 2.1.5.1315-03) (табл.1).

По четырём из пяти показателей качества вода всех образцов имела I (неопасный) класс качества. В двух образцах, за счёт повышенной доли натрия в составе, по риску натриевого осолонцевания был установлен II (малоопасный) и III (умеренно опасный) класс качества. Однако, учитывая минимальное общее солесодержание, такой риск является скорее потенциальным, поскольку может реализоваться только в условиях закрытого грунта и легко устраняется внесением содержащих кальций препаратов в минимальных концентрациях. К таким препаратом относится, например, кальциевая селитра, изучаемая в ЮУНИИСК в отделе картофелеводства [13, с. 4-11]. Таким образом, в целом, следует признать высокое качество воды изученных образцов, которое не должно создавать проблем для нормального обеспечения влагой растений на территории Полярной опытной станции.

Таблица 1 – Состав и качество воды для орошения в окрестностях ПОСВИР на 12.02.2023 г.

Объект	Формула Курлова	Категория согласно риску*				
		а	б	в	г	д
Родник 1	$M_{0,048} \frac{HCO_3^- 77 SO_4^{2-} 6 Cl^- 5}{Ca^{2+} 46 Na^+ 22 Mg^{+} 20 K^+ 5} pH 6,3$	I	I	I	I	I
Родник 2	$M_{0,259} \frac{HCO_3^- 75 Cl^- 13 SO_4^{2-} 11}{Ca^{2+} 71 Na^+ 19 Mg^{+} 7} pH 7,5$	I	I	I	I	I
Водопровод	$M_{0,084} \frac{HCO_3^- 46 SO_4^{2-} 34 Cl^- 16}{Na^+ 54 Ca^{2+} 27 Mg^{+} 11} pH 7,3$	I	I	III	I	I
оз. Имандра	$M_{0,024} \frac{HCO_3^- 79 SO_4^{2-} 12}{Ca^{2+} 39 Mg^{+} 24 Na^+ 24 K^+ 6} pH 6,3$	I	I	II	I	I

\* Риск: а – минерализация, б – хлоридное засоление, в – натриевое осолонцевание, г – магниевое осолонцевание, д – содообразование [12, с. 1-141]

*Анализ почвы.* Мурманская область – промышленно развитый регион, что связано с разработкой месторождений полезных ископаемых: железных, медно-никелевых, лопаритовых, апатито-нефелиновых руд, слюды, керамического сырья, облицовочного камня и т.д. промышленными комплексами АО «Апатит», Кольская ГМК, ООО «Ловозёрский ГОК» и др. [14, с. 64-70] На Кольском полуострове выделены 12 типов почв, которые объединяются в 6 отделов и 3 ствола. Различие в соотношении тепла и влаги обуславливает проявление широтной и вертикальной зональности, имеются интразональные и аazonальные почвы [15, с. 39-51]. Почвенный покров Кольского полуострова включает иллювиально-гумусовые подзолы, тундровые иллювиально-гумусовые оподзоленные почвы и подбуры, олиготрофные и эутрофные торфяники [10, с. 41-50]. В результате командировки проведен отбор 11 образцов почвы Кольского полуострова, она будет проанализирована на 8 показателей для оценки уровня плодородия. В частности, определяются следующие показатели: аммоний обменный, водородный показатель водной вытяжки, водородный показатель солевой вытяжки, калий подвижный по Чирикову, магний обменный, нитраты, фосфор подвижный по Чирикову, удельная электрическая проводимость; согласно ГОСТ (ГОСТ 26489-85, ГОСТ 26423-85, ГОСТ 26423-85, ГОСТ 26204-91, ГОСТ 26487-85, ГОСТ 26951-86, ГОСТ 26204-91, ГОСТ 26423-85).

**Выводы:** Таким образом, можно сделать заключение о том, что работа по осеверению садоводства и озеленению Арктики имеет значительные перспективы и реально осуществима в ближайшем будущем.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сысуев В.А. Научные приоритеты осеверения сельскохозяйственного производства России // В сборнике: Биологические основы защиты растений. сборник научных трудов по материалам Жученковских чтений VII. Федеральный научный центр биологической защиты растений. Краснодар, 2022. С. 235-241.
2. Жигадло Т.Э., Травина С.Н. Результаты изучения коллекции генетических ресурсов растений ВИР. Картофель в условиях Мурманской области // Проблемы современной науки и образования. 2018. №6 (126). С. 43-44.
3. Демин В.И. Оценка пространственной неоднородности климата на Кольском полуострове // Математические исследования в естественных науках. 2015. №12. С. 33-38.
4. Бабкова А.С. Коллекция цветочно-декоративных растений Полярной опытной станции филиала ВИР // Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2021. № 2 (159). С. 7-16.
5. Мартынова А.А. Зимостойкость растений земляники и ее влияние на продуктивность в условиях заполярья европейской части России // В сборнике: Проблемы агроэкологии и адаптивность сортов в современном садоводстве России. Материалы международной научно-практической конференции. 2008. С. 180-182.
6. Сухарева Л.В. Результаты изучения коллекции жимолости синей в условиях Мурманской области // Вестник науки и образования. 2018. Т.1. №8 (44). С. 35-37.
7. Михайлова И.В. Интродукция малораспространенных многолетних кормовых культур на Кольском полуострове // В сборнике: Кормопроизводство в условиях Севера: проблемы и пути их решения. Материалы Международной конференции. Петрозаводск, 2007. С. 113.
8. Михайлова И.В., Хвостова А.Б., Малышев Л.Л. Сравнительный анализ кормовых бобовых культур в условиях Мурманской области // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т. 183. № 4. С. 122-131.
9. Седова Ю.Г. Российские селекционеры вырастили арбузы для Заполярья // Аграрная наука. 2021. № 3. С. 79-80.
10. Величкин В.И., Кузьменкова Н.В., Кошелева Н.Е., Мирошников А.Ю., Асадуллин Э.Э., Воробьева Т.А. Оценка эколого-геохимического состояния почв на северо-западе Кольского полуострова // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2012. №1. С. 41-50.
11. Гусева Н.В., Воробьева Д.А., Евтюгина З.А. Особенности взаимодействия в системе вода-порода на территории водосбора озера Имандра (Кольский полуостров) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331. №8. С. 177-188.
12. Руководству по контролю и регулированию почвенного плодородия орошаемых земель / под ред. В. Н. Щедрина. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2017. 141 с.
13. Васильев А.А., Нохрин Д.Ю., Давыдова Н.А. Влияние кальциевой селитры на продуктивность картофеля и состояние почвы в лесостепи Челябинской области // Аграрный научный журнал. 2023. № 6. С. 4-11. DOI: 10.28983/asj.y2023i6pp4-11
14. Воробьевская Е.Л., Седова Н.Б., Слипенчук М.В., Цымбал М.Н. Геоэкологические исследования снега и поверхностных вод в зимний период в центральной части Кольского полуострова // Теоретическая и прикладная экология. 2020. №1. С. 64-70.
15. Федорец Н.Г., Бахмет О.Н. Особенности формирования почв и почвенного покрова Карело-Кольского региона // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2016. №12. С. 39-51.

## О ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННОЙ РЫБОВОДНОЙ ПРОДУКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛЬНЯНОГО И РЫЖИКОВОГО МАСЕЛ В КАЧЕСТВЕ ЗАМЕНИТЕЛЯ РЫБЬЕГО ЖИРА В КОРМАХ ДЛЯ РЫБ

Лютиков А.А.<sup>1</sup>, Остроумова И.Н.<sup>1</sup>, Баскакова Ю.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ “Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии” (“ГосНИОРХ” им. Л. С. Берга), г. Санкт-Петербург, tokmo@mail.ru

<sup>2</sup> ФГБНУ “Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии” (“ВНИРО”), г. Москва

Омега-3 жирные кислоты являются незаменимым фактором в питании человека, особенно при проживании в экстремальных условиях Крайнего Севера. Одной из приспособительных реакций у коренных северян является формирование так называемого «полярного метаболического типа» [1], обеспечивающего переход на иной, более интенсивный уровень энергообеспечения, чем у жителей умеренных широт [2]. Повышенный метаболизм на фоне традиционного потребления жирной пищи указывает на ведущую роль липидов (фосфолипидов, полиеновых жирных кислот и холестерина) в адаптации к низким температурам окружающей среды [3]. Одним из основных источников липидов для коренных народов Севера традиционно выступала рыба [4]. Однако в последнее время промысел ценных видов рыб на Севере сильно ограничен в связи с истощением их естественных запасов, а ухудшение среды обитания гидробионтов, связанное с загрязнением от хозяйственной деятельности человека, приводит к снижению питательной ценности рыб – уменьшению полиненасыщенных жирных кислот и повышению моноеновых [5]. Все это в комплексе с изменениями в социальной сфере у жителей северных регионов приводит к смене структуры питания от белково-липидной к углеводно-липидной, с преобладанием в диете насыщенных жиров, что, по мнению некоторых авторов, увеличивает риск развития ожирения и сердечно-сосудистых заболеваний [6, 7].

Таким образом, актуальной представляется разработка технологии производства функциональных продуктов с высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот (особенно эйкозапентаеновой (ЭПК) и докозагексаеновой (ДГК)), отвечающих пищевым потребностям северян. В последнее время одним из основных продуцентов длинноцепочечных ПНЖК в сельском хозяйстве все чаще рассматривается аквакультура [8]. Это объясняется способностью пресноводных рыб синтезировать длинноцепочечные жирные кислоты ЭПК и ДГК из их предшественника  $\alpha$ -линоленовой жирной кислоты (АЛК) – материнской омега-3 ЖК [9]. Доступным источником АЛК в кормах могут выступать растительные масла, например льняное и рыжиковое, которые являются лидерами среди масел по содержанию 18:3n3 – 35-65 и 37-38%, соответственно [10, 11]. Существенной проблемой при увеличении содержания в кормах и мышцах рыб полиненасыщенных жирных кислот является их перекисное окисление, для предотвращения которого в корма добавляют компоненты, имеющие антиоксидантные и сорбирующие свойства [12].

Целью настоящего исследования явилось испытание кормов для сиговых видов рыб с введением в рецептуру льняного и рыжикового масел в качестве заменителей рыбьего жира, а также сорбента на основе модифицированного лигнина SynergySorb®Detox-мусо (Республика Беларусь), для получения рыболовной продукции с высоким содержанием незаменимых в питании человека (особенно северных широт) полиненасыщенных длинноцепочечных жирных кислот ЭПК и ДГК.

Искусственные экспериментальные экструдированные корма, содержащие в своем составе различные источники жира и сорбент (табл. 1), испытывали на муксуне *Coregonus muksun*, который наравне с другими сиговыми и лососевыми рыбами

является традиционным объектом промысла коренного населения русского Севера. Товарную рыбу с начальной массой 30 г выращивали с 20 мая по 20 октября 2022 г. в садках рыбоводного хозяйства ООО «Форват», расположенных на озере Суходольское в Ленинградской области. Экспериментальные корма были разработаны в лаборатории аквакультуры Санкт-Петербургского филиала ФГБНУ «ВНИРО» (ГосНИОРХ) и изготовлены сотрудниками отдела кормов и кормовых компонентов головного института на оборудовании филиала по пресноводному рыбному хозяйству «ВНИИПРХ». Контрольным был корм №1. Для сравнения в эксперименте использовали коммерческий корм Белорусского производства – «БНБК». Содержание сырого протеина в экспериментальных кормах находилось в диапазоне 46,2-46,4%, жира – 23,3-24,2%, золы – 6,7-6,8%, в коммерческом корме по данным фирмы-изготовителя эти показатели составляли 49,1; 24,0 и 5,6%, соответственно. Прочими компонентами кормов являлись рыбная, мясная и пшеничная мука, соевые шроты, кормовые дрожжи, премиксы и физиологически активные добавки.

Таблица 1 – Особенности компонентного состава экспериментальных кормов и коммерческого корма БНБК, %

Компоненты	№1	№2	№4	№5	№7	БНБК *
Рыбий жир	15	15	10	5	10	+
Льняное масло	5	5	10	15	-	-
Рыжиковое масло	-	-	-	-	10	-
Рапсовое масло	-	-	-	-	-	+
Сорбент/Антиоксидант	-	1	-	-	-	Оксикап РФ

\* – информация по данным фирмы изготовителя кормов

Анализ жировых компонентов, используемых в производстве экспериментальных партий кормов, указывает на относительно низкое содержание омега-3 ПНЖК в рыбьем жире (15,99% от суммы ЖК), в том числе ЭПК и ДГК – 3,78 и 5,24% от суммы ЖК, соответственно (табл. 2). Напротив, доля омега-3 в льняном и рыжиковом маслах примерно в 2 раза выше, чем в рыбьем жире, и в основном представлена (более чем на 97%)  $\alpha$ -линоленовой ЖК. Благодаря этому использование растительных масел позволило существенно повысить долю АЛК с 7,88% от суммы ЖК в контрольном корме (№1) до 13,34 и 12,76% в кормах с добавкой по 10% льняного и рыжикового масла, соответственно (корма №№ 4 и 7), и до 17,22% в корме с 15% льняного масла (№5) (табл. 2).

Таблица 2 – Жирнокислотный состав жировых компонентов и кормов, % от суммы ЖК

<i>Жировые компоненты</i>						
Жирные кислоты	Рыбий жир	Льняное масло	Рыжиковое масло			
18:1n9	40,97	24,77	18,68			
18:3n3	6,48	31,86	34,35			
20:5n3	3,78	-	-			
22:6n3	5,24	-	-			
$\sum \omega 3$	15,99	31,87	35,29			
$\sum 20:5n3 + 22:6n3$	9,02	-	-			
<i>Экспериментальные корма</i>						
Жирные кислоты	№ 1	№2	№4	№5	№ 7	БНБК
18:1n9	32,15	31,89	31,41	31,53	31,24	39,35
18:3n3	7,88	11,79	13,34	17,22	12,76	2,84
20:5n3	2,07	1,86	2,37	2,39	1,80	2,41
22:6n3	2,60	1,88	2,55	2,86	1,86	3,45
$\sum \omega 3$	12,77	15,70	18,56	22,77	16,42	9,89
$\sum 20:5n3 + 22:6n3$	4,67	3,74	4,92	5,25	3,66	5,86

«-» – не обнаружено.

Введение в корм (№2) сорбента благоприятно отразилось на содержании в искусственной диете доли омега-3 ЖК, которой было в 1,3 раза больше, чем в контрольном корме. Учитывая, что анализ проводился спустя месяц после изготовления кормов, можно предположить, что в контрольном корме начались процессы перекисного окисления липидов с соответствующим снижением доли омега-3 ПНЖК – содержание  $\alpha$ -линоленовой ЖК в липидах контрольного корма было в 1,5 раза меньше, чем в корме с сорбентом, в то время как по содержанию ЭПК и ДГК контрольный корм имел небольшое преимущество (табл. 2).

Результаты исследования филе двухлеток муксуна по итогам выращивания на предмет содержания липидов и их жирнокислотного состава представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Показатели липидов в филе двухлеток муксуна, получавших корма с заменой рыбьего жира на растительные масла

Корм	№1	№2	№4	№5 Лен 15	№7 Рыжик	БНБК
Особенности состава корма	Контроль	Сорбент, 1%	Льняное масло, 10%	Льняное масло, 15%	Рыжиковое масло, 10%	Коммерческий корм
Общий жир в сыром в-ве, %	5,3	5,4	5,3	5,4	5,8	5,6
Жирные кислоты, % от суммы ЖК						
18:1n9	41,36	37,22	24,87	21,69	27,89	39,35
18:3n3	6,61	8,41	3,38	3,21	7,82	2,84
20:5n3	1,01	1,53	3,09	4,58	2,37	2,41
22:6n3	1,42	4,27	13,77	18,95	11,17	3,45
$\Sigma \omega 3$	9,04	14,62	21,26	27,14	23,00	9,89
$\Sigma 20:5n3 + 22:6n3$	2,43	5,80	16,86	23,53	13,54	5,86
$\Sigma$ ЭПК и ДГК в 100 г филе, г	0,12	0,30	0,89	1,27	0,78	0,33
Корреляционная зависимость (r) жирнокислотного состава липидов филе рыб от жирнокислотного состава липидов корма	0,99	0,97	0,72	0,66	0,87	0,99

Жирность филе у всех подопытных рыб в эксперименте имела близкие значения и находилась в пределах 5,3-5,8%, однако жирнокислотный состав липидов мышц значительно отличался. Так, с повышением нормы ввода в корма льняного масла от 5 до 15% (корма №№2, 4 и 5), в липидах филе двухлеток муксуна, по сравнению с контрольными особями, снижается доля олеиновой ЖК 18:1n9 (от 41,36 до 21,69% от суммы ЖК), повышается n-3 ПНЖК (от 9,04 до 27,14% от суммы ЖК), ЭПК (от 1,01 до 4,58% от суммы ЖК) и ДГК (от 1,42 до 18,95% от суммы ЖК), а также сумма этих кислот (от 2,43 до 23,53% от суммы ЖК). Использование корма с 10% рыжикового масла (№7) показывает близкие результаты с кормом, содержащим такое же количество льняного масла (корм №4), за исключением повышенной более чем в два раза доли  $\alpha$ -линоленовой ЖК в филе муксуна – 7,82 против 3,38% от суммы ЖК, соответственно (табл. 3).

Филе рыб, выращенных на контрольном корме, наравне с коммерческим кормом производства БНБК, характеризовалось высоким содержанием олеиновой ЖК – 41,36 и 39,35% от суммы ЖК, относительно низким содержанием долей АЛК (особенно на

корме БНБК – 2,84% от суммы ЖК), ЭПК (до 2,41% от суммы ЖК) и ДГК (до 3,45% от суммы ЖК) и их сумм (до 5,86% от суммы ЖК), а также общего количества омега-3 ЖК (до 9,89% от суммы ЖК) (табл. 3).

Оценка питательной ценности рыбной продукции по содержанию наиболее значимых для организма жирных кислот, показала, что у рыб, получавших корма с 10 и 15% льняного масла и 10% рыжикового масла, отмечено повышенное содержание в мясе суммы ЭПК и ДГК – 0,78-1,27 г/ 100 г филе (табл. 3). В соответствии с нормами потребления этих кислот человеком, 100 г филе такой рыбы полностью удовлетворяют его суточную потребность, тогда как контрольной рыбы и рыбы, выращенной на коммерческом корме БНБК, требуется потребить в 2-4 раза больше.

Использование в рационе сорбента, проявляющего антиокислительные свойства, способствует повышению содержания в мясе рыб омега-3 кислот, по сравнению с контрольной рыбой (14,62 против 9,04% от суммы ЖК), особенно ДГК (4,27 против 1,42% от суммы ЖК), и незначительному снижению доли мононенасыщенной олеиновой кислоты (до 37,22% от суммы ЖК, против 41,36% в контроле). При этом в филе рыб, получавших корма с сорбентом, в 2,5 раза больше суммы ЭПК + ДГК (выраженной в г / 100 г филе), по сравнению с контрольным кормом (табл. 3).

В целом жирнокислотный состав липидов филе муксуна имел высокий уровень корреляционной зависимости от липидов экспериментальных кормов, особенно в тех вариантах, в которых использовали корма с содержанием 5% растительного масла – контрольный корм №1, корм №2 и коммерческий корм производства БНБК (табл. 3). По мере увеличения доли масел в рецептуре коэффициент корреляции снижался, вероятно, по причине трансформации в организме рыб материнской АЛК в ЭПК и ДГК. Сравнение рыбоводных показателей, полученных по итогам эксперимента, указывает на схожие значения выживаемости (около 70%) и роста подопытных рыб (конечная масса находилась в диапазоне 159-166 г). Исключением явились контроль (№1) и вариант опыта с кормом, содержащим 15% льняного масла (№5), на которых выживаемость муксуна не превышала 60%, однако была получена наибольшая конечная индивидуальная масса рыб в эксперименте – более 180 г.

Повышенная смертность рыб за время выращивания приходилась на наиболее жаркий период, когда температура воды поднималась выше 20°C, и выходила за рамки оптимальных значений при культивировании сиговых рыб.

В заключение можно отметить, что при создавшемся на рынке дефиците качественного рыбьего жира, использование льняного и рыжикового масел (в количестве 10-15%) в кормах для рыб, позволяет значительно улучшить питательную ценность объектов аквакультуры с повышением в мясе незаменимых физиологически значимых для человека жирных кислот – ЭПК и ДГК. Употребление 100 г филе рыбы, выращенной на таких кормах, обеспечивает суточную потребность человека в незаменимых длинноцепочных жирных кислотах семейства омега-3, что особенно важно при составлении качественного физиологически полноценного рациона жителей Севера. Напротив, в филе рыб, выращенных на коммерческом и контрольном корме, в котором липиды представлены в основном рыбьем жиром, содержание ПНЖК было в 2-4 раза ниже.

Полученные данные особенно актуальны в условиях сокращения производства продуктов переработки рыбы (рыбной муки и рыбьего жира) и значительного ухудшения их качества, в том числе за счет фальсификации, что нашло место и в нашем опыте – представленный на исследования рыбий жир был беден по содержанию ПНЖК ряда омега-3.

*Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания по теме «Изучение питательных свойств, норм ввода перспективных видов сырья и*

разработка линеек рецептов комбикормов для объектов аквакультуры с учетом их видовой, возрастной специфики и технологий выращивания», № 076-00007-22-00.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панин Л.Е. Энергетические аспекты адаптации. Л.: Медицина, 1978. 189 с.
2. Leonard W.R., Sorensen M.V., Galloway V.A., Spencer G.J., Mosher M.J., Osipova L., Spitsyn V.A. Climatic influences on basal metabolic rates among circumpolar populations. *Am. J. Hum. Biol.* 2002, 14 (5), pp. 609-620.
3. Коломийцева И.К. Липиды в гибернации и искусственном гипобиозе млекопитающих (обзор) // *Биохимия*. 2011. Т. 76, № 12. С. 1604-1614.
4. Petreny N., Dobrodeeva L., Bichkaeva F., Menshikova E., Lutfalieva G., Poletaeva A., Repina V. Fish consumption and socio-economic factors among residents of Archangelsk city and the rural Genets autonomous area. *International Journal of Circumpolar Health*. 2011, 70 (1), pp. 46-58.
5. Лукина Ю.Н. Проблемы здоровья рыб в водных экосистемах Европейско-Сибирской области палеарктики. Автореферат докт. дисс. Петрозаводск. 2014. 37с.
6. Мартынов А.С., Виноградов В.Г. Северные особенности питания // *Окружающая среда и население России*. М., 1998. С. 14-16.
7. Галстян Д.С., Бичкаева Ф.А., Баранова Н.Ф. Содержание полиненасыщенных жирных кислот в зависимости от индекса массы тела у жителей Арктического региона // *Экология человека*. 2020. № 9. С. 4-10.
8. Гладышев М.И. Наземные источники полиненасыщенных жирных кислот для аквакультуры// *Вопросы ихтиологии*. 2021.Т.61. № 4. С. 471-485.
9. Turchini G.M., Francis D.S., Keast R.S.J., Sinclair A.J. Transforming salmonid aquaculture from a consumer to a producer of long chain omega-3 fatty acids // *Food Chem*. 2011. V. 124. P. 609-614.
10. Сизова Н.В., Пикулева И.В., Чикунова Т.М. Жирнокислотный состав масла *camelina sativa* (L.) *Crantz* и выбор оптимального антиоксиданта // *Химия растительного сырья*. 2003. №2. С. 27-31.
11. Гамаюрова В.С., Ржечицкая Л.Э. Мифы и реальность в пищевой промышленности. Сравнение пищевой и биологической ценности растительных масел // *Вестн. Казанского технол. унив.* 2011. № 18. С. 146-156.
12. Остроумова И.Н., Лютиков А.А., Шумилина А.К., Вылка М.М. Влияние модифицированного гидролизованного лигнина на перекисное окисление липидов в рыбных кормах и на выращиваемых на них рыб // *Рыбоводство и рыбное хозяйство*. 2022. №8. С. 560-572.

#### **ЭОФ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОВЦЕБЫКОВОДЧЕСКАЯ ФЕРМА) В СУБЪЕКТАХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Мишуков И.О.<sup>1</sup>, Сипко Т.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Координатор проекта «ОВЦЕБЫК.РФ», Генеральный Директор ООО «Абсолют», г. Санкт-Петербург, portobello\_72@mail.ru

<sup>2</sup>ФГБУН Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва, sipkotp@mail.ru

Регионы, входящие в Арктическую Зону Российской Федерации, представляют собой гигантскую природную кладовую, занимающую четверть территории нашей страны и исключительно богатую различными возобновляемыми и невозобновляемыми природными ресурсами. Однако, существует целый ряд проблем, связанных с

особенностями этих регионов, без решения которых, задача по полноценному вовлечению их в народнохозяйственный комплекс страны не может быть решена. Ниже, мы перечислим некоторые из них и в дальнейшем, более подробно остановимся на одним из возможных способов решения.

1. Недостаточная обеспеченность собственной сельскохозяйственной продукцией. Эта проблема не только существует, но и усугубляется в последние годы, т.к. доля АПК в ВРП арктических регионов снижается [1]. Результатом стало сокращение доли местных продуктов в рационе северян (например, по мясу с 30,1% в 1990 г., до 18,1% в 2015 г. [2]. Если более подробно рассмотреть эту проблему, то мы увидим, что причина в снижении поголовья всех сельскохозяйственных животных и птиц, кроме северных оленей. Но и оленеводство не может заместить выпавшие объемы производства сельскохозяйственной продукции, несмотря на все увеличивающиеся государственные дотации. Ярким примером, является Чукотский АО, в котором сумма годовой дотации оленеводам достигла в 2020 г «кругленькой» суммы в 1,279 млрд руб., при том, что план по заготовкам мяса, ни по увеличению поголовья стада, выполнен не был [3].

2. Комплекс социально-демографических проблем населения, который обобщенно можно охарактеризовать, как недостаточный уровень «социальной устойчивости». Анализ выявил многочисленные составляющие данной проблемы [4], некоторые из которых, мы перечислим:

- сильное и растущее, отраслевое, территориальное и гендерное неравенство заработной платы, а также повышенная безработица, обусловленная ростом экономики за счет только нетрудоёмких, экспортных отраслей;

- низкие доходы населения, особенно коренных малочисленных народов Севера;

- высокий уровень бедности;

- высокая стоимость жизни в неблагоприятных климатических условиях, более значительное снижение уровня потребления;

- сочетание депопуляции и миграционного оттока, вызванного неблагоприятными условиями и низким качеством жизни;

- проблемы трудоустройства молодежи после завершения образования;

- острейшие проблемы алкоголизма.

3. Проблема развития арктического туризма, связанная с тем, что имеется недостаточное число «объектов посещения», т.е. объектов, на которые непосредственно направлен познавательный интерес туриста. Разумеется, «красоты Арктики», притягательные для туристов никуда не пропали, но так как большая их часть является природными объектами, не связанными напрямую с современной хозяйственной деятельностью человека, транспортная и прочая необходимая инфраструктура отсутствует, что делает доступность их для туристов весьма затруднительной, и, как результат, возникает «дефицит» объектов посещения в арктических регионах [5].

На наш взгляд, большую помощь в решении этих и некоторых других проблем регионов российской Арктики, может принести создание и развитие новой отрасли животноводства - овцебыководства. Необходимо отметить, что вопрос использования овцебыка в качестве сельскохозяйственного животного в арктических (и не только) регионах СССР и России, ставился большим числом отечественных и зарубежных авторов в текущем, прошлом и даже позапрошлом столетиях. Из последних по времени работ, можно отметить статьи сотрудников Федерального Агроинжинирингового Центра [6] и специалистов из Министерства Охраны Природы Республики Якутия (Саха) [7].

Новизна нашего предложения состоит в том, что мы предлагаем поэтапное развитие овцебыководства в России, причем первым этапом мы предлагаем создание одной или нескольких Экспериментальных Овцебыководческих Ферм (ЭОФ). Что же такое ЭОФ? ЭОФ – это сельскохозяйственное предприятие, которое одновременно

является туристическим объектом, центром развития новых компетенций, технологий и обработки продуктов овцебыководства. ЭОФ использует успешный опыт различных организаций, связанных с овцебыководством или обработкой его продуктов, таких как крупнейший в мире питомник овцебыков на Полярном Урале (ООПТ «Ингилор»), кооператива «Умигмак» (Аляска, США), североамериканских фермеров-овцебыководов и других.

Соединяя в себе отдельные элементы этих успешных проектов, ЭОФ создает условия для перехода «качество-количество» и появления совершенного нового, уникального объекта.



Рис. 1 - Качественная оценка степени реализации потенциальной возможностей овцебыководства в различных проектируемых и существующих хозяйственных субъектах

Какие виды сырья производит ЭОФ? Наиболее ценный продукт овцебыководства – это пух оцебыка «гивиут» (англоязычный термин – qīwiut). Гивиут используется для прядения, ткачества, валяния, производства утеплителей. Уникальные свойства гивиута – это низкая теплопроводность, легкость и отсутствие аллергии. Пух овцебыка традиционно ценятся за рубежом [8]. Однако, по мере формирования рынка гивиута в России, научно-исследовательские работы, с целью изучения возможности практического использования гивиута, начинают проводиться и у нас, например, в лаборатории компании ВАСК (г. Санкт-Петербург) в 2022г [9].

Другим важнейшим видом продукции фермы является молодняк овцебыков. Определенный спрос на молодняк овцебыков существует в России даже и в настоящее время, хотя практически полное отсутствие предложения, сдерживает его. Так, на сайте овцебык.рф за период с 19.08.2022 по 18.08.2023 было не менее 1 236 запросов о покупке молодняка овцебыка. Что же касается зарубежного опыта, американские специалисты, считают реализацию молодняка второй, по объему, доходной статьей бюджета овцебыководческой фермы [8]. В дальнейшем, по мере развития овцебыководства, как отрасли, спрос будет только расти.

Кроме того, ЭОФ будет производить и традиционные виды животноводческого сырья, в первую очередь – мясо. Свойства мяса овцебыков, особенно наличие аминокислот, делает его полезным продуктом для питания жителей Крайнего Севера [10]. Необходимо отметить, еще один важный аспект – наличие ЭОФ в непосредственной близости от населенного пункта, делает ферму источником аварийного запаса мясопродуктов в случае возникновения ЧС (эпидемия, техногенная или природная катастрофа и т.д.) связанной с нарушением логистических цепочек поставок продуктов. Также ценным сырьем являются шкуры, рога копыта овцебыка. Не менее важной, является туристическая составляющая. Возможность увидеть и близко пообщаться с «младшим братом» мамонта-овцебыком, будет важнейшим

компонентом, превращающим ЭОФ в желанный «объекты посещения» для туристов. Доступность ЭОФ для туристов, с точки зрения логистики, также дает конкурентные преимущества перед туристическими объектами в Арктике, доступ к которым для туристов затруднен.

Поскольку, ЭОФ является центром компетенций в овцебыководстве, обработке гивиута и смежных областях, что делает его учебно-производственным учреждением, на базе которого можно проводить учебные семинары, практики и т.п. мероприятия для будущих специалистов.

Необходимо еще раз подчеркнуть социальную роль ЭОФ. Как уже было сказано выше, ЭОФ не только производит гивиут, но и является центром по обработке. Мы предлагаем использовать в этом случае успешный опыт кооператива «Умигмак» (Аляска, США). В чем он заключается? Для ручной обработке гивиута привлекаются, как правило местные жительницы, желающие получить дополнительный доход. После окончания обучения, каждая мастерица сама выбирает объем работы и место работы. Эти условия идеально подходят для женщин с маленькими детьми, многодетным мамам и т.п. Особенно, важно, на наш взгляд, что хотя обработка гивиута, хотя и не требует длительного обучения, включает в себя элемент творчества (декоративно-прикладное искусство), что позволяет получать не только материальное, но и моральное удовлетворение от работы, повышает «индекс счастья».

Точные расчеты экономических показателей ЭОФ можно произвести только после выбора региона, локализации участка и получении другой необходимой информации. Предварительно, мы можем указать лишь некоторые, усредненные параметры проекта:

- площадь участка для ЭОФ не менее 200 Га;
- среднее количество овцебыков на ферме 40-50 голов;
- количество сотрудников: постоянных – 4-5 человек, сезонных рабочих (заготовка кормов) 2-5 человек, мастериц по обработке гивиута – до 50 чел.;
- финансовые вложения, необходимые для открытия ЭОФ 50-70 млн руб.;
- выход на «точку безубыточности» через 2-5 лет, срок окупаемости проекта – 15-25 лет.

Открытие одной ЭОФ в регионе позволит уже за 8-10 лет получить маточное стадо достаточное для создания еще 4-5 овцебыководческих ферм, что позволит уже говорить о формировании региональной отрасли арктического животноводства – овцебыководства.

В каких регионах можно размещать ЭОФ? Если рассматривать природно-климатические факторы, для реинтродукции овцебыков пригодны огромные территории в России, фактически от Мурманска и Карелии на Западе до побережья Чукотского и Охотского морей на Востоке [11].

Однако в выборе региона для размещения ЭОФ значительную роль играют и антропогенные факторы (близость к населенным пунктам, транспортная доступность, наличие инфраструктуры и другие). Поэтому, на наш взгляд, по совокупности факторов, наиболее оптимальными регионами Арктической Зоны России для размещения ЭОФ являются:

- Мурманская область (центр континентальной части и остров Кильдин);
- Ненецкий Автономный Округ (острова Вайгач и Колгуев);
- Красноярский Край (полуостров Таймыр, вблизи населенных пунктов Норильск, Дудинка, Хатанга, Диксон);
- Республика Якутия (Саха) (Булунский Улус);
- Чукотский Автономный Округ

Также, на наш взгляд, существуют и другие регионы России, не относящиеся к Арктической Зоне, размещение на территории которых ЭОФ было бы обоснованно, но рассмотрение их выходит за рамки данной работы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гамукин В.В. Экономическая трансформация регионов арктической зоны Российской Федерации. // Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право. Т. 12. № 5. С. 201–216.
2. Анищенко А.Н. Потенциал сельского хозяйства Европейского Севера России и проблемы его реализации в рамках Стратегии развития Арктической зоны РФ // Проблемы развития территории. 2019. № 1 (99).
3. Интернет-издание «Городской Портал», г. Владивосток [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://gorodskoyportal.ru/vladivostok/news/news/67580394/>
4. Киселева А.М., Гокова О.В. Демографическая безопасность северных регионов: проблемы депопуляции и миграции населения // Вестник Омского университета. Серия «Экономика». 2016. № 4. С.181-190
5. Об утверждении Стратегии развития туристско-рекреационного кластера Ненецкого автономного округа на период до 2022 года [Электронный ресурс]: Постановление Губернатора НАО № 105 от 15.12.2017 г. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/446596148>
6. Годжаев З.А., Крюковская Н.С., Годжаев Т.З. Основные направления и перспективы развития агропромышленного комплекса Арктики и северных территорий Российской Федерации // Арктика: инновационные технологии, кадры, туризм. Материалы международной науч.-практ. конференции. 19-21 ноября 2018. Воронеж: ФГБОУ ВО «ВГЛУ», 2018 . С.246-255
7. Терехов С.И., Попов А.Л., Яковлев Ф.Г. Расширение ареала и увеличение численности овцебыка в тундровой зоне Якутии // Экономика востока России. 2015. №1(3). С. 62-67.
8. Laura Starr, Joshua Greenberg and Janice Rowell. Farming Muskoxen for Qiviut in Alaska: A Feasibility Study. ARCTIC, VOL. 70, NO. 1 (MARCH 2017) P. 77 – 85
9. Официальный сайт компании «Bask». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://baskcompany.ru/info/stati/technology/kazarka-kiviut-chisto-rossiiskaya-sinergiya/>
10. Марцеха Е.В., Кайзер А.А., Шелепов В.Г. Исследования биохимического состава и биологической ценности мяса овцебыка (OVIBUS MOSCHATUS) // Достижения науки и техники АПК. 2010. №7. С.74-76
11. Мишуков И.О., Сипко Т.П. Оценка возможности развития овцебыководства на островах и прибрежных районах Северного Ледовитого Океана, на территории России. По Договору о предоставлении гранта № 256-Г От 08.06.2021 г

## ЭВОЛЮЦИЯ ПОЧВ ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЕЛЬ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ НА ПРИМЕРЕ ЯКУТИИ И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

*Поляков В.И.*

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург,  
v.polyakov@spbu.ru

Во всем мире проблема сохранения сельскохозяйственных земель является ведущей с точки зрения глобальной продовольственной безопасности. Повсеместно предпринимаются решительные шаги, связанные с сохранением, вовлечением естественных земель в севооборот и мелиорацией действующих севооборотов, а также наблюдение за водным балансом данных территорий. По данным ФАО, площадь сельскохозяйственных земель составляет около 4.8 млрд га (37% мировой площади суши), в составе сельскохозяйственных земель, площадь пахотных земель составляет 1.6 млрд га (12% мировой площади суши) и 3.2 млрд га (25% мировой площади суши)

занимают луга и пастбища (FAO 2019). Согласно официальным источникам (Государственный (национальный) доклад «О состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2021 году», 2022), в настоящее время в России выведено из оборота и не используется до 44 млн га пашни, которая переводится в залежное состояние и трансформируется под влиянием естественных и антропогенных процессов почвообразования, зарастания лесом, задернения, залужения, заболачивания и др. (Иванов и др., 2008; Kalinina et al., 2015). Важной задачей перед вовлечением почв в севооборот является инвентаризация залежных, целинных и уже используемых в сельском хозяйстве земель. Среди природных проблем выделяются эрозия земель, дегумификация, вынос биогенных элементов, все это приводит к снижению плодородия почв. В настоящей работе приведены данные о трансформации почв при переходе в залежное состояние на территории Якутии (окрестности г. Якутск) и Ленинградской области. Обе территории характеризуются длительной историей сельскохозяйственного освоения, а также необходимостью ревовлечения почв залежных территорий в севооборот.

Якутск является крупнейшим городом, расположенным в зоне залегания многолетнемерзлых пород. Резко континентальный климат с жарким летом, а также относительно высокое потенциальное плодородие почв обуславливают интенсивное земледелие в регионе. Нами были исследованы естественные, залежные и пахотные почвы в окрестностях г. Якутск и Ленинградской области, было выявлено что почвы залежных земель довольно активно подвергаются самовосстановлению и выносу элементов питания. Наибольшее содержание элементов питания, как и предполагалось отмечается в пахотных почвах, это связано с систематическим привнесением минеральных и органических удобрений в почву. Почвы залежных земель характеризуются значительным снижением содержания основных агрохимических показателей ( $P_2O_5$ ,  $K_2O$ ,  $NH_4$ ,  $NO_3$ ), это связано с процессами деградации земель, выносом элементов питания и трансформацией почв залежных земель в направлении зонального почвообразования. Ленинградская область характеризуется более длительной историей сельскохозяйственного освоения территории по сравнению с Якутией. Поэтому на территории Ленинградской области развиваются почвы на различных стадиях самовосстановления, что обуславливает разработку подходов для ревовлечения почв в сельскохозяйственный оборот.

До сих пор вопрос об эволюции почв залежных земель остается дискуссионным, т.к. скорость трансформации зависит не только от времени перехода почв в залежное состояние, но и от локальных условий почвообразования. Вместе с трансформацией почв, происходит сукцессия растительного сообщества. На залежных землях в ходе самовосстановления в первые 3-5 лет происходит естественная смена сельскохозяйственных культур на рудеральную растительность, что способствует накоплению органических веществ в верхнем гумусоаккумулятивном горизонте. Таким образом, на начальных стадиях сукцессии при переходе почв в залежное состояние отмечается увеличение содержания гумуса в почве. В течение 20 лет происходит формирование луговой растительности с одиночными древесными растениями и кустарниками, это сопровождается снижением рН и насыщенностью почвы основаниями, а также потерей элементов питания. При этом формируется полноценный верхний гумусоаккумулятивный горизонт в котором накапливается существенное количество углерода, до  $5.74 \text{ кг/m}^2$ . К 30 годам происходит формирование молодых мелколиственных лесов. Наиболее активные процессы трансформации протекают преимущественно в верхних гумусоаккумулятивных горизонтах, нижележащие почвенные горизонты практически не претерпевают изменений, т.к. в меньшей степени вовлекались в сельскохозяйственный оборот. Лишь на начальных этапах сукцессии наблюдается активное накопление органического вещества почв, затем запасы углерода в бывших пахотных горизонтах сокращаются, за 100 лет на песчаных отложениях

Ленинградской области отмечается снижение с 4.23 кг/м<sup>2</sup> до 1.3 кг/м<sup>2</sup> органического вещества почв, при этом формируется верхний органогенный горизонт, который состоит из слаборазложившихся растительных остатков и выступает в роли хранилища углерода, за 100 лет самовосстановления здесь может накапливаться до 40 кг/м<sup>2</sup>.

Ревовлечение почв залежных земель в современный севооборот является одной из самых актуальных и востребованных проблем в мире, ежегодно значительные площади земель подвергаются самовосстановлению, при этом изменяются физико-химические параметры почвы, а также растительный покров в сторону естественных экосистем. Почвы залежных земель способны относительно долгое время сохранять элементы питания и гумус, и их ревовлечение в севооборот является более рентабельным с экономической точки зрения, чем создание новых сельскохозяйственных земель.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда в соответствии с договором от 20.04.2023 № 23-16-20003 и Санкт-Петербургским научным фондом в соответствии с договором от 05.05.2023 № 23-16-20003.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kalinina O., Goryachkin S.V., Lyuri D.I., Giani, L. Post-agrogenic development of vegetation, soils, and carbon stocks under self-restoration in different climatic zones of European Russia // CATENA. 2015. № 129. С. 18-29.
2. Land use statistics and indicators / FAO: Rome, 2019. 14 p.
3. Агрэкологическое состояние и перспективы использования земель, выбывших из активного сельскохозяйственного производства / А. Л. Иванов, А. А. Завалин, М. С. Кузнецов [и др.] ийская академия сельскохозяйственных наук. М.: РОСИНФОРМАГРОТЕХ, 2008. 64 с.
4. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2021 году / М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 356 с.

#### **АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЕКЦИОННОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА МОЛОКА МОЛОЧНЫХ КОРОВ ХОЛМОГОРСКОЙ ПОРОДЫ**

*Прожерин В.П., Дыдыкина А.Л., Наконечный А.А., Вязьминов А.О.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, Didikina100@yandex.ru

Длительное время селекция молочных пород крупного рогатого скота в нашей стране была направлена, в основном, на увеличение уровня молочной продуктивности и на повышение содержания массовой доли жира в молоке. В рамках организации племенной работы с заводскими породами к таким показателям, как массовая доля белка, сухого вещества не привлекалось широкого внимания, хотя, именно эти показатели влияют на выход, качество и питательную ценность готовых молочных продуктов. [1]

Согласно действующему Техническому регламенту на молоко [2] при формировании перерабатывающими предприятиями закупочных цен на молоко-сырье ведется учет целого комплекса показателей его состава и качества. В этих условиях сельхозтоваропроизводителям молока для повышения эффективности своего производства очень важно скорректировать целенаправленную селекционную работу с животными на повышение не только содержания белка и жира в молоке, а также

других не менее важных его компонентов. Достаточно ценным в молоке является сухое вещество, основу которого составляют животный жир, белки, молочный сахар, минеральные вещества. Суммарными показателями биологической и пищевой ценности молока является и СОМО (сухой обезжиренный молочный остаток).

В молочном животноводстве наиболее трудоемким является процесс учета молочной продуктивности коров. В РФ, в соответствии с действующими нормативными документами, учет молока от коров проводится 1 раз в месяц за одни контрольные сутки по всем сеансам доения (при трехкратном доении, например, – утро, день, вечер). В ведущих странах мира в области молочного животноводства применяется метод селекционного контроля качества молока коров, основанный на учете показателей только одного сеанса доения с последующим автоматизированным переводом данных на суточные показатели с использованием утвержденных переводных коэффициентов (система ICAR). Каждая страна использует свои переводные коэффициенты, которые учитывают породные особенности животных, условия их эксплуатации (кратность доения, технологию кормления, систему содержания) и др.

Селекция молочных пород в РФ продолжительное время была направлена, в основном, на увеличение уровня молочной продуктивности коров и на повышение содержания массовой доли жира в молоке. Таким показателям, как массовая доля белка, сухого вещества и лактозы (данные показатели оказывают существенное влияние на выход, качество и питательную ценность готовых молочных продуктов) при организации племенной работы с заводскими породами большого внимания не уделялось [3].

Введение в действие закона № 88-ФЗ от 12.06.2008 г, №163-ФЗ от 22.07.2010г «Технический регламент на молоко и молочную продукцию» [2] привело к ужесточению требований к молочному сырью и производственному контролю предприятий, увеличению количества измеряемых параметров у молочных коров разных пород и в разных условиях содержания и доения. Поэтому сельхозтоваропроизводители молока с целью повышения эффективности собственного производства обязаны быстро скорректировать селекционную работу с животными на повышение не только массовой доли жира и белка в молоке, а также и других, не менее ценных компонентов. Основу сухого вещества молока составляют жиры, белки, молочный сахар и минеральные вещества. Молочный сахар, или лактоза, которая дает организму энергию, является питательной средой для кишечной микрофлоры, а также улучшает нервную регуляцию.

*Цель данной работы* заключалась в комплексной оценке качества молока коров холмогорской породы по массовой доле жира, белка, лактозы, сухого вещества, а так же совершенствование автоматизированной технологии проведения селекционного качества сырого коровьего молока на основе требований международной системы проверки результатов контроля их молочной продуктивности (система ICAR) с учетом особенностей коров холмогорской породы.

*Материал и методы.* Экспериментальные исследования выполнялись в ряде ведущих племенных хозяйств Архангельской области, занимающихся разведением холмогорской породы крупного рогатого скота. Молочная продуктивность коров учитывалась путем проведения в течение года ежемесячных контрольных доек. При каждом сеансе доения за контрольные сутки был обеспечен индивидуальный учет как количественных, так и качественных показателей молока (МДЖ, МДБ, МДЛ, МДСВ). В качестве зоотехнического устройства учета молока использовались индивидуальные счетчики фирмы Tru-Test, снабженные мерным стаканом, обеспечивающим индивидуальный учет молока за один сеанс доения до 33 кг. Данная система отбора проб молока у коров сертифицирована ICAR (International Committee for Animal

Recording), что позволяет в племенных хозяйствах получать результаты, признающиеся во всем мире.

Селекционный контроль качества молока был осуществлен с использованием комбинированной аналитической системы оценки качества сырого молока марки «Bentley Instruments», модель Bentley DairySpec Combi 150. Указанная система имеет высокую разрешающую способность благодаря индустриальному инфракрасному спектрометру, основанному на Фурье-преобразовании светового потока (FTIR). Используемый анализатор качества молока имеет сертификацию по стандартам ISO/IDR.

Допустимый порог достоверности результатов каждого контрольного доения по содержанию жира, белка, лактозы и сухого вещества в молоке определен на основе установления стандартных отклонений учетных показателей.

Состав и физико-химические свойства молока был изучен в соответствии с требованиями Технического регламента Таможенного союза "О безопасности молока и молочной продукции" (ТР ТС 033/2013) [2].

Результаты экспериментальных исследований обрабатывали с использованием известных методов математической статистики и пакета математических программ «EXCEL» для вычислительных машин, а также согласно руководству по биометрии для зоотехников [4].

На основе полученных результатов сформирована единая региональная база данных по количественным и качественным показателям молочной продукции для оценки племенной ценности секционированных молочных стад.

*Результаты исследований.* В ходе научных исследований было выявлено, что у коров холмогорской породы среднесуточный удой составил  $21,90 \pm 0,102$  кг. Количество полученного за утренний сеанс молока составил в среднем 42% или  $(9,27 \pm 0,042)$  кг). Количество надоенного молока в дневной (6,83 кг) и вечерний (5,80 кг) сеансы доения коров незначительно различались.

Для лабораторных исследований на содержание жира, белка и сухого вещества в молоке подконтрольных животных от каждого сеанса доения были отобраны индивидуальные контрольные пробы молока в количестве 40 мл. Данный способ отбора проб молока обеспечивал получение высоко достоверных результатов за контрольные сутки. Все данные качественного анализа молока, полученного при контрольном доении коров, были признаны достоверными, так как установленные стандартные отклонения ( $\lambda$ ) по ним значительно превышали минимальные допустимые пороговые значения: МДЖ – 0,77; МДБ – 0,30; сухого вещества (МДСВ) – 0,82. Также было установлено, что химический состав молока по каждому сеансу доения коров за контрольные сутки существенно различался (таблица 1).

Таблица 1 – Учетные показатели молока при трехкратном доении холмогорских коров

Время доения	Удой, кг	Содержание в молоке, %			
		МДЖ	МДБ	МДЛ	МДСВ
Утро	$9,27 \pm 0,042$	$3,77 \pm 0,017$	$2,90 \pm 0,005$	$4,98 \pm 0,004$	$12,50 \pm 0,017$
День	$6,83 \pm 0,038$	$4,49 \pm 0,016^{***}$	$2,95 \pm 0,005^{***}$	$5,01 \pm 0,004^{***}$	$13,22 \pm 0,015^{***}$
Вечер	$5,80 \pm 0,039$	$4,24 \pm 0,013^{***}$	$2,97 \pm 0,005^{***}$	$5,05 \pm 0,004^{***}$	$13,06 \pm 0,013^{***}$
За сутки	$21,90 \pm 0,102$	$4,14 \pm 0,012$	$2,93 \pm 0,005$	$5,01 \pm 0,002$	$12,88 \pm 0,012$

В результате проведения исследований было установлено, что при удое 21,90 кг молока за контрольные сутки средние (рассчитанные через 1% молоко) качественные характеристики молока холмогорских коров по МДЖ были достаточно высокими ( $4,14 \pm 0,012\%$ ), а по МДБ значительно ниже стандарта породы ( $2,93 \pm 0,005\%$ ). Заметное снижение белкомолочности, в большей степени, связано с последствиями массовой голштинизации отечественного холмогорского скота и отсутствием полномасштабной

селекции по данному признаку при племенном разведении коров холмогорской породы. В тоже время установлено, что молоко холмогорских коров характеризуется повышенным содержанием лактозы ( $5,01 \pm 0,003\%$ ). По результатам лабораторных исследований выявлено, что по содержанию СВ (сухого вещества) ( $12,88 \pm 0,012\%$ ) молоко от холмогорских коров полностью отвечает требованиям действующего Технического регламента. Следует отметить, что молоко от подконтрольных коров, полученное за дневной и вечерний сеансы доения по всем учетным показателям достоверно ( $P < 0,001$ ) является энергетически более ценным в сравнении с молоком утреннего сеанса доения. Эта закономерность, по нашему мнению, связана с физиологическими особенностями функционирования организма коров в течение контрольного суточного периода.

При проведении количественного учета в формировании суточного объема молока по сеансам доения были выявлены также и индивидуальные особенности. Установлено, что у 94% холмогорских коров удельный вес молока, полученного за утренний сеанс доения, составлял 40-60% за контрольные сутки от общего суточного удоя (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты контроля качества молока коров холмогорской породы

Удельный вес утреннего молока в суточной пробе, %	Число контр. доений	Удой за сутки, кг	Содержание в молоке, %			
			МДЖ	МДБ	МДСВ	МДСВ
До 30	169	$23,78 \pm 0,612^{**}$	$4,02 \pm 0,068^*$	$2,91 \pm 0,026$	$12,87 \pm 0,073$	$12,87 \pm 0,073$
До 40	1356	$24,46 \pm 0,189^{***}$	$4,08 \pm 0,021^*$	$2,91 \pm 0,008^*$	$12,84 \pm 0,022$	$12,84 \pm 0,022$
До 50	2125	$21,28 \pm 0,130^{***}$	$4,21 \pm 0,016^{***}$	$2,93 \pm 0,007$	$12,94 \pm 0,017^{***}$	$12,94 \pm 0,017^{***}$
До 60	569	$18,14 \pm 0,226^{***}$	$4,06 \pm 0,033^*$	$2,99 \pm 0,012^{***}$	$12,81 \pm 0,035^*$	$12,81 \pm 0,035^*$
До 70	47	$15,51 \pm 0,693^{***}$	$3,85 \pm 0,137^*$	$3,04 \pm 0,043^*$	$12,55 \pm 0,145^*$	$12,55 \pm 0,145^*$
В среднем	4266	$21,90 \pm 0,102$	$4,14 \pm 0,012$	$2,93 \pm 0,005$	$12,88 \pm 0,012$	$12,88 \pm 0,012$

Количество коров с наименьшим удоем за утренний сеанс доения, т.е. до 30% от суточного удоя составило 4% ( $n=169$ ). Более 70% молока за утренний сеанс доения было выявлено у 47% коров (1,1%). Наличие животных в двух крайних учетных классах объясняется наличием в ходе проведения эксперимента стрессовых ситуаций.

Анализ полученных данных показал, что при увеличении доли молока за утренний сеанс в суточном контрольном удое коров с 30% до 70% учетный показатель «удой за сутки» достоверно ( $P < 0,001$ ) снижается до 15,51 кг (более, чем на 30%) при достоверном понижении качественных характеристик по МДЖ (на 0,17%) и по МДЛ (на 0,21%). Установлена обратная достоверность по достоверному увеличению массовой доли белка в молоке до 3,04% в группе коров с высоким (до 70%) удельным весом удоя молока за утренний сеанс доения.

Таким образом, при формировании региональной базы данных по учету показателей молочной продуктивности холмогорских коров подконтрольной популяции и качественных характеристик молока в селекционных целях следует обращать внимание, в первую очередь, на индивидуальные особенности формирования суточного удоя от коров холмогорской породы.

Учитывая финансовые затраты отрасли племенного животноводства на организацию и проведение контрольного доения коров, получение, обработку и хранение данных нами в дальнейшем будет предложена работа по формированию требуемой базы высоко достоверных данных, полученных в результате проведения более 100,0 тыс. сеансов доения. Наличие ее позволит региональному информационно-селекционному центру (РИСЦ) обеспечить переход на использование утвержденных методик IKAR учета продуктивности коров молочного направления (табл. 3).

Таблица 3 – Взаимосвязь учетных показателей продуктивности коров холмогорской породы по сеансам доения

Учетные показатели за контрольные сутки	Корреляция показателей по сеансам доения с показателями за контрольные сутки		
	утро	день	вечер
Удой	0,83±0,003	0,89±0,002	0,85±0,002
МДЖ	0,79±0,003	0,73±0,004	0,62±0,006
МДБ	0,96±0,001	0,94±0,001	0,92±0,001
МДЛ	0,91±0,001	0,87±0,002	0,85±0,002
МДСВ	0,84±0,002	0,80±0,003	0,70±0,005

В результате проведенных научных исследований установлено, что корреляция по всем учетным показателям сеансов доения (утро, день, вечер) с данными за контрольные сутки высокоположительная (от 0,70 до 0,96). Как умеренно положительный является уровень корреляции по содержанию жира в молоке за вечерний сеанс доения (0,62). Максимальные показатели корреляции (от 0,92 до 0,96) характерны для массовой доли содержания белка в молоке по всем сеансам доения коров за сутки. Предварительно полученные данные по уровню корреляционных связей, характеризующих молочную продуктивность коров в разрезе сеансов доения, свидетельствуют о возможности перехода в дальнейшем на учет контрольных показателей за отдельные сеансы доения коров и их автоматизированный пересчет на суточные показатели учета на основе установленных переводных коэффициентов для коров холмогорской породы.

В современных условиях ведения отрасли племенного животноводства требуется организованный переход на автоматизированные системы учета и контроля молочной продуктивности и качества молока в зависимости от породных особенностей молочных коров с корректировкой на условиях содержания и использования животных. Результаты и достоверность оценки качества молока за контрольные сутки, а в последствии и за всю лактацию, во многом определяются способом формирования специалистами по племенному учету проб молока для их лабораторного анализа.

Таким образом, испытание животных по признакам молочная продуктивность в Российской Федерации нуждается в более четкой регламентации на государственном уровне с учетом международного опыта системы ICAR. Увеличение точности и оперативности в системе контроля молочной продуктивности лактирующих коров обеспечит повышение конкурентоспособности отечественного животноводства.

*Исследование проведено в ходе выполнения государственного задания по теме № 0409-2019-0030 «Разработать систему формирования продуктивного генофонда сельскохозяйственных животных, обеспечивающую сохранность и совершенствование пород сельскохозяйственных животных».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прожерин В.П., Ялуга В.Л., Дыдыкина А.Л., Вязминов А.О. Совершенствование системы селекционного контроля качества молока // Молочное и мясное скотоводство. 2020. № 7. С.2-5.
2. Технический регламент Таможенного союза "О безопасности молока и молочной продукции" (ТР ТС 033/2013) (с изменениями на 19 декабря 2019 года) [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/499050562> (дата обращения 19.03.2022 г.)

3. Самусенко Л.Д., Химичесва С.Н. Влияние генетических факторов на воспроизводительную способность и молочную продуктивность коров // Главный зоотехник. 2016. № 6. С. 22–29.
4. Плохинский Н.А. Руководство по биометрии для зоотехников. М.: Колос, 1969. 256 с.

## **СОХРАНЕНИЕ ГЕНОФОНДА ЛОКАЛЬНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ ДОМАШНИХ СЕВЕРНЫХ ОЛЕНЕЙ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГО КЛИМАТА И ПРОМЫШЛЕННОГО ОСВОЕНИЯ АРКТИКИ**

*Романенко Т.М.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН -Нарьян-Марская сельскохозяйственная опытная станция, г. Нарьян-Мар, nmshos@yandex.ru

На основании проведенных исследований на территории Малоземельской тундры и восточной части Северного Тимана Ненецкого АО из семи субпопуляций выявлено две локальные субпопуляции, отличающиеся фенотипическими особенностями стадо №8 СПК «Индига» (IND8) и СПО «Табседа» (TABS) размещенные в границах Малоземельской тундры с целью сохранения генофондов.

В основу исследований по выявлению локальных популяций положен анализ эколого-генетических параметров северных оленей, который включают разные методы оценки экстерьера, генофонда, что позволяет охарактеризовать особенности биологической адаптации и описать признаки, которые стойко передаются из поколения в поколение, а также продуктивности природных пастбищных экосистем (типологическое разнообразие растительного покрова, максимальные значения надземной фитомассы и его изменчивости).

По характеру растительный покров территории Малоземельской тундры отражает хронологическую неоднородность ландшафта, которая представлена качественными показателями кормовых ресурсов (оленьи пастбища) по типологическому разнообразию растительного покрова геоботанических районов 0,6 и > 2,5, биологической продуктивности пастбищ на основе показателей максимальных значений зеленой фитомассы геоботанических районов по результатам анализа многолетних значений спектрального индекса NDVI, существенно меняются в пределах отдельных хозяйств, что отражает особенности распределения типов 135 и > 450 г/м<sup>2</sup> и степень ее изменчивости 0,3 и > 20 %. Количество геоботанических районов указывает на разнообразие растительного покрова пастбищ и представлено 4–9 районами [1].

Территории выпаса оленей IND8 и TABS расположены в разных частях Малоземельской тундры (западной и восточной соответственно), отличающих их степень насыщенности воздуха водяным паром 83,5 и 88 % и относительно умеренными величинами испарения. Климат западной части, в связи с более южным положением моря несколько мягче по сравнению с восточной [2].

Протяженность миграционных путей субпопуляций отличаются короткими маршрутами – более 100 км, что связано с высоким типологическим разнообразием растительного покрова Малоземельской тундры.

К наиболее благоприятной по кормовым условиям выделялась территория TABS с типологическим разнообразием растительного покрова 1,0–2,5, высокими

максимальными значениями надземной фитомассы 201–400 г/м<sup>2</sup> и ее изменчивостью 3 и > 20,0 %, IND8 – 1,0–2,5, 135–400 г/м<sup>2</sup> и 1 и > 10,0 % соответственно.

Кластерный анализ по наиболее информативным морфологическим признакам самок и самцов (глубина и ширина груди, высота в холке) показал, что среди исследованных субпопуляций на территории Малоземельской тундры и восточной части Северного Тимана выделяются экологические группы TABS и IND8.

Для отражения приспособительной реакции организма к условиям среды обитания применили индекс развития груди (высота в холке к обхвату груди), характеризующий относительное развитие груди в ширину и глубину к высоте приравненный нами к индексу условий среды.

Анализ данных, полученных в ходе исследований, позволил дать объяснение индивидуальных особенностей самок TABS, выделяющих их большими размерами высоты в холке и наименьшими - глубины груди, связанных с условиями среды обитания, характеризующиеся высокой влажностью воздуха (среднегодовая относительная влажность воздуха 88 %) при дефиците активных температур как одного из основных экологических факторов, оказывающего большое влияние на физиологические функции животных и выявить с высотой в холке высокую и прямую связь ( $r=1$ ). Форма грудной клетки самок TABS отличалась большим развитием в ширину, придавая ей более выраженную бочкообразную форму. В условиях среды обитания, характеризующиеся влажностью воздуха 83,5 % самки и самцы IND8 имели более низкие показатели 0,793 и 0,814, при этом самки обладали более глубокой и уплощённой грудью с боков и были менее высокими.

По телосложению животные IND8 массивны и растянуты, что характеризует оба пола высокими мясными качествами, TABS костисты и длинноноги. Самки TABS отличались высоким грудным (66,1) и тазогрудным (120,8) индексами, что указывало на хорошо развитую грудь. Относительное развитие груди в ширину по отношению к заднему характеризовало их высокими мясными качествами, тогда как у самцов они были ниже (61,5 и 110,9 соответственно).

Анализ оценки генетической изменчивости, показал, что субпопуляции TABS и IND8 обладали высокой степенью наблюдаемой ( $0,661 \pm 0,060$ ;  $0,602 \pm 0,045$ ) и ожидаемой гетерозиготности ( $0,749 \pm 0,030$ ;  $0,723 \pm 0,029$ ). Оценка разнообразия (по Шеннону) субпопуляций TABS ( $1,666 \pm 0,106$ ) и IND8 ( $1,527 \pm 0,095$ ) показала большую приспособленность TABS к среде обитания и изменениям условий окружающей среды, высокое видовое разнообразие.

Для оценки генетических различий использовали между двумя субпопуляциями стандартные дистанции по М. Nei, которые варьировали от 0,046 до 0,354. Максимальные генетические дистанции демонстрировала TABS и IND8 показывая на меньшее их сходство. Учитывая более высокую обособленность TABS среди изучаемых субпопуляций коэффициент инбридинга составляет 9 %, в IND8 - 16,6 % и заслуживает внимания.

В системе агропромышленного комплекса Ненецкого АО северное оленеводство относится к приоритетному направлению, которое поставлено на промышленную основу производства мяса. Оценка стабильности и устойчивости популяций позволяют дать производственные показатели, рассмотренные в динамике к периоду полученных наивысших показателей. Динамика поголовья оленей IND8 и в целом по хозяйству за период с 2010 по 2021 годы показывает снижение на 32,7 и 13,4 % соответственно, к 1989 г. – 25,9 и 62,7 % (рис. 1). Производственные показатели IND8 за последние три года не достигли показателей 1989 г. и были нестабильны, что создает не только угрозу экономической безопасности хозяйства, но и снижение биологического разнообразия в субпопуляции (рис. 2).

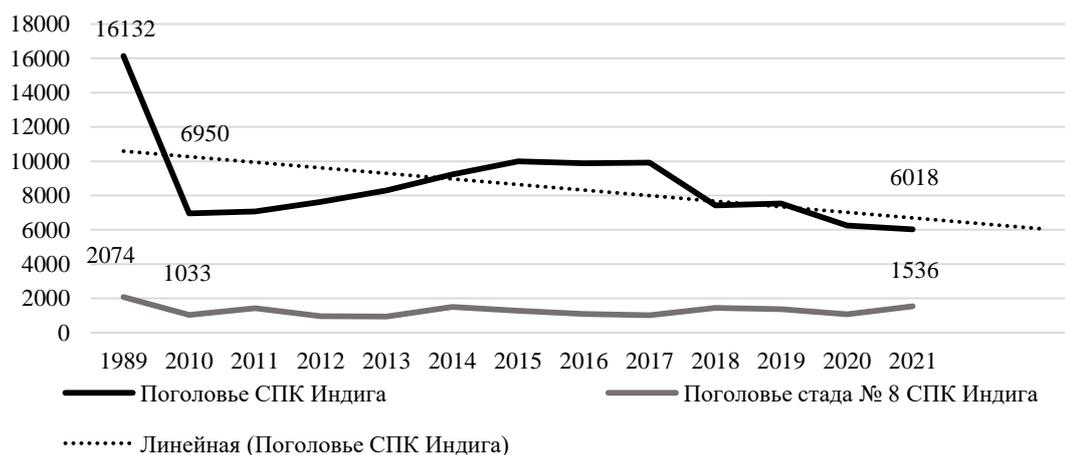


Рис. 1 – Динамика поголовья оленей СПК «Индига» и стадо № 8 на начало года, гол.



Рис. 2 – Динамика производственных показателей стада № 8 СПК «Индига»

В общине не достигнуты производственные показатели 1988 г. К нестабильным и низким надо отнести все показатели, кроме сохранности взрослого поголовья (Рис. 3). В последние два года наблюдалась высокая яловость, как в СРО «Табседа», так и в стаде № 8 СПК «Индига». Показатели 1980-ых г. к 2019–2021 гг. отличались высоким выходом мяса 33,1 ц (СРО «Табседа») и 29,4 (стадо № 8 СПК «Индига»), что подтверждает их мясные качества животных.

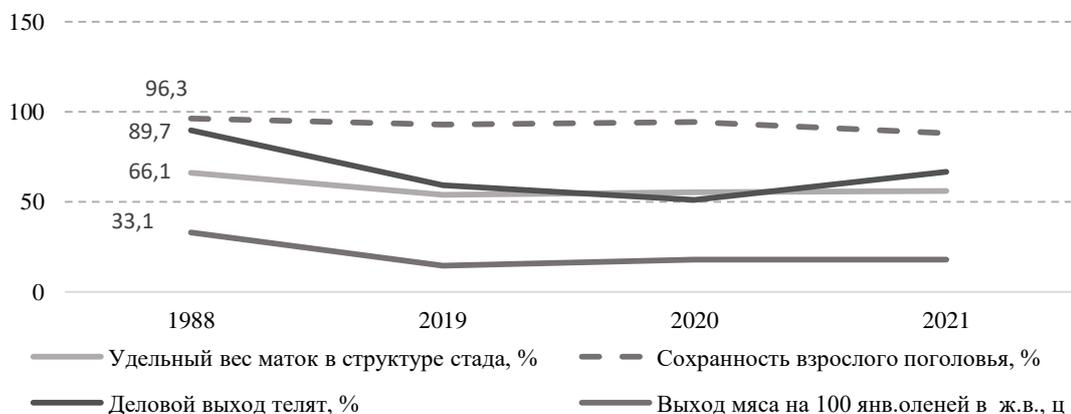


Рис. 3 – Динамика производственных показателей СРО «Табседа»

Полученные результаты в ходе исследований, свидетельствуют о необходимости сохранения и выбора меры существующей государственной поддержки, направленной на сохранение и рациональное использование генофонда малочисленных локальных субпопуляций домашних северных оленей.

*Исследования проведены при финансовой поддержке НОЦ «Российская Арктика: новые материалы, технологии и методы исследования» в рамках договора № Д-1596.2022 «Сохранение генофонда локальных популяций домашних северных оленей в условиях промышленного освоения Арктики».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разработать первый (обзорный) вариант проекта геоботанического районирования территории восточно-европейских тундр с учетом распределения по НАО оленеводческих хозяйств и различных типов оленьих пастбищ) / Отчет о НИР (промежуточ.): 02–08 / ФГБНУ «Нарьян-Марская СХОС»; рук. И.А. Лавриненко И.А., исполн. Лавриненко О.В. Нарьян-Мар, 2015. 29 с. № ГР 116112410061-4. Инв. № 495.
2. Агроклиматические условия выпаса оленей на севере Коми АССР и в Ненецком автономном округе Архангельской области / под научн. ред. Н. В. Гулиновой. Сыктывкар, Коми кн. из-во, 1986. 283 с.

#### РАЗРАБОТКА ГИДРОПОННЫХ РАСТВОРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ХЕЛАТИРУЮЩЕЙ ФОРМЕ

*Харитонов А.Э., Мурадян С.А., Пищяева К.В.*

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва, serdiner2016@yandex.ru

##### **Актуальность.**

Гидропоника – универсальный метод выращивания растений в питательном растворе. Основной компонент системы - питательная среда для роста растений, состоящий из макро- и микроэлементов, необходимых для нормального развития растений. Передовые технологии синтеза гидропонного раствора включают использование хелатных комплексов для улучшения доступности микроэлементов для растений. Гидропонные фермы – альтернатива традиционным теплицам в этих краях. Их основное преимущество – свежесть и скорость роста вне зависимости от погодных условий и времени года.

Разработка отечественного аналога гидропонного раствора General Hydroponic Europe (GHE) позволяет использовать их в гидропонной системе для выращивания огородных и цветочных культур с высокой скоростью роста биомассы в экстремальных экологических экосистемах, таких как пустыни, горные районы или арктические сообщества на ограниченной площади посадки обеспечивает продовольственную безопасность, экономическую эффективность и охрану окружающей среды.

##### **Метод исследования.**

На базе Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева, была разработана новая формула гидропонного раствора, которая содержит больше азота и более широкий спектр микроэлементов в хелатной форме. Было проведен обзор статей, патентных разработок для определения наиболее важных микроэлементов, необходимых для роста растений. Далее были рассчитаны основные и вспомогательные биохимические компоненты, которые составляют основу питательного раствора, и улучшают стабильность готового раствора.

Следующим этапом стало моделирование гидропонной установки (рис. 1), где проводились эксперименты с различными растениями и составами растворов, а также определялись оптимальные пропорции элементов в растворе.

Важно отметить, что разработка нового состава гидропонного раствора может быть достаточно трудоемкой задачей и необходимо проводить регулярное тестирование и оптимизацию раствора, для максимальной эффективности и качества выращиваемых растений.



Рис. 1 – Гидропонные установки



Рис. 2 – Проведение замеров роста растений



Рис.3 – Приготовление раствора

### Основная часть

В гидропонном эксперименте сравнивали два раствора, экспериментальный питательный раствор и питательный раствор марки GHE «Tri Part Grow», «Micro», «Bloom» с минимальным гарантированным составом, в соотношении 4:4:2 (капель на 1 л воды):

Tri Part Micro: N — 5%, K<sub>2</sub>O — 1,3%, CaO — 1,4%, Fe — 0,12% Chelated 6%, EDDA — 11% DPTA, Cu — 0,01% Chelated EDTA, Zn — 0,015% Chelated EDTA, B — 0,01%, Mn — 0,05% Chelated EDTA, Mo — 0,004%;

Tri Part Grow: N — 3%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 1%, K<sub>2</sub>O — 6%, MgO — 0,8%;

Tri Part Bloom: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 5%, K<sub>2</sub>O — 4%, SO<sub>4</sub> — 5%, MgO — 3%.

Разработанный питательный состав (рис. 3) для гидропоники содержит на 1.8 % больше азота, на 4.7 % меньше фосфора, на 0.76 % больше калия, на 0.27 % больше бора, на 0.056 % больше молибдена по сравнению с GHE, что было выявлено при проведении элементного анализа раствора. Данные показатели благотворно влияют на свойство питательной среды. Для добавления в раствор нитратного азота важное значение играет достаточное наличие молибдена и фосфора. Дефицит молибдена замедляет восстановление нитратов, снижается ассимиляция нитратного азота [1].

Так как соотношение аммония / нитратов может изменить pH вокруг корневой части растений, то изменение pH может повлиять на растворимость и доступность других питательных веществ. Процент аммонийного азота NH<sub>4</sub><sup>+</sup> в питательном растворе не должен превышать 50% от общей концентрации N. Кроме соотношения нитратного/аммонийного азота контроль раствора зависит от определенного содержания других компонентов (такие как азот, фосфор, калий, кальций, магний, железо, марганец, цинк, медь, бор и молибден), а также параметров регулировки раствора (pH, ЕС, температура раствора, температура окружающей среды, инсоляционный режим и ритм, содержание хелатных комплексов, аэрация питательного раствора) [2].

Также одним из важных компонентов в современных растворах являются хелатные комплексы - форма микроэлементов, используемая в гидропонике. Они создаются путем связывания микроэлементов с хелатирующим агентом, таким как этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТА). Например, хелат железа участвует в синтезе хлорофилла, кислородно-несущих белках и других важных компонентах растения. Без достаточного количества железа, растения становятся более слабыми, перестают расти и могут умереть. Хелатные комплексы (рис. 4) увеличивают усвояемость растений микроэлементами до 90%. Хелаты имеют преимущество перед неорганическими солями, т.к. они воспринимаются растением как органические соединения, что позволяет ионам металлов быстрее проникать через мембрану клетки в нужные органы растений.

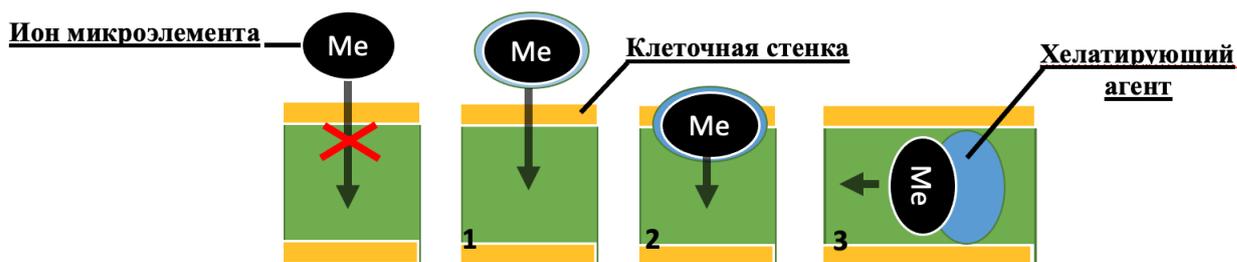


Рис 4 – Сравнение прохождения свободного иона микроэлемента и в составе хелатного комплекса (1-3) – на 90% лучше

### Результаты

В ходе эксперимента были высажены следующие культуры растений: редька дайкон, салат, базилик, кориандр, укроп, томат. Первая установка была запущена на базе раствора GHE (1), вторая – на разработанном экспериментальном составе (2).

На протяжении всего эксперимента с периодичностью в 3 дня были проведены замеры роста растений; визуальная оценка (рис. 5-6); электропроводности раствора (рис. 7); контроль влажности, температуры раствора и среды, pH раствора (рис. 8)



Рис. 5 – Визуальный вид культур (кориандр, салат латук) на конец эксперимента (52 день)



Рис. 6 – Визуальный вид культур (укроп, базилик) на конец эксперимента (52 день)

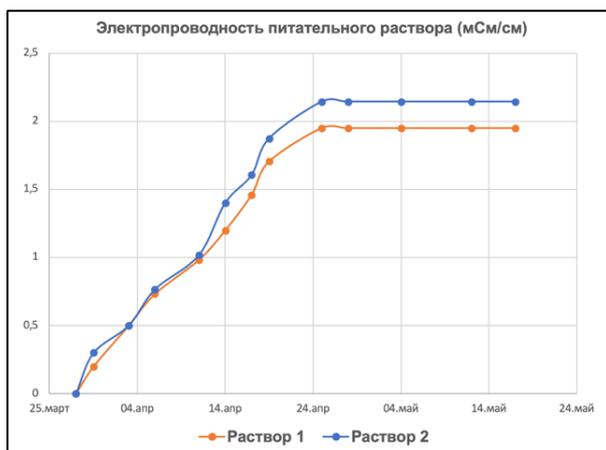


Рис. 7 – Электропроводность питательного раствора

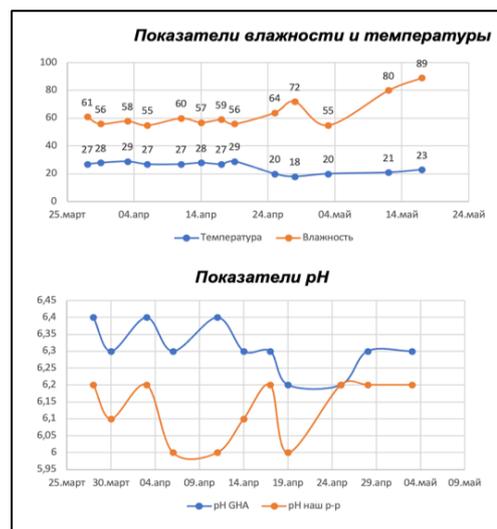


Рис. 8 – Показатели влажности, температуры, pH

По результатам проведённого эксперимента были проведены замеры роста растений (рис. 2) и составлены графики роста и развития растений (рис. 9-14).

На графиках отчетливо видно, что для таких культур, как редька дайкон, кориандр, базилик наш раствор показал лучший прирост биомассы на всем протяжении эксперимента.

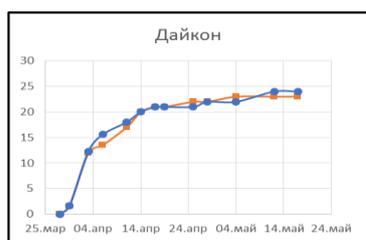


Рис. 9 – График роста биомассы Редьки дайкона

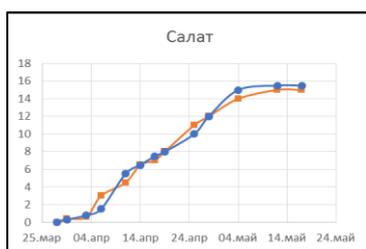


Рис. 10 – График роста биомассы Салата



Рис. 11 – График роста биомассы Базилика

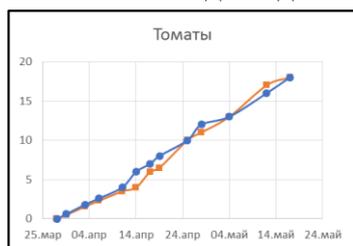


Рис. 12 – График роста биомассы Томата

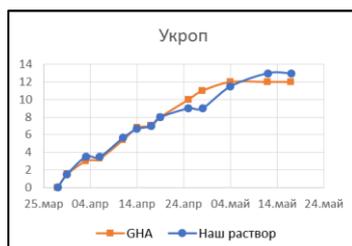


Рис. 13 – График роста биомассы Укропа



Рис. 14 – График роста биомассы Кориандра

Результаты показали, что зеленная масса выращенных растений была в среднем выше на 8%, по сравнению с гидропонным раствором GNE.

Стоит отметить, что всхожесть томатов составила 100% в гидропонных установках. Однако, из-за того, что в отличие от вышеперечисленных культур микрозелени, целевым продуктом является не зеленная масса растения, а его плоды, именно это обуславливает больший необходимый вегетационный период по сравнению с другими представленными растениями.

### **Заключение.**

Первичная серия экспериментов позволила показать эффективность разработанного питательного раствора в по сравнению с эталонным раствором. Однако, в дальнейшем планируются исследования на плодовых, ягодных, злаковых культурах для определения урожайности. Разработка нового отечественного питательного раствора станет основой для выращивания здоровых и питательных растений без почвы, который будет порядком дешевле и доступнее импортных аналогов, ничем не уступая по качеству.

Особую благодарность РХТУ им. Д.И. Менделеева выражает Николаю Павловичу Лаверову и хранит память о великом ученом. Его роль в вопросе освоения арктических земель всеобъемлюща. Данный доклад хотелось бы закончить словами Николая Павловича: «Осваивать Арктику сложнее, чем космос».

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РХТУ имени Д.И. Менделеева в рамках внутреннего инициативного гранта № ВИГ-2022-037, аналитические исследования выполнены на базе ЦКП РХТУ имени Д.И. Менделеева.*

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. De Rijck, G. Comparison of the mineral composition of twelve standard nutrient solutions / G. de Rijck, E. Schrevens // J. Plant Nutr. - 1998. - 21, №10.
2. Yoneda, K. Effects of macroelement concentrations on growth, flowering, and nutrient absorption in an *Odontoglossum* hybrid / K. Yoneda, N. Suzuki, I. Haschawa // Sci. hort. (Neth.). - 1999. - 80, N3 4.

## **МОНИТОРИНГ КРЫЛАТЫХ ТЛЕЙ-ПЕРЕНОСЧИКОВ ВИРУСОВ НА ПОСАДКАХ КАРТОФЕЛЯ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО РЕГИОНА РОССИИ**

*Шаманин А.А.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, lexhik\_1@mail.ru

На урожай клубней картофеля и его качество, помимо грибных и бактериальных заболеваний, негативно влияют вирусы. Источником распространения вирусной инфекции служит инфицированный семенной материал, а переносчиками – сосущие насекомые и в первую очередь тли. Тли являются переносчиками различных штаммов вирусных заболеваний, меняющих ход обмена веществ и вызывающих функциональные расстройства у растений картофеля. Сюда входят вирусы мозаичной группы – Y-вирус, A-вирус, M-вирус, S-вирус, X-вирус и вирус скручивания листьев картофеля [1, 2].

Афидофауна Российской Федерации включает более 300 видов тлей, из которых около двух десятков участвуют в распространении вирусов картофеля. Наиболее эффективными переносчиками являются тли, непосредственно питающиеся на картофеле – *Myzus persicae* Sulz., *Aulocarthum solani* Kalt., *Macrosiphum euphorbiae* Thomas, *Aphis fabae* Scop., *Aphis nasturtii* Kalt., *Aphis frangulae* Kalt., *Aphis gossypii* Glov. Ряд тлей способны переносить вирусы за счёт пробных укусов при поиске пищи. Сюда входят *Acyrtosiphon pisum* Harr., *Brachycaudus helichrysi* Kalt., *Myzus cerasi* F., *Phorodon humuli* Schrk., *Rhopalosiphum padi* L. [3, 4].

Распространение тлей по территории России неравномерно и зависит от погодных-климатических условий. Уменьшение численности и миграционной активности тлей происходит с юга на север и с юга на восток. В южных регионах, в

частности в Брянской области, количество отлавливаемых в ловушки на посадках картофеля тлей находится в пределах 800–1300 штук на 1 ловчий сосуд. В условиях центральных регионов (Московская область), на востоке и юго-востоке (Кемеровская область, Республики Казахстан и Татарстан) данный показатель численности крылатых особей составляет от 100 до 600 особей на 1 ловушку. В Северо-Западном Федеральном округе России численность крылатых тлей на посадках картофеля колеблется в пределах 100-200 особей на 1 водную ловушку. Максимальная интенсивность лёта во всех регионах приходится на июль. Также во всех упомянутых регионах присутствует *M. persicae*, являющаяся наиболее эффективным переносчиком вирусов картофеля. Данный вид может занимать в структуре численности до 50 % [5].

В Архангельской области, относящейся к Северному региону России, афидофауна на посадках картофеля изучена слабо. В связи с выделением специализированных зон для семеноводства картофеля в Архангельской области актуально ежегодное проведение мониторинга лёта тлей, что позволит дать оценку степени распространённости тлей-переносчиков вирусов, спрогнозировать динамику заселения ими посадок картофеля и разработать адаптивную систему защиты растений.

Цель исследований – изучить активность тлей-переносчиков вирусов на посадках картофеля в условиях Архангельской области.

Исследования проводили в южной (Котласский район) и северной (Холмогорский район) частях Архангельской области в 2018-2022 годах. Мониторинг осуществляли путём отлова крылатых особей жёлтыми водными ловушками. В районах проведения исследований на посадках картофеля по периметру полей устанавливали по 4 ловушки. Дата начала отлова 18 июня, что соответствует началу всходов картофеля. Выемку насекомых осуществляли один раз в неделю, последнюю – 27 августа, когда осуществляется уничтожение ботвы десикацией и механическим скашиванием. Отловленных насекомых фиксировали в 70-% спиртовом растворе. Идентификацию тлей проводили на фиксированном материале в лаборатории фитосанитарной диагностики и прогнозов ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений».

**Результаты исследований.** На посадках картофеля в Архангельской области за 5 лет было идентифицировано 36 видов тлей (таблица 1). Из них прямые (непосредственно питаются на картофеле) и потенциальные (за счёт пробных уколов) переносчики представлены 7 видами: *A. pisum* Harr., *A. fabae* Scop., *A. nasturtii* Kalt., *A. solani* Kalt., *H. lactucae* L., *M. euphorbiae* Thomas, *R. padi* L. Ежегодная численность отловленных тлей-переносчиков вирусов картофеля колебалась в Котласском районе от 82 особей в 2020 году до 181 особи в 2021 году. В Холмогорском районе ежегодная численность тлей-переносчиков варьировала от 38 штук в 2019 году до 66 штук в 2018 году, а в 2021 году произошла вспышка массового размножения *A. fabae* Scop. и *R. padi* L., в результате чего численность составила 1654 особи.

Таблица 1 – Виды тлей, идентифицированные на посадках картофеля в Архангельской области

<i>Acyrtosiphum pisum</i> Harr. <i>Anoecia corni</i> F. <i>Aphis fabae</i> Scop. <i>Aphis ideai</i> Goot <i>Aphis nasturtii</i> Kalt. <i>Aphis pomi</i> De Geer <i>Aphis sambuci</i> L. <i>Aulacorthum solani</i> Kalt. <i>Brachycaudus cardui</i> L. <i>Brachycaudus helichrysi</i> Kalt. <i>Brevicoryne brassicae</i> L.	<i>Hyperomyzus lactucae</i> L. <i>Lachnus</i> Spp. <i>Liosomaphis berberidis</i> Kalt. <i>Lipaphis erysimi</i> Kalt. <i>Macrosiphonielle absinthii</i> L. <i>Macrosiphum euphorbiae</i> Thomas <i>Macrosiphum rosae</i> L. <i>Megoura viciae</i> Buck. <i>Metopolophium dirhodum</i> Walk. <i>Myzaphis rosarum</i> Kalt. <i>Pemphigus borealis</i> Tullgr.
--	--

<i>Capitophorus elaeagni</i> Guerc. <i>Cavariella aegopodii</i> Scop. <i>Cavariella avenae</i> F. <i>Chaitophorus populeti</i> Panz. <i>Cinara costata</i> L. <i>Criptomyzus ribis</i> L. <i>Helopterus pruni</i> Geoffr.	<i>Rhopalosiphoninus ribesinus</i> Goot. <i>Rhopalosiphum insertum</i> Walk. <i>Rhopalosiphum padi</i> L. <i>Sipna</i> Spp. <i>Sitobion avenae</i> F. <i>Therioaphis trifolii</i> M. <i>Tuberculatus annulatus</i> Hart
---	---

*A. pisum* Harr. (гороховая тля) – повреждает бобовые растения. Сначала вредитель питается на многолетних бобовых травах, затем переходит на посевы культурных растений. Данный вид отлавливали на посадках картофеля в Котласском районе ежегодно, в Холмогорском – в 2020, 2021 и 2022 годах (таблица 2). Численность идентифицированных насекомых данного вида в разные годы в Котласском районе колебалась от 3 до 11 особей, отлавливался ловушками в разные годы с третьей декады июня по вторую декаду августа. В Холмогорском районе *A. pisum* Harr. отлавливали по 1-2 особи в год в разные периоды: в 2020 году во второй и третьей декаде июля, в 2021 году в третьей декаде июня, в 2022 году во второй декаде июня.

Таблица 2 – Численность тлей-переносчиков вирусов картофеля, отловленных в районах проведения исследований, шт

Вид тли	Район проведения исследований	Год					Всего
		2018	2019	2020	2021	2022	
<i>A. pisum</i> Harr.	Котласский	4	5	3	3	11	26
	Холмогорский	0	0	2	1	2	5
<i>A. fabae</i> Scop.	Котласский	44	21	25	51	30	171
	Холмогорский	19	16	16	1392	10	1453
<i>A. nasturtii</i> Kalt	Котласский	12	6	9	12	11	50
	Холмогорский	8	2	3	31	13	57
<i>A. solani</i> Kalt	Котласский	21	15	7	2	19	64
	Холмогорский	13	6	5	3	9	36
<i>H. lactucae</i> L.	Котласский	23	7	4	7	7	48
	Холмогорский	14	1	2	2	18	37
<i>M. euphorbiae</i> Thomas	Котласский	5	4	0	1	2	12
	Холмогорский	0	0	0	0	0	0
<i>R. padi</i> L.	Котласский	26	26	34	105	22	213
	Холмогорский	25	19	21	202	6	273

*A. fabae* Scop. (свекловичная или бобовая тля) – мигрирующий вид, имеет как первичных, так и вторичных хозяев. Повреждает более 200 культурных и сорных растений, образует большие колонии. Входит в число наиболее многочисленных видов, идентифицированных в районах проведения исследований. В южной части Архангельской области численность идентифицированных крылатых особей данного вида колебалась от 21 особи в 2019 году до 51 особи в 2021 году. Тля присутствовала на посадках картофеля ежегодно от начала вегетации до второй декады августа включительно, лишь в 2020 году тли перестали попадать в ловушки во второй половине июля. В северной части Архангельской области *A. fabae* Scop. отлавливали ежегодно, численность тлей колебалась от 10 особей до 19 особей. Несмотря на то, что в Холмогорском районе во все годы тли начинали попадать в ловушки с начала вегетации картофеля, их активность в течении вегетационного периода различалась. Так в 2018 году тли посещали посадки до первой декады июля, в 2019 и 2021 годах тлей отлавливали на протяжении всего вегетационного периода, в 2020 году тли попадали в ловушки до конца июля, а в 2022 году тли присутствовали на растениях картофеля до конца июня. В 2021 году в обоих районах проведения исследований наблюдалась вспышка массового размножения данного вида тли. В Котласском районе

это событие произошло во второй декаде июля – отмечен резкий рост численности до 30 особей. Вспышка массового размножения *A. fabae* Scop. в Холмогорском районе происходила с двумя пиками численности: первый пришёлся на вторую декаду июля и характеризовался резким ростом численности с 8 особей до 575 особей; второй пик произошёл в третьей декаде августа, рост численности отмечен с 7 особей до 536 особей.

*A. nasturtii* Kalt. (крушинная тля) – начинает питаться на верхушках побегов крушины, затем мигрирует на культурные и дикие травянистые растения. Данный вид ежегодно присутствовал на посадках картофеля как на юге, так и на севере Архангельской области. В Котласском районе годовая численность тлей колебалась от 6 особей в 2019 до 12 особей в 2018 и 2021 годах, а в Холмогорском районе от 2 особей в 2019 году до 31 особи в 2021 году. Лёт тлей данного вида разнился как по годам, так и по районам. В южной части тли начинали попадать в ловушки в третьей декаде июня в 2018–2020 годах и в первой декаде июля в 2021–2022 годах, а прекращали своё присутствие на посадках в конце июля и первой декаде августа. В северной части Архангельской области *A. nasturtii* Kalt. присутствовала на посадка картофеля в третьей декаде июня в 2019 году, во второй и третьей декадах июля в 2019 и 2020 годах и с первой декады июля до конца наблюдений в 2020 и 2021 годах. Также, в Холмогорском районе во второй декаде июля 2021 года наблюдался пик лёта с численностью 10 особей.

*A. solani* Kalt. (обыкновенная картофельная тля) – заселяет картофель, баклажан, огурец, салат, перец, бахчевые и другие культуры. Ежегодно попадала в ловушки в обоих районах проведения исследований с годичной численностью от 2 особей в 2021 году до 21 особи в 2018 году в Котласском районе и от 3 особей в 2021 году до 13 особей в 2018 году в Холмогорском районе. Присутствие данного вида тли на посадках в разные годы происходило в различные периоды. В южной части в 2018 году тли попадали в ловушки с третьей декады июня по вторую декаду июля, в 2019 году с первой декады июля по третью декаду августа, в 2020 году во вторую и третью декады июля, в 2021 году только в начале августа и в 2022 году со второй декады июля по вторую декаду августа. В северном районе проведения исследований лёт *A. solani* Kalt. в 2018 году пришёлся на конец июня – начало июля, в 2019 и 2020 годах насекомых отлавливали со второй декады июля по первую декаду августа, в 2021 году в ловушку попало лишь 3 особи в третьей декаде августа, а в 2022 году тли присутствовали на посадках с конца июня до конца августа.

*H. lactucae* L. (салатная тля) – питается на нижней стороне молодых листьев смородины и формирует большие колонии. Мигрирует на вторичного хозяина – осот и салат. Данный вид тли идентифицировали ежегодно и в Котласском и в Холмогорском районах. Численность крылатых особей на юге области колебалась от 4 особей в 2020 году до 23 особей в 2018 году, отмечено их постоянное присутствие на посадках картофеля во второй половине июня, а в отдельные годы до третьей декады июля отлавливались единичные особи. В северном районе в 2018, 2020 и 2021 годах лёт приходился на вторую половину июня, в 2019 году отловлена всего 1 особь в начале августа, а в 2022 году тли присутствовали на посадках на протяжении всего периода вегетации картофеля.

*M. euphorbiae* Thomas (большая картофельная тля) – самки-основательницы сначала питаются на сорной растительности, предпочитая растения из семейства маревых. Крылатые особи мигрируют на культурные растения. Является самым малочисленным из переносящих вирусы картофеля видов тлей, идентифицирован только на юге Архангельской области во все годы проведения исследования за исключением 2020. Попадал в ловушки в разные годы с первой декады июля по первую декаду августа в количестве от 1 до 3 особей.

*R. padi* L. (черемухово-злаковая тля) – питается на молодых побегах черемухи, затем мигрирует на злаковые культуры. Является самым многочисленным видом из вероятных переносчиков вирусов картофеля в южной части Архангельской области и вторым по численности в северной части. Отлавливали от 22 особей в 2022 году до 105 особей в 2021 году в Котласском районе и от 6 особей в 2022 году до 202 особей и 2021 году в Холмогорском районе. На посадках картофеля данный вид присутствовал в два периода, что наблюдалось в обоих районах проведения исследований. Первый период проходил с начала вегетации до первой декады июля, второй – с третьей декады июля до окончания наблюдений. В 2021 году наблюдались вспышки массового размножения *R. padi* L. В Котласском районе отмечено увеличение численности в начале вегетации до 40 и во второй половине августа до 56 особей. В Холмогорском районе наращивание численности крылатых особей происходило волнообразно с 13 особей в начале августа до 134 особей в конце вегетации.

За весь период отлова крылатых тлей не идентифицировано ни одной особи наиболее вредоносного вида – *Myzus persicae* Sulz.

Мониторинг лёта тлей служит для оценки степени распространённости насекомых, что в свою очередь характеризует риски распространения вирусных заболеваний на посадках картофеля в условиях различных регионов и обосновывает необходимость и интенсивность применения защитных мероприятий. За период наблюдений годовая численность крылатых тлей на 1 водную ловушку на юге Архангельской области колебалась от 21 до 46 особей, а на севере – от 16 до 27 особей, что соответствует низкой степени распространённости переносчиков вирусов картофеля. Однако, в результате вспышки массового размножения *A. fabae* Scop. и *R. padi* L. в Холмогорском районе в 2021 году численность тлей на 1 водную ловушку за весь период вегетации составила 445 особей и степень распространённости тлей-переносчиков вирусов оказалась средняя.

**Заключение.** Проведённые исследования позволили установить видовой состав, численность и миграционную активность крылатых тлей на посадках картофеля. Полученные данные свидетельствуют о том, что южные и северные территории Архангельской области характеризуются низкой степенью распространённости тлей-переносчиков вирусов, в отдельные годы на фоне вспышек массового размножения возможно изменение степени распространённости до средней. В совокупности с тем, что тли присутствуют на посадках на протяжении всего периода вегетации картофеля, необходимо применение профилактических и истребительных мероприятий по защите растений от насекомых. Систематический ежегодный мониторинг лёта тлей позволяет установить интенсивность и сроки проводимых защитных мероприятий.

*Исследования проведены в ходе выполнения научного проекта молодых учёных ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, посвященного Десятилетию науки и технологий в Российской Федерации, по договору № 3 от 19 апреля 2023 г.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анисимов Б.В. Фитосанитарные зоны и их роль в безвирусном семеноводстве картофеля // Защита и карантин растений. 2014. №11. С. 14-19.
2. Ерохова М.Д. Мониторинг тлей-переносчиков вирусов картофеля: международный и Российский опыт // Защита картофеля. 2016. №2. С. 24-30.
3. Зыкин А.Г. Вирусные болезни картофеля. Л.: «Колос», 1976. 152 с.
4. Радченко Е.Е. Устойчивость картофеля к тлям // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. №1. С. 74-82.
5. Шаманин А.А., Берим М.Н. Результаты мониторинга крылатых тлей (Hemiptera: Arhidae) на посадках картофеля в условиях Северного региона России // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. №5. С. 697-705.

## АРКТИЧЕСКАЯ СПЕЦИФИКА ПРОДОВОЛЬСТВЕННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В ЧУКОТСКОМ АВТОНОМНОМ ОКРУГЕ

*Шарытова О.А.*

Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило  
ДВО РАН, г. Магадан, sharytova@neisri.ru

На протяжении последних 10 лет РФ принято множество стратегических документов [1-4], создавших систему механизмов и мер поддержки сельскохозяйственного производства, рыбодобывающей и пищевой промышленности в стране и регионах. О результативности принятых мер свидетельствует положительная динамика роста объемов сельхозпроизводства в целом по стране и в большинстве регионов. Особым образом процессы развития агропромышленного комплекса (АПК) проходят в отдаленных от центра арктических и серных регионах, которые остаются, в большей степени, зависимы от привозной продовольственной продукции.

Для арктического Чукотского автономного округа (АО) ощутимые сложности возникают как с развитием сельского хозяйства в непростых климатических условиях, так и с регулярностью поставок в регион доступного по цене продовольствия в силу ограниченного периода морской навигации.

Сельское хозяйство имеет большое социально-экономическое значение, так как это, главным образом, сфера приложения труда коренных малочисленных народов Чукотки в традиционных для них отраслях – оленеводстве и морском зверобойном промысле, обеспечивающих занятость более 70% коренного населения округа. Важным видом экономической деятельности для жителей региона, учитывая отдаленность и транспортную ограниченность, является рыболовство.

Таблица 1 – Собственное производство продукции в Чукотском АО регионах, на душу населения в год [5-8]

Наименование продукции	2005	2010	2015	2020	2021
Картофель, кг	2,0	2,0	2,0	2,1	1,9
Овощи, кг	1,9	2,0	3,0	5,7	6,2
Мясо и мясопродукты, кг	5,9	25,8	17,9	10,3	10,4
Молоко и молокопродукты, кг	1,9	1,9	-	-	-
Яйцо, шт.	89,1	57,6	41,8	117,8	79,3
Рыба и водные биоресурсы (добыча), кг	669,3	834,9	171,9	364,2	204,5

В настоящее время округ в незначительной степени обеспечивает внутренние потребности в мясе, картофеле и овощах (табл. 1). Большим спросом населения пользуется экологически чистая оленина, которой практически заместили завозимую говядину. Это особенно актуально в свете поставленных задач по импортозамещению. Более результативны показатели по производству куриного яйца и добыче рыбы.

Сравнение фактического потребления основных продуктов питания населением округа с рациональными нормами потребительской корзины (табл.2) (несмотря на ее несовершенство) позволило определить общее «недопотребление» продуктов питания в целом, которое составляет порядка 30-40%, что обусловлено сложностями с физической и ценовой доступностью продовольствия, особенно в периоды закрытия морской навигации в регионе (с октября по июнь).

Таблица 2 – Фактическое потребление продукции в Чукотском АО и нормы потребительской корзины, кг на душу населения в год [5-7,9]

Продукция	2005	2010	2015	2020	2021	Нормы потребительской корзины *
Мясо и мясопродукты	35,0	80,5	89,6	44,0	44,0	<b>70,2</b>
Молоко	59,0	73,0	105,0	106,0	108,0	<b>252,8</b>
Яйца, шт.	152,0	177,0	153,0	178,0	159,0	<b>260</b>
Картофель	65,0	51,0	44,0	44,0	40,0	<b>70,3</b>
Овощи	15,0	12,0	26,0	36,0	34,0	<b>112,6</b>
Фрукты и ягоды	12,0	16,0	12,0	12,0	12,0	<b>65,0</b>
Растительное масло	19,2	21,7	15,9	14,0	14,1	<b>15,8</b>
Сахар	37,0	33,4	31,9	30,0	28,0	<b>26,2</b>
Рыба и морепродукты	48,0	25,1	33,4	29,6	28,2	<b>35,1</b>
Хлебобулочные продукты	58,0	65,0	60,0	62,0	58,0	<b>157,2</b>

\* Для трудоспособного населения

Уровень общей продовольственной самообеспеченности региона в целом относительно фактического потребления за 2005-2021 гг. особо не изменился и остается достаточно низким (порядка 20%). Причины: сбои в поставках продовольствия, рост цен на продовольственные товары и снижение покупательной способности доходов населения.

Для улучшения продовольственной самообеспеченности необходимо продолжать развивать производство тех видов сельскохозяйственной продукции, по которым регион может существенно сократить свою зависимость от ввоза. К таким видам продукции относятся мясо, яйцо, а также овощи. Нужно создавать условия для производства молочной продукции,

Огромные возможности у региона по увеличению поголовья оленей и производства мясной продукции для собственных нужд. Имеется коммерческий потенциал у морзвербойного промысла (Омега-3, и др.), а также и сбора и переработки дикоросов для внутрирегионального потребления.

Несмотря на существующие арктические барьеры для развития внутрирегионального сельского хозяйства и пищевой промышленности, а также нормального функционирования продовольственной системы региона появляются и новые арктические возможности, которые могут кардинальным образом улучшить ситуацию с развитием местного АПК (льготный режим Арктической зоны Российской Федерации), с защищенно-гарантированной (модификация условий Северного завоза) [10] и круглогодичной (Северный морской путь) поставкой доступного продовольствия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации [Электронный ресурс]: Указ Президента РФ от 30.01.2010 г. № 120. Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/30563>.
2. О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия [Электронный

- ресурс]: Постановление Правительства РФ от 14.07. 2012 г. № 717. Режим доступа: <https://base.garant.ru/70210644/#friends>;
3. Об утверждении Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017 - 2025 годы [Электронный ресурс]: Постановление Правительства РФ от 25.08.2017 г. №996. Режим доступа: <http://static.government.ru/>
  4. Об утверждении Стратегии развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов РФ на период до 2030 г. [Электронный ресурс]: Распоряжение Правительство РФ от 12.04.2020 г. № 993-р. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/564654448#>
  5. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2021: Стат. сб. / Росстат. М., 2021. 1112 с.
  6. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2016: Стат. сб. / Росстат. М., 2016. 1326 с.
  7. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2012: Стат. сб. / Росстат. М., 2012. 990 с.
  8. Литвиненко Т. В. Постсоветская трансформация ресурсопользования и ее влияние на динамику населения в Чукотском автономном округе // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2013. № 2. С. 30-42.
  9. ЕМИСС [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.fedstat.ru/indicator/31346>
  10. О северном завозе [Электронный ресурс]: ФЗ от 04.08.2023 N 411-ФЗ. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202308040016>

## **ВЫРАЩИВАНИЕ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОВДОРСКОГО ВЕРМИКУЛИТА В УСЛОВИЯХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РФ**

*Ярцева М.А., Иванова Л.А., Слуковская М.В., Кременецкая И.П.*  
Кольский научный центр РАН, г. Апатиты, 468975@mail.ru

Развитие растениеводства в северных регионах во многом зависят от применения новых прогрессивных технологий и наличия поблизости природных материалов, которые могли бы в полной мере заменить такую сложную природную среду, как почва и применены в качестве субстратов-почвозаменителей для выращивания растений. К прогрессивным технологиям может быть отнесено гидропонное выращивание растений на различных искусственных субстратах-почвозаменителях. В России, и за рубежом в производственных условиях достигнуты значительные успехи при выращивании растений на таких субстратах как гравий, верховой сфагновый торф, керамзит, кокосовое волокно, минеральная вата и др.[1]

В 1960-1970-е годы была доказана перспективность использования для выращивания растений вермикулитов Наткруитского (Южная Африка), а в России - Потанинского (Урал) и Кокшаровского (Дальний Восток) месторождений. В этом списке некоторое время отсутствовал вермикулит богатейшего в мире Ковдорского месторождения.

Объясняется это тем, что в отличии от вышеперечисленных вермикулитов, ковдорский минерал характеризуется высокой вариабельностью физико-химических свойств, особенно крайне высоким (от 8.0 до 10.0), непригодным для выращивания растений, уровнем рН, поэтому он требовал специального, дифференцированного подхода к разработке технологии его подготовки и применения в растениеводстве[2]. В 1969 г. к этой работе в нашей стране были привлечены практически все ботанические сады и более 20 научно-исследовательских институтов разного профиля.

С тех пор, в течение уже более 45 лет, исследования по выявлению возможности использования ковдорского вермикулита для выращивания растений проводятся и в КНЦ РАН[3].

Начиная с 2020 г., в рамках аспирантской работы были начаты исследования по разработке адаптивных технологий выращивания культурных растений в условиях Субарктики с применением инновационного опытного термовермикулита, а также модельного вспученного вермикулита марки Випон-2. В качестве контроля применяли почву. Объектами исследования являлись сельскохозяйственные культуры.

Исследования были начаты с изучения влияния разных субстратов на прорастание семян и рост сеянцев капусты белокочанной. В результате было установлено, что в почве (контроль) прорастание семян наступало на 1-2 дня позже, чем на термовермикулитах, при этом был зафиксирован больший процент выппада сеянцев, а при пикировке сильно повреждалась их корневая система, что значительно увеличивало выпад растений. Растения обоих опытных вариантов (на инновационном и Випоне-2) отличались хорошо развитой корневой системой и легкостью извлечения их из вермикулитовых субстратов, что значительно увеличило % их приживаемости в грунте.

В опытах с салатом «Кучерявец одесский» с вероятностью 95% было доказано, что вермикулитовые субстраты оказали статистически значимое влияние на прорастание семян.

Оценка качественных показателей полученных в эксперименте сеянцев салата «Кучерявец одесский» (их рост и длина корней растений) показала, что растения опытных вариантов отличались от контроля более высоким качеством.

В аналогичном опыте с капустой пекинской с. Хибинский. с вероятностью 95% доказано, что по сравнению с контролем прорастание семян в мелкофракционированном субстрате (вариант 1) и термовермикулите марки «Випон» (вариант 2) было выше на 36 и 25 % соответственно. При этом выпад растений в варианте 1 составил 14%, в варианте 2 - 21%, в контроле (почва) - 37% от общего количества высеянных семян. Длина корней у растений превышала контроль (почва) в варианте 1 на 319%, в варианте 2 - на 180%.

В 2022 г. был проведен полевой эксперимент, целью которого являлось определение оптимального содержания инновационного термовермикулитов в почвосмесях и их влияние на рост и физиологическое состояние растений листового салата с. «Азарт».

Лучшие результаты по всем четырём показателям (высота растений, количество листьев, зелёная и корневая биомасса) были получены в варианте с концентрацией инновационного термовермикулита при соотношении почва: мелкофракционированный (0.45-2.0 мм) термовермикулит = 1:2. По сравнению с контролем растения этого варианта были на 13% выше, на 30% более облиственны, было получено на 35% больше зелёной и на 53% корневой биомассы.

В 2023 г. заложено три полевых эксперимента, проводится определение оптимального содержания инновационного термовермикулитов в почвосмесях и их влияние на рост и физиологическое состояние растений земляники садовой с. «Хибинская красавица» и укропа с. «Обильнолистный». В опыте с огурцом с. «Кураж» планируется определить влияние вермикулита на доступность аммонийного азота.

Дальнейшее испытание новых влагоемких субстратов для выращивания овощных растений будет способствовать более эффективному использованию природных ресурсов Мурманской области, сокращению сроков выращивания, увеличению экологичности и урожайности выращиваемой продукции, ассортимента сельскохозяйственных культур Мурманской области, что в целом приведет к улучшению питания и качества жизни ее жителей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тавлинова Г.К. Новые субстраты – заменители почвы для выращивания растений. Л.: Наука, 1979. 54 с.
2. Болотников Д.П. Вермикулит. Мурманск: Кн. Изд-во, 1964. 50с.
3. Иванова Л.А., Котельников В.А. Перспективы гидропонного выращивания растений в условиях Мурманской области. – Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2006. 13с.

**ИСТОРИЯ, КУЛЬТУРА И  
ЭТНОЛОГИЯ РУССКОЙ АРКТИКИ**

---

## ЭТНОГРАФИЯ АРКТИЧЕСКОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ: СБОР МАМОНТОВОЙ КОСТИ В ЗАПОЛЯРНОЙ ЯКУТИИ

*Бравина Р. И.*

Институт гуманитарных исследований и проблем малочисленных народов Севера,  
г. Якутск, bravinari@bk.ru

Одним из регионов, обладающих промышленным потенциалом ископаемой мамонтовой кости (ИМК) является арктическое побережье и острова северных морей Якутии. Стремительное развитие добычи ископаемой мамонтовой фауны в связи с вводом международных ограничений на торговлю слоновой костью в 1980-х годах привело к развитию нелегального рынка в данной сфере. Активизация промысла ископаемой мамонтовой фауны позволила местному населению арктических районов Якутии пережить экономический и социальный кризис 1990–начала 200-х годов [1]. При отсутствии правового статуса ИМК как полезного ископаемого ее промысел приравнивается к сбору палеонтологических коллекционных материалов, что вынуждает этого вида самозанятости населения оставаться в «тени». В настоящее время вопросы государственного регулирования этой отрасли широко обсуждаются на федеральном и региональном уровнях РФ, в том числе определения ее как вида традиционного природопользования коренных малочисленных народов Севера и признания ИМК особым минеральным ресурсом страны [2, 3].

Основными центрами добычи ископаемого мамонтового бивня в Якутии издавна являются Усть-Янский, Аллаиховский, Булунский, Абыйский и Нижнеколымский районы, территории которых населяют северные якуты, эвенки, эвены, юкагиры и русские старожилы. Торговля мамонтовой костью привела к появлению двух исторических типов этого вида промысла у населения северо-восточной Якутии. В начале XX в., по материалам В.М. Зензинова, мамонтовую кость «или ищут попутно по морскому берегу и «едоме», настораживая пасти и возвращаясь с гусевания домой, или же нарочно едут на «камень» и «гонят яры»<sup>1</sup> [4, с. 62]. Первый тип представлял собой в основном индивидуальный попутный сбор кочевыми родами в приморской части тундры в весенне-летний сезон. Для оленных людей – эвенков, эвенов и юкагиров – острова, лишённые корма, воспринимались как «беда страшные места», и они воздерживались туда ездить [8, с. 128]. Это подтверждается и данными микротопии островов, большинство названий которых являются якутскими. Часть попутно собранной «материковой» кости из-за плохого качества использовалась в основном в собственных нуждах, как и в доисторические времена.

Первый тип промысла в индивидуальном виде практиковался издавна «бродячими» (кочевыми) родами эвенков, эвенов, юкагиров, населявшими арктическую тундру. Именно им принадлежат случайные находки целых туш мамонтов, которые составили основу палеонтологических коллекций известных музеев. Однако ряд несчастных случаев, происшедших с открывателями этих уникальных объектов, послужил одной из причин отказа аборигенов от этого вида промысла. Так, А.Ф. Миддендорф писал, что тунгус Шумахов, нашедший мамонта Адамса (1799) «... впал в тоску, даже в болезнь» по той причине, что «Старики нашего рода... слышали от отцов, как появилось такое чудовище на их полуострове и как семья тогда нашедшаго это чудовище, в короткое время вся вымерла» (5, с. 259). В 1935 г. на якутском языке вышло научно-популярное издание «В поисках мамонта», в котором говорится об опасениях и страхах дельянского рода колымских ламутов в связи с обнаружением в 1900 г. туши Березовского мамонта (6). Эти суеверия оказались поразительно

---

<sup>1</sup> *Едома* – форма рельефа арктических и субарктических равнин Восточной Сибири, представляющая собой возвышенность, холм; *камень* – морские острова; *яр* – крутой обрывистый берег.

живучими. В 1970-х гг. скоропостижная смерть эвенского охотника Х.М. Стручкова, первооткрывателя Тирехтяхского мамонта (1970) и Мылахчинского бизона (1971), дала повод снова заговорить о «проклятье мамонтов», что вынудило его сына и дочь отказаться от премии в размере 700 руб., назначенной их отцу Президиумом Якутского филиала СО АН СССР.

Более активно поиском и сбором мамонтовой кости в материковой части занимались сборщики рогов *муосчут* (от якут. *муос* – рог, кость) из числа якутов и русских старожилов Колымского и Верхоянского округов. Поиски велись в основном индивидуально, лишь изредка отмечались коллективные сборы. Отправлялись на промысел на ветках, по рекам и ручьям с наносными берегами после спада высокой весенней воды и ледохода, разрушающих берега. По рассказам одного из якутских *муосчут*, он ежегодно летом ездил на поиски «рогов» в те места, где зимой охотился на диких оленей, чтобы сподручно было их возить санным путем. Спускался вниз по реке на лодке, обследуя прибрежные территории. Особое внимание уделял ложбинам и оврагам, наличию льдов на их склонах. Небольшие кости переносил на место временной стоянки *отуу*. Если добыча была весомой, то складывал ее на месте грудой, прикрывал сверху дерном, защищая таким образом от влаги и солнечных лучей, а на месте лагеря ставил палку, наклонив ее в сторону местонахождения, отмечая расстояние в верстах черточками [Рукописный фонд архива ЯНЦ. Ф. 4. Оп. 12. Д. 45. Л. 392].

В начале XX в. устьянские якуты промышляли бивни мамонта на материке коллективно. В Петров день (12 июля) все мужчины на лошадях на один день выезжали в окрестности наслег на «охоту на рогов». Деньгами, вырученными от их продажи, всем наслегом вкладчину платили земские подати [там же]. «Материковые» бивни купцы покупали неохотно, так как они считались второсортными из-за многочисленных трещин и грязновато-желтого цвета, поэтому часть добычи шла на хозяйственные нужды. В фондах краеведческих музеев Якутии хранятся вырезанные из бивня костяные детали луков, оленьи нащечные пластины, пряжки седельной подпруги, кружки от лыжных посохов, грузила для невода, иглы, ухвертки, гребни и т.д. [7].

С развитием промышленной добычи мамонтового бивня на островах появляется коллективный (артельный) тип промысла, в котором участвовали северные якуты и русские арктические старожилы. Товарные отношения вовлекали в экономический оборот большее число коренного населения, родовое хозяйственное единство заменялось торговыми взаимодействиями на договорных началах, что способствовало постепенному смешению и нивелировке хозяйственно-культурных традиций в промысле ИМК.

Людей, промышляющих бивень в морских артелях, якуты называли «островник» *арыысыт* (як. *арыы* – остров). По рассказам устьянских якутов, в редкие годы, когда морской перешеек освобождался ото льда, они переплывались на острова на баркасах. «Грозна водная «стихья», но ее можно умиловить подарками, – вспоминает В.М. Зензинов. – Когда мы переезжали на легких ветках морскую губу (30 верст) и валы стали хлестать через борт и заливать наши утлые ладьи, мореплаватели начали бросать в волны заготовленные ранее подношенья – пестрые лоскутья, ладан...» [4, с. 102]. Якуты, переплыв 60-верстный перешеек между мысом Святой Нос и Большим Ляховским островом, шли в местность Кисилэх, каменные скалы которой издали напоминали фигуры людей (як. *киси* – человек), и, чтобы задобрить духов, оставляли на жертвеннике монеты и бусины.

По свидетельству В.М. Зензинова, в 1840-х гг. с Индигирки ходили за костью на Новую Сибирь, но постепенно, за дальностью расстояния, передали этот богатый бивнями остров в монопольную собственность устьянцам [4. В начале XX в. главным районом добычи мамонтовой кости являлись Новосибирские острова, куда ездили на

собаках артелью от 40 до 50 человек, иногда к ним примыкали промышленники из Якутского округа. Основной промысел велся на так называемых «ближних» островах – Большом и Малом Ляховских, реже на «дальних» – Котельном, Фаддеевском и Новой Сибири. «Костяные» ресурсы последних были богаче, но путь пролегал через морские перешейки, что было рискованно и опасно.

Распределение промысловых угодий для сбора костей и охоты на песцов производилось на общем собрании, хотя на разработку особо богатых участков претендовали близлежащие селения. Так, возле Хромской губы промышленяли устьянцы, хромские якуты и русские. В Хапташинском яру во время охоты на линных гусей, что начиналась в конце июля, попутно промышленяли заезжие якуты и русские. Границей их промысловых участков служил ручей, который «не имели права перейти ни те, ни другие, хотя бы и видели на другом берегу мамонтовую кость» [8, с. 90].

Расстояние от с. Казачьего до ближайшего острова Большой Ляховский составляло приблизительно 600 верст по тундре и морскому льду. Особенно трудной была ледовая дорога с труднопроходимыми торосами и полыньями. Из Казачьего островники выезжали в конце апреля – первых числах мая и добирались до места в первых числах июня. Снабжали артели основными продуктами устьянские купцы. Собак, нарты, одежду, палатку, посуду промышленники должны были иметь собственные.

Добравшись до угодий, промысловики отдыхали, обновляли пасти для песцов, а затем начинали поиски рогов, разбившись на небольшие партии по 4-5 человек. На добытой кости каждый промышленник вырезал ножом свою метку – тамгу. А верхнеколымские юкагиры, у которых сохранились «древние картинные письма», оставляли письма на бересте, рисуя кончиком ножа форму бивня и фигуры людей по количеству промышленников нашедших его [10, с.105]. Считалось, что мамонтовые клыки лучше сохраняются в глине, чем в песке. «У оседлых северян, – писал А.Ф. Миддендорф, – общий обычай беречь свои запасы слоновой кости в земле зарытыми». Сохраненный таким образом бивень долго не терял первоначальный цвет, оставался мягким, и из него можно было вырезать любые изделия даже «дурным» ножом инородцев [5].

По сортности бивень подразделялся на «гребельную» и «торговую». Под «гребельной» подразумевался первосортный бивень без трещин, сердцевина которого «под защитой ледяного футляра, мало или совсем не подвергалась разрушительному действию воды и воздуха» и кость была «чиста, бела и плотна». Второй сорт – «торговый», лежавший «долго в воде или на воздухе» обычно имел трещины, из-за чего «наружные концентрические слои могли отставать и крошиться», а внутри кость «не плотна..., не чиста, желтоватого цвета» [8, с. 107]. Каждый из этих сортов имел еще два подсорта, в зависимости от размеров бивней – чем больше «рог», тем он был дороже. По данным В. Иохельсона, вес самого большого «клыка» мог дотянуть до 7 пудов при среднем весе в 3 пуда. Чтобы сохранить товарный вид добычи, при перевозке бивни зашивали в сыромятные мешки, не пропускающие влагу и солнце, а небольшие обломки клали в сумы с пушминой.

В конце сезона кость свозили в одно, ближайшее к материку, место. С ближних островов промышленники возвращались в ноябре, а с дальних – в декабре. Транспортировка была одной из важнейших проблем промысла, и иногда большая часть добычи оставалась нереализованной. П.В. Слепцов в 1923 г. писал, что последний раз большую партию бивней устьянцы привезли с Новой Сибири в 1918 г. Ездили артелью на 55 собаках и при осмотре песцовых ловушек попутно собрали около 900 пудов бивней, но сумели привезти только 100 пудов и больше туда не ездили [Рукописный фонд архива ЯНЦ. Ф. 5. Оп. 3. Д. 291. Л. 69].

В начале XX в., стремительно поднялась цена на песца, купцы мамонтовую кость начали скупать «лишь скрепя сердце, так как она слишком «озойна» (т.е.

громоздка, неудобна) для перевозки» [4, с. 238]. На рубеже XIX-XX вв. при снижении спроса на бивень мамонта, промысел пришел в упадок, но местами продолжал существовать вплоть до 1930-х гг. «Промышленнику нечем расплатиться, кроме кости, за забранный в долг товар, купцам нечем, кроме кости, взыскать с них долг. Так и тянется этот промысел, ни для кого, в сущности, в Якутской области не нужный» [10, с. 992].

Таким образом, промысел мамонтового бивня на побережье и островах Северного Ледовитого океана можно отнести к одному из древнейших видов арктического природопользования. Во-первых, основные способы добычи и обработки ИМК зародились еще в эпоху камня и передавались в течение веков из поколения в поколение; во-вторых, вся добыча, или ее подавляющая часть, на ранних этапах промысла использовалась для собственных хозяйственных нужд; в-третьих, исторически сложившаяся система мифорелигиозных представлений о мамонте как о сакральном хтоническом существе выработала ряд запретов и ограничений в освоении ископаемых ресурсов, что явилось одним из механизмов экологического баланса арктического природопользования.

В наши дни добыча ИМК осуществляется местным населением – якутами, потомками русских старожилов и представителями коренных народов Севера как попутный сбор в процессе традиционной хозяйственной деятельности с поверхности земли без нарушения целостности недр и использования тяжелой техники. Возрождение добычи ископаемой кости мамонтовой фауны как вида традиционного промысла, основанного на соблюдении принципов рационального использования природных ресурсов, может обеспечить не только стабилизацию на рынке труда, но и снижение экологических и социальных рисков в арктических районах Якутии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев, С. А. Добыча останков мамонтовой фауны и локальные сообщества арктических территорий Якутии в конце XX в. / С. А. Григорьев // Вестник археологии, антропологии и этнографии. – 2021. – № 3 (54). – С. 239-246. — DOI: 10.20874/2071-0437-2021-54-3-20.
2. Белолобская Г.С. — Правовое регулирование сбора останков мамонтовой фауны в Российской Федерации // Юридические исследования. 2019. – № 12. DOI: 10.25136/2409-7136.2019.12.31697
3. Потравный И.М., Протопопов А.В., Гассий В.В. Добыча бивней мамонта как вид традиционного природопользования // Арктика: экология и экономика. 2020. №1 (37). С. 109-121. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-1-109-121
4. Зензинов В.М. Старинные люди у холодного океана: сб. тр. / сост. и авт. предисл. А.Г. Чикачев, И.А. Чикачев. – 3-е изд. Якутск: Якутский край, 2001. 350 с.
5. Миддендорф А.Ф. Путешествие на север и восток Сибири. В 2-х ч. Ч. 1: Север и восток Сибири в естественно-историческом отношении. СПб.: Типография Академии наук, 1860. 348 с.
6. Миитэрэйэп С. Мааманты кёрдую (В поисках мамонта). М., 1935. 64 с. (на якут. яз.).
7. Циркумпольная цивилизация в музеях мира: вчера, сегодня, завтра // Музеи республик Саха (Якутия): Каталог. Якутск: СР НБР Саха, 2009. 128 с.
8. Ленско-Колымская экспедиция 1909 года: под начальством К.А. Воллосовича / Труды Комиссии по изучению Якутской АССР. Т. 15. Л.: Изд-во АН СССР, 1930. 395 с.
9. Иохельсон В.И. Очерк зверопромышленности и торговли мехами в Колымском округе / Труды Якутской экспедиции, снаряженной на средства И.М. Сибирякова. Т. 10. Ч.3. СПб.: Типография М. Меркушева, 1898. 167 с.
10. Зензинов В.М. Добыча мамонтовой кости на Новосибирских островах // Природа. – 1915. № 7–8. С. 979-991.

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СПРАВЕДЛИВОСТЬ И КОЛЛЕКТИВНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА В ЭПОХУ АНТРОПОЦЕНА В ТЕОРИИ Д. ЧАКРОБАРТИ

*Кукаренко Н.Н.*

Северный Арктический федеральный университет имени М.В. Ломоносова,  
г. Архангельск, n.kukarenko@narfu.ru

Экологическая справедливость понимается автором в контексте доклада как справедливость в отношении природы и планеты. В этом смысле возникает вопрос об ответственности человека за сохранение и поддержание природы\ планеты, которой он активно пользуется. Эпоха Нового времени заложила основу для потребительского отношения к природе и с точки зрения ряда исследователей стала поворотной, заложив основу для антропоцена как нового геологического периода в истории планеты [1]. Именно поэтому следует говорить о коллективной ответственности всех людей перед планетой. Глобально-планетарный масштаб проблемы сохранения природы указывает на коллективную ответственность всех людей за поиск решения этой проблемы. Специфика экологических проблем в том, что от ухудшения экологии нельзя изолироваться и откупиться. Цитируя У.Бека: «смог демократичен», поэтому богатые и привилегированные не могут спастись от экологических катастроф и вызванных ими природных катастроф соответственно. Но негативное влияние на экологию рядом мыслителей связывается не только с влиянием человека на природу, но с властью капитала и капитализмом (ряд авторов настаивают на таком понятии как капиталоцен [2], что указывает на усугубление логики неравенства. Логика капитализма приводит к тому, что даже при экологических катастрофах и стихийных бедствиях, есть те, кто наживаются на других. И более того, возникает вопрос о том, почему ответственность должны нести все, если ущерб природе и выгоду принесли/ получили только некоторые: «почему мы должны включать бедняков всего мира – углеродный след которых и так достаточно мал – в такие всеобщие категории, как вид или человечество, если вину за актуальные кризис следует возложить в первую очередь на богатые страны и на богатые классы в бедных странах?» [2] В этом смысле интересной кажется точка зрения Чакрабартти о видовой ответственности человечества, как коллективного «мы», поскольку, с одной стороны, не взирая на «вклад» отдельных участников в уничтожение экологии, последствия, как не печально, касаются и будут касаться абсолютно всех. Поэтому мы должны начать мыслить не категориями индивида, а планеты, как места, которое может исчезнуть. И, во-вторых, капитализм, даже если мы признаем его уже самостоятельную логику существования и влияние на жизнь человечества, тем не менее, капитализм есть порождение человека. Но более того, Чакрабартти вслед за Питером Сингером поднимают вопрос о «ретроспективной» и «перспективной» вине человечества, указывая на Китай, например, который интенсивно развиваясь, уже «обогнал США в качестве крупнейшего источника углекислого газа» [1, с. 59].

В заключение автор настаивает на необходимости логики «универсальности», которая порождается феноменологическим «ощущением катастрофы», четко прочувствованным поколениями после Хиросимы и Чернобыля, живущих с феноменологическим ощущением страха перед ядерной катастрофой или проартикулированным недавно, например, Гретой Тунберг страхом молодежи перед неотвратимостью глобальной экологической катастрофы и потенциальным уничтожением жизни на Земле.

В качестве критического комментария автор данного доклада указывает на два проблемных момента в аргументации Чакрабартти. Первое – невозможно говорить о ретроспективной вине человечества, ибо мы можем указать на конкретные страны или

акторов, виновных в тех или иных экологических катаклизмах в конкретных контекстах. Соответственно, человечество как коллективный морально ответственный субъект может объединиться только перед лицом экологической катастрофы «перспективно».

Второй критический момент, связанный с теорией Чакрабарти, касается антропоцентричности его взглядов. Вся теория антропоцена исходит из концепции антропоцентризма. На наш взгляд, именно антропоцентричность в рассмотрении и изучении природы и планеты и привела к существующему экологическому кризису глобального характера. В этом смысле идея антропоцена как ответа на глобальную экологическую катастрофу указывает на опасения человечества за свое видовое существование, но на самом деле имеет ограниченный потенциал для решения проблемы с точки зрения геологической истории планеты и даже истории жизни на Земле.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Чакрабарти Д. Об антропоцене. М.: V-A-C Press, Artguide Editions, 2020 – 160 С.
2. Павлов А.В. Капиталоцен: проблемное будущее капитализма. //Вопросы философии, 2020, № 8, С. 32-42. DOI: <https://doi.org/10.21146/0042-8744-2020-8-32-42> (дата обращения 05.08.2023).

### **НЕОРГАНИЗОВАННЫЙ ПРИРОДООРИЕНТИРОВАННЫЙ ТУРИЗМ В КОНТЕКСТЕ СОХРАНЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА БИОРАЗНООБРАЗИЯ СЕВЕРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

*Михайлова Г.В.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лавёрова УрО РАН, г. Архангельск, [g.mikhaylova@fciarctic.ru](mailto:g.mikhaylova@fciarctic.ru)

В условиях увеличивающегося туристического потока внутри страны, интереса к Северу и Арктике [1, 2, 3] перед регионами стоят две основные задачи. С одной стороны, требуется искать пути по привлечению туристов, созданию туристического продукта, брендированию территории [4]. С другой стороны, быть готовыми к решению проблем связанных с усилением потока неорганизованных туристов, который имеет стихийный характер и способен оказать негативное влияние на состояние окружающей среды [5, 6].

Рост числа посетителей в места, где не создана необходимая инфраструктура, становится проблемой для территорий имеющих природоохранное значение. В 2023 году на федеральном уровне приняты законы по совершенствованию системы управления в сфере туризма. Возможности развития туризма на особо охраняемых природных территориях (ООПТ), правила его организации и осуществления определены Федеральным законом от 18 марта 2023 года № 77-ФЗ, предусматривающим внесение изменений в Федеральные законы № 33-ФЗ «Об особо охраняемых природных территориях», № 116-ФЗ «Об особых экономических зонах в Российской Федерации»; в Земельный кодекс Российской Федерации. Ожидается, что новые правила позволят создать условия для привлечения инвестиций в развитие инфраструктуры ООПТ, обеспечить гражданам возможность комфортно путешествовать по России, посещать особо охраняемые природные территории для наблюдения за природой и приобщения к ней, увидеть уникальные природные комплексы и объекты, имеющие особое природоохранное, научное, историко-культурное, эстетическое, рекреационное, оздоровительное значение [7].

В рамках исследований проводимых лабораторией биоресурсов и этнографии ФИЦКИА УрО РАН неорганизованный природоориентированный туризм рассматривается в контексте сохранения и использование ресурсного потенциала биоразнообразия северных территорий. Собран массив полевого этносоциологического материала о природопользовании и жизнедеятельности населения, постоянно проживающего на удаленных территориях Арктической зоны Европейского Севера РФ с использованием опросных методов (анкетный опрос, интервью, фокус-группы).

Среди посетителей северных территорий можно выделить четыре основные группы людей, относящихся к неорганизованным природоориентированным туристам: охотники и рыбаки; сборщики дикоросов; путешественники сплавающиеся по рекам; родственники и гости сельских жителей. Каждая из этих групп различается: по целям посещения территории, местам и условиям размещения, используемым транспортным средствам, сезонам пребывания, добываемым природным ресурсом и влиянию на окружающую среду.

Формированию потока неорганизованных туристов в удаленные северные территории способствуют «неорганизованные туроператоры» – услуги местных жителей по организации и сопровождению на рыбалке, на охоте. Туристы осваивают территорию и возвращаются, привозят с собой друзей, чтобы путешествовать уже самостоятельно. Распространение в Интернете фотографий становится рекламой для любителей подобных путешествий, привлекая неорганизованных природоориентированных туристов (например, на полуостров Канин [8]). Приобретший известность домик отшельника на реке Мезенская Пижма [9] усилил интерес к сплаву по этой реке, стал рекреационным объектом. Обустройство месторождений полезных ископаемых в Архангельской области, функционирование круглогодичных автомобильных дорог, связывающих областной центр и вахтовые поселки повысили посещаемость территорий прилегающих заказников. Хозяйственное освоение природных ресурсов делает северные территории более доступными для посещения неорганизованными природоориентированными туристами.

Для местного населения природоориентированный туризм – это то, что «отнимает» у них территории природопользования, места используемые для добычи биологические ресурсы. Возникает недовольство деятельностью власти из-за недостаточного контроля за природопользованием приезжих, которые нередко браконьерят, как считают местные жители.

На конференции, прошедшей 4-7 сентября 2023 года в Кенозерском национальном парке (в д. Вершинино Плесецкого района Архангельской области) [10], экспертным сообществом прибывшим из разных регионов страны обсуждались острые вопросы развития туризма на ООПТ. Отмечалось отрицательное отношение к туризму у местного населения, отсутствие необходимой инфраструктуры для организованного туризма. Предлагалось решение задач развития туризма на ООПТ начинать с вычленения мест, куда уже есть поток туристов. Развивать, обустраивать эти территории, организовывать там природные парки, чтобы снять рекреационную нагрузку с территорий имеющих особое природоохранное значение. Для заповедников, природоохранный режим которых не предполагает присутствие людей, развитие туризма возможно в буферных зонах (например, установление там вышек наблюдения, зон фотоохоты). Отмечалась, что только благодаря взаимодействию и партнёрству с местным населением, развитию общественного природоохранного контроля и использованию инструмента общественных инспекторов возможно «обуздать» поток неорганизованных туристов и сохранить природное наследие.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Туристический поток по России в 2022 году составил 62,5 млн. человек. [Электронный ресурс] / Официальный сайт АНО «Национальные приоритеты». – 16

- марта 2023 г. – Режим доступа: <https://национальныепроекты.пф/news/turisticheskiy-potok-po-rossii-v-2022-godu-sostavil-62-5-mln-chelovek> (дата обращения 02.09.2023 г.)
2. Лукин, Ю. Ф. Арктический туризм: рейтинг регионов, возможности и угрозы / Ю. Ф. Лукин // Арктика и Север. – 2016. – № 23. – С. 96-123. – DOI 10.17238/issn2221-2698.2016.23.96
  3. Бертош, А. А. Арктический туризм: концептуальные черты и особенности / А. А. Бертош // Труды Кольского научного центра РАН. – 2019. – Т. 10, № 7-17. – С. 169-180. – DOI 10.25702/KSC.2307-5252.2019.7.169-180
  4. Тимошенко, Д. С. Брендинг арктических туристских дестинаций в России / Д. С. Тимошенко // Арктика и Север. – 2021. – № 42. – С. 257-270. – DOI 10.37482/issn2221-2698.2021.42.257.
  5. Платов, А. В. Проблемы статистического учета туризма в России / А. В. Платов, Я. Э. Ярманова // Сервис в России и за рубежом. – 2007. – № 4(4). – С. 23
  6. Давыдова, А. С. Воспроизведение сакрального ландшафта Териберки в контексте развития туризма в Мурманской области / А. С. Давыдова // Труды Кольского научного центра РАН. – 2021. – Т. 12, № 4(21). – С. 126-140. – DOI 10.37614/2307-5252.2021.4.21.009
  7. В России вступили в силу правила развития туризма в заповедниках и нацпарках. [Электронный ресурс] // Информационное агентство ТАСС. – 1 сентября 2023 г. – Режим доступа: <https://tass.ru/ekonomika/18632381> (дата обращения 02.09.2023 г.)
  8. Через Архангельскую тайгу в тундру Ненецкого АО [Электронный ресурс] / Сайт «Руссрыбалка». – 20.03.2021. – Режим доступа: <https://russrybalka.ru/fishing/talk/films/4493/> (дата обращения 02.09.2023 г.)
  9. Отшельник на реке: живет один уже 30 лет [Электронный ресурс] // Trendy Men. – 19.03.2023. – Режим доступа: <https://trendymen.ru/lifestyle/events/128903> <https://trendymen.ru/lifestyle/events/128903> (дата обращения 02.09.2023 г.)
  10. Законодательство, развитие, обмен опытом: в Кенозерье завершилась большая межрегиональная конференция, посвящённая развитию ООПТ [Электронный ресурс] / Официальный сайт ФГБУ «Национальный парк «Кенозерский». – Режим доступа: <https://kenozero.ru/o-parke/materialy/novosti/zakonodatelstvo-razvitie-obmen-opytom-v-kenozere-zavershilas-bolshaya-mezhregionalnaya-konferentsiya/> (дата обращения 02.09.2023 г.)

## **ОСОБЕННОСТИ ЗАСЕЛЕНИЯ НИЖНЕЙ ПЕЧОРЫ В ПОЗДНЕМ ЖЕЛЕЗНОМ ВЕКЕ (СЕРЕДИНА I – ПЕРВАЯ ПОЛОВИНА II ТЫСЯЧЕЛЕТИЯ Н. Э.)**

*Мурыгин А.М.*

Институт языка, литературы и истории Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, [alek-murygin@yandex.ru](mailto:alek-murygin@yandex.ru)

Актуальность научных исследований арктических и субарктических районов Евразии все более возрастает. Одной из главных составных частей этих работ служит изучение многовековой практики освоения человеком севера Евразийского материка, что хорошо прослеживается на примере археологических микрорайонов (АМР). Изучение древностей АМР позволяет понять как общие закономерности развития древних культур, так и реконструировать историю заселения и хозяйственного освоения конкретных территорий и географических зон в различные эпохи. В российской археологии изучение АМР – важное направление исследований, которое в

настоящее время проводится преимущественно на материалах археологических памятников Западной Сибири и южных областей Урала [1; 2; 3; 4].

С учетом степени современной археологической изученности, в бассейне нижней Печоры также можно выделить несколько археологических микрорайонов эпохи средневековья - новоборский и городецкий.

Новоборский и Городецкий микрорайоны расположены в заполярном течении нижней Печоры. Новоборский АМР - на левом берегу проток р. Печоры (район пос. Новый Бор, Республика Коми), Городецкий АМР – на правом берегу р. Печоры (запад Большеземельской тундры, Ненецкий автономный округ) (рисунок).

Новоборский АМР находится в зоне лесотундры. Современный ландшафт представляет собой вытянутую вдоль русла р. Печоры заболоченную возвышенность, отделённую от русла р. Печора широкой (до 3 км) поймой, в которой имеется много мелких водоёмов, пойменных и русловых проток. Освоение прилегающей к микрорайону местности демонстрируют недатированные стоянки на берегу оз. Малое Мыльское, могильник конца III-II вв. до н. э. Новый Бор I и поселение второй половины I тыс. н. э. Новый Бор I на протоке (озере) Туйсеяха [5, с. 290; 6, с. 28-29; 7, с. 362].

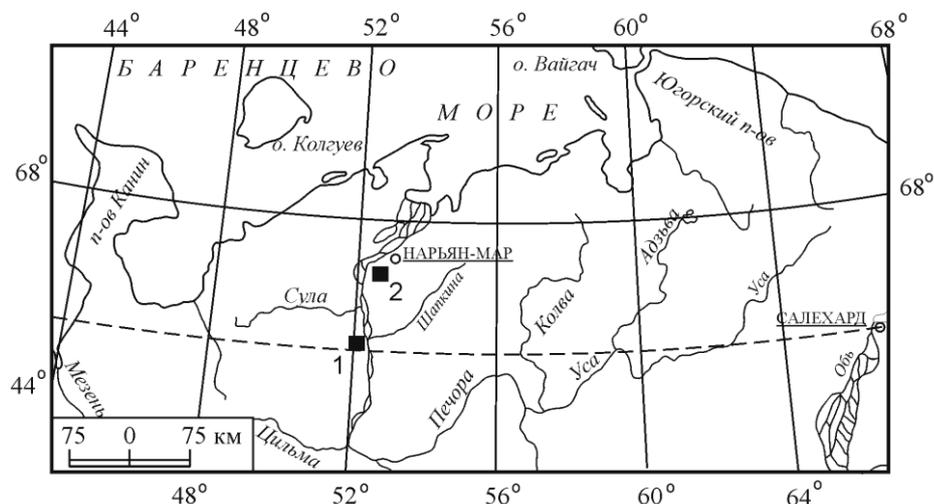


Рис. - Карта-схема расположения археологических микрорайонов (АМР) бассейна Заполярной Печоры. 1 - Новоборский, 2 – Городецкий

Средневековая группа памятников в большинстве расположена на краю мысовидных участков 7–9 - метровой левобережной террасы протоки Денисовский Шар (поселение Денисовское, городища Новый Бор I, II, III, датированные XII-XIII вв. н. э.). Более позднее селище Новый Бор XIII-XIV вв. н. э. было устроено в глубине террасы. На удалении около 5,3 км к СЗ от городища Новый Бор III на краю 9 – метровой левого берега протоки Марицкий Шар, выявлено аналогичное по дате (XII-XIII вв. н. э.), керамике и устройству фортификационных сооружений городище Новый Бор IV [5, с. 291-292; 8, с. 115-116; 9, с. 126].

Городецкий АМР в эпоху средневековья включал поселение Югорская сопка (радиоуглеродные даты по 2 $\delta$ : четвертая четверть IV — третья четверть VII вв. н. э.), городище Кобылиха (втор. пол. I - перв. пол. II тыс. н. э.), городище Гнилка VI–X вв. н. э. и святилище Гнилка VI–XIII вв. н. э. [10, с. 216-230; 11, с. 1-66; 12, с. 65-77]. Показательно, что начало формирования средневекового кластера Городецкого АМР приходится на климатическую зону SA-2 (1800–1200 л. н.), характеризующуюся потеплением и распространением в регионе хвойных лесов [13, с. 160].

Памятники Городецкого АМР расположены на краю береговых террас Городецкого озера различной высоты и примыкающих водотоков, соединяющих его с правобережьем р. Печоры. Многочисленный подъемный материал, собранный в разное

время в котловинах выдувания на его берегах, не имеет надёжного обоснования возраста и культурной интерпретации. Эти находки могут свидетельствовать об освоении побережья Городецкого озера, вероятно, не позднее эпохи бронзы.

Средневековые памятники в Новоборском и Городецком АМР (конец IV–XIII вв. н. э.), являются составной частью нижнепечорского ареала городищ и неукреплённых долговременных поселений круглогодичного обитания или периодического посещения новоборского культурного типа [14, с. 137]. Для них характерна однотипная керамика, не имеющая прямых аналогий в культурах эпохи железа континентальной части тундры, наличие явных следов металлообработки и металлургии, в том числе, железоделательного производства, находки древнерусской керамики в материалах XII–XIII вв. н. э.

К этой же группе памятников принадлежит и святилище Гнилка (Городецкий АМР), содержащее разнообразные многочисленные приношения. Сакральный характер памятника подтверждают своеобразные «мощевики» — медные коробочки с костями жертвенных животных. Выявлены сооружения — остатки предположительно традиционного русского срубного жилища с развалом печи-каменки и часть жертвенного комплекса, имевшего деревянное сооружение типа вымостки или невысокого помоста. [12, с. 74-76]. Предполагается, что святилище представляло собой в VI—X вв. н. э. единый культурный комплекс с расположенным рядом городищем Гнилка. Святилище существовало вплоть до конца XIII в. Прекращение его функционирования связывается со сменой населения в печорских тундрах — исчезновением летописной «печеры» и приходом ненецких племён [12, с. 77].

В Новоборском АМР выделяется селище Новый Бор (XIII или XIV вв. н. э.). На основанном в глубине террасы неукреплённом поселении найдены остатки различных сооружений с обваловкой, из которых были исследованы два [15, с. 9-13; 16, с. 3-9]. Они были определены как предположительно косторезная мастерская и кузница и, возможно, ювелирная мастерская с соответствующим инвентарём, в том числе — остатками двухкамерного кузнечного горна. Керамика единична, вся изготовлена на гончарном круге. Выявленные вещевой инвентарь и сооружения носят общерусский характер и находят аналогии на древнерусском Северо-Западе [16, с. 8]. Состав материальных остатков не позволяет однозначно отнести селище Новый Бор к памятникам новоборского культурного типа. С учётом сказанного нельзя исключать его принадлежность древнерусским первопроходцам Печорского Севера.

Приведённые данные позволяют охарактеризовать основные факторы образования в эпоху средневековья территориально-хозяйственных антропогенных комплексов, соответствующих археологическим микрорайонам нижнего течения р. Печоры.

Археологические источники указывают на существование в эпоху средневековья в облесённой части долины Заполярной Печоры, начиная от Северного полярного круга и вплоть до её устья, локальной группы населения. Культурный комплекс этих памятников, наиболее ранним из которых является поселение Югорская сопка, фиксирует появление на нижней Печоре новой традиции. Основным компонентом при её формировании являлись коллективы, проникшие на Крайний Север из областей обско-печорского угро-самодийского ареала обитания.

Способ деятельности новоборских коллективов определяли в значительной степени особенности естественно-географической среды обитания в высоких широтах и природно-ресурсный потенциал прирусловой зоны низовий главной водной магистрали западного Приуралья — р. Печоры. Основным объектом охоты для коллективов нижнепечорских АМР на протяжении всей эпохи средневековья был северный олень. В культурном слое памятников, определены также кости лося, медведя, бобра, зайца, лисицы, соболя, утки, глухаря, налима, нерпы [10, с. 219; 12, с. 74; 16, с.8; 17, с. 70-72]. Их наличие указывает на разнообразие видов промысловой

деятельности, что значительно повышало устойчивость системы жизнеобеспечения населения. В состав жертвенных животных на святилище Гнилка, кроме промысловых видов, входили свинья и домашняя собака [12, с. 74]. Кости собаки найдены также на городище Кобылиха [10, с. 219].

В то же время целый ряд находок на поселении Югорская сопка (Городецкий АМР) свидетельствуют о развитии уже на этом этапе местной металлургии и металлообработки цветных и черных металлов. В производстве использовалось как местное, так и привезённое сырьё. В черной металлургии можно предполагать использование местных окисных железных руд, а для медного литья - медистых окисных руд с месторождений Урала и Тимана. Возможна и вторичная переплавка привозных изделий из цветного металла. На площади поселения выделена производственная зона, где были сосредоточены остатки сооружений для получения железа из болотных руд в его, видимо, архаичном виде – варкой на открытых кострах с глиняными вымостками или в примитивных сыродутных горнах [11, с. 40-45].

Использование местных болотных руд не прерывалось на протяжении последующих столетий. На городище Кобылиха выявлен комплекс, включающий остатки сооружений (домницы), связанных с металлургическим производством и сопутствующие ему находки [10, с. 222]. Остатки железодельного (шлаки и фрагменты крицы) и бронзолитейного производства (обломки керамических тиглей) обнаружены на городище Гнилка [12, с. 66-67]. Следы железодельного производства выявлены на памятниках Новоборского АМР.

На городище Гнилка обнаружены деревянные конструкции типа тына, остатки прямоугольной башни и воротного проёма, предметы быта и украшения [12, с. 65-67]. Остатки деревянных конструкций в виде обгорелых лиственничных и берёзовых плах, выявлены также на городище Кобылиха [10, с. 219, 221].

Предполагается, что после X в., в процессе установления даннических отношений и подчинения печорских племён русскому влиянию, городище на р. Гнилке, в числе других укрепённых поселений в районе Нижней Печоры, прекратило существование. Находки позднего хронологического горизонта на площади городища на р. Гнилке связываются с ремесленным производством древнерусских городов XI-XIII вв. н. э. и отнесены к культурным остаткам расположенного рядом древнего святилища [12, с. 66-77].

Принимая во внимание известные на сегодня археологические источники можно полагать, что независимо от географического положения, общим условием при выборе участка местности с концентрацией мест обитания в АМР являлась, прежде всего, совокупность благоприятных факторов естественной среды обитания, наиболее достаточных для устойчивого существования коллективов в данном месте на определенном отрезке времени [18, с. 21, 22].

Однако в зависимости от конкретных обстоятельств могли возникать особые ситуации, требующие сосредоточения коллективов на той или иной ограниченной территории. Так, специфической чертой средневековых АМР нижней Печоры является их размещение на удалении от основного русла реки – на русловых протоках и прилегающих озёрах, соединённых с главной речной артерией небольшими водотоками. Для памятников новоборского типа характерно расположение на естественно труднодоступных участках берега (Югорская сопка), наличие укреплений в виде валов и рвов (Гнилка, Кобылиха, Новый Бор I, II, IV) или обозначение жилой площадки канавой и внутренней насыпью (Новый Бор III). Находки фрагментов древнерусской керамики на поселениях новоборского типа XII-XIII вв. н. э. (Кобылиха, Новый Бор III) предполагает присутствие в среде местного населения её носителей, а позднее – в XIII-XIV вв. н. э., возможно, основание ими постоянных мест обитания (селище Новый Бор).

Допустимо предположить, что образование здесь средневековых археологических микрорайонов происходило в местах, имеющих выгодное военно-стратегическое положение. На известных южных границах локальной территории были основаны новоборские городища, на северных – Ортинское городище в приустьевой части долины р. Печоры. Характерно и расположение средневековых археологических памятников Городецкого АМР. Они также были устроены в приустьевых участках впадающих в озеро рек, как бы прикрывая пути продвижения к озеру и далее к р. Печора. Вполне вероятно, что появление укрепленных поселений на нижней Печоре следует увязывать с необходимостью защиты территории расселения новоборских коллективов от проникающих на крайний северо-восток Европы групп древнерусского и самодийского происхождений.

Закономерным итогом в развитии нижнепечорских АМР следует считать основание на Городецком озере в конце XV в. города-крепости Пустозерск - важнейшего форпоста на пути освоения новых земель к востоку от Печоры и основы для дальнейшего развития микрорайона в новых исторических реалиях. При выборе места учитывались, очевидно, не только его удачное географическое положение, но и уже имеющиеся связи с нижнепечорским населением, представленным материалами памятников новоборского типа – предположительно летописной «печерой».

*Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания по теме «Особенности формирования населения севера Европейской части России в эпоху камня, раннего металла и средневековья по данным археологии» № гос. регистрации 122040800168-4 (2022-2025 гг.)*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матющенко В.И. Экологический фактор функционирования археологического микрорайона (АМР) // Экология древних и современных обществ. Тюмень: ИПСО СО РАН, 1999. С. 89-91.
2. Матющенко В.И. Возможности исследований археологических микрорайонов для социально-экономических реконструкций // Социально-демографические процессы на территории Сибири (древность и средневековье). Кемерово, 2003. С. 16 – 18.
3. Археологические микрорайоны Северной Евразии: Материалы науч. конф. / под ред. С.С. Тихонова. Омск: Изд-во «Апельсин». 2009. 168 с.
4. Русланов Е.В. Археологические микрорайоны Башкирского Приуралья и Зауралья. История выделения, проблемы и перспективы изучения // Вестник Самарского государственного университета. Самара. 2015, № 4 (126). С. 134-139.
5. Археологическая карта Республики Коми. Сыктывкар: ООО «Коми Республиканская типография», 2014. 416 с.
6. Плюснин С.М. Предыстория села Новый Бор // Духовная культура: история и тенденция развития: Тез. докл. Сыктывкар, 1992. Ч. 2. С. 27-29.
7. Васкул И.О. Памятники гляденовской культурной общности // Археология Республики Коми. М.: ДиК, 1997. С. 349-399.
8. Плюснин С.М. Городища Нового Бора // Тез. Межд. Симпозиума «Проблемы историко-культурной среды Арктики». Сыктывкар, 1991. С. 115-116.
9. Мурыгин А.М., Кленов М.В. Новые археологические исследования комплекса Новый Бор III в Печорском Заполярье // Известия Коми НЦ УрО РАН, № 3 (23). Сыктывкар, 2015. С. 119-131.
10. Барышев И.Б. Средневековое городище Кобылиха на нижней Печоре // Материалы по истории и археологии России. Т.1. Рязань: Александрия, 2010. С. 216-230.
11. Мурыгин А.М. Поселение Югорская сопка. Древности Городецкого озера. Вып. I. Департамент образования, культуры и спорта Ненецкого автономного округа, ГБУК

- «ИКИЛМЗ «Пустозерск», Институт ЯЛИ ФИЦ «Коми НЦ УрО РАН». Нарьян-Мар-Сыктывкар: ООО «Коми Республиканская типография», 2019. 96 с.
12. Ясински М.Э., Овсянников О.В. Пустозерск. Русский город в Арктике. СПб: Петербургское Востоковедение, 2003. 400 с.
13. Никифорова Л.Д. Динамика ландшафтных зон голоцена северо-востока Европейской части СССР // Развитие природы территории СССР в позднем плейстоцене и голоцене. М.: Наука, 1982. С. 154–162.
14. Мурыгин А.М. Керамическое производство населения Циркумпольной области Северного Приуралья эпохи железа - традиции и новации // I Международная конференция «Археология Арктики»: Тез. докл. (19-22 ноября, Салехард). Екатеринбург, 2017. С. 136-137
15. Багин А.Л. Отчет о работах Нижнепечорского археологического отряда в 2000 г. Сыктывкар: НА Коми НЦ УрО РАН. Ф. 5, Оп. 2, № 554. 99 л.
16. Багин А.Л. Отчет о работах Нижнепечорского археологического отряда в 2001 г. Раскопки поселения Новый Бор 3/1. Сыктывкар: НА Коми НЦ УрО РАН. Ф. 5, Оп. 2, № 584. 9 л.
17. Косинцев П.А. Фауна позвоночных из раскопок поселения Югорская сопка 2015, 2016 и 2019 гг. В кн.: Мурыгин А.М. Поселение Югорская сопка. Древности Городецкого озера. Вып. I. Департамент образования, культуры и спорта Ненецкого автономного округа, ГБУК «ИКИЛМЗ «Пустозерск», Институт ЯЛИ ФИЦ «Коми НЦ УрО РАН». Нарьян-Мар-Сыктывкар: ООО «Коми Республиканская типография», 2019. 96 с.
18. Мурыгин А.М. Некоторые вопросы освоения крайнего северо-востока европейской части России в эпоху железа по археологическим данным // Известия Коми научного центра УрО РАН. Серия «История и филология». № 5 (45). Сыктывкар, 2020. – С. 17-23

## **ПРАВОСЛАВНАЯ КУЛЬТОВАЯ АРХИТЕКТУРА ПОМОРОВ КАК ФАКТОР АДАПТИВНОГО МЕХАНИЗМА ПРИ ОСВОЕНИИ СЕВЕРНЫХ И АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ**

*Пермиловская А.Б.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, [annaperm@fciarctic.ru](mailto:annaperm@fciarctic.ru)

В основе работы эмпирический полевой материал по обследованию поморских поселений, расположенных на побережье Белого моря, в дельте рек Северной Двины, Мезени, Онеги, архивные и музейные источники. Поморы – это русскоязычная группа этноса, заселившая с XII века берега Белого и Баренцева морей. Северные моря кормили поморов, именно Белое море в данных условиях сыграло структурирующую роль в этногенезе.

В течение XVIII - XIX вв. сложилось представление о поморе как об особом типе и авангарде русского человека. По мнению Т. А. Бернштам, особый психический склад, «на который обращали внимание все люди, побывавшие на Севере, отличал поморов, как от жителей средней полосы, так и от северного крестьянина-земледельца» [1, с. 83]. Академик Д.С. Лихачев оставил замечательную подсказку, где и как мы можем найти ключи к возрождению былой мощи России и Русской Арктики. Ключи эти хранятся в поморском характере. Изучив и поняв процессы его формирования, мы сможем понять людей, живущих на Севере и овладеть «ключами», открывающими дверь в Арктику.

Формирование поморского характера – отдельная тема изучения. Суровый

климат, ландшафт, образ жизни сформировали такие черты характера как наблюдательность, смекалка, выносливость, мужество, целеустремленность, решительность, взаимовыручка, гостеприимство, сила духа, общинность, вера в слово, самопожертвование, трудолюбие, основательность, неторопливость, традиционализм, консерватизм, смелость, государственное мышление. Эти черты поморского характера составляют нравственную основу любой нации.

В качестве примера можно привести жизнь и творчество первого живописца Арктики, «художника вечных льдов» и полярного исследователя, этнографа Александра Алексеевича Борисова. Уроженец красноборской д. Глубокий Ручей, он синтезировал лучшие черты русского и поморского характера. Путешествуя по Арктике, он научился спать на снегу, работать на морозе, есть сырое мясо, переносить одиночество, выживать в ситуациях бедствия.

Нужно отметить, что не случайно в XVI - XVII вв. весь Русский Север назывался «Поморьем», «Поморским краем». Слово «помор» впервые появилось в 1526 г. в летописи: *«Поморцы с моря Окияна, из Кандоложской губы»*. В контексте понятия «Поморье» термин «поморы» получил тройственное значение: население, проживающее на территории Беломорского побережья от Онеги до Кеми, население всего Беломорского побережья, население Русского Севера [4, с.200, 317]. Современное Поморье в административно-территориальных рамках – это Архангельская, Мурманская области, НАО, Карелия, имеющие выходы к Белому, Баренцеву, Карскому морям [5, с.101].

Основные поморские поселения расположены вдоль побережья в устьях рек, впадающих в Белое море. Например, в бассейне р. Мезень сформировались две большие этнографические группы русского населения: «поморы» и «поречане», главное различие между которыми было в ведении хозяйственной деятельности. Причем, если термин «поморы» не составляет труда найти в этнографической и исторической литературе, то термин «поречане» можно встретить только в редких дореволюционных изданиях [3]. Селения мезенских поморов находились не только на самом побережье, но и на значительном расстоянии от него – до 45 км и далее. Это было поморское население, более всего «запрятанное» на материке. Неслучайно многие мезенцы идентифицируют себя с поморами. *«С детства помню: «В каждой избушке свои погремушки, в каждой избе свой погромок, в каждой деревне свой обиход, а везде все наше поморское»*.

Если постоянные жилища поморов располагались, как правило, на значительном расстоянии от морского берега, то временные жилища промыслового характера встречаются на обширном пространстве морского побережья и островов. Данная ситуация характерна и для бассейнов рек Северной Двины, Онеги.

С 2018 - 2023 гг. НЦ традиционной культуры и музейных практик проводит комплексное обследование исторических поселений Онежского Поморья. Были выявлены особенности планировки, топонимы, исторические предания, обследованы культовые ансамбли («тройники»), жилище, хозяйственные постройки. Поселения являются примерами сохранившегося субарктического морского культурного ландшафта, даны рекомендации по его сохранению, использованию, ревалоризации, определена возможная категория охраны поселения, выявлены новые памятники деревянного зодчества А РФ.

Онежское Поморье - территория, простирающейся по морскому побережью Онежской губы, от р. Онеги до р. Кеми (Поморский берег), а также от р. Онеги до мыса Ухт-Наволок (Онежский берег). В результате проведенных работ выполнены:

а) Теоретические исследования:

-проведен анализ влияния традиционной культуры (культурный ландшафт, памятники народной архитектуры, исторические поселения, обычаи, ценности, нормы поведения, православие, историческая память и картина мира, объединяющие

локальное сообщество) на эффективность социального развития северных и арктических территорий - Онежское Поморье- выявлены типология и исторические предпосылки возникновения культурных ландшафтов АЗРФ - исторических поселений: Ворзгоры, Малошуйка, Пурнема, Лямца, Нижмозеро, Ненокса, Куртяево;

– выявлены строительные приёмы возведения жилого комплекса дома-двора как способа адаптации к тяжелым природным условиям Севера и Арктики;

– установлено, что традиционная деревянная архитектура выступает как этномаркер севернорусской идентичности Онежского Поморья.

б) Экспериментальные исследования:

– проведены экспедиционные работы по архитектурно-этнографическому обследованию памятников культурного наследия в Онежском Поморье;

– проведено изучение культурного наследия – традиционной культуры, деревянного зодчества, культурного ландшафта, обычаев, строительной обрядности, норм поведения, исторической памяти, картины мира;

- даны рекомендации по сохранению культурных ландшафтов для постановки их в качестве единых объектов культурного наследия ДМ;

- проведена ревалоризация и даны рекомендации для постановки на охрану в качестве памятников архитектуры муниципального уровня и объектов туристического показа вновь выявленных и верифицированных памятников деревянного зодчества Онежского Поморья.

Безусловно, в культурно-исторической парадигме, Поморье соотносимо с территорией всего Русского Севера и только в этом контексте можно проводить его изучение. Русский Север – родина первых русских землепроходцев. В честь Архангельска и А.А. Баранова столица Русской Америки – Ситка – была названа Ново-Архангельском. Уроженец г. Каргополя А. А. Баранов, первый и главный правитель (1790—1818) Русской Америки на Аляске (1799-1867). Дом Баранова на о. Кадьяк (США) в настоящее время является историческим музеем. В 1812 г. РАК был основан Форт-Росс - русское поселение на побережье Северной Калифорнии, в 80 км к северу от Сан-Франциско. Решение о создании крепости и поселения принял А.А. Баранов. Чтобы найти место для поселения, были предприняты три экспедиции под руководством уроженца Русского Севера из г. Тотьмы Ивана Александровича Кускова. Росс был самой южной русской колонией (1812 - 1841) в Северной Америке и создавался как сельскохозяйственное поселение, предназначенное для снабжения Аляски.

Неотъемлемой частью культуры является традиционное зодчество, которое исторически выступает в качестве адаптивного механизма в обеспечении комфортной организации жизни. Архитектурные постройки отражают черты материальной культуры, специфических для каждого народа, что позволяет рассматривать их в качестве своеобразных этномаркеров. Чем выше адаптационный потенциал культуры, тем более комфортно существование этноса, легче и быстрее проходят приспособление к новым условиям, больше возможностей для длительного пребывания на вновь освоенных землях [11, 12]. Высокий адаптационный потенциал характеризуется значительной степенью передачи явлений и элементов культуры как внутри своего этноса, так и вовне – иноэтничным группам, а также восприятием культуры, присущих другим народам, с осмыслением их как своих. Если в значительной степени система жизнеобеспечения была заимствована поморами у местного населения, то адаптационная модель духовного освоения лежала в системе православия. Соответственно, сакральное пространство Поморья формировалось православной архитектурой, мировоззренческое содержание которой и стало стабилизирующим фактором адаптации.

Главной особенностью адаптация русских при миграции в Сибирь, Арктику, Аляску был репродуктивный характер, связанный с воспроизведением основных черт

русской культуры. В 2014 г. в СО РАН в Институте археологии и этнографии вышла монография «Сибирь и Русский Север. Проблемы миграций и этнокультурных взаимодействий. Ученые из Новосибирска, Екатеринбурга и Архангельска работая в течение 3 лет по межрегиональному гранту РГНФ, рассматривают Русский Север как «исходную (базовую) модель» культуры при освоении восточных регионов России («переселенческая модель»). Деревянная архитектура русских при миграционных процессах – неотъемлемая часть культуры, созданной народом, формой жизни которого является непрерывное движение, перемещение. Отсюда приверженность к строительству деревянных зданий, которые поддаются дальнейшим переделкам, усовершенствованиям, изменениям, без значительного ущерба для эстетических достоинств и семантической насыщенности. Феномен «движущейся архитектуры» проявляется в адаптационных возможностях культуры русских, основанных на приоритете преобразовательной деятельности людей.

Культовое деревянное зодчество – своеобразное ответвление русской архитектуры, впитавшее в себя мировоззрение этноса и являющиеся отражением традиционной картины мира русского народа. В Поморье получили распространение и сохранились до настоящего времени уникальные деревянные церкви всех типов. Клетские: Спасо-Преображенская, с. Ижма (1679), Рождества Пресвятой Богородицы, с. В. Золотица (1875) Приморский р.; Никольская, с. Ковда (XVII в.) Мурманская обл. Шатровые: Никольская, с. Лявля (1581); Никольская, с. Конецдворье (1704) Приморский р.; Успенская, с. Варзуга (1674), Успенская, с. Кемь (1711) Мурманская обл. Кубоватые: Вознесенская, с. Кушерека (1669); Владимирская, с. Подпорожье (1757) Онежский р. Ярусные: Андрея Первозванного, о. Большой Заяцкий, Соловки (1702), Приморский р. Многоглавые: Сретенская, с. Заостровье (XVII в.), Приморский р. и др. [7, 8].

Характерным явлением морской культуры Поморья было возведение промысловых часовен. Они строились в становищах – временных поселениях, образованных в местах промыслов, на островах Белого и Баренцева морей. Об этом свидетельствует довольно большая группа документов с просьбами поморов о разрешении или освящении уже построенной часовни: «О самовольной постройке часовни крестьянами в Тиманском приходе на устье реки Пешы», «По прошению крестьянина Попова построить часовню при морской тоне «Татарниха», «О самовольной постройке часовни в с. Койда Мезенского уезда» и др. В одной из них по результатам обыска, проведенным становым приставом, приводится описание часовни на тони в Тиманском приходе в устье р. Пеша. Тоня состояла из четырех построек и располагалась в двадцати верстах от жилья. *«Старая, по-видимому, часовня развалившаяся, при ней амбарчик, как нужно полагать для соления рыбы. На нижней полке иконы и к ним – свечи, на окошке – ручная кадьница. На полу – деревянный ящик с углями, у другого окна – стол в виде аналая. На полках – семь ковриг черного хлеба и одна рыба, видимо, для промышленников, заблудившихся, или заставших непогодой»* [9]. Часовня была построена крестьянами во имя святителя Николая. Она стояла незапертой, чтобы быть доступной для всех желающих помолиться. Для поддержания часовни промысловики жертвовали 24-ю часть белужьего промысла, покупали свечи на ярмарках и раздавали артели промысловиков.

На побережье морей, островах, в местах промыслов, в поморских деревнях были установлены деревянные кресты. Кресты – это уникальные источники по многообразию возможных в их изучении аспектов. Они могут быть рассмотрены как памятники архитектуры, скульптуры, крестьянской письменности, культа, морские навигационные знаки, которые были нанесены на лоцманские карты. В поморской лоции XVIII в. встречаются такие описания: *«Святой Нос, на коем много крестов»*, *«В реке Коле, на левой руке на наволоке крест»*. На Мурмане кресты и каменные груды ставили промышленники у своих становищ, они служили ориентирами и маяками. В

XVIII – нач. XIX вв. архипелаг Шпицберген (Груммант, Свальбард) был традиционным местом поморских промыслов. Научными экспедициями было зафиксировано здесь 43-46 деревянных крестов, высотой от 4 до 6 м. В настоящее время два креста находится на о. Северо-Восточная Земля, третий - в экспозиции музея г. Лонгйир, административном центре норвежской провинции Свальбард [10, с.26-31]. Норвежскими ученым удалось расшифровать часть текста на кресте. Кроме стандартных церковных символов на фронтальной части креста вырезан «экспедиционный» текст с информацией о промысловой поморской экспедиции. Хорошо читается год – 1752 и фамилия «кормщик Ку<з>нецова» [11, с. 58, 59]. Кресты использовались для символического структурирования территории и выделения в ней мест с сакральным смысловым наполнением. В Арктике, где сложилась православная морская культура, крест отражает особые условия жизни, является и в XXI в. центром окружающего ландшафта, выполняя защитную и сакральную миссию. Традиция постановки крестов продолжается. В течение последних 20 лет работы кресторезной мастерской Соловецкого монастыря, было установлено 25 крестов высотой 6-12 м. Символом единения религиозного и морского знака служит единственный в России храм-маяк – церковь Вознесения (1862) на Секирной горе на Большом Соловецком острове.

Современная политическая элита ищет духовные скрепы, нравственные ориентиры русского народа и общества, которые давно существуют. Пример тому – северная поморская культура. «Самое главное, чем Север не может не тронуть сердце каждого русского человека, - это то, что он самый русский. Он не только душевно русский – он русский тем, что сыграл выдающуюся роль в русской культуре. Он спас нам от забвения русские былины, русские старинные обычаи, русскую деревянную архитектуру...» [12, с. 7]. Сохранить это богатство мог только народ, который обладает определенными чертами характера и высоким уровнем нравственности. Этот народ, вобрал в себя множество культурных и генетических кодов северных народов создал уникальную культуру русских мореходов – поморов, стоявших у истоков освоения Арктики.

Арктика, с ее сохранившейся историей и культурой, является мировой сокровищницей технологий и практик устойчивого развития. Поморская культура – русский вариант морской культуры в Арктике. Формирование русского пространства связано с особенностями материальной и духовной культуры этноса, отражением коллективной ментальности, соотносясь с культурными смыслами православной картины мира, воплощенными в народной культовой архитектуре. Специфика жизни русского человека в условиях Севера и Арктики формировала особый тип менталитета, опорой которому было православие. Старообрядчество было господствующей формой православия в Поморье. Здесь господствовала беспоповщина филипповского, федосеевского, даниловского согласия. На Нижней Двине, Летнем, Поморских берегах находились старообрядческие молельни, скиты. Поморское побережье имело множество храмов, возведенных в честь Св. Николая, не случайно поговорка справедливо гласит: *«от Холмогор до Колы – тридцать три Николы»*. Дни чествования Николы совпадали с народно-хозяйственным и промысловым календарем. В Поморье к ним приурочивались многие артельные обычаи и праздники. Характерным явлением морской культуры Поморья было возведение промысловых часовен. Они строились в становищах: временных поселениях, образованных в местах рыбного, зверобойного промыслов, на островах Белого и Баренцева морей. Поморская культовая архитектура послужила фактором адаптивного механизма освоения и организации жизненного и сакрального пространства. Храмы и кресты выступали навигационными знаками и маяками, которые были нанесены на лоцманские карты.

*Исследование выполнено в рамках научной темы № 122011300471-0 «Комплексное изучение народной архитектуры как этномаркера традиционной культуры русских в процессе исторического развития на Европейском Севере и в Арктике».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бернштам Т.А. Русская народная культура Поморья в XIX – начале XX в. Л. : Наука, 1983. 233 с.
2. Лихачев Д.С. Русская культура. М. : Искусство, 2000. 440 с.
3. Тюлений промысел в пределах Мезенского уезда // АГВ, 1901. № 29–66.
4. Куратов А.А. Поморы. // Поморская энциклопедия : в 5 т. Т. 1: История Архангельского Севера. Архангельск : Поморский гос. ун-т, 2001. 483 с.
5. Лукин Ю.Ф. Пространство северных территорий. // Северное регионоведение в современной регионологии. Архангельск : ПГУ, 2005. С. 64 - 108.
6. Пермиловская А.Б. Русский Север - специфический код культурной памяти. // Культура и искусство, М., 2016, № 2. С. С.155-163.
7. Пермиловская А.Б. Культурные смыслы народной архитектуры Русского Севера. Екатеринбург: УрО РАН; Архангельск: ОАО «ИПП «Правда Севера»; Ярославль: ЯГПУ им. К.Д. Ушинского; 2013. 608 с.
8. Пермиловская А.Б. Деревянный православный храм как воплощение этнокультурного архетипа русской традиционной культуры. // Ярославский педагогический вестник : научный журнал. Ярославль : РИО ЯГПУ, 2016. № 2. С. 245–250.
9. ГААО. Ф. 29. Оп. 4, т. 3. Д. 535.
10. Минаева Т.С. Мифы и реальность в жизни русских промышленников на Шпицбергене в XVIII – первой половине XIX вв. // Экономическая история. Саранск, 2014. № 4 (27). С. 26 – 31.
11. Гортер А.А. Опыт локализации становища экспедиции Козьмы кузнецова на о. Шпицберген. //Российский Север и Арктика: история, традиции, образы : сб. науч. ст. Архангельск : Кира, 2016. С. 55 – 63.
12. Лихачев Д.С. Предисловие // Гемп К.П. Сказ о Беломорье. Архангельск, 1983. С. 7-8.

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ДАТИРОВАНИЯ ИСТОРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА СЕВЕРЕ ЕТР

*Семеняк Н.С., Долгова Е.А., Мацковский В.В., Соломина О.Н.*  
Институт географии РАН, [semenyak@igras.ru](mailto:semenyak@igras.ru)

Важным достоинством дендрохронологического метода является возможность получения датировок тех или иных событий с годовым и даже сезонным разрешением. Высокая точность достигается за счёт применения перекрёстного датирования, что позволяет получать длинные древесно-кольцевые хронологии, а также производить датирование архитектурных и археологических объектов. В данной работе для построения хронологий используются два параметра годичного кольца, а именно ширина и оптическая плотность.

Ширина годичного кольца (ШГК) является самым доступным для измерения параметром по причине относительно простой лабораторной подготовки и измерений. Именно поэтому большинство хронологий в международной базе данных основано на ШГК (ITRDB, International Tree-Ring Data-Base). Ширина годичных колец может стать

основой для датирования, однако успех датировки в значительной степени зависит от того насколько деревья из конкретного региона чувствительны к изменчивости климата. Трудности могут возникнуть если изучаемые объекты расположены в благоприятных для роста деревьев условиях. В связи с этим, помимо ширины в данной работе используется оптическая плотность, метод получения которой разработан относительно недавно - в последние десятилетия [1]. Процесс получения оптической плотности является более трудоёмким. Вместе с тем, судя по данным результатов дендроклиматического анализа, оптическая плотность является исключительно чувствительным к изменчивости климата параметром [1], [2], [3], [4].

В настоящем исследовании мы представляем результаты датирования архитектурных объектов, расположенных на Соловецких островах, методом дендрохронологии с использованием ширины и оптической плотности годовых колец.

Соловецкие острова расположены к северу от европейской части России. Архипелаг расположен посреди мелководной части Белого моря. Своеобразный климат, рельеф и почвы формируют лесорастительные условия от весьма благоприятных до совершенно непригодных для произрастания леса. По лесорастительному районированию Соловецкий архипелаг относится к северной подзоне тайги [5]. Здесь проходит граница двух физико-географических областей – леса и тундры, между которыми существует полоса переходных ландшафтов.

Для целей датирования было выбрано 5 церковных сооружений и 10 жилых и бытовых построек (рис. 1).



Рис.1 – Примеры объектов исследования

Бурение древесины осуществлялось возрастным буром Пресслера. Дальнейшая работа проводилась в дендрохронологической лаборатории ИГ РАН. В первую очередь из полученных кернов удалялись смолы в аппарате Сокслета с применением этанола в течение 48 часов. Далее керны наклеивались на деревянные подложки, а их поверхность была зачищена с помощью микротомы. Процессу сканирования предшествовала процедура калибровки сканера с помощью цветных карточек. Керны, покрытые коробкой чёрного цвета, сканировались в разрешении 2400 dpi [4]. Дальнейшая работа по измерению ширины и оптической плотности проводилась в специализированной дендрохронологической программе Coorecorder. Перекрёстное датирование было выполнено в программе CDendro, а корректность измерений проверялась в программе COFESHA [6]. Всего таким образом измерено 116 образцов.

Все серии из каждого объекта датировались относительно друг друга, что в итоге позволило создать так называемую «плавающую» хронологию. Датирование объектов осуществлялось путём сравнения плавающей хронологии с уже имеющейся для данной территории «мастер-хронологии». Результаты датирования основаны как на визуальном сравнении рядов, так и на анализе полученных статистических параметров, таких как тест Стьюдента (t-test), коэффициент корреляции Пирсона (R).

В работе использованы 2 мастер-хронологии: по ширине и оптической плотности колец хвойных, полученные нами ранее [7]. Создание длинной древесно-кольцевой хронологии на территории Соловецких островов стало возможно за счет произрастания там старовозрастных деревьев. Хронологии по живым деревьям были получены для двух хвойных пород – сосна и ель. Хронологии по сосне имеют продолжительность от 177 до 474 лет, ели – от 179 до 378 лет. Результаты дендроклиматического анализа, проведённого нами ранее, показали, что ширина сосны и ели зависит от температуры июня-июля, а оптической плотности – от температуры всего тёплого периода. При этом коэффициенты корреляции, полученные между дендрохронологическими и климатическими рядами, варьируют от 0.3 – 0.4 и от 0.3-0.7 для ширины и оптической плотности, соответственно.

На основе измеренной ширины и плотности годичных колец хвойных построено 15 плавающих хронологий. Впервые для севера ЕТР показано, что образцы из архитектурных объектов могут быть использованы для построения хронологии по оптической плотности. Результаты датирования вместе с основными статистическими параметрами представлены в Таблице 1. Датировки получены для достаточно продолжительных периодов времени – длина плавающих хронологий варьирует от 200 до 439 лет, что косвенно свидетельствует о высокой вероятности полученных дат. Даты большинства исследуемых объектов (7 из 13) относятся к периоду середина – конец 19 в. Также есть объекты, даты которых приходятся на XVIII в. (2 шт.), XVII в. (2 шт.) и даже XVI в. (1 шт.). Судя по коэффициентам корреляции и тесту Стьюдента, качество датирования очень высокое как в случае использования ширины годичных колец, так и для оптической плотности. В дендрохронологических исследованиях датировка считается надёжной, когда значение теста Стьюдента превышает 6. В нашем исследовании нет ни одного случая, когда тест Стьюдента ниже 6, что свидетельствует о высокой вероятности полученных дат. При этом значения теста Стьюдента статистически значимо выше в датировках, полученных по данным оптической плотности, чем по ширине (см. Табл.1). Полученные при датировании коэффициенты корреляции Пирсона достаточно высокие для обоих параметров кольца: коэффициенты корреляции варьируют от 0.39 до 0.65 и от 0.5 до 0.81 для ширины и оптической плотности, соответственно. Однако для каждой серии значения коэффициентов корреляции всегда статистически значимо выше для оптической плотности, чем для ширины годичных колец.

Полученные дендрохронологические серии по ширине и оптической плотности будут использованы нами для увеличения репликации мастер-хронологий. А благодаря некоторым наиболее древним находкам (например, площадка SP, 1185-1551 гг.) удастся продлить хронологии в глубь веков.

В нашей работе впервые показана принципиальная возможность использования оптической плотности в качестве параметра кольца для целей датирования. Также представлены результаты датирования древесины из архитектурных объектов на Соловках, выполненного на основе двух параметров годичных колец – ширины и оптической плотности. Оказалось, что для целей датирования пригодны оба параметра, но самые надёжные датировки получаются при использовании оптической плотности. Успех перекрестного датирования на основе оптической плотности связан с сильным климатическим сигналом. Измеренные серии по ширине и оптической плотности из архитектурных объектов существенно повысят репликацию Соловецкой мастер-

хронологии, а также продлит её вплоть до 1185 г. Хронология по оптической плотности может использоваться как для целей создания палеоклиматических реконструкции, так и для датирования архитектурных объектов для всего севера ЕТР

Таблица 1 – Статистические характеристики изучаемых архитектурных объектов

Код площади	Объект	Количество образцов	Длина хронологии	Перекрытие	ШГК		ΔBI	
					СС	ТТ	СС	ТТ
V39A	о. Анзер, изба на Троицком мысу	7	1516-1871	356	0,65	15,4	0,81	25,1
V38A	о. Анзер, амбар на Троицком мысу	4	1663-1902	240	0,48	8	0,78	19,3
SMOL	о. Большой Соловецкий, Смолокурня №1	13	1444-1882	439	0,56	12,5	0,76	21,7
Sm	о. Большой Соловецкий, Смолокурня №2	6	1568-1889	322	0,6	13,5	0,74	19,5
V34A	о. Анзер, оз.Капрское, скит на берегу	6	1664-1890	227	0,39	6,3	0,72	15,6
BMSK	о.Большая Муксалма, Деревянный Сергиевский келейный корпус	8	1559-1896	318	0,57	12,2	0,77	21,7
V60A		7						
V63A	о. Малая Муксалма, Изба №1	5	1576-1858	282	0,52	10,1	0,71	17
V64A	о. Малая Муксалма, Изба №2	4	1659-1859	200	0,49	8	0,62	11,2
V47A	г. Кемь, Часовня рядом с церковью Успения	5	1469-1744	276	0,47	8,8	0,55	10,8
V01U	г. Кемь, Церковь Успения	11	1417-1709	293	0,46	8,5	0,68	15
V24A	о. Б. Заяцкий, церковь Андрея Первозванного	12	1420-1699	280	0,52	10,1	0,62	13,2
MMCH	о. Малая Муксалма, церковь (Церковь в честь Рождества Христова)	10	1291-1658	242	0,59	11,3	0,7	15,3
V62A		13						
SP	о. Б. Соловецкий, Спасо-Преображенский собор, балки внутри стен и деревянные детали ступеней	5	1185-1551	367	0,52	9,2	0,67	13,9

*Исследования проведены в рамках Мегагранта (соглашение №075-15-2021-599 от 08.06.2021) и при финансовой поддержке РФФ, проект № 21-17-00264 «Колебания климата Русской равнины в последнем тысячелетии по данным дендроклиматологии и климатического моделирования: реконструкции, сравнение, прогноз».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Campbell R., McCarroll D., Robertson I., Loader N. J., Grudd H., Gunnarson B. Blue intensity in *Pinus sylvestris* tree rings: a manual for a new palaeoclimate proxy // *Tree-Ring Res.* 2011. Vol. 67. P. 127–134.

2. Björklund J., Gunnarson B. E., Seftigen K., Esper J., Linderholm H. W. Blue intensity and density from northern Fennoscandian tree rings, exploring the potential to Improve summer temperature reconstructions with earlywood information // *Clim. Past*. 2014. Vol. 10. P. 877–885.
3. Björklund J., Gunnarson B. E., Seftigen K., Zhang P., Linderholm H. W. Using adjusted blue intensity data to attain high-quality summer temperature information: a case study from Central Scandinavia // *The Holocene*. 2015. Vol. 25 (3). P. 547–556.
4. Rydval M., Larsson L.-Å., McGlynn L., Gunnarson B. E., Loader N. J., Young G. H. F., Wilson R. Blue intensity for dendroclimatology: should we have the blues? Experiments from Scotland // *Dendrochronologia*. 2014. Vol. 32 (3). P. 191–204.
5. Леса Соловецкого архипелага / Л. Ф. Ипатов [и др. ; под ред. Л. Ф. Ипатова] ; Архангельский региональный общественный фонд "Музей леса", Архангельский гос. технический ун-т, Архангельская экспедиция "Севлеспроект" Фил. ФГУП "Послесинфорг". - Архангельск : СОЛТИ, 2009. - 243 с.
6. Grissino-Mayer H. D. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECOA. – 2001.
7. Semenyak N., Dolgova E. Dendroclimatic signals in the pine and spruce chronologies in the Solovetsky Archipelago // *Dendrochronologia*. – 2023. – Т. 77. – С. 126029.

## **ЛЕДОКОЛЬНЫЕ СУДА И ПОЛЯРНАЯ АВИАЦИЯ В ДЕЛЕ СПАСЕНИЯ ИТАЛЬЯНСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ УМБЕРТО НОБИЛЕ**

*Силин А.В.<sup>1</sup>, Вакорина Л.Н.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Филиал Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, г. Северодвинск, silin23@yandex.ru

<sup>2</sup> Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск

В последние десятилетия в отечественном литературоведении наметилась тенденция к выделению местных «сверхтекстов» русской литературы, наряду с центральными - Московским и Петербургским. Речь идет о ряде региональных «сверхтекстов», например, Сибирском и Северном, которые не являются чем-то изолированным, замкнутым, а наоборот, сохраняя свою специфику, декларируют и реализуют свою потенциальную открытость через идею диалога общерусского и местных литературных потоков.

Одним из ракурсов в понимании Сибирского текста, предложенного Н.В. Серебрянниковым, является осмысление его как «аутентичной локальной словесности, катализатором к формированию которой служит территориальная идентичность (в случае с Сибирью — сибирское областничество XIX — XX вв. и его рефлексии в советской словесности и культуре диаспоры)» [5]. Литературоведы отмечают такие смысловые характеристики Сибирского текста, как представление о необъятности северных пространств, учитывая, что понятия Север и Сибирь родственные, но не тождественные; отдаленности от центра; маргинальности, преодолеваемой в советский период, так как северные территории становятся «своей», активно осваиваемой «провинцией».

В Сибирском тексте исследователями был выявлен концепт «пустоты», предполагающий как поглощение личности всем тем, что ее окружает, так и возможность преодоления личностью своей собственной ограниченности. Человек, с одной стороны, сражается с природой, а с другой — пытается встать вровень с ней, превратиться в демиурга, строителя новой реальности.

Особое значение в сибирском тексте приобретала дорога, а само движение в пространстве представляло собой путь, который проходит человек, чтобы образовать «свое» пространство. Поиск, определение и нахождение «своего» пути пересекаются с рассуждениями немецкого философа Мартина Хайдеггера, сформулировавшего в европейской культуре XX века понятие феноменологии пространства, немислимого вне географического пространства. В пространстве, по мысли Хайдеггера, говорит простор - «нечто простираемое, свободное от преград» [6, с. 96-97]. Начальник советской экспедиции по спасению экипажа итальянского дирижабля «Италия» в 1928 году Р.Л. Самойлович писал: «Какое радостное чувство испытываешь, когда выходишь в открытое море! Душа освобождается от тисков «цивилизации»...Кругом только бесконечный простор сверкающего моря и купол светло-голубого неба» [Самойлович, с.42].

Носителем Сибирского текста, не только по месту своего рождения и начальному этапу профессиональной деятельности, но и по целому ряду произведений, написанных в разных жанрах и посвященных Сибири и сибирским рекам, экспедициям и географическим открытиям являлся Георгий Иванович Кублицкий (1911 — 1989) — советский писатель, краевед, историк, журналист, сценарист и кинодраматург, литературное наследие которого было обращено прежде всего к детской и юношеской читательской аудитории, но и вызывало интерес у взрослых читателей.

К экспедиции генерала Умберто Нобиле на дирижабле «Италия» (1928 год), обстоятельствам гибели этого летательного аппарата, спасательным мероприятиям по поиску итальянской экспедиции, организованным СССР, писатель обращался дважды. Первый «приступ» к теме состоялся в 1948 году, в связи с двадцатилетней годовщиной драматичных событий в Арктике. Тогда Г.И. Кублицким был написан рассказ, а если более точно подходить к этому произведению с позиций жанровых характеристик, - очерк «Гибель «Италии», который многократно переиздавался на страницах книги «По материкам и океанам. Рассказы о путешествиях и открытиях», вышедшей в свет в 1940-е - 1950-е годы несколько раз. Очерк был пронизан тем восприятием событий, которое в 1928 году разделяли многие. Помимо этого, арктические события 1928 года приобретали для будущего писателя личностный смысл. В момент гибели «Италии» он заканчивал школу и юноша, «обдумывающий житье», как губка впитывал то, что говорилось и писалось об этих событиях.

Позже, спустя почти сорок лет после первого «приступа», писатель вновь обращается к старой теме. В 1986 году в книге «Весь шар Земной...» Г.И. Кублицкий публикует переработанный очерк, в котором были учтены встречи писателя с участниками событий, выход на экраны в 1970 году фильма «Красная палатка», в котором кинематографистами предлагалась своя интерпретация событий и характеров, принятая, однако, далеко не всеми. В итоге, у автора появилось желание «по-новому осмыслить былое», передать атмосферу полузабытых дней, вернуться к действовавшим людям и их поступкам, чтобы взглянуть на них глазами «человека из 1980-х».

«Новый взгляд» выразился у писателя уже в том, что он приводит два газетных сообщения, касающихся Умберто Нобиле, разрыв между которыми 50 лет. Одно — из 1978 года, переданное корреспондентом ТАСС в Риме, о кончине в возрасте 93 лет известного итальянского полярного исследователя, генерала в отставке Умберто Нобиле, который в 1946 году избирался депутатом Учредительного собрания Италии по списку Коммунистической партии, что для советской идеологии являлось «знаковым» фактом. Второе — из 1928 года, в котором экспедиция к полюсу на дирижабле «Италия» именовалась «авантюрным предприятием» итальянца фашиста Нобиле, мечтавшего покрыть Северный полюс фашистской славой и славой папы римского. По поводу суда над Нобиле в газетном материале сообщалось: «Правды мы никогда не узнаем, так как фашиста Нобиле будет судить фашист Муссолини» [1, 1986, с.262].

Писатель подчеркивает, что прошедшие бурные десятилетия радикально меняли судьбы людей и вносили коррективы в понимание тех или иных событий.

Фактическая сторона полета и гибели дирижабля «Италия» достаточно основательно изложены в исторической и историко-географической литературе и эта сторона будет затронута по мере необходимости, основное внимание предполагается сосредоточить на тех литературных средствах, которые были использованы писателем для раскрытия роли ледокольных советских судов и полярной авиации в спасении экспедиции У. Нобиле.

В тексте очерка «Гибель «Италии»» 1940-х — 1950-х годов влияние идеологического фактора ощущается довольно сильно. Писатель обращает внимание на то, что для всего капиталистического мира стало неожиданностью: большевики с двух сторон, с востока и с запада, отправляют на поиски уцелевших членов экипажа дирижабля, находившихся к северу от Шпицбергена, «мощные ледоколы «Красин» и «Малыгин» с разведывательными самолетами и смелыми летчиками на борту» [2, с. 255]. Правда, в более позднем варианте текста очерка, писатель уточняет, что маломощного «Малыгина» вернее было бы считать ледокольным пароходом, чем ледоколом [1, с. 262]. Да и в другом месте первоначального текста Г.И. Кублицкий называет «Малыгина» ледокольным пароходом.

В качестве литературных средств, используемых писателем для создания образа героической советской спасательной экспедиции, выступали топонимы, имена собственные, полярные природные явления, арктическая фауна, доступные для понимания детско-юношеской читательской аудитории описания различных технических процессов, не впадая при этом в их излишнюю детализацию.

Помимо уже упоминавшегося архипелага Шпицберген, в тексте очерка называются Архангельск (Архангельский порт), откуда вышел «Малыгин», Ленинград, откуда на поиски пропавшей итальянской экспедиции отправился «Красин», архипелаг короля Карла XII, остров Надежды, Семь островов, норвежский город Берген, мыс Норд. Издания книги «По материкам и океанам» 1940-х — 1950-х годов сопровождалась картами путешествий и географических открытий, выполненных М. Гетманским, то есть, излагаемый писателем материал получал наглядную картографическую привязку. Такая карта сопровождала и очерк «Гибель Италии», на которой были помечены маршрут ледокола «Красин», места гибели дирижабля, обнаружения «группы Мальмгрена» и «группы Вильери», а также «знаковые» географические точки [2, с.257].

Кублицкий приводит план летчика Михаила Сергеевича Бабушкина, как добраться до «красной палатки» экспедиции Нобиле с «Малыгина». До лагеря экспедиции было четыреста пятьдесят километров. Дальность собранного прямо на льду одномоторного самолета «Ю-13» - триста. Выход — взять пять бидонов бензина, долететь с ними до архипелага короля Карла — это как раз полпути — основательно замаскировать их там, чтобы белые медведи не помяли и вернуться на ледокольный пароход. Тут заправиться, и уже тогда — к палатке, чтобы на обратном пути пополнить запас горючего спрятанным бензином.

В публикациях очерка 1940-х — 1950-х годов почему-то безымянный «руководитель операции» на «Малыгине» (в публикации 1986 года он точно указан — это Владимир Юльевич Визе) выразил сомнение в возможности приземления самолета на льдину, сославшись на авторитет профессора Х. Свердруп. Но другого плана не было. 24 июня 1928 года Бабушкин благополучно взлетел со льдины и удачно приземлился на другую недалеко от островов короля Карла. Оставил в приметном месте бидоны с бензином и снова взлетел. Однако самолет вскоре попал в туман, пришлось сесть на первую попавшуюся льдину, а там - «местные жители» - медведи проявляли к незнакомому объекту чрезмерное любопытство, таившее опасности для

экипажа самолета (литературное средство — арктическая фауна). После беспокойной ночи самолет вернулся к «Малыгину».

После этого самолет Бабушкина еще неоднократно взлетал и садился на лед, попадал в туман и шторм, терял и находил свою базу («Малыгин») чуть не погиб, относимый штормом к прибрежным камням острова Надежды. Несмотря на все перипетии, Бабушкин снова полетел к «красной палатке», сломав при возвращении лыжи, истертые об острый лед (литературное средство — природные явления Арктики).

В первоначальном варианте очерка, Г.И. Кублицкий отмечал, что Бабушкин вполне мог достичь лагеря итальянцев, если бы не привходящие обстоятельства, вроде сломанных лыж, да и «Малыгин», благодаря перемене ледовой обстановки после шторма успешно продвигался на север и был уже в ста двадцати километрах от лагеря итальянской экспедиции. Однако полученная вскоре радиограмма сделала ненужными дальнейшее продвижение ледокольного парохода и полеты смелого летчика [2, с. 256]. В более позднем варианте очерка писатель признает человеческий подвиг летчика: «Михаил Сергеевич Бабушкин не вывез никого из итальянцев. Он всего лишь тридцать раз рисковал жизнью за две недели поисков» [1, с. 271]. Акцент смещается в сторону факторов мотивационных, психологических, связанных с преодолением человеком самого себя, преодолением страха собственной гибели.

Вполне закономерно, что много внимания писатель уделяет походу ледокола «Красин» к месту гибели итальянского дирижабля и полетам летчика Бориса Григорьевича Чухновского на его трехмоторном «Юнкерс-Гиганте» (ЮГ-1), предоставленном ВВС Балтийского флота. «Между тем внимание всего мира сосредоточилось на «Красине» [1, с. 271].

С предельной точностью до часов и минут писатель указывает дату и время выхода из ленинградского порта самого мощного на тот момент советского ледокола «Красин» на поиски итальянской экспедиции: «Через четыре дня семь часов сорок минут после получения приказа...». Если «Малыгин» вышел из Архангельска 12 июня 1928 года, то ледокол «Красин» покинул Ленинград ранним утром 16 июня [1, с. 271]. Это произошло очень быстро. Ледокол был выведен из консервационного состояния, на него был погружен самолет летчика Чухновского, пополнены до максимума запасы угля и продовольствия, спасательных средств, подобрана команда из добровольцев с других судов.

В первоначальном варианте очерка для того, чтобы усилить у читателя ощущение быстрого темпа сборов и выхода в поход советского ледокола, Кублицкий пишет: «В тот час, когда Амундсен поднялся в свой последний полет, «Красин», утюжа носом балтийские волны, уже шел на огонь маяка острова Готланд» [1, с. 256]. В этой фразе обнаруживаются сразу три литературных средства — имя собственное (имя известного норвежского полярного исследователя Руала Амундсена, вылетевшего со своими спутниками на самолете «Латам-47» на поиски итальянской экспедиции и погибшего при загадочных обстоятельствах на просторах Арктики); топоним Готланд — название шведского острова в Балтийском море; а также олицетворение - «утюжит носом».

Писатель считал важным показать своему читателю каким образом к советскому ледоколу относилась иностранная общественность. Кублицкий подчеркивает, что особенно тепло советский корабль встречала Норвегия, город Берген, куда ледокол зашел для того, чтобы пополнить запасы угля. Для того, чтобы усилить произведенный эффект, писатель приводит полные восторга возгласы норвежцев-гостей ледокола, их слова искренней надежды на то, что «Красину» удастся найти героя Норвегии — Амундсена: «Хипп! Хипп! Ура русским», - неслось ото всюду. ... «Найдите нашего Амундсена! Найдите нам его!» [2, с. 256,257].

В более позднем варианте очерка Кублицкий уточняет, что «Красин» получил приказ из Москвы ускорить ход и всеми силами пробиваться к «группе Вильери» - так

стали называть людей «красной палатки» после отлета Нобиле на шведском самолете — и организовать всеми доступными средствами поиски Амундсена. Задание о поисках «Латама» давно имел и «Малыгин» [1, с. 271]. Однако сам руководитель советской поисковой экспедиции Рудольф Лазаревич Самойлович отмечал: «Но в общем нужно сказать, что отношение к нам норвежской общественности было сочувственно сдержанное» [4, 1967, с. 59].

Следуя по героической стезе, Кублицкий, обращает внимание читателя на мощности трех машин советского ледокола — десять тысяч лошадиных сил, которые «могли поспорить с очень крепкими и старыми льдами» [2, 1957, с. 257] (литературные средства — природные арктические явления, технические характеристики ледокола). Эту мысль писателя подтверждал и Р.Л. Самойлович: «Ведь все зависело от перебойной работы наших машин... Только при этом условии можно было надеяться пробиться к погибавшим итальянцам» [4, 1967, с. 59].

Важна была и «нить преемственности» в освоении пространств Арктики, протянутая писателем от глубокой древности до XX века. Кублицкий подчеркивает, что, «Красин», маневрируя во льдах, раскалывая их, шел по пути древних русских мореходов, много веков назад проложивших путь на Грумант, как тогда называли Шпицберген, «и далеко по свету разнеслась их морская слава» [1, с. 257]. С одной стороны, эти слова писателя способствовали воспитанию у читателя чувства гордости за своих предков, воспитанию патриотизма, а с другой, возможно, — были данью недавно отгремевшей идеологической кампании по «борьбе с безродным космополитизмом и преклонением перед Западом».

В более позднем варианте текста очерка, Кублицкий, сохраняя героическую направленность повествования, тем не менее, цитируя Р.Л. Самойловича, размышлявшего о том, что у спасательной экспедиции может быть различный исход и спасатели могут превратиться в спасаемых, поменять комфортабельный корабль «на холодные палатки и спальные мешки», задается риторическим вопросом, который здесь также выступает в качестве литературного средства: «Могло это случиться?». И отвечает на него «Могло» [1, с. 271]. «Красин» входил в неизвестные воды, таящие массу потенциальных опасностей: неведомые подводные камни, мели, лед невероятной толщины, против которого были бессильны таранные удары ледокола (в борьбе с ними корабль потерял лопасть винта и повредил руль). В итоге был отдан приказ временно приостановить машины. Однако, как только лед разрядился, их запустили вновь. Ледокол подошел к ледовому полю, пригодному для взлета «Красного медведя» — самолета Б.Г. Чухновского.

Стремясь показать деловой, энергичный настрой участников спасательной экспедиции Г.И. Кублицкий уточняет, что самолет Чухновского, спущенный с борта ледокола по частям, собирался днем и ночью.

Всевозможные опасности, которые нельзя было заранее предвидеть, подстерегали молодую советскую полярную авиацию где и когда угодно, но летчики находили выход из сложных ситуаций. Например, 8 июля 1928 года самолет Чухновского поднялся в пробный полет, который мог стать последним: после подъема одна лыжа беспомощно повисла торчком. Однако же Чухновский сумел-таки удачно посадить своего «Красного медведя», а «летнаб» (летчик-наблюдатель) Анатолий Дмитриевич Алексеев, шутя и пробуя рацию самолета, отправил на «Красин» депешу, введшую тамошнего радиста в легкий ступор: «Охота тебе Ваня в радиорубке сидеть тчк Брось иди чай пить» [1, с. 272].

Описания полетов Чухновского по поиску лагеря итальянской экспедиции и обнаружения «группы Мальмгрена» в обоих вариантах текста очерка мало отличаются друг от друга, если только уточняющими деталями. Особо в первом варианте очерка много пишется о тумане, как существенном препятствии на пути смелого летчика, таящим в себе смертельную опасность. Можно сказать, что писатель создал целый

образ тумана, он предстает перед мысленным взором читателя, как чуть ли не живое существо. «Чухновский блуждает где-то в молочной мгле... Туман густ и зловещ... Туман сгущался» [1, с. 259]. О так называемых «слепых полетах» в Арктике в тот период могли только мечтать!

Каков же итог небесных блужданий в туманном мареве и многочасовых выпадений из радиозэфира «Красного медведя»? «Группа Мальмгрена» была обнаружена и на «Красин» с радиостанции самолета ушло соответствующее сообщение. В районе Семи островов самолет Чухновского попытался сесть на торосистое поле, но посадка прошла неудачно: сломались оба винта и шасси, вышла из строя рация.

После многочасового радиомолчания, пойманный сигнал с радиостанции самолета превратил ледокол, образно говоря, в электрический прибор: «захлопали двери кают и по всему кораблю словно прошла электрическая искра: «Слышали? Чухновский заговорил» [2, с. 260].

В более позднем варианте очерка писатель дает более-менее развернутое содержание радиосообщения Чухновского с цитированием наиболее значимых мест. На «Красине» получают координаты обнаруженных спутников Нобиле; данные ледовой разведки с указанием наиболее благоприятного маршрута для ледокола. «Выбора посадки не было... Все здоровы. Запасы продовольствия две недели. Считаю необходимым «Красину» срочно идти спасать Мальмгрена» [1, с. 272]. Если попытаться осмыслить последнюю фразу чухновской радиограммы с позиции аксиологического подхода, то она вполне укладывается в концепцию взаимодействующего и взаимозависимого мира, пронизанного гуманистической ценностной ориентацией. «Группа Мальмгрена» - это маленькая частичка человечества, это люди и их надо во что бы то ни стало спасти. Вероятно, Б.Г. Чухновский и не мыслил столь масштабно и глубоко, но суть депеши именно в этом. Ведь уже через день последняя фраза радиограммы обсуждалась на всех континентах. Шведский летчик Лундборг, попав в беду разбив свой самолет в ходе второго полета к «красной палатке» итальянской экспедиции, при первой же возможности спасся первым. А русский летчик требует, чтобы спасали других!

В заключении следует отметить, что книги Г.И. Кублицкого не переиздавались уже более тридцати лет (последняя вышла в издательстве «Детская литература» в 1991 году), но, несмотря на неизбежный для советской литературы налет идеологии, они пронизаны романтикой путешествий и открытий («все мы – открыватели»), апеллируют к лучшим человеческим качествам, призывают читателя познавать и преобразовывать окружающий мир и самого себя. В известной степени, книги писателя открывают перед читателем перспективы включения в процесс научного и научно-технического творчества. Своеобразным призывом к такому включению может служить название интервью самолетостроителя Героя Социалистического труда Сергея Михайловича Егера, процитированного Г.И. Кублицким: «Пора взлетать дирижаблю» [1, с. 272].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кублицкий Г.И. Гибель «Италии» //Весь шар Земной. М.: Дет. лит. 1986. С. 262-286.
2. Кублицкий Г.И. Гибель «Италии» //По материкам и океанам. 3-е изд. М.: Детгиз, 1957. С. 261-265.
3. Макарова Е.А. Специфика бытования «сибирского текста» в последней трети XIX века //Сибирский текст в национальном сюжетном пространстве: коллективная монография /Отв. ред. К.В. Анисимов. Красноярск, 2010. С. 46-62.
4. Самойлович Р. На спасение экспедиции Нобиле. Поход «Красина» летом 1928 года. М.: Гидрометеиздат, 1967. 315 с.

5. Серебренников Н.В. Опыт формирования областнической литературы. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2004. 307 с.
6. Хайдеггер М. Искусство и пространство //Самосознание европейской культуры XX века: Мыслители и писатели Запада о месте культуры в современном обществе. М.: Политиздат, 1991. С. 95-102.

## **СЕВЕРНЫЙ ДОМ КАК СПОСОБ СОХРАНЕНИЯ ЭТНОКУЛЬТУРНОЙ ИДЕНТИЧНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ С. ЧУХЧЕРЕМА)**

*Усов А.А.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, usov@fciactic.ru

В статье представлены результаты архитектурно-этнографического обследования сельского исторического поселения Чухчерема, Холмогорский район, Архангельская область, проведенного в 2023 году. В материалах эмпирического исследования по памятникам деревянного зодчества (кон. XIX – сер. XX в.) отражено традиционное жилище как этномаркер сохранения локальной и региональной севернорусской идентичности. Изучены архитектурно-конструктивные и декоративные особенности местного дома-комплекса. Исследование опирается на применение двух авторских методик д-ра культурологии, действительного члена ААН А.Б. Пермиловской: по архитектурно-этнографическому обследованию памятников деревянного зодчества и по историческим поселениям как объектам культурного наследия с созданием историко-культурного опорного плана.

Традиционное жилище, севернорусский дом-комплекс – неотъемлемая историко-культурная и социокультурная константа в пространстве культурных ландшафтов сельских исторических поселений Русского Севера и Арктики. Особенности архитектурно-конструктивного устройства, специфика декора и интерьера – служат средствами выражения существующих на определенной территории плотницких традиций, отражают благосостояние и социальный статус хозяина, «рассказывают» о местных природно-климатических условиях, используемых материалах, быте, традиционных занятиях населения.

Однако следует признать, что в отличие от памятников народного зодчества, обследованных учеными в пер. пол. XX – нач. XXI вв. (А.В. Ополовников, И.В. Маковецкий, Б.В. Гнедовский, В.П. Орфинский, М.И. Мильчик, А.Б. Пермиловская и др.) и сохранившихся, прежде всего, на территориях национальных парков и музеев под открытым небом – современный северный дом подвергся значительной трансформации, превращаясь из деревенского в «загородный». Несмотря на это, существующее в настоящее время дома-комплексы кон. XIX – сер. XX в. все еще представляют историко-культурную ценность, как памятники, наследовавшие опыт севернорусских зодчих, заключенных в архитектурно-конструктивном устройстве, особенностях планировки, внешнего облика и внутреннего убранства. При этом крестьянские дома неизменно отличаются не только от района к району Архангельской области, но часто имеют свою неповторимую локальную специфику даже в близлежащих поселениях; и в то же время – все жилища объединены общими принципами, свойственными для севернорусского гражданского деревянного зодчества.

Как отмечал А.В. Ополовников, все традиционные крестьянские жилища построены из одного и того же леса, а в их основе – обыкновенные бревна. Но будучи

уложенными в сруб, они становятся универсальным архитектурным модулем, единым для зданий самых разных композиций и форм, повторяющимся в своих усредненных размерах множество раз; но с другой стороны: «...что ни изба – свой облик, свой характер <...> Конечно, архитектурные формы и традиционные конструктивные приемы передавались из поколения в поколение, но, применяя их, каждый строитель непременно вносил что-то свое» [1, с. 32]. Таким образом, дома-комплексы каждого поселения – материальное выражение локальной и региональной идентичности людей, закрепленное в облике деревянной архитектуры.

Архитектурно-этнографическое обследование проводилось на территории сельского исторического поселения Чухчерема (Верхняя Чухчерема), представленного гнездом деревень: Среднепогосткая, Поташевская, Тарасово, Кожево, Тереховская, Глухое, Новина; информантами также выделена исчезнувшая д. Бор [2].

Село расположено на правом берегу р. Северная Двина, в 90 км от г. Архангельск. Планировка деревень смешанная: уличная и прибрежно-рядовая – 3 порядка домов обращены главными фасадами к реке, однако часть жилищ со стороны воды обращены к ней хозяйственными дворами и образуют сторону главной и единственной улицы.

Композиционный и сакральный центр поселения – культовый архитектурный ансамбль Чухченемо-Ильинского прихода (XVIII – XIX вв.), в который входит клетский теплый одноглавый храм Василия Блаженного (1824) и шатровая колокольня «восьмерик на четверике» (1783). С пер. пол. XX в. «тройник» лишен девятиглавой холодной церкви Илии Пророка (1657), однако ее образ до сих пор довлеет над местным культурным ландшафтом – 2 августа – «Ильин день», главный престольный праздник Чухченемско-Ильинского прихода, а также день села. До 2023 года культовый ансамбль даже в составе двух памятников, являлся естественной доминантой, однако с частичной утратой Васильевской церкви, от «тройника» осталась лишь колокольня. Тем не менее, ее шатер до сих пор является вертикалью, визуальную объединяющей ближайшие деревни.

В виду утраты сакрального центра, именно традиционный дом стал основным памятником деревянной архитектуры, определяющим индивидуальность села. Гражданское зодчество с. Чухчерема представлено комплексами дома-двора с типом связи избы и двора – «брус» на низком и среднем подклете. Наиболее распространенный тип планировки избы – пятистенок, встречаются четырехстенки. На главном фасаде располагается 3-5 окон, на фронтальном скате крыши часто устроены ставшие традиционными для пригородных жилищ сер. XX в. вышки-мезонины на 3 окна. (рис. 1).



Рис. 1 – Дом-двор Заозерской О.А. (нач. XX в.), с. Чухчерема (д. Поташевская).  
Фото А. Усова, 2023

Дома выстроены из сосны, в качестве фундамента использованы мощные лиственничные стойки. Интерьеры жилых помещений в большинстве домов современные, меблированные, однако в избе всегда сохраняется как минимум одна большая русская печь, чаще – на кухне. «Передние» отапливаются 1-2 голландками. Хозяйственная часть традиционная, двухэтажная – разделена на двор и поветь. На повети со стороны озадков или крыльца вырубались квадратные ворота, куда закидывалось сено; взвозы существовали, но не получили здесь повсеместного распространения.

Внешний облик жилищ с. Чухчерема скромный, но разнообразный в деталях. Окна украшены лаконичными деревянными наличниками с деталями очелий в форме стилизованных волн и трапеций. Мотив волны, полукруга, трех окружностей также повторяется в подшивке крыш вышек-мезонинов (рис. 2). Это наиболее массивная деталь декоративного оформления, более характерная для домов сер. – кон. XX в., но от того не менее выразительная.



Рис. 2 – Мезонин дома-двора Марчук В.Э. (кон. XIX - нач. XX в.), с. Чухчерема (д. Среднепогостская). Фото А. Усова, 2023

Наряду с мезонинами, значительное влияние на восприятие внешнего облика верхней части жилищ составляют многочисленные железные дымоходы – изящные образцы художественнойковки местных мастеров с фитоморфными и зубчатыми узорами – самая яркая отличительная деталь экстерьера домов-комплексов с. Чухчерема (рис. 3). Для более старых домов со сплошными фронтонами также характерно наличие окрашенных в красный цвет консолей-коньков под череповыми бревнами стен (рис. 4) и более общее традиционное севернорусское украшение – резные причелины с геометрической резьбой (в форме кругов), а также волнообразных мотивов по краю доски. Стык причелин как правило завершается резным полотенцем, иногда с датой постройки избы.



Рис. 3 – Металлический кованый дымоход, с. Чухчерема (д. Поташевская).



Рис. 4 – Резная окрашенная консоль дома-двора Евдокимова Я.М. (1910), с. Чухчерема (д. Поташевская). Фото А. Усова, 2023

С точки зрения архитектурно-конструктивного устройства, следует обратить внимание на существование в с. Чухчерема домов-комплексов с типом соединения жилья и двора – «глаголь». К настоящему времени остался всего 1 памятник подобного типа – дом Колапышевых (кон. XIX – нач. XX в.), однако еще в XX в. они были более распространены на 1 ряду деревень в селе – придавая ему значительной выразительности и создавая облик старинного зажиточного поселения (рис. 5).



Рис. 5 – Дом-двор Колапышевых (кон. XIX - нач. XX в.), с. Чухчерема (д. Поташевская). Фото А. Усова, 2023

Доминирующие памятники севернорусского села, его гордость и значимый элемент местной идентичности – культовая архитектура, в т.ч. «тройники». Однако в с. Чухчерема, с частичной утратой Васильевской церкви – именно крестьянские дома остались наиболее яркими «маркерами» местного этнокультурного своеобразия, выраженными в архитектуре. Оригинальность и самобытность облика села, с учетом равнинного характера местности и невозможности формирования представления о целостном виде деревень (цвет, форма застройки и др.) – таким образом целиком сконцентрирована в памятниках гражданской архитектуры. Декоративное оформление, а также различные особенности архитектурно-конструктивного и планировочного устройства домов, формируют неповторимый облик с. Чухчерема, служат потенциальным залогом организации туристической инфраструктуры и выступают

одним из факторов поддержания и актуализации как локальной, так и севернорусской идентичности местного населения.

*Исследования проведены в ходе проведения государственного задания по теме «Комплексное изучение народной архитектуры как этномаркера традиционной культуры русских в процессе исторического развития на Европейском Севере и в Арктике» № 122011300471-0.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ополовников А.В. Русское деревянное зодчество: Гражданское зодчество: северная деревня, двор-комплекс, приусадебные постройки и мосты, промышленные постройки, архитектурные детали и фрагменты. Москва: Искусство, 1983. 287 с.
2. ПМА. Усов А.А. Отчет об экспедиции в Холмогорский район. Информант Заозерская Валентина Васильевна, 1937 г.р., м.р. д. Ракула, м.п. с. Чухчерема; Палтусова Зоя Михайловна, 1936 г.р., м.р. д. Заручей (Н. Чухчерема), м.п. с. Чухчерема (д. Поташевская); Марчук Валентина Эмильевна, 1962 г.р., м.р. и м.п. с. Чухчерема (д. Среднепогостская), запись 2023.

#### АРКТИКА В КОЛЛЕКЦИЯХ МУЗЕЙНО-ВЫСТАВОЧНОГО ЦЕНТРА В БАРЕНЦБУРГЕ

*Чурлик А.Ю.*

Музейно-выставочный центр, Баренцбург, архипелаг Шпицберген  
AnnamissAnnamiss@yandex.ru

Музейно - выставочный центр в Баренцбурге был создан в 1963 году, инициаторами открытия выступили руководство рудника и представитель из педагогического состава школы. Изначально музей находился в Доме культуры.

К 50-летию юбилею рудника музейное пространство было расширено. До 2017 года музей сменил несколько названий и мест размещения, сегодня он находится в здании бывшего советского консульства и называется - «Музейно-выставочный центр».



Рис. 1 – Музейно-выставочный центр в Баренцбурге

За свою 60-летнюю историю существования музейный фонд стал хранителем коллекций, которые посвящены: природе, геологии, изобразительному искусству,

деятельности русских поморов на Шпицбергене (середины XVI – конца XVIII в.), научным экспедициям на архипелаг (походу В. Баренца в 1596 г., экспедиции В.Я. Чичагова 1764 - 1765 гг., морской экспедиции 1899 - 1901 гг. на первом в мире ледоколе "Ермак", исследованиям В.А. Русанова 1912 г.). Также в музее экспонируются предметы, отражающие период Великой Отечественной войны.

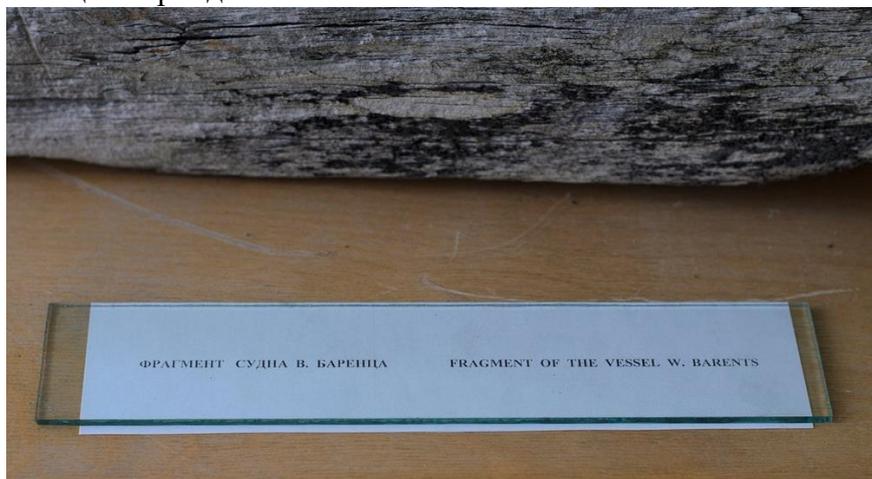


Рис. 2 - Фрагмент судна В. Баренца

На 400-х сот квадратных метрах размещены несколько сотен единиц хранения. Орудия охоты и рыболовства XVII столетия представлены в виде промысловых копьев. Поморы на архипелаге вели добычу морских зверей – моржей, а точнее моржового клыка, который являлся ценным товаром. Стоит отметить, что в те времена моржовый клык стоил один рубль, такая же цена была за одного быка. Дополняют предметный ряд рыболовные крючки, деревянные поплавки, грузила, фрагменты сетей.



Рис. 3 - Рыболовные крючки

В экспозиции представлены предметы быта: ложки, обувные колодки, ручки бытовых предметов. Многочисленные экспонаты XVI-XIX вв. аналогичны предметам, которые происходят из города Мангазея. Например, экспонируемый штевень коча является подтверждением поморских промысловых экспедиций на архипелаг Шпицберген. Кочи на несколько столетий стали универсальным инструментом, с помощью которого люди сумели покорить арктические пространства.

Особое место занимают находки, отражающие духовную культуру поморов, например кресты-тельники XVI-XIX вв., резной крест XVI в., икона-киот XVIII в.

Период начала XX столетия представлен предметным рядом, который отражает экспедицию В.А. Русанова на Шпицберген. Заявочный столб 1912 г., найденный в

заливе Ис-Фьорд, отражает историю научной работы русского арктического исследователя на Шпицбергене.



Рис. 4 – Заявочный столб В.А. Русанова, 1912 г.

Особое место в музее отведено работам художника-портретиста Страхова Андрея Александровича, который в 80-х годах XX века работал на Шпицбергене и написал картины, которые отражают освоение арктических недр. На портретах изображены работники треста «Арктиуголь», которые работали шахтерами, горноспасателями.

Таким образом, музейно-выставочный центр в Баренцбурге экспонирует и хранит археологические находки, которые свидетельствуют о длительном пребывании здесь поморов, русских мореходов, уникальную коллекцию предметов из Ледяной гавани (архипелаг Новая Земля) с места зимовки экспедиции Виллема Баренца, предметный ряд первого российского ледокола «Ермак», экспедиции В.А. Русанова, фотографии и личные вещи семьи балерины Майи Плисецкой, отец которой был первым начальником треста, а также предметный ряд периода Второй мировой войны, геологическую коллекцию, картины советских художников-портретистов, фото и фонодокументы советского и российского периода.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Журавлёв П.С. ОТ М.В. ЛОМОНОСОВА ДО Н.П. ЛАВЁРОВА: ИСТОРИЯ АКАДЕМИЧЕСКОЙ НАУКИ НА АРХАНГЕЛЬСКОМ СЕВЕРЕ</b>	<b>7</b>
<b>ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА В АРКТИКЕ: РИСКИ, ПРОБЛЕМЫ, БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ</b>	
<b>Анисимкин В.И., Колесов В.В., Кузнецова И.Е. ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА ВОДА-ЛЕД-ВОДА ПРИ ПОМОЩИ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В ТОНКИХ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛАСТИНАХ</b>	<b>13</b>
<b>Астахов А.С., Ши Сюефа РЕЗУЛЬТАТЫ РОССИЙСКО-КИТАЙСКИХ ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ВОСТОЧНОАРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ РФ</b>	<b>16</b>
<b>Башкова А.А., Шейн А.Н., Королева Е.С., Паламарчук В.А. ОРГАНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА КРИОЛИТОЗОНЫ В ЯМАЛО-НЕНЕЦКОМ АВТОНОМНОМ ОКРУГЕ</b>	<b>22</b>
<b>Брушков А.В., Романовская М.А. О НЕОБХОДИМОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ АРКТИКИ</b>	<b>26</b>
<b>Виноградов Ю.А., Милехина А.М. МОНИТОРИНГ ИЗМЕНЕНИЙ В КРИОЛИТОСФЕРЕ АРКТИКИ ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ</b>	<b>29</b>
<b>Вовкодав К.В., Каджаева Е.Т. ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЕКТОРА АРКТИКИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА</b>	<b>32</b>
<b>Григорьев М.Н. ДЕГРАДАЦИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД В ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЕ МОРЕЙ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФЛУКТУАЦИЙ</b>	<b>34</b>
<b>Ерохин С.А., Тузова Т.В. ИСТОЧНИКИ ФОРМИРОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ МАЛЫХ ГОРНЫХ РЕК СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА Р. АЛА-АРЧА</b>	<b>36</b>
<b>Жостков Р.А., Тощов С.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КВАДРОКОПТЕРОВ В НАУЧНЫХ АРКТИЧЕСКИХ ЭКСПЕДИЦИЯХ: ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ</b>	<b>39</b>
<b>Ильченко В.Л. ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ ПОРОДНЫХ БЛОКОВ В ЛИЦЕВСКОМ РУДНОМ РАЙОНЕ (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)</b>	<b>40</b>
<b>Керимов В.Ю., Гурянов С.А. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГЕНЕРАЦИОННО-АККУМУЛЯЦИОННЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СИСТЕМ ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ БЕРИНГОВА МОРЯ</b>	<b>42</b>
<b>Китаев Л.М., Аблеева В.А., Титкова Т.Б. СЕЗОННЫЕ И МНОГОЛЕТНИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПОЧВЫ СЕВЕРА ЕВРАЗИИ</b>	<b>47</b>
<b>Лепов В.В., Лукин Е.С., Голиков Н.И., Павлов Н.В., Прохоров Д.В. ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ, БЕЗОПАСНОСТИ И РЕСУРСА СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ СЕВЕРА И АРКТИКИ</b>	<b>52</b>
<b>Лисина А.А., Сазонов А.А., Крыленко И.Н., Калугин А.С., Фролова Н.Л. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СТОКА КОЛЫМЫ В ХХІ ВЕКЕ</b>	<b>56</b>
<b>Лобанов К.В., Чичеров М.В. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ В ИСТОРИИ «СМУТНОГО ВРЕМЕНИ» РУССКОГО ГОСУДАРСТВА В ХVІІ ВЕКЕ</b>	<b>61</b>
<b>Мартьянов С.Д. ВЫСОКОРАЗРЕШАЮЩЕЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ И ТЕРМОХАЛИННОЙ СТРУКТУРЫ КАРСКОГО МОРЯ И ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНОГО ЗАДАНИЯ РЕЧНОГО СТОКА В МОДЕЛИ</b>	<b>66</b>

<b>Морозова А.Э., Сизов О.С., Миронова М.А.</b> ДИСТАНЦИОННАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НЕФТЕГАЗОВЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ ЯНАО В 2019-2022 ГГ.	71
<b>Назарова Л.Е.</b> СОВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ТЕРРИТОРИИ КАРЕЛИИ	73
<b>Новоприезжая В.А.</b> РАСЧЕТНЫЕ ПРОГНОЗНЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ГРУНТОВ АРКТИКИ И СУБАРКТИКИ ЯКУТИИ ПРИ ПОТЕПЛЕНИИ КЛИМАТА	75
<b>Петрова А.А., Латышева О.В.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РАЙОНОВ КРУГЛОГОДИЧНОГО СУДОХОДСТВА В АРКТИКЕ ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ	78
<b>Платонов И.А., Григорьев М.Н.</b> РАСПРОСТРАНЕНИЕ И СТРОЕНИЕ ЛЕДОВОГО КОМПЛЕКСА УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ Р. ЛЕНЫ	82
<b>Попова В.В., Насонова О.Н., Бокучава Д.Д.</b> ВКЛАД ЛЕТНЕГО ПОТЕПЛЕНИЯ В АНОМАЛИИ ВОДНОСТИ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ ЗА ПОСЛЕДНЕЕ СТОЛЕТИЕ	87
<b>Попова В.Г.</b> ПОКАЗАТЕЛИ СПЛОЧЕННОСТИ МОРСКОГО ЛЬДА В КАЧЕСТВЕ ИНДИКАТОРА ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА ЗА ПЕРИОД 1979-2022 Г.Г.	92
<b>Потапова И. А., Бобровский А. П., Дьяченко Н.В., Михтеева Е.Ю., Ржонсницкая Ю.Б., Саноцкая Н. А., Скобликова А. Л., Хлябич П. П., Яковлева Т.Ю.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАССЕЯНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ, ВЫЗВАННОГО ЧАСТИЦАМИ АЭРОЗОЛЯ В АТМОСФЕРЕ	94
<b>Преснов Д.А., Собисевич А.Л., Шуруп А.С.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОГО ШУМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЛАВАЮЩЕГО ЛЬДА	98
<b>Ретеюм А.Ю.</b> АСТРОГЕОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА АРКТИКИ	103
<b>Родионов А.А., Дворников А.Ю., Зимин А.В., Романенков Д.А., Малова Т.И.</b> ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ И БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИХ АКАДЕМИЧЕСКИХ ОКЕАНОЛОГОВ В АРКТИКЕ	108
<b>Рожко О.И.</b> РАЗВИТИЕ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ ПРИ ПУСКАХ РАКЕТ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ	115
<b>Сахаров Я.А., Мёрзлый А.М., Моисеев И.А., Черняков С.М., Селивано В.Н., Янаков А.Т.</b> КОСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА В ЗОНЕ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ	120
<b>Соловьев Д.А., Шилова Л.А.</b> АВТОМАТИЗАЦИЯ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ЗОН ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ	124
<b>Сосновский А.В., Осокин Н.И.</b> ДИНАМИКА ВЫСОТЫ И ПЛОТНОСТИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В АРКТИКЕ ПРИ СОВРЕМЕННОМ КЛИМАТЕ	128
<b>Терехов Л.Д., Терехова Е.Л. , Майны Ш.Б.</b> НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ВОДЫ ПО ВОДОВОДАМ В СЕВЕРНОЙ СТРОИТЕЛЬНО-КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ	132
<b>Титкова Т.Б., Золотокрылин А.Н.</b> ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ ПРИЧИНЫ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕПЛО-ВЛАГООБМЕНА В СУБАРКТИКЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В ПЕРИОД МАКСИМАЛЬНОГО ЛЕТНЕГО ПОТЕПЛЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ЯНАО)	135
<b>Третьяков В.Ю., Федяков В.Е., Алексеева Т.А., Петрова А.А., Мочнова Л.П.</b> ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЗАТРАТ ВРЕМЕНИ НА ПРОХОЖДЕНИЕ	139

ГАЗОВОЗОВ ТИПА YAMALMAX ОТ САБЕТТЫ ДО БЕРИНГОВА ПРОЛИВА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОДЕЛИРОВАНИЯ	
<b>Трофимов А.Г.</b> ДИНАМИКА ЛЕДОВИТОСТИ АРКТИКИ В ПЕРИОД СОВРЕМЕННЫХ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТ	144
<b>Фатерина А.А.</b> ОСОБО ОХРАНЯЕМЫЕ ПРИРОДНЫЕ ТЕРРИТОРИИ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ: АДАПТАЦИЯ К ИЗМЕНЕНИЯМ КЛИМАТА, ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ	148
<b>Хортюнова А.А.</b> УСТОЙЧИВОСТЬ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ЗАСТРОЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ЗАПОЛЯРЬЯ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ЛАНДШАФТНО-МЕРЗЛОТНЫХ УСЛОВИЙ (НА ПРИМЕРЕ ВАХТОВОГО ПОСЁЛКА ЯМБУРГ)	153
<b>Эрменбаев Б.О., Чонтоев Д.Т., Ерохин С.А.</b> ДИНАМИКА ДЕГРАДАЦИИ ЛЕДНИКОВ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ	158

#### **ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РОССИЙСКОЙ АРКТИКЕ: ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

<b>Антоновская Г.Н., Конечная Я.В., Ваганова Н.В., Шахова Е.В., Михайлова Я.А., Морозов А.Н., Морозова Е.Р., Игнатчик Е.М., Данилов К.Б.</b> 20 ЛЕТ АРХАНГЕЛЬСКОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СЕТИ: РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ	164
<b>Аптикаев Ф.Ф.</b> ВЛИЯНИЕ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЙ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ	169
<b>Барыкина О.С.</b> ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ СКЛОНОВЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В СЕВЕРНЫХ ОБЛАСТЯХ РОССИИ	171
<b>Бондарева Л.Г.</b> ОЦЕНКА ВКЛАДА СИБИРСКИХ РЕК (ОБЬ, ЕНИСЕЙ) В РАДИАЦИОННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ АРКТИКИ	174
<b>Волков А.В., Лобанов К.В., Галямов А.Л.</b> НОВЫЕ ПОДХОДЫ К РЕГИОНАЛЬНОМУ ПРОГНОЗИРОВАНИЮ КРУПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СТРАТЕГИЧЕСКИХ МЕТАЛЛОВ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИИ	180
<b>Горностаева Т.А., Лобанов К.В., Мохов А.В.</b> НОВЫЙ ТИП ПАЛЛАДИЕВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ НА ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТАХ СГ-3	185
<b>Грохотов Е.И., Баева Е.К., Довгань И.А.</b> ПРОБЛЕМЫ, МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗУЧЕНИЯ КРИОЛИТОЗОНЫ	189
<b>Гулевич О.А., Волкомирская Л.Б., Резников А.Е., Варенков В.В.</b> ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КРИОЛИТОЗОНЫ МЕТОДОМ ГЛУБИННОЙ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ	195
<b>Данилов К.Б.</b> СТРУКТУРНЫЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ВБЛИЗИ ТРУБОК АРХАНГЕЛЬСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ	197
<b>Дарьин А.В., Новиков В.С., Рогозин Д.Ю.</b> ГЕОХИМИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕРА ПЕЮНГДА И ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ПРИАРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ	202
<b>Дружинина А.С., Яковлев Е.Ю., Дружинин С.В., Иванченко Н.Л.</b> СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ И ЮЖНОЙ ЧАСТИ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ	206
<b>Злобина О.Н.</b> ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕЗОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРНЫХ РАЙОНОВ ЗАПАДНОЙ И СРЕДНЕЙ СИБИРИ: РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ	211
<b>Зуева И.А., Бурмин В.Ю.</b> РЕГИСТРАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ	216

КАРЕЛЬСКОЙ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ	
<b>Конечная Я.В., Антоновская Г.Н.</b>	СЕЙСМИЧНОСТЬ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ПОЛУОСТРОВА ТАЙМЫР 218
<b>Кочетов М.В.</b>	НАБОРТНЫЕ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ НА АРКТИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ 222
<b>Крайнева О.В., Бурков Д.В., Губайдуллин М.Г., Крайнев В.Г.</b>	РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА НЕФТЕОТГРУЗОЧНОМ ТЕРМИНАЛЕ В НЕНЕЦКОМ АВТОНОМНОМ ОКРУГЕ 227
<b>Кудрявцева А.А., Яковлев Е.Ю., Орлов А.С.</b>	ПРИМЕНЕНИЕ CF МОДЕЛИ ДЛЯ <sup>210</sup> Pb-ДАТИРОВАНИЯ ТОРФЯНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЕВРОПЕЙСКОЙ СУБАРКТИКИ РОССИИ 231
<b>Куликов К.Н., Лодочников С.В., Данилин А.А., Фофанов Г.В., Кузнецов В.Г.</b>	ВЫВОД ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕАБИЛИТАЦИЯ РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ТЕРРИТОРИИ АО «ДВЗ «ЗВЕЗДА» 236
<b>Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Минеев А.Л., Полякова Е.В., Неверов Н.А., Старицын В.В.</b>	ТЕКТОНИЧЕСКИЕ УЗЛЫ – ЛОКАЛЬНЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ МЕЖГЕОСФЕРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ 241
<b>Лавренова Е.А., Керимов В.Ю., Мустаев Р.Н., Мамедов Р.А.</b>	ВОСТОЧНАЯ АРКТИКА. СТРУКТУРА И ЭВОЛЮЦИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СИСТЕМ ОКРАИННЫХ МОРЕЙ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА 246
<b>Лизунова М.А., Селянина С.Б.</b>	ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГИДРОЛОГИИ И ГИДРОГЕОХИМИИ ВЕРХОВЫХ БОЛОТ НА ПРИМЕРЕ ИЛАССКОГО БОЛОТНОГО МАССИВА 251
<b>Лукошкова А.А., Яковлев Е.Ю., Орлов А.С.</b>	<sup>90</sup> Sr В ТОРФЯНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЕВРОПЕЙСКОЙ СУБАРКТИКИ РОССИИ 252
<b>Малов А.И.</b>	ЗАКОНОМЕРНОСТИ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ СТРОНЦИЯ В ПИТЬЕВЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ 256
<b>Мальцев А.Е., Леонова Г.А., Кривоногов С.К., Мирошниченко Л.В., Шавекин А.С.</b>	ГЕОХИМИЯ РАННЕГО ДИАГЕНЕЗА ЛИМНОГЛЯЦИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ОЗЕР НОРИЛО-ПЯСИНСКОЙ ВОДНОЙ СИСТЕМЫ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ 261
<b>Мартышко П.С., Ладовский И.В., Бызов Д.Д., Цидаев А.А.</b>	ТРЕХМЕРНЫЕ СЕЙСМОПЛОТНОСТНЫЕ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ КОРЫ И СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИЕ КАРТЫ ПРИАРКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ УРАЛА И СОПРЕДЕЛЬНЫХ РЕГИОНОВ 266
<b>Мёрзлый А.М., Куприянов А.О., Мингалев И.В., Моисеев И.А., Никифоров О.В., Петрукович А.А., Рожко О.И., Сахаров Я.А., Филатов Г.С., Шубин В.Н., Янаков А.Т.</b>	ОПЫТ ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫСОКОШИРОТНОЙ РАДИОТРАССЫ В ИНТЕРЕСАХ РЕШЕНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ 269
<b>Минеев А.Л., Кутинов Ю.Г., Полякова Е.В., Чистова З.Б., Старицын В.В.</b>	АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ СЕТИ ДОЛИН СРЕДСТВАМИ ГИС И ЦМР (НА ПРИМЕРЕ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ) 270
<b>Миронюк С.Г.</b>	АНАЛИЗ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ПОБЕРЕЖЬЕ ТЕРИБЕРСКОГО ПОДРАЙОНА (МУРМАНСКИЙ МАССИВ) ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЕРЕГОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ 273
<b>Морозов А.Н., Асминг В.Э.</b>	ВЕРОЯТНОСТНАЯ ЛОКАЦИЯ РАННЕИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ОСНОВЕ МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИХ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ 277

<b>Морозова Е.Р., Конечная Я.В.</b> АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ АРХИПЕЛАГА СЕВЕРНАЯ ЗЕМЛЯ	281
<b>Муравьев А.В.</b> ПРОБЛЕМА ОПТИМИЗАЦИИ ДОБЫЧИ ГАЗОВОГО КОНДЕНСАТА В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ	286
<b>Наход В.А., Малов А.И., Зыкова Е.Н.</b> ЗАГРЯЗНЕНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГИПСА В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ	290
<b>Никитин Д.С., Прикащикова Е.Л., Белых О.С.</b> ТЕРМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ АНТРАКСОЛИТОВ В РАЙОНЕ ПАЙХОВСКО- НОВОЗЕМЕЛЬСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ	295
<b>Овсяченко А.Н., Жостков Р.А., Прокопович И.В., Едемский Д.Е.</b> СЕЙСМО ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ О. ЗЕМЛЯ АЛЕКСАНДРЫ И СЕЙСМИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ АРХИПЕЛАГА ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА	300
<b>Пучков А.В., Яковлев Е.Ю., Дружинина А.С., Дружинин С.В.</b> ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ В ЭКОСИСТЕМАХ ТУНДРЫ (НА ПРИМЕРЕ НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА)	304
<b>Семаков Н.Н.</b> ОБ ОРГАНИЗАЦИИ ЦЕНТРА ПОДГОТОВКИ ПОЛЯРНЫХ МАГНИТОЛОГОВ	308
<b>Скрыльник Г.П.</b> АКТУАЛЬНЫЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ В ХОДЕ ТИПИЧНОГО И АНОМАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ГЕОСИСТЕМ ЧУКОТКИ	313
<b>Стрельников А.А.</b> СЕЙСМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ОСТРОВНЫХ АРХИПЕЛАГОВ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА	318
<b>Терёхина Я.Е., Токарев М.Ю., Рыбалко А.Е.</b> ПОДВОДНЫЕ ЛАНДШАФТЫ ПРОЛИВА ВЕЛИКАЯ САЛМА КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ	322
<b>Хуторской М.Д.</b> К ПРОБЛЕМЕ АСИММЕТРИИ ТЕПЛОвого ПОТОКА В ДИВЕРГЕНТНЫХ ЗОНАХ ОКЕАНОВ И В МАНТИЙНЫХ ПЛЮМАХ	325
<b>Черкасов С.В.</b> СОЛОВЕЦКИЙ АРХИПЕЛАГ. ЗАГАДКИ И ЗАДАЧИ ГЕОЛОГИИ	330
<b>Чижова И.А.</b> КОМПЬЮТЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ НА ВЫЯВЛЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СТРАТЕГИЧЕСКИХ МЕТАЛЛОВ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИИ	332
<b>Чистова З.Б., Кутинов Ю.Г., Минеев А.Л., Полякова Е.В.</b> РАЗНОСТНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ РЕЛЬЕФА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ	336
<b>Щукин В.С.</b> АЛМАЗОНОСНОСТЬ СЕВЕРА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОБНАРУЖЕНИЯ НОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗА	341
<b>Эртелева О.О., Никонов А.А.</b> К ВОПРОСУ О СЕЙСМИЧНОСТИ ПОБЕРЕЖЬЯ БАРЕНЦЕВА МОРЯ	346
<b>Яковлев Е.Ю., Токарев И.В., Ерохин С.А., Тузова Т.В., Дружинин С.В., Пучков А.В., Орлов А.С.</b> ОЦЕНКА ИСТОЧНИКОВ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЧНОГО СТОКА ГОРНО-АРИДНОЙ ЗОНЫ ПО ДАННЫМ ОБ ИЗОТОПНОМ СОСТАВЕ ВОДЫ	350
<b>РОЛЬ ПОЛЯРНЫХ ЭКОСИСТЕМ В ГЛОБАЛЬНЫХ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ЦИКЛАХ И ВЗАИМОСВЯЗЬ С ИЗМЕНЕНИЯМИ КЛИМАТА</b>	
<b>Аганина Ю.Е., Тарханов С.Н.</b> ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ И ВОДОРАСТВОРИМЫХ БЕЛКОВ В ПОЧКАХ РАЗНЫХ ФОРМ СОСНЫ В РАЗНЫЕ ГОДЫ	356
<b>Боголицын К.Г., Гусакова М.А., Красикова А.А., Хвиюзов С.С., Самсонова Н.А., Пустынная М.А., Селиванова Н.В.</b> ВЛИЯНИЕ	360

КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФЕНОЛЬНЫЙ И ПИГМЕНТНЫЙ КОМПЛЕКСЫ ДРЕВЕСНОЙ ЗЕЛЕНИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ PINUS SYLVESTRIS	
<b>Бондарев А.И., Машуков Д.А., Мухортова Л.В.</b> ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ БИОМАССЫ КУСТАРНИЧКАМИ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ НА ПОЛУОСТРОВЕ ТАЙМЫР	365
<b>Брюханов А.Л., Кадников В.В., Кравчишина М.Д., Севастьянов В.С., Саввичев А.С.</b> ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКИЙ СОСТАВ АНАЭРОБНЫХ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ В ДОННЫХ ОСАДКАХ БАРЕНЦЕВА И КАРСКОГО МОРЕЙ, И ИХ РОЛЬ В БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ЦИКЛАХ УГЛЕРОДА, СЕРЫ И АЗОТА	368
<b>Вахрамеева Е.А., Кокрятская Н.М.</b> СОСТАВ И ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ И ПОЧВЫ ВОДОСБОРА ОЗЕРА ВАРВАРИНСКОГО (БОЛЬШОЙ СОЛОВЕЦКИЙ ОСТРОВ)	371
<b>Глухова Т.А., Саева О.П., Юркевич Н.В., Тулисова К.Ю., Шейн А.Н., Ульяницкая В.Ю.</b> МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ И ПОЧВ ГЫДАНСКОГО ПОЛУОСТРОВА	374
<b>Грошева С.В., Тихонова И.О.</b> ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КРУПНОТОННАЖНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ПРИ БИОРЕМЕДИАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ГРУНТОВ	378
<b>Гузева А.В., Слуковский З.И.</b> ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ О СОСТАВЕ И СТРОЕНИИ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ОЗЕРНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ АНТАРКТИКИ (СТ. БЕЛЛИНСГАУЗЕН И СТ. РУССКАЯ)	380
<b>Дайнеко Д.В.</b> РОЛЬ БОРЕАЛЬНЫХ ЛЕСОВ РОССИИ В СОХРАНЕНИИ КЛИМАТА	381
<b>Даувальтер В.А., Денисов Д.Б., Сандимиров С.С., Даувальтер М.В., Слуковский З.И.</b> БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ АРКТИЧЕСКОГО ГОРНОРУДНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	384
<b>Жильцов Д.В., Слобода А.А., Бровко О.С., Бойцова Т.А., Боголицын К.Г.</b> ПОЛИСАХАРИДЫ ЛИШАЙНИК ВИДА <i>HYROGYMNIA PHYSODES</i> : ВЫДЕЛЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКА	389
<b>Каракозова М.В., Назаров П.А.</b> АДАПТАЦИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ УСЛОВИЯМ СОЛЕННОСТИ АРКТИЧЕСКИХ ЛЕДОВЫХ ЭКОСИСТЕМ	392
<b>Кириллов В.В., Ковалевская Н.М., Семчуков А.Н., Акулова О.Б., Букатый В.И., Винокурова Г.В., Донцов А.А., Ермолаева Н.И., Ковешников М.И., Криволапов Г.И., Крылова Е.Н., Ловцкая О.В., Митрофанова Е.Ю., Суторихин И.А., Хворова Л.А.</b> ПРОТИВОРЕЧИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ МОНИТОРИНГА ЭКОТОНАЛЬНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ ОБСКОЙ ГУБЫ	393
<b>Кочева Л.С., Рачкова Н.Г., Карманов А.П., Котова О.Б.</b> ИЗУЧЕНИЕ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ 226RA	397
<b>Ларина Г.В., Дайбова Е.Б., Макарюк А.Д., Видяйкина Л.Г.</b> УСТАНОВЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СУММЫ ФЛАВАНОИДОВ В ЛЕКАРСТВЕННОМ РАСТИТЕЛЬНОМ СЫРЬЕ В РАЙОНАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ	401
<b>Лоскутов С.Р., Шапченкова О.А., Анискина А.А., Мухортова Л.В.</b> ИЗМЕНЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ И ГИГРОСКОПИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННИЦЫ ГМЕЛИНА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ДЕРЕВОРАЗРУШАЮЩИХ ГРИБОВ	405

<b>Мазепа В.С.</b> СОВРЕМЕННАЯ ЭКСПАНСИЯ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ГОРНУЮ ТУНДРУ ПОЛЯРНОГО УРАЛА: ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ КЛИМАТОГЕННОЙ ДИНАМИКИ	409
<b>Макаров В.Н.</b> МИГРАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ЯКУТИИ	414
<b>Максимов Т.Х., Максимов А.П., Петров Р.Е., Карсанаев С.В.</b> РЕПРЕЗЕНТАТИВНЫЕ МЕРЗЛОТНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ ЯКУТИИ В КОНТЕКСТЕ ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА	418
<b>Манасыпов Р.М.</b> ЗАПАСЫ И НАКОПЛЕНИЕ РТУТИ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР ЗАПАДНОЙ СИБИРИ	419
<b>Миндубаев А.З., Бабынин Э.В., Минзанова С.Т., Миронова Л.Г., Бадеева Е.К.</b> БИОДЕГРАДАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОЛЛЮТАНТОВ: ВТОРОЕ ДЕСЯТИЛЕТИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ	422
<b>Мухортова Л.В., Кривобоков Л.В.</b> СТРУКТУРА ЗАПАСОВ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ В ПОЧВЕ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЛЕСОТУНДРОВОЙ ЗОНЫ	426
<b>Назаров П.А.</b> АРКТИЧЕСКИЕ ЭКОСИСТЕМЫ: МИКРООРГАНИЗМЫ И ИХ ПРИСПОСОБЛЕНИЕ К ИЗМЕНЕНИЯМ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ПРОБЛЕМЫ БИОБЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ЧЕЛОВЕКА	429
<b>Неверов Н.А., Тюкавина О.Н.</b> ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА РЕЗИСТОГРАММ ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ	431
<b>Пахов А.С., Браславская Т.Ю.</b> НАЧАЛЬНЫЕ ЭТАПЫ ОНТОМОРФОГЕНЕЗА <i>S.VIMINALIS</i> L. НА ПОЙМЕННЫХ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ О. КРАСНОФЛОТСКИЙ	435
<b>Плахина Е.А., Вишневский В.В.</b> ПРИМЕНЕНИЕ СТАДИИ ОБРАБОТКИ РЫБНОГО СЫРЬЯ ЛИПАЗОЙ ПРИ АНАЛИЗЕ СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ	439
<b>Прасолов С. Д., Забелина С. А., Климов С. И., Чупаков А.В.</b> СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИЙ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ВО ВНУТРИБОЛОТНОМ ОЗЕРЕ СЕВЕРНОЕ	441
<b>Прилуцкая Н.С., Чупакова А.А., Морева О.Ю., Воробьева Т.Я., Климов С.И.</b> БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ОЗЕРАХ ЗАПАДНОЙ КАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОСТРОВА БОЛЬШОГО СОЛОВЕЦКОГО	444
<b>Раевский Б.В., Тарасенко В.В., Петров Н.В.</b> СОЗДАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ МОДЕЛИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ЮГОВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА	449
<b>Румянцев В.А.</b> ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ СТРАТЕГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПРЕСНЫХ ВОДОЕМОВ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РФ	453
<b>Рязанцев П.А., Кутенков С.А., Крутских Н.В., Кабонен А.В.</b> ДИНАМИКА БУГРИСТЫХ БОЛОТ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА КАК МАРКЕР КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В АРКТИКЕ	454
<b>Санджиева Д.А., Гайзуллин А.Д., Баскаков С.А., Ермаков Е.В., Убушаева Б.В., Бузник В.М., Дедов А.Г.</b> ЦЕЛЛЮЛОЗНЫЕ АЭРОГЕЛИ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВОВ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ	459
<b>Семина О.Ю.</b> ВЛИЯНИЕ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ СЕВЕРА КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ В УСЛОВИЯХ МОДЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА	462
<b>Таций Ю.Г.</b> ОРНИТОГЕННОЕ ВЛИЯНИЕ НА СОСТАВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР МАЛОЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ, РУССКАЯ АРКТИКА	466

<b>Титова К.В., Жибарева Т.А., Слобода А.А., Попов С.С., Елисеева И.С.</b>	470
ФОРМИРОВАНИЕ ИОННОГО СОСТАВА ВОДЫ НА ПРИМЕРЕ МАЛОГО ОЗЕРА БОЛЬШОГО СОЛОВЕЦКОГО ОСТРОВА	
<b>Тулисова К.Ю., Юркевич Н.В., Янников А.М., Глухова Т.А.</b>	476
ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ОСНОВНОГО ИОННОГО СОСТАВА ВОД В ОБЪЕКТАХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ ЗАПАДНОЙ ЯКУТИИ	
<b>Филатов Н.Н.</b>	479
ИССЛЕДОВАНИЯ СОЦИО-ЭКОНОМИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВОДОЕМ-ВОДОСБОР	
<b>Хорошавин В.Ю.</b>	481
ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. ОБИ КАК ИНДИКАТОР КАЧЕСТВА ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ	
<b>Штанг А.К., Пономарева Т.И.</b>	485
ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ У СФАГНОВЫХ МХОВ ЛЕСОБОЛОТНЫХ МЕСТООБИТАНИЙ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД	
<b>СОСТОЯНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ (ВОДНЫЕ, НАЗЕМНЫЕ, ЛЕСНЫЕ) В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ И АНТРОПОГЕННОГО ПРЕССИНГА</b>	
<b>Адриан И.А.</b>	489
НЕКОТОРЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ЯГОДНИКОВ В ОКРЕСТНОСТЯХ ПОСЕЛКА ТИКСИ	
<b>Амосова И.Б., Пыстина Т.Н., Паринова Т.А.</b>	494
РЕДКИЕ И ОХРАНЯЕМЫЕ ВИДЫ РАСТЕНИЙ И ЛИШАЙНИКОВ НА ПОСТАГРОГЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ПЛЕСЕЦКОГО СЕКТОРА КЕНОЗЕРСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА	
<b>Андреева Л.В., Бурмистров Е.В.</b>	498
ЗООПЛАНКТОН РЕКИ БЕЕНЧИМЕ	
<b>Беляков И.О., Потапов Г.С.</b>	501
ФАУНА И ЭКОЛОГИЯ ШМЕЛЕЙ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ	
<b>Беспалая Ю.В., Винарский М.В., Аксенова О.В., Бабушкин Е.С.,</b>	503
<b>Гофаров М.Ю., Кондаков А.В., Коноплева Е.С., Кропотин А.В.,</b>	
<b>Овчанкова Н.Б., Палатов Д.М., Соколова С.Е., Шевченко А.Р.,</b>	
<b>Травина О.В., Соболева А.А., Зубрий Н.А., Болотов И.Н.</b>	
ТАКСОНОМИЯ, ФИЛОГЕНИЯ И ФИЛОГЕОГРАФИЯ SPHAERIPNAE (BIVALVIA: SPHAERIPDAE) МИРА	
<b>Бовыкина Г.В., Потапов Г.С.</b>	504
РАСПРОСТРАНЕНИЕ КРИПТИЧЕСКИХ ВИДОВ <i>BOMBUS LUCORUM</i> -COMPLEX (HYMENOPTERA: APIDAE) В МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ И КАРЕЛИИ	
<b>Богданов В.Д.</b>	506
РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ ПРОГРАММЫ ВОСПРОИЗВОДСТВА ЦЕННЫХ ВИДОВ СИГОВЫХ РЫБ В ОБЬ-ИРТЫШСКОМ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОМ РАЙОНЕ	
<b>Бочкарев Н.А., Милянчук Н.П., Распутина Е.Н., Савосин Д.С.,</b>	510
<b>Ильмаст Н.В.</b>	
К ВОПРОСУ О МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПЫЖЬЯНОВИДНЫХ СИГОВ ( <i>C. LAVARETUS</i> ) ВОДОЁМОВ СИБИРИ	
<b>Бурмагин М.В., Матвеев Н.Ю.</b>	514
ДИНАМИКА КАЧЕСТВЕННЫХ И КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗООБЕНТОСА В ТЕЧЕНИЕ ЛЕТНЕГО ПЕРИОДА 2023 г. В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ Р. СЕВЕРНАЯ ДВИНА	
<b>Вихрев И.В., Кондаков А.В., Иешко Е.П., Челпановская О.А., Болотов И.Н.</b>	518
СОХРАНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ ВИДА С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ БУДУЩИХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА: ВЫБОР ЕДИНИЦ ОХРАНЫ (CONSERVATION UNITS) НА ПРИМЕРЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЖЕМЧУЖНИЦЫ	
<b>Герасимов Ю.В., Соломатин Ю.И., Базаров М.И., Цветков А.И.</b>	522
МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ПОПУЛЯЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЫБ	

ВОЛЖСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И УСИЛЕНИЯ ПРОМЫСЛОВОЙ НАГРУЗКИ В ПЕРИОД С 1980-Х ПО 2020-Е ГГ.	
<b>Гладышева М.Ю.</b> ПЕРВОНАХОДКА МАЛИНЫ САХАЛИНСКОЙ ( <i>RUBUS SACHALINENSIS</i> LEVI) В ПОСЁЛКЕ ТИКСИ (АРКТИЧЕСКАЯ ЯКУТИЯ)	525
<b>Желудкова А. А.</b> ФАУНА БУЛАВОУСЫХ ЧЕШУЕКРЫЛЫХ ( <i>LEPIDOPTERA: RHORALOCERA</i> ) НЕКОТОРЫХ РАЙОНОВ ЧУКОТСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА	527
<b>Иванов Е.В.</b> СВЕДЕНИЯ ОБ ИХТИОФАУНЕ РЕКИ УУЛААХ-МУНА (СЕВЕРО-ЗАПАДНАЯ ЯКУТИЯ) НА НАЧАЛЬНЫХ ЭТАПАХ ОСВОЕНИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ	531
<b>Казнина Н.М., Батова Ю.В.</b> ЦЕНОТИЧЕСКАЯ РОЛЬ И СОСТОЯНИЕ МНОГОЛЕТНИХ ЗЛАКОВ В ТРАВЯНИСТЫХ СООБЩЕСТВАХ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ТЕРРИТОРИЯХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ	534
<b>Кондратов Н.А.</b> ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ НА ТЕРРИТОРИЯХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РФ	538
<b>Коноплева Е.С., Челпановская (Юницына) О.А., Вихрев И.В., Дворянкин Г.А., Футоран П.А., Буторин Е.А.</b> ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОПУЛЯЦИЙ ЖЕМЧУЖНИЦЫ ЕВРОПЕЙСКОЙ <i>MARGARITIFERA MARGARITIFERA</i> И ЗАРАЖЕННОСТИ РЫБ-ХОЗЯЕВ (КУМЖИ И СЕМГИ) ГЛОХИДИЯМИ В ВОДОТОКАХ ЛЕТНЕГО БЕРЕГА БЕЛОГО МОРЯ	543
<b>Кривобоков Л.В., Мухортова Л.В., Бастрыкина Т.В.</b> ВКЛАД РАСТЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ БИОМОРФ И ЛИШАЙНИКОВ НАПОЧВЕННЫХ ЯРУСОВ В ФОРМИРОВАНИЕ ПОДСТИЛКИ В ДРЕВЕСНЫХ ФИТОЦЕНОЗАХ ЛЕСОТУНДРЫ СРЕДНЕЙ СИБИРИ	548
<b>Кропотин А.В., Беспалая Ю.В.</b> ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИНВАЗИОННОГО МОЛЛЮСКА <i>CORBICULA FLUMINALIS</i> ( <i>BIVALVIA: SYRENIDAE</i> ) БАССЕЙНА РЕКИ СЕВЕРНАЯ ДВИНА	551
<b>Крюк Д.В., Адамович Б.В., Послед О.С.</b> КАРТИРОВАНИЕ ПОДВОДНЫХ МАКРОФИТОВ ПРИ ПОМОЩИ -ПОДВОДНОЙ ВИДЕОСЪЁМКИ. ОПЫТ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ОЗЕРЕ НАРОЧЬ, РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ	553
<b>Кузнецова И.А., Кондаков А.А.</b> <i>ANISAKIS SIMPLEX</i> ( <i>NEMATODA: ANISAKIDAE</i> ) КОРЮШКИ БЕЛОГО МОРЯ	556
<b>Лукина В.А., Новосёлов А.П., Дворянкин Г.А.</b> К ВОПРОСУ О ПИТАНИИ ОКУНЯ РЯДА СОЛОВЕЦКИХ ОЗЕР (ПО МАТЕРИАЛАМ ЛЕТНЕЙ СЪЕМКИ 2022 Г.)	558
<b>Манцурова К.С., Аксёнова О.В.</b> ИЗУЧЕНИЕ РАЗНООБРАЗИЯ ПРЕСНОВОДНЫХ РАКООБРАЗНЫХ НА СЕВЕРНОМ ОСТРОВЕ НОВОЙ ЗЕМЛИ И ОСТРОВЕ ВАЙГАЧ (ЕВРОПЕЙСКАЯ ЧАСТЬ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ)	561
<b>Милянчук Н.П., Ильмаст Н.В., Стерлигова О.П., Кучко Я.А., Распутина Е.Н., Рекин Е.В.</b> ВЛИЯНИЕ ТОВАРНОГО РЫБОВОДСТВА НА РЫБНОЕ НАСЕЛЕНИЕ ОЗЕРНЫХ ЭКОСИСТЕМ КАРЕЛИИ	563
<b>Новиков М.А., Харламова М.Н.</b> ОБ АТЛАСЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ГИДРОБИОНТОВ БАРЕНЦЕВА МОРЯ	566
<b>Новикова Ю.В.</b> О СОСТОЯНИИ ФИТОПЛАНКТОНА ОЗЕРА БАННОЕ (СОЛОВЕЦКИЙ АРХИПЕЛАГ) ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЛЕТНЕЙ СЪЕМКИ 2023 Г.	569
<b>Новоселов А.П., Дворянкин Г.А.</b> ПРЕСНОВОДНАЯ ИХТИОФАУНА СОЛОВЕЦКОГО АРХИПЕЛАГА: ФОРМИРОВАНИЕ, СОСТОЯНИЕ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ	571

<b>Орлов А.М., Волвенко И.В.</b> АТЛАНТИЗАЦИЯ И ПАЦИФИКАЦИЯ АРКТИЧЕСКИХ МОРСКИХ ИХТИОЦЕНОВ ВОЗРАСТАЕТ	576
<b>Пинаевская Е.А., Тарханов С.Н.</b> ВНУТРИПОПУЛЯЦИОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В УСЛОВИЯХ СУБАРКТИКИ	581
<b>Потапов Г.С.</b> ФАУНА НУМЕНОРТЕРА: ACULEATA ОСТРОВА КОЛГУЕВ	585
<b>Рендаков Н.Л., Кяйвяряйнен Е.И., Пеккоева С.Н., Мурзина С.А.</b> ДИНАМИКА УРОВНЯ КОРТИЗОЛА И АКТИВНОСТИ $Na^+/K^+$ -АТФАЗЫ В ОНТОГЕНЕЗЕ ЛЕПТОКЛИНА ПЯТНИСТОГО В АРКТИКЕ	587
<b>Рыкусов В.В.</b> НЕУДАВШИЙСЯ ЭКСПЕРИМЕНТ ВОЗРОЖДЕНИЯ ЖЕМЧУЖНЫХ ПРОМЫСЛОВ В СЕВЕРНОМ КРАЕ НА РУБЕЖЕ 1920 – 1930-Х ГГ.	588
<b>Смирнова М.А.</b> СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЙМЕННЫХ ЛУГОВ РЕКИ МЕЗЕНЬ	591
<b>Спицына Е.А.</b> <i>LAOTHOE AMURENSIS ZOLOTUHINI</i> SPITSYN, BOLOTOV & SPITSYNA, 2022 – НОВЫЙ ПОДВИД С О. КУНАШИР (LEPIDOPTERA: SPHINGIDAE)	593
<b>Старицын В.В., Торопова Е.В.</b> ОСОБЕННОСТИ ПЛОДОНОШЕНИЯ ЧЕРНИКИ ОБЫКНОВЕННОЙ ( <i>VACCINIUM MYRTILLUS</i> L.) В ПОДЗОНЕ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ	594
<b>Тагирова В.Т., Елаев Э.Н.</b> РАСПРОСТРАНЕНИЕ И СОСТОЯНИЕ ПОПУЛЯЦИЙ БОЛЬШОГО БАКЛАНА НА ЮГО-ВОСТОЧНОМ ПРЕДЕЛЕ АРЕАЛА (ПРИАМУРЬЕ, ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)	597
<b>Токранов А.М., Орлов А.М., Емелин П.О.</b> БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЕДОВИТОМОРСКОЙ ЛИСИЧКИ <i>ASPIDOPHOROIDES OLRIKII</i> (AGONIDAE) КАРСКОГО МОРЯ	599
<b>Торопова Е.В., Старицын В.В.</b> ДИНАМИКА ЯГОДНЫХ КУСТАРНИЧКОВ В ЭКОТОННОМ КОМПЛЕКСЕ «ЕЛЬНИК ЧЕРНИЧНЫЙ – ВЫРУБКА»	604
<b>Торцев А.М., Фукс Г.В., Генрих Э.А.</b> МОНИТОРИНГ МИГРАЦИИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ЛОСОСЯ И ГОРБУШИ В НИЗОВЬЯХ РЕКИ МЕЗЕНЬ	606
<b>Челпановская О.А., Вихрев И.В., Кондаков А.В., Пестова Е.П.</b> ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И ПОПУЛЯЦИОННАЯ СТРУКТУРА ТОЛСТОЙ ПЕРЛОВИЦЫ ( <i>UNIO CRASSUS PHILIPSSON</i> , 1788) НА РУССКОЙ РАВНИНЕ	609
<b>Чемерис Е.В., Бобров А.А., Мочалова О.А., Филиппова В.А.</b> ДЕГРАДАЦИЯ МЕРЗЛОТЫ В АЗИАТСКОЙ РОССИИ КАК УГРОЗА РАЗНООБРАЗИЮ ВОДНЫХ РАСТЕНИЙ	613
<b>Шахин Д.А.</b> ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ СОХРАНЕНИЯ БИОРАЗНООБРАЗИЯ (СБР) НА ОБЪЕКТАХ ООО «СК «РУСВЬЕТПЕТРО» В ОТНОШЕНИИ ВОДНО-БОЛОТНЫХ УГОДИЙ БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ	617

#### **АРКТИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВО: ВНЕШНИЕ ВЫЗОВЫ И ВНУТРЕННИЕ ФАКТОРЫ РАЗВИТИЯ**

<b>Авдеева И.Л., Головина Т.А., Матвеев В.В.</b> ФАКТОРЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКИ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ	620
<b>Алексанин А.И., Алексанина М.Г., Бабяк П.В., Дьяков С.Е., Ким В., Левин В.А., Фомин Е.В.</b> ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА В АРКТИКЕ	624
<b>Баттахов П.П.</b> СОЦИАЛЬНОЕ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИИ: ПРАВОВАЯ ПРИРОДА И СПЕЦИФИКА	628

РЕАЛИЗАЦИИ	
<b>Варфоломеев А.А.</b> ВНУТРЕННИЕ ФАКТОРЫ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ АЛМАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ	630
<b>Воронина Е.П.</b> ВЗАИМОСВЯЗИ ЭКОЛОГИЗАЦИИ И РИСКОВ ИНДУСТРИАЛЬНОЙ АРКТИКИ: ПРОТИВОРЕЧИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ	633
<b>Гальцева Н.В.</b> ПЕРСПЕКТИВЫ ЧУКОТСКОГО АО ПО ДОБЫЧЕ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	637
<b>Гассий В.В., Слепцов А.Н.</b> ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОРЕННЫХ НАРОДОВ И НЕДРОПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ ПРОМЫШЛЕННОМ ОСВОЕНИИ АРКТИКИ	641
<b>Гомелаури А.С.</b> РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИНСТИТУТЫ В РАМКАХ РЕАЛИЗАЦИИ ГОСУДАРСТВЕННОЙ АРКТИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ	645
<b>Гурьев М.И.</b> ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНАХ РОССИИ	650
<b>Данилин К.П., Иванова М.В., Данилина В.Г.</b> ЭКОНОМИКА РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ: НОВЫЙ ВЕКТОР РАЗВИТИЯ	653
<b>Заостровских Е.А.</b> К ВОПРОСУ О РАЗВИТИИ СИСТЕМЫ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)	657
<b>Ильин В.А., Кожевников С.А.</b> СВЯЗНОСТЬ ПРОСТРАНСТВА СЕВЕРА РОССИИ КАК ОДИН ИЗ КЛЮЧЕВЫХ ПРИОРИТЕТОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ ГЕОПОЛИТИЧЕСКИХ ТРАНСФОРМАЦИЙ	660
<b>Козлов С.В.</b> К ВОПРОСУ ОБ ИНФРАСТРУКТУРЕ В ПРОСТРАНСТВЕ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ И ВЛИЯНИИ НА НЕЁ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА	666
<b>Корчак Е.А.</b> ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ В РАМКАХ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ	670
<b>Кошуняева Н.В.</b> ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНО- ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РФ	675
<b>Лаврикова Ю.Г., Петров М.Б.</b> БОЛЬШИЕ ТРАНСПОРТНЫЕ ПРОЕКТЫ УРАЛЬСКОЙ АРКТИКИ КАК ФАКТОР ОБЕСПЕЧЕНИЯ СВЯЗАННОСТИ АРКТИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА	679
<b>Ласкин А.А.</b> ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКАЯ АКТИВНОСТЬ КАК ДРАЙВЕР ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАНЯТОСТИ НАСЕЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ РЫНКА ТРУДА В РЕГИОНЕ	682
<b>Логинов В.Г., Лаврикова Ю.Г., Максимчик М.А.</b> ОЛЕНЕВОДСТВО КАК ОСНОВА ТРАДИЦИОННОГО ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ КОРЕННЫХ ЭТНОСОВ	687
<b>Маклашова Е.Г., Захарова А.Е., Степанова Ю.Г.</b> ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК РЕСУРС СОХРАНЕНИЯ ЭТНОКУЛЬТУРНОГО ПОТЕНЦИАЛА КОРЕННЫХ НАРОДОВ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ	692
<b>Малинина К.О., Блынская Т.А.</b> К ВОПРОСУ О СТРУКТУРИРОВАНИИ СОЦИОКУЛЬТУРНОГО ПРОСТРАНСТВА АРКТИЧЕСКОГО МАКРОРЕГИОНА РОССИИ	696
<b>Мигаль Ю.В.</b> СБОР И ОБРАБОТКА ДАННЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ В Г. АРХАНГЕЛЬСК	699
<b>Молодцова В.Н.</b> ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ИНФРАСТРУКТУРНОГО ПОТЕНЦИАЛА АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА (НА ПРИМЕРЕ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ)	702
<b>Мураев И.Г.</b> ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ	707

<b>Мякшин В.Н.</b> ТИПОЛОГИЗАЦИЯ ВИДОВ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО СООТНОШЕНИЮ КОМПОНЕНТ СТРУКТУРНЫХ СДВИГОВ В ЧИСЛЕННОСТИ ЗАНЯТЫХ В ЭКОНОМИКЕ СУБЪЕКТОВ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	713
<b>Никифоров А.С.</b> ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАБОТОДАТЕЛЕЙ РЕАЛЬНОГО СЕКТОРА ЭКОНОМИКИ И ОРГАНИЗАЦИЙ ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ В СФЕРЕ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ	719
<b>Носырев Н.С.</b> РАЗВИТИЕ АВИАЦИИ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ (НА ПРИМЕРЕ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ)	723
<b>Пестова А.А., Крайнева О.В.</b> АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛА ПРИМЕНЕНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ НА НЕФТЕГАЗОВЫХ ОБЪЕКТАХ СЕВЕРНЫХ МОРЕЙ	728
<b>Проворова А.А.</b> РАЗВИТИЕ ПОТЕНЦИАЛА ТРУДОСПОСОБНОСТИ АРКТИЧЕСКОГО НАСЕЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ	731
<b>Рослякова Н.А., Каневский Е.А., Боярский К.К.</b> ОСОБЕННОСТИ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РЕГИОНОВ КРАЙНЕГО СЕВЕРА (ИССЛЕДОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ АНАЛИЗАТОРА ТЕКСТА)	735
<b>Самарина В.П.</b> ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И НОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ	741
<b>Смирнова Н.С.</b> НАДПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТОВ УНИВЕРСИТЕТОВ ДЛЯ РАБОТЫ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ РОССИИ	745
<b>Хадыко А.И.</b> РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ: УРОКИ СОВЕТСКОГО ОПЫТА И ПРОЕКТНЫЙ ПОДХОД	749
<b>Чайка Е.А.</b> ПРЕДПОСЫЛКИ, ПОТЕНЦИАЛ И ПОДХОДЫ К ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СЕВЕРНЫХ И АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ РОССИИ	754

#### **СОХРАНЕНИЕ ЗДОРОВЬЯ И АДАПТАЦИЯ ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ**

<b>Балашова С.Н., Добродеева Л.К.</b> ЗНАЧИМОСТЬ НЕЙТРОПЕНИИ ПРИ ВОСПАЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССАХ У ЖИТЕЛЕЙ СЕВЕРА	758
<b>Безменова И.Н.</b> РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕННОСТИ ПОЛИМОРФИЗМОВ ГЕНОВ, ВОВЛЕЧЕННЫХ В РЕГУЛЯЦИЮ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ У ЖИТЕЛЕЙ-СЕВЕРЯН МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ	760
<b>Вдовенко С.И.</b> ДИНАМИКА ТЕПЛОВИЗИОННОЙ КАРТИНЫ ОРГАНИЗМА ЖИТЕЛЕЙ СЕВЕРА В ОТНОГЕНЕТИЧЕСКОМ АСПЕКТЕ	763
<b>Верещагина К.В., Самодова А.В., Добродеева Л.К.</b> ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОСВЯЗИ ПОВЫШЕННЫХ УРОВНЕЙ АНТИТЕЛ К ТИРЕОИДНОЙ ПЕРОКСИДАЗЕ, ДВУСПИРАЛЬНОЙ ДНК, НУКЛЕОПРОТЕИДАМ С АКТИВНОСТЬЮ ИММУННЫХ РЕАКЦИЙ У БОЛЬНЫХ АУТОИММУНЫМ ТИРЕОИДИТОМ, ПРОЖИВАЮЩИХ НА СЕВЕРЕ	766
<b>Ветошкин А.С., Шуркевич Н.П., Карева М.А., Гапон Л.И.</b> АРТЕРИАЛЬНАЯ ГИПЕРТОНИЯ И COVID 19 В УСЛОВИЯХ АРКТИЧЕСКОЙ ВАХТЫ (ПО ДАННЫМ СТАЦИОНАРА МСЧ ЯМБУРГ)	768
<b>Власова О.С., Стрелкова А.В., Баранова Н.Ф.</b> СУММАРНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЖИРНОКИСЛОТНОГО ПРОФИЛЯ СЫВОРОТКИ КРОВИ И СТРУКТУРА	773

ПИТАНИЯ У КОРЕННОГО И ЕВРОПЕОИДНОГО НАСЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ	
<b>Гмошинский И.В., Аксенов И.В., Смирнова Е.А.</b> РОЛЬ ФАКТОРА ПИТАНИЯ В АДАПТАЦИИ ЧЕЛОВЕКА К УСЛОВИЯМ ЗАПОЛЯРЬЯ	778
<b>Губкина Л.В., Самодова А.В., Добродеева Л.К.</b> ОСОБЕННОСТИ ИММУНОЛОГИЧЕСКОЙ РЕАКТИВНОСТИ ЖИТЕЛЕЙ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ	781
<b>Добродеева Л.К.</b> ОБЩИЕ МЕХАНИЗМЫ АДАПТАЦИИ ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ	785
<b>Елфимова А.Э., Типисова Е.В., Бичкаева Ф.А., Молодовская И.Н., Аликина В.А., Зябишева В.Н.</b> ВЗАИМОСВЯЗЬ РАЗНЫХ УРОВНЕЙ ВИТАМИНА А С ТИРЕОИДНОЙ ФУНКЦИЕЙ У ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ	790
<b>Ефимова Н.В., Горнов А.Ю., Зароднюк Т.С.</b> АНАЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ НАСЕЛЕНИЯ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ ФАКТОРОВ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ	793
<b>Зенченко Т.А., Поскотинова Л.В., Елфимова А.Э.</b> ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ЭФФЕКТА СИНХРОНИЗАЦИИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ЧЕЛОВЕКА И ВАРИАЦИЙ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ВЫСОКИХ И СРЕДНИХ ШИРОТАХ	798
<b>Зябишева В.Н., Типисова Е.В., Елфимова А.Э., Молодовская И.Н., Аликина В.А.</b> РАЗНОНАПРАВЛЕННОСТЬ ТИПОЛОГИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ СО СТОРОНЫ ПЕРИФЕРИЧЕСКОГО ДОФАМИНА И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТИРЕОИДНОГО ПРОФИЛЯ У МУЖЧИН Г. АРХАНГЕЛЬСКА В ПЕРИОД МИНИМАЛЬНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СВЕТОВОГО ДНЯ	803
<b>Игнатова Н.М.</b> УРОВЕНЬ АДАПТАЦИИ СПЕЦПЕРЕСЕЛЕНЦЕВ ПО ДАНЫМ РОЖДАЕМОСТИ И СМЕРТНОСТИ В 1930-40-е гг. (НА МАТЕРИАЛАХ РЕСПУБЛИКИ КОМИ)	807
<b>Кирьянов А.Б.</b> ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ ПОСТОЯННОГО ПОТЕНЦИАЛА МОЗГА В УСЛОВИЯХ КРАТКОВРЕМЕННОЙ НЕХВАТКИ КИСЛОРОДА	811
<b>Колубаева Ю.В., Иванова И.С., Широкова Л.С.</b> ПРИРОДНЫЕ ВОДЫ КАК ОДИН ИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ ЯМАЛО- НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА	816
<b>Кононова И.В.</b> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДЛЯ КЛИНИЧЕСКОГО ТЕСТА ВЫЯВЛЕНИЯ ПАТОЛОГИИ ШЕЙКИ МАТКИ, ПРИМЕНИМОЙ В ТРУДНОДОСТУПНЫХ МЕСТАХ АРКТИКИ	821
<b>Кривоногова Е.В., Кривоногова О.В., Поскотинова Л.В.</b> ИНДИВИДУАЛЬНО-ТИПОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РЕАКТИВНОСТИ ВЕГЕТАТИВНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ПО РИТМУ СЕРДЦА В УСЛОВИЯХ ОБЩЕГО ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА И ПАРАМЕТРЫ ПРОИЗВОЛЬНОГО ВНИМАНИЯ	823
<b>Лебедева У.М., Степанов К.М., Чиряева Л.М.</b> АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПИТАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ	826
<b>Митюшева Т. П.</b> СОСТОЯНИЕ САНАТОРНО-КУРОРТНОГО КОМПЛЕКСА РЕСПУБЛИКИ КОМИ И ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ПРИРОДНЫМИ ЛЕЧЕБНЫМИ РЕСУРСАМИ	831
<b>Молодовская И.Н., Елфимова А.Э., Типисова Е.В., Аликина В.А.</b> МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ СУБАРКТИКИ, ВЛИЯЮЩИЕ НА УРОВНИ ТИРЕОИДНЫХ И ПОЛОВЫХ ГОРМОНОВ	836

- Никифорова Н.А., Карапетян Т.А., Доршакова Н.В.** УРОВЕНЬ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ВНЕБОЛЬНИЧНОЙ ПНЕВМОНИЕЙ ВЗРОСЛОГО НАСЕЛЕНИЯ РЕГИОНА ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ В 2011-2021 ГГ. 838
- Патракеева В.П., Добродеева Л.К., Самодова А.В., Штаборов В.А.** ОЦЕНКА УРОВНЯ СПЕЦИФИЧЕСКИХ IgG К ПИЩЕВЫМ АНТИГЕНАМ У ЛЮДЕЙ С МЕТАБОЛИЧЕСКИМ СИНДРОМОМ 841
- Пашинская К.О., Самодова А.В., Добродеева Л.К.** СОСТОЯНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ КРОВИ И ИММУННОЙ СИСТЕМЫ У ПРАКТИЧЕСКИ ЗДОРОВЫХ ЖИТЕЛЕЙ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА И АРКТИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ 844
- Половинкина Ю.С., Кулебакин В.А.** СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОВНЯ СМЕРТНОСТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ 849
- Попов В.В., Новикова И.А., Гречаный А.Н.** ВЛИЯНИЕ НОВОГО КИСЛОМОЛОЧНОГО ПРОДУКТА – АЦИДОФИЛИНА С ВОДОРΟΣЛЯМИ НА ЗДОРОВЬЕ РАБОТНИКОВ КРУПНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ 852
- Поскотинова Л.В., Концевая А.В., Кудрявцев А.В.** СЫВОРОТОЧНЫЙ КРЕАТИНИН КАК БИОМАРКЕР, АССОЦИИРОВАННЫЙ С СОХРАНЕНИЕМ КОГНИТИВНЫХ ФУНКЦИЙ У ПОЖИЛЫХ МУЖЧИН, ЖИТЕЛЕЙ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ 857
- Самодова А.В., Добродеева Л.К.** ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕННЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ МОЗГОВОГО НАТРИЙУРЕТИЧЕСКОГО ПЕПТИДА НА УРОВЕНЬ ГЕМОДИНАМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ У ЛИЦ, РАБОТАЮЩИХ В АРКТИКЕ 859
- Уханова А.В., Поскотинова Л.В.** ВЗАИМОСВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО СТАТУСА У ЮНОШЕЙ 16-18 ЛЕТ, ПРОЖИВАЮЩИХ В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ 862
- Чуб И.С., Карякина О.Е., Артемов А.В., Карякин А.А.** ВЗАИМОСВЯЗЬ РОСТО-ВЕСОВЫХ ПАРАМЕТРОВ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕРДЦА У ДЕТЕЙ 3-7 ЛЕТ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ 866
- Шарифов М.И., Корчина Т.Я., Терникова Е.М.** ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ПИЩЕВЫХ РАЦИОНОВ ВИТАМИНАМИ А, Е, D, С У ПАЦИЕНТОВ С АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИЕЙ, ПРОЖИВАЮЩИХ НА СЕВЕРЕ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ 870
- Шенгоф Б.А., Бичкаева Ф.А., Нестерова Е.В.** ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИНЕНАСЫЩЕННЫХ ЖИРНЫХ КИСЛОТ В ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ У ЖИТЕЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТОГЕОГРАФИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ 874
- Шуркевич Н.П., Ветошкин А.С., Гапон Л.И., Симонян А.А., Карева М.А.** ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ РИСКА ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ВЕРОЯТНОСТИ СЕРДЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ С СОХРАНЕННОЙ ФРАКЦИЕЙ ВЫБРОСА ПО ШКАЛЕ H2FPEF У БЕССИМПТОМНЫХ ПАЦИЕНТОВ В АРКТИКЕ 879
- Яковенко С.В., Корчин В.И., Вешкина Н.В.** ИЗМЕНЕНИЕ УРОВНЯ ВИТАМИНОВ-АНТИОКСИДАНТОВ У БЕРЕМЕННЫХ С ИЗБЫТОЧНОЙ МАССОЙ ТЕЛА, ПРОЖИВАЮЩИХ В СЕВЕРНОМ РЕГИОНЕ (ХМАО-ЮГРА) 884

## СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ПОЛЯРНЫХ И ПРИПОЛЯРНЫХ РЕГИОНАХ

- Вахрушева В.В., Прядильщикова Е.Н., Симонов Г.А.** ПРОДУКТИВНОСТЬ ПАСТБИЩНОГО ФИТОЦЕНОЗА В НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЯХ 890
- Герман Ю.И.** РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ И ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОТРАСЛЕЙ ЖИВОТНОВОДСТВА – ОСНОВЫ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ БЕЛАРУСИ 894
- Гречаный А.Н.** ПРАКТИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ РЕАЛЬНОГО СЕКТОРА ЭКОНОМИКИ, НАУЧНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ И ОРГАНОВ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ВЛАСТИ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ В ЦЕЛЯХ СОЗДАНИЯ ИННОВАЦИОННОГО ПРОДУКТА ПИТАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОРЕСУРСА АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ 899
- Журавлева Ю.Д.** ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОСПРОИЗВОДСТВА ЛОШАДЕЙ ВЯТСКОЙ ПОРОДЫ В ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЕ РАЗВЕДЕНИЯ 902
- Кондакова А.А.** ПОКАЗАТЕЛЬ МОЧЕВИНЫ МОЛОКА КАК ИНДИКАТОР БЕЛКОВОГО ОБМЕНА И ЭФФЕКТИВНОСТИ КОРМЛЕНИЯ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА 905
- Кузнецова И.Г., Карлов Д.С., Сазанова А.Л., Гуро П.В., Тихомирова Н.Ю., Поспелов И.Н., Поспелова Е.Б., Алехина И.А., Белимов А.А., Сафронова В.И.** ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АРКТИЧЕСКИХ КЛУБЕНЬКОВЫХ БАКТЕРИЙ ПРИ СОЗДАНИИ ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫХ ПАСТБИЩНЫХ АГРОФИТОЦЕНОЗОВ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА 908
- Кутенева И.Е., Гасымов Ф.М., Нохрин Д.Ю., Давыдова Н.А., Михайлова И.В.** ОСЕВЕРЕНИЕ САДОВОДСТВА: ОПЫТ СОТРУДНИЧЕСТВА ЮНИИСК С ПОСВИР 911
- Лютиков А.А., Остроумова И.Н., Баскакова Ю.А.О.** ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННОЙ РЫБОВОДНОЙ ПРОДУКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛЬНЯНОГО И РЫЖИКОВОГО МАСЕЛ В КАЧЕСТВЕ ЗАМЕНИТЕЛЯ РЫБЬЕГО ЖИРА В КОРМАХ ДЛЯ РЫБ 915
- Мишуков И.О., Сипко Т.П.** ЭОФ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОВЦЕБЫКОВОДЧЕСКАЯ ФЕРМА) В СУБЪЕКТАХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ 919
- Поляков В.И.** ЭВОЛЮЦИЯ ПОЧВ ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЕЛЬ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ НА ПРИМЕРЕ ЯКУТИИ И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ 923
- Прожерин В.П., Дыдыкина А. Л., Наконечный А. А., Вязьминов А.О.** АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЕКЦИОННОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА МОЛОКА МОЛОЧНЫХ КОРОВ ХОЛМОГОРСКОЙ ПОРОДЫ 925
- Романенко Т.М.** СОХРАНЕНИЕ ГЕНОФОНДА ЛОКАЛЬНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ ДОМАШНИХ СЕВЕРНЫХ ОЛЕНЕЙ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГО КЛИМАТА И ПРОМЫШЛЕННОГО ОСВОЕНИЯ АРКТИКИ 930
- Харитонов А.Э., Мурадян С.А., Пищаева К.В.** РАЗРАБОТКА ГИДРОПОННЫХ РАСТВОРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ХЕЛАТИРУЮЩЕЙ ФОРМЕ 933
- Шаманин А.А.** МОНИТОРИНГ КРЫЛАТЫХ ТЛЕЙ-ПЕРЕНОСЧИКОВ ВИРУСОВ НА ПОСАДКАХ КАРТОФЕЛЯ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО РЕГИОНА РОССИИ 937
- Шарыпова О.А.** АРКТИЧЕСКАЯ СПЕЦИФИКА ПРОДОВОЛЬСТВЕННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В ЧУКОТСКОМ АВТОНОМНОМ ОКРУГЕ 942

**Ярцева М.А., Иванова Л.А., Слуковская М.В., Кременецкая И.П.** 944  
ВЫРАЩИВАНИЕ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
КОВДОРСКОГО ВЕРМИКУЛИТА В УСЛОВИЯХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РФ

### **ИСТОРИЯ, КУЛЬТУРА И ЭТНОЛОГИЯ РУССКОЙ АРКТИКИ**

**Бравина Р. И.** ЭТНОГРАФИЯ АРКТИЧЕСКОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ: 948  
СБОР МАМОНТОВОЙ КОСТИ В ЗАПОЛЯРНОЙ ЯКУТИИ

**Кукаренко Н.Н.** ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СПРАВЕДЛИВОСТЬ И 952  
КОЛЛЕКТИВНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА В ЭПОХУ  
АНТРОПОЦЕНА В ТЕОРИИ Д. ЧАКРОБАРТИ

**Михайлова Г.В.** НЕОРГАНИЗОВАННЫЙ ПРИРОДООРИЕНТИРОВАННЫЙ 953  
ТУРИЗМ В КОНТЕКСТЕ СОХРАНЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА БИОРАЗНООБРАЗИЯ СЕВЕРНЫХ  
ТЕРРИТОРИЙ

**Мурыгин А.М.** ОСОБЕННОСТИ ЗАСЕЛЕНИЯ НИЖНЕЙ ПЕЧОРЫ В 955  
ПОЗДНЕМЖЕЛЕЗНОМ ВЕКЕ (СЕРЕДИНА I – ПЕРВАЯ ПОЛОВИНА II  
ТЫСЯЧЕЛЕТИЯ Н. Э.)

**Пермиловская А.Б.** ПРАВОСЛАВНАЯ КУЛЬТОВАЯ АРХИТЕКТУРА 960  
ПОМОРОВ КАК ФАКТОР АДАПТИВНОГО МЕХАНИЗМА ПРИ ОСВОЕНИИ  
СЕВЕРНЫХ И АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

**Семеняк Н.С., Долгова Е.А., Мацковский В.В., Соломина О.Н.** 965  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ  
ДАТИРОВАНИЯ ИСТОРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА СЕВЕРЕ ЕТР

**Силин А.В., Вакорина Л.Н.** ЛЕДОКОЛЬНЫЕ СУДА И ПОЛЯРНАЯ 969  
АВИАЦИЯ В ДЕЛЕ СПАСЕНИЯ ИТАЛЬЯНСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ УМБЕРТО  
НОБИЛЕ

**Усов А.А.** СЕВЕРНЫЙ ДОМ КАК СПОСОБ СОХРАНЕНИЯ 975  
ЭТНОКУЛЬТУРНОЙ ИДЕНТИЧНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ С. ЧУХЧЕРЕМА)

**Чурлик А.Ю.** АРКТИКА В КОЛЛЕКЦИЯХ МУЗЕЙНО-ВЫСТАВОЧНОГО 979  
ЦЕНТРА В БАРЕНЦБУРГЕ

МАТЕРИАЛЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ

II ЛАВЁРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ  
АРКТИКА:  
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ВЫЗОВЫ

Научное электронное издание  
1 электрон.опт. диск (CD-R): зв., цв.; 12 см.  
Объём: 43,1 МБ

Программное обеспечение и системные требования:  
IBM-совместимый PC, Windows 7 и выше, дисковод CD-ROM, SVGA монитор,  
видеоадаптер (800 × 600, 256 цв.), FoxitReader или аналог, мышь

Рекомендовано к изданию Ученым советом Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр комплексного  
изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения РАН  
10.11.2023 г. (протокол № 10).

Ответственные за подготовку и техническую обработку материалов:  
Антоновская Г.Н., Губина О.В., Проворова А.А.

На обложке:  
Фрагмент картины «В современной Арктике», 2017  
автор картины: член Российской ассоциации художников-маринистов  
с.н.с. ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, к.филос.н. Звягин С.А.

ООО «Типография №2» ИНН 2901166260  
163002, г. Архангельск, пр. Новгородский, 32, корпус С, 2-й этаж,  
тел. (8182) 20-4444, 20-5555

ISBN 978-5-903764-87-7

ISBN 978-5-903764-87-7



9 785903 764877