

РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
ЮЖНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК



---

**РАЗВИТИЕ ВОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ  
В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА  
НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
(ЕВРАЗИИ)**

**(«ОПАСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ – IV»)**

**Материалы IV Международной научной конференции  
памяти члена-корреспондента РАН Д.Г. Матишова  
(г. Ростов-на-Дону, 5–9 сентября 2022 г.)**

Ростов-на-Дону  
Издательство ЮНЦ РАН  
2022

УДК 551.5:656.6(470+571)(063)  
P17

**Редколлегия:**

академик Г.Г. Матишов, д.г.н. С.В. Бердников, к.б.н. Н.И. Булышева,  
к.б.н. А.И. Ермолаев, к.ф.-м.н. А.В. Назаренко, к.т.н. В.В. Кулыгин, Р.Г. Михалюк

**Развитие водных транспортных магистралей в условиях глобального изменения климата P17 на территории Российской Федерации (Евразии) («Опасные явления – IV») памяти члена-корреспондента РАН Д.Г. Матишова: материалы IV Международной научной конференции (г. Ростов-на-Дону, 5–9 сентября 2022 г.). – Ростов-на-Дону: Издательство ЮНЦ РАН, 2022. – 440 с. – ISBN 978-5-4358-0239-9.**

Сборник посвящен памяти чл.-корр. РАН Дмитрия Геннадьевича Матишова – известного российского ученого-океанолога, морского эколога, основателя нового научного направления – радиационная экологическая океанология. В последние годы он уделял особое внимание медико-биологическим исследованиям с целью диагностики и лечения заболеваний.

В книге представлены результаты фундаментальных и прикладных работ, направленных на решение актуальных проблем в области современного состояния и проблем функционирования водного транспортного комплекса; потенциала Российской Федерации в системе международных морских транспортных коридоров; географических и климатических особенностей Евразии и их роли в развитии водных транспортных магистралей; гидрофизических исследований и прогноза изменений морской и воздушной среды; средств, методов и возможностей оперативной океанологии; мониторинга опасных природных явлений и техногенных процессов в прибрежных зонах; транспортной безопасности; водных и наземных экосистем; охраны окружающей среды; биологических инвазий как глобальной экологической проблемы; влияния воднотранспортных систем на социально-экономическую сферу и их регионального развития; крупных природопреобразующих проектов; организационно-правового обеспечения функционирования водных транспортных магистралей.

Издание рассчитано на широкий круг читателей, интересующихся изучением опасных явлений и их воздействием на компоненты экосистем.

УДК 551.5:656.6(470+571)(063))

Проведение мероприятия и публикация издания осуществлены  
при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований,  
Соглашение о сотрудничестве при организации и проведении мероприятия от 01.04.2022.

Утверждено на заседании Ученого совета ЮНЦ РАН № 4 от 24.12.2021.

*Редколлегия не несет ответственности за недостоверность приводимой авторами информации.  
Материалы опубликованы с максимальным сохранением авторской редакции.*

ISBN 978-5-4358-0194-1 (Материалы конференций «Опасные явления»)  
ISBN 978-5-4358-0239-9

© ЮНЦ РАН, 2022

RUSSIAN FOUNDATION FOR BASIC RESEARCH  
FEDERAL RESEARCH CENTRE THE SOUTHERN SCIENTIFIC CENTRE  
OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES  
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES



---

**DEVELOPMENT OF THE MAIN TRANSPORT WATERWAYS  
UNDER THE CONDITIONS  
OF THE GLOBAL CLIMATE CHANGE  
ON THE TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION  
(EURASIA)**

**(“HAZARDOUS PHENOMENA – IV”)**

**Proceedings of the IV International Scientific Conference  
in memory of Corresponding Member RAS D.G. Matishov  
(Rostov-on-Don, 5–9 September 2022)**

Rostov-on-Don  
SSC RAS Publishers  
2022

UDC 551.5:656.6(470+571)(063)  
D49

**Editorial Board:**

Academician RAS G.G. Matishov, Dr (Geography) S.V. Berdnikov, PhD N.I. Bulysheva,  
PhD A.I. Ermolaev, PhD A.V. Nazarenko, PhD V.V. Kulygin, and R.G. Mikhalyuk

**(2022) Development of the main transport waterways under the conditions of the global climate change on the territory of the Russian Federation (Eurasia) (“Hazardous Phenomena – IV”) in memory of Corresponding Member RAS D.G. Matishov:** Proceedings of the IV International Scientific Conference (Rostov-on-Don, 5–9 September 2022). Rostov-on-Don: SSC RAS Publishers, 440 p. (In Russian). ISBN 978-5-4358-0239-9.

The proceedings are dedicated to the memory of Corresponding Member RAS Dmitry Gennadyevich Matishov, a well-known Russian researcher-oceanologist, marine ecologist, and founder of a new research direction – radiation environmental oceanology. During the last years of his life he particularly focused on medical-biological studies to improve the diseases prevention, early diagnosis, and treatment.

The publication presents the results of basic and applied studies aimed at solving urgent problems in the field of the current conditions and functional-operational problems of a water transport complex; potential of the Russian Federation in the system of international marine transport corridors; specific geographical and climatic features of Eurasia and their role in the development of the main transport waterways; hydrophysical studies and forecast of variability of marine environment and air; means, methods and possibilities of operational oceanography; monitoring of natural hazards and technogenic processes in the coastal zones; transport safety and security; aqua and terrestrial ecosystems, environmental protection; biological invasions as a global ecological problem; regional aspects of water transport systems development and impact on socio-economic sphere; large-scale nature transformation projects; organizational-legal provision of the main transport waterways operation and functioning.

The publication is intended for a wide range of readers interested in the study of natural hazards and their impact on the ecosystem components.

**UDC 551.5:656.6(470+571)(063)**

The implementation of the event and the publication of the proceedings were financially supported by the Russian Foundation for Basic Research, Agreement on cooperation while Organizing and Conducting the Event (of 01.04.2022).

Approved for publishing at Meeting No. 4 of December 2021 of the Academic Council of SSC RAS

*The Editorial Board is not responsible for the information presented by the authors in case it turns out to be unreliable. Proceedings are published preserving the authors' wording to the maximum.*

ISBN 978-5-4358-0194-1 (Proceedings of the “Hazardous Phenomena”)  
ISBN 978-5-4358-0239-99

© SSC RAS (2022)



---

ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН  
**ДМИТРИЙ ГЕННАДЬЕВИЧ МАТИШОВ**

05.09.1966–20.08.2015



Известный географ-океанолог, специалист в области морских наук,  
один из основателей научного направления в геоэкологии океана –  
радиационной экологической океанологии

## АВТОБИОГРАФИЯ

Я, Матишов Дмитрий Геннадьевич, родился 5 сентября 1966 года в г. Ростове-на-Дону в семье служащих. В 1983 году закончил среднюю школу в г. Мурманске. После окончания школы в 1983-1984 гг. работал слесарем-ремонтником в Мурманском объединении «Судоверфь».

В августе 1984 г. поступил на географический факультет Ленинградского государственного университета, который закончил в 1989 г. по специальности географ-океанолог. В армии не служил.

В 1989 г. поступил в очную целевую аспирантуру кафедры океанологии ЛГУ от Мурманского морского биологического института КНЦ РАН.

С 1990 г. по настоящее время работаю в Мурманском морском биологическом институте Кольского научного центра РАН, где прошел путь от младшего научного сотрудника до первого заместителя директора по науке и директора Азовского филиала ММБИ.

В 1994 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Радионуклиды и биоокеанологические явления в экосистеме Баренцева моря».

В 2001 г. защитил докторскую диссертацию на тему «Антропогенные радионуклиды в морских экосистемах».

В 2003 г. был избран членом-корреспондентом РАН по Отделению наук о Земле.

С 2004 по совместительству являюсь заместителем Председателя Южного научного центра РАН.

За монографию «Радиационная экологическая океанология» награжден медалью РАН с премией для молодых ученых.

В 2006 г. за плодотворную научно-исследовательскую деятельность награжден Медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени.

Веду педагогическую деятельность в Южном федеральном университете, где заведу кафедрой океанологии.

Состав семьи: жена – Кириллова Елена Эдуардовна, 1966 года рождения, сын – Матишов Константин Дмитриевич, 1991 года рождения.

 03.03.2008



*Начало научной деятельности*



*Научная деятельность. Экспедиционные исследования*





*Научная деятельность. Экспедиционные исследования*





*Работа со студентами. Наставничество*



*Научные мероприятия*





### *Научные мероприятия*





*Лаборатория молекулярной биологии ЮНЦ РАН*



# СОВРЕМЕННЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ ВОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ПУТЕЙ (СЕВМОРПУТЬ, ВОЛГО-ДОН – АЗОВСКАЯ МАГИСТРАЛЬ)

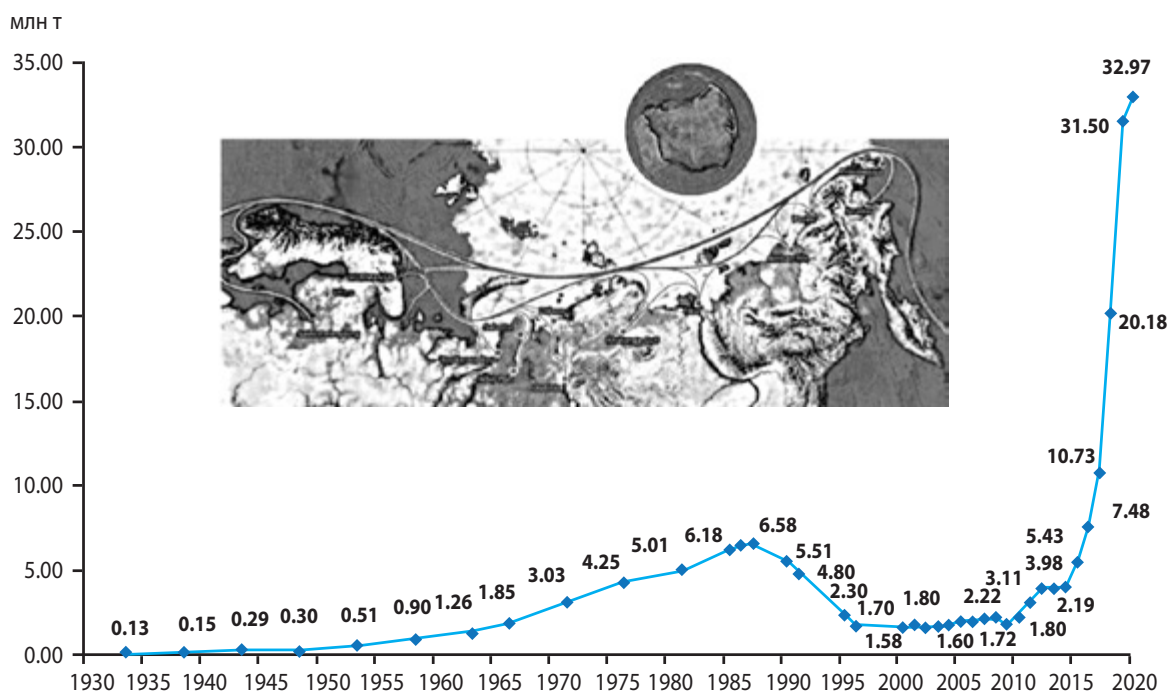
*Г.Г. Матишов<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия

<sup>2</sup>Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия.

*matishov\_ssc-ras@ssc-ras.ru*

Жизнь и экономика Крайнего Севера нашей страны прямо зависят от масштабов грузоперевозок по Севморпути, от развития «Атомфлота», а также портовой инфраструктуры Мурманска и в целом Кольского залива. Динамика грузопотока по трассе Севморпути с 1933 по 2020 г., по данным ФГУП «Атомфлот», ФГКУ «Администрация Севморпути» и других, отражает бурное развитие нефтегазового комплекса на Ямале (рис. 1).



**Рис. 1.** Динамика грузопотока по трассе Северного морского пути с 1933 по 2020 г.

Не менее важным для прогресса индустрии и социально-экономического благополучия Российской Федерации представляется серьезная модернизация существующих и сооружение новых водных магистралей. Прежде всего это касается таких водных речных путей, как Волго-Донской, Азово-Донской, Каспийско-Азовский (предполагаемый канал «Евразия») и других.

Развитие водных транспортных путей в условиях глобальных колебаний климата в Арктике и аридной зоне Российской Федерации (Севморпуть, речные магистрали, северные и южные моря) серьезно осложняется отсутствием емкой (за несколько веков) базы гидрометеорологических и океанографических данных, а также достоверной теоретической базы прогнозирования, учитывающей всю сложную гамму физико-географических явлений.

Многообразие климатов земной поверхности создает непреодолимые трудности для формализации процессов, их классификации и получения адекватных моделей [Гидрометеорологический справочник ... 1932; 1937; Зубаков, 1986; Ибраев, 2019; Калесник, 1970; Марков, Величко, 1967; Матишов, 1987; 2019; Матишов, Григоренко, 2017; Matishov D.G., Matishov G.G., 2004; Матишов и др., 2012; 2020; Хрусталеv, Щербаков, 1974; Chen et al., 2018; Forman et al., 1995; 1999; Levitus et al., 2013; Matishov et al., 1998; 2003; 2009]. В середине XX в. понятие климат, относившееся ранее только к условиям у земной поверхности, было распространено и на высокие слои атмосферы. В этот же период в мировой и отечественной науках: физической географии, физике атмосферы, информатике – сформировался аэрокосмический исследовательский крен. В результате выделилось три основных направления в изучении климата: первое – спутниковый мониторинг (по косвенным физическим измерениям рассчитываются глобальные тенденции); второе – исследование физики атмосферы и моделирования климатической изменчивости; третье – анализ с опорой на вековые базы гидрометеорологических наблюдений в отечественных морях, с учетом всей доступной базы данных по Мировому океану, созданной на основе современных технологий информатики.

Однако в расчетах недостаточно учитывать только взаимодействия океана и атмосферы, верхние слои Гольфстрима, Куроисио и прочих поверхностей (до 100–300 м). В расчет надо брать природу и стратификацию всей толщи океана – от поверхности до дна, до глубин 5–10 км и более, – учитывать процессы дегляциации в Антарктиде, динамику и термохалинные характеристики донных течений океана. Именно в Антарктиде, Южном океане закладываются и формируются колоссальная донная циркуляция океана и основа глобального климата на земной поверхности [Зубаков, 1986; Matishov et al., 2009; Марков, Величко, 1967; Хрусталеv, Щербаков, 1974].

**Проблемы прогноза климата.** Сегодня предсказать изменчивость окружающей среды на неделю или на год нереально. Остается очень много глобальных явлений,

которые мало изучены. В первую очередь – в Мировом океане, в котором сосредоточено более 94 % запасов воды на Земле.

Природные процессы в Северном Ледовитом океане можно изучать только с атомных ледоколов. Авиаразведка льда практически не делается. Расцвет отечественной океанологии в советский период сменился в XXI в. застоём эпизодической работы институтов в морях и океанах. В РАН только некоторые институты, в частности ИО РАН, ТОИ, ИНБЮМ, ММБИ и ЮНЦ РАН, продолжают на упорядоченной основе морские экспедиции.

Редкое спутниковое профилирование дает грубую оценку толщины и площади льда (рис. 2). Если еще учесть крайне малую сеть метеостанций за полярным кругом, то всё это в совокупности ведет к преобладанию кабинетных расчетов. Спутниковые данные нуждаются в подспутниковых наблюдениях. Модели также должны сбиваться по натурным данным. Для понимания климата в XXI в. необходимо возродить сезонные съемки в Северной Атлантике, Баренцевом и Азовском морях, на Кольском, Дальневосточном вековых океанологических разрезах [Матишов, 2019; Chen et al., 2018; Forman et al., 1995; Matishov et al., 2009], наладить наблюдения с применением буйковых станций и «отрывных» поплавковых STD-зондов. Мировой океан в расчетах должен рассматриваться не только как подстилающая поверхность. В любом случае фундаментом оперативной океанологии должен быть анализ базы данных за 100–200 лет и более.

**Морской лед – один из важнейших индикаторов климата.** Еще в классических трудах указывается, что в 1878 г. Норденшельд на судне «Вега» прошел за лето от Стокгольма до Берингова пролива. И Норденшельд в XIX в., и челюскинцы в XX в., и многие другие проходили вдоль берегов Сибири в периоды безледных условий потепления. В начале XIX в., как и в 1930-е гг., в Арктике наблюдалось потепление и масштабная деградация льда. В сентябре 2012 г. площадь льда в океане сократилась до минимума – 400 тыс. м<sup>2</sup> против обычных 860 тыс.

Холодная весна и лето 2013 г. привели к росту покрова льда в Арктике. В проливе Вилькицкого ледяной барьер, шириной почти 100 км, как тромб был преградой для судоходства. В середине сентября 2013 г. из-за сплоченных льдов эскадра кораблей Северного флота проходила пролив Вилькицкого в сопровождении четырех атомных ледоколов. В сентябре 2021 г. и в конце лета 2022 г. мы наблюдаем аналогичную ледовую ситуацию. Важно не сбивать людей с толку. Надо читать классиков – тех, кто работал в Арктике, Антарктиде и Южных морях и оставил нам эмпирические закономерности.

Для климата типичны внутривековые циклы, но их периодичность не такая четкая, как, например, у часового механизма. На моей памяти трижды замерзал Кольский залив. Однако составить правдоподобную картину периодичности глобальных изменений нельзя без знаний древнего климата [Зубаков, 1986; Марков, Величко, 1967; Матишов, 1987; Матишов и др., 2020; Forman et al., 1995]. Амери-



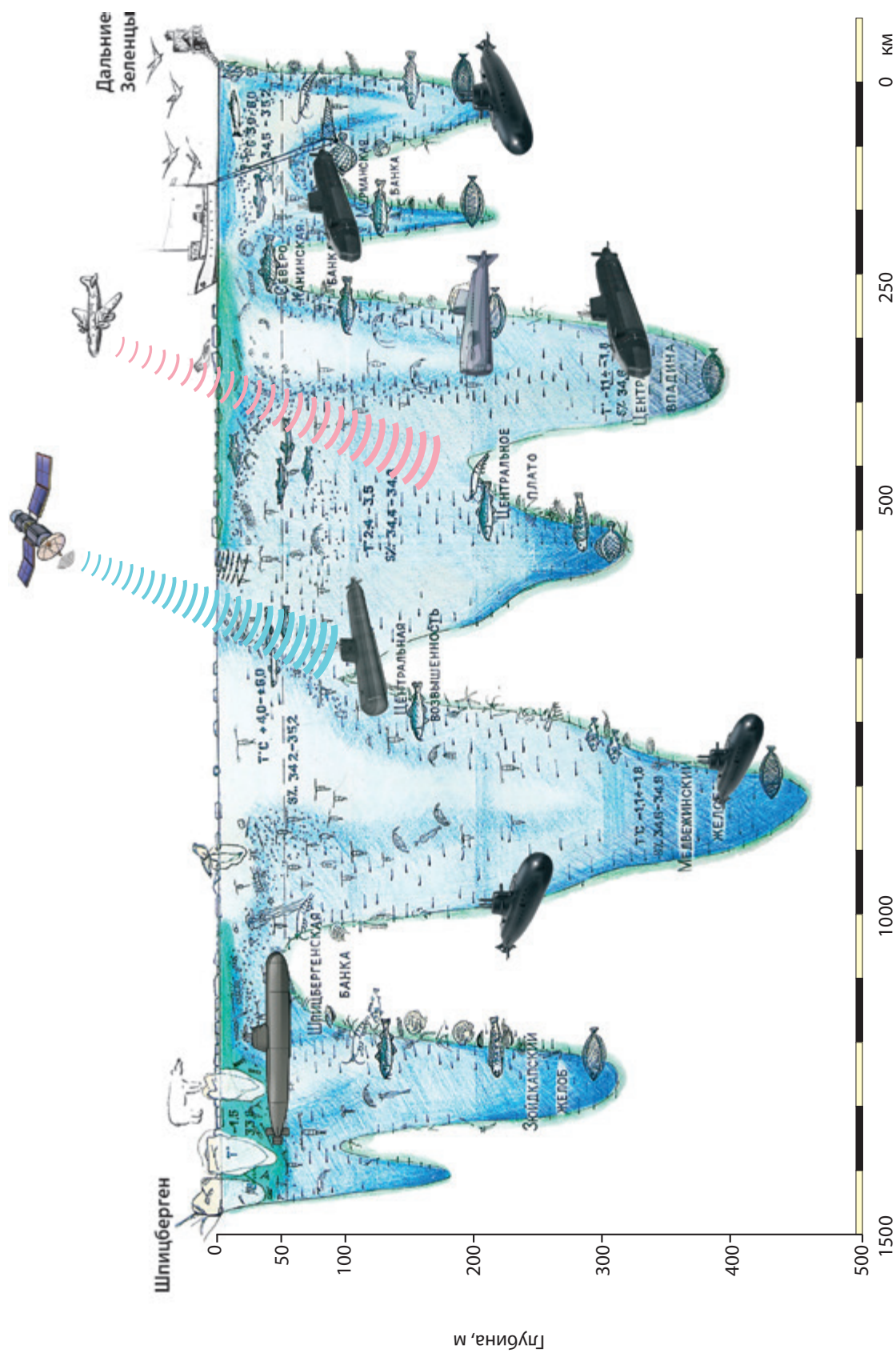


Рис. 2. Топография дна Баренцева моря и возможности аэрокосмического поиска

канские и японские исследователи разбурили дно всех морей и океанов. По пути палеоклиматологии пошел ЮНЦ РАН и пробурил в Азовском море 30 скважин до 30 м глубиной. Крайне нужны суда глубоководного бурения морского дна.

Климат морей России и динамика берегов – важное направление в понимании глобальной природной изменчивости. Бурение (до 30 м) на азовских косах, в частности на косе Долгой, абсолютные датировки раковин дали возможность по-новому охарактеризовать историю подъема Мирового океана в эпоху дегляциации [Матишов, 1987; Матишов и др., 2020; Forman et al., 1999].

Необходимо оперативно, практически в реальном времени, отслеживать подводную и надводную обстановку и быстро реагировать на внезапные обстоятельства. В таблице 1 представлены процессы, формирующие подводную гидроакустическую среду. Несмотря на достаточную известность этих процессов, их природа во многом не ясна.

**Таблица 1.** Факторы формирующие подводную гидроакустическую среду

◆ ДРЕЙФОВЫЕ И СТРУЙНЫЕ ТЕЧЕНИЯ	◆ ОКЕАНСКИЕ ФРОНТЫ
◆ СЕЗОННЫЙ ПИКНОКЛИН И ТЕРМОКЛИН	◆ ФРОНТАЛЬНЫЕ ИНТРУЗИИ
◆ ПРИБРЕЖНЫЙ АПВЕЛЛИНГ	◆ ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ
◆ ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ ЯЧЕЙКИ ЛЕНГМЮРА	◆ СТРУКТУРЫ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ («конвективные колодцы»)
◆ СУЛОЙ, ВЕТРОВОЕ ВОЛНЕНИЕ, ЛЕДЯНОЙ ПОКРОВ	◆ СТРУКТУРЫ ВЫНУЖДЕННОЙ КОНВЕКЦИИ («куполы» и «ямы»)
◆ АНОМАЛЬНЫЕ СЛОИ	◆ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ ПЛЮМЫ
◆ ЛИНЗЫ АНОМАЛЬНЫХ ВОД, СОЛЕВЫЕ ПАЛЬЦЫ	◆ СЛЕДОПОДОБНЫЕ СТРУКТУРЫ
◆ ТЕРМОХАЛИННЫЕ СТУПЕНЧАТЫЕ СТРУКТУРЫ	◆ ГРИБОВИДНЫЕ ТЕЧЕНИЯ
	◆ ОКЕАНИЧЕСКИЕ ВИХРИ

В Арктике сегодня чрезвычайно актуально измерение меридионального переноса тепла из Атлантического океана с целью дальнейшего изучения климата Земли. Существуют данные наблюдений, показывающие повышение объемов теплой воды, поступающей на север. Для изучения современных тенденций необходимы дальнейшие измерения.

Не потеряла актуальность арктическая гидробиология как основа современных технологий для промышленности, медицины, сельского хозяйства и гидроакустики. В этой связи важной задачей остается исследование акустических шумов от китов и тюленей. В наших условиях возможно проводить экспериментальные работы по изучению адаптации и поведения дельфинов, белух, серых тюленей, миграции морских млекопитающих в Баренцево-Карском регионе, а также возможности применения их сенсорных систем в охране береговых баз.

Надо обратиться к опыту времен Советского Союза и вернуться к экспедиционным и экспериментальным работам, а также возродить стационары. Особое место могут занять обученные морские млекопитающие как управляемые носители подводной аппаратуры. Актуально сконцентрироваться на исследованиях акватории арктических льдов, зоны дрейфа айсбергов, природы гидроакустических помех в зоне высокой биопродуктивности и сфокусировать внимание на специфике гравитационных волн в морях Арктики, на Азово-Черноморско-Средиземноморском морском театре.

В начале XXI в., как и в 1930-е гг., в Арктике наблюдалось потепление. Это породило в мире, с подачи Альберта Гора, политическую пропаганду скорого таяния льда в Северном Ледовитом океане. Прошло двадцать лет – лед не растаял.

**Ледовая океанология.** Современная океанология и климатология обязаны обратить внимание на приоритеты науки и техники в интересах мореплавания по Севморпути (от Ямала до Чукотки). Мы должны ясно заявить, что лед в XXI в. на трассе Севморпути сохранится. Надо строить новые ледоколы.

**Проблема профессиональных кадров.** Сколько у нас в российской науке специалистов, знающих, понимающих региональную океанологию, вертикальные процессы от поверхности до дна в Северной Атлантике, в морях Арктики, в Азово-Черноморском бассейне? Разумеется, они есть, но их мало – больше среди старшего поколения. Мы не сможем снизить дефицит профессионалов, если не будет госзаказов и запросов от морских отраслей.

Таким образом, **актуальные задачи следующие:**

- систематизация, цифровизация и анализ существующих инструментальных наблюдений за XVII–XXI вв.;
- формирование достоверной теории физико-географических процессов маловодья и засух;
- прогноз климата на XXI век и рекомендации для принятия решений;
- подготовка профессиональных кадров.

*Работа выполнена в рамках темы НИР ГЗ ЮНЦ РАН № 122011900153-9.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гидрометеорологический справочник Азовского моря / под ред. Н.М. Аксенова. Л.: Гидрометеиздат, 1932. 856 с.
2. Гидрологический справочник морей СССР. Т. 3: Азовское море / под ред. Н.М. Книповича. Л.; М.: Гидрометеиздат, 1937. Вып. 2–3. 731 с.
3. *Зубаков В.А.* Глобальные климатические события плейстоцена. Л.: Гидрометеиздат: 1986. 286 с.
4. *Ибраев Р.А.* Суперкомпьютерные технологии для оперативного прогнозирования морской среды (разрешение  $\approx 1$  км, 10 км) // Сборник материалов совместного заседания ВМФ и СОФАГ ОНЗ РАН. Оперативная океанология и технические средства в интересах Военно-Морского флота. Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2019. С. 42–82.
5. *Калесник С.В.* Общие географические закономерности Земли. М.: Мысль, 1970. 283 с.
6. *Марков К.К., Величко А.А.* Четвертичный период. Т. 3. М.: Недра, 1967. 440 с.
7. *Матишов Г.Г.* Мировой океан и оледенение Земли. М.: Мысль, 1987. 297 с.
8. *Матишов Г.Г.* Опыт и проблемы оперативной океанологии и их значение в развитии флота // Оперативная океанология и технические средства в интересах Военно-морского Флота: сб. мат-лов совместного заседания ВМФ и СОФАГ ОНЗ РАН. Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2019. С. 15–41.
9. *Матишов Г.Г., Григоренко К.С.* Причины осолонения Таганрогского залива // Доклады Академии наук. 2017. Т. 447. № 1. С. 92–96.
10. *Матишов Г.Г., Новенко Е.Ю., Красноруцкая К.В.* Изменение климата Приазовья в позднем голоцене // Доклады Академии наук. 2012. Т. 444. № 3. С. 320–324.
11. *Матишов Г.Г., Польшин В.В., Титов В.В.* Исследования отложений кос Азовского моря (на примере косы Долгой) // Океанология. 2020. Т. 60. № 1. С. 158–161.
12. *Хрусталева Ю.П., Щербаков Д.А.* Позднечетвертичные отложения Азовского моря и условия их накопления. Ростов н/Д.: Изд-во Ростовского ун-та, 1974. 148 с.
13. *Chen J. et al.* A luminescence Dating Study of loess Deposits from the Beglitsa Section in the Sea of Azov, Russia // Quaternary International. 2018. No. 478. P. 27–37.
14. *Forman S.L., Lubinski D., Miller G.H., Snyder J., Korsun S., Matishov G.G.* Postglacial emergence and distribution of late Weichswelian ice-sheet loads in the northern Barents and Kara seas // Geology. 1995. No. 23 (2). P. 113–116.
15. *Forman S.L., Zeeberg J.J., Lubinski D.J., Miller G.H., Polyak L., Matishov G.G., Tarasov G.* Postglacial emergence and Late Quaternary glaciation on Northern Novaya Zemlya, Arctic Russia // Boreas. 1999. Vol. 28. No. 1. P. 133–145.
16. *Levitus S., Matishov G., Smolyar I. et al.* World War II (1939–1945). Oceanographic Observations // Data Science Journal. 2013. Vol. 12. No. 21. September. P. 102–157.



17. *Matishov G., Zhev A., Golubev V., Adrov N., Slobodin V., Levitus S., Smolyar I.* Climatic Atlas of the Barents sea // Temperature, Salinity, Oxygen. Vers. 1. April. Washington: NOAA/NODC, 1998. 98 p.
18. *Matishov G.G. et al.* Contemporary state and factors of stability of the Barents Sea Large Marine Ecosystem // Large Marine Ecosystem of World: Trends in Exploration, Protection, and Research. 2003. P. 41–74.
19. *Matishov D.G., Matishov G.G.* Radioecology in Northern European Seas. Berlin: Springer Verlag, 2004. 335 p.
20. *Matishov G.G., Matishov D.G., Moiseev D.V.* Inflow of Atlantic-origin waters to the Barents Sea along glacial troughs // Oceanologia. 2009. Vol. 51. No. 3. P. 321–340.

---

**ВКЛАД ЧЛЕНА-КОРРЕСПОНДЕНТА РАН  
ДМИТРИЯ ГЕННАДЬЕВИЧА МАТИШОВА  
В ФОРМИРОВАНИЕ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ ОКЕАНОЛОГОВ  
И РЕАЛИЗАЦИЯ ИДЕИ «ПЛАВУЧЕГО УНИВЕРСИТЕТА»  
НА ЮГЕ РОССИИ**

***О.В. Степаньян***

---

*Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия  
step@ssc-ras.ru*

Член-корреспондент РАН Дмитрий Геннадиевич Матишов – выдающийся ученый, создатель нового научного направления «Радиационная экологическая океанология», оставивший большой след в науках о Земле и жизни [Степаньян, 2016; 2021; Матишов, Степаньян, 2020а, б].

Студентом Ленинградского государственного университета Д.Г. Матишов участвовал в многочисленных морских экспедициях по всей Арктике на научных и рыболовных судах, включая научный флагман северных морей НИС «Дальние Зеленцы». Дмитрий Геннадиевич прошел на морских судах десятки тысяч миль, наравне с членами команды и научной группой нес судовые вахты, выполняя в любую погоду, при сильной качке, минусовых температурах воздуха сложные и опасные палубные работы. При этом удавалось успешно отбирать пробы донных отложений и морской воды с глубин в сотни метров, разбирать многотонные уловы для ихтиологических исследований, участвовать в палубной промывке сотен килограммов проб зообентоса. В суровых полярных рейсах Д.Г. Матишов стал настоящим морским исследователем, умеющим ценить особое морское научное братство.

В первой половине 2000-х годов, будучи директором Азовского филиала ММБИ и заместителем председателя Южного научного центра РАН, Д.Г. Матишов лично возглавил свыше десяти экспедиций по Азовскому и Чёрному морям. Непосредственно с участием Д.Г. Матишова были приобретены два морских научных исследовательских судна – «Профессор Панов» и «Денеб». Благодаря его личной инициативе и суперактивности удалось провести модернизацию морских судов в сложный период для страны (мировой финансовый кризис 2008 г.) и оснастить новые корабли современным навигационным и океанологическим оборудованием. НИС «Профессор Панов» и «Денеб» продолжают успешно работать в акваториях

Азовского, Чёрного и Каспийского морей. В настоящее время ежегодно осуществляется более 15 морских экспедиций. С 2000 г. проведено более 150 морских экспедиций, выполнено свыше 10 тысяч океанологических станций, в том числе и на вековых разрезах в Азовском и Чёрном морях, инициатива возрождения наблюдений по которым также принадлежит Д.Г. Матишову.

Особое внимание Д.Г. Матишов уделял работе со студентами и молодыми специалистами, лично проводя практические занятия и полевые выходы с молодежью. Более половины молодых специалистов естественных наук, ныне работающих в ЮНЦ РАН, прошли под его руководством производственные практики на научно-экспедиционной базе «Кагальник» и научных судах, в лабораториях и экспедициях.

Научно-исследовательские интересы Д.Г. Матишова всегда были разноплановыми. Помимо ставших для Дмитрия Геннадьевича традиционных направлений: океанологии, гидрохимии, радиационной экологии океана, – были начаты интенсивные работы в области волновых процессов, морской экотоксикологии, ихтиологии, аквакультуры, метагеномики, биомедицины и др. На Юге и Севере Д.Г. Матишов активно исследовал последствия техногенных катастроф, связанных с поступлением и трансформацией тяжелых металлов и радионуклидов в морские экосистемы: от воды и донных осадков до планктона и бентоса, птиц и морских млекопитающих. Были определены уровни загрязнения среды и биоты искусственными радионуклидами и тяжелыми металлами, выявлен и оценен «чернобыльский след» в экосистемах Баренцева и Азовского морей, показаны пути миграции искусственных радионуклидов по трофическим цепям. Масштабные радиологические исследования на Севере и Юге России продолжались под руководством Д.Г. Матишова более 20 лет. За указанные выше работы Дмитрий Геннадьевич был награжден золотой медалью Президиума РАН и медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени.

Д.Г. Матишов был инициатором создания кафедры океанологии в Ростовском государственном университете (ЮФУ) и более 12 лет руководил ею. Первыми сотрудниками и преподавателями кафедры стали известные ученые в области океанологии, гидрометеорологии и физической географии – профессор д.г.н. С.В. Бердников, профессор д.г.н. Л.А. Беспалова, профессор д.г.н. О.В. Ивлиева, доцент к.г.н. А.Е. Цыганкова, к.г.н. В.В. Сорокина, к.г.н. Л.В. Дашкевич, к.ф.-м.н. С.М. Хартиев, к.г.н. А.Р. Иошпа, С.Н. Солуянова. Это третья кафедра океанологии в России (после Санкт-Петербургского и Московского университетов). Первый выпуск студентов-океанологов был осуществлен в 2007 г., ежегодно из стен кафедры океанологии ЮФУ выходит 10–15 квалифицированных специалистов океанологов и гидрометеорологов. Выпускники кафедры океанологии ЮФУ работают в различных научных и ведомственных организациях России и ближнего зарубежья, служат в гидрологической службе ВМФ РФ. Ряд выпускников и молодых сотрудников кафедры океанологии, учившихся у Дмитрия Геннадьевича, защитили диссертации – К.С. Григоренко, К.С. Сушко, П.П. Ивлиев, Н.В. Яицкая, А.Е. Цыганкова, В.В. Сорокина, Л.В. Кропянко.





Встреча на кафедре океанологии (середина 2000-х гг.)



Первая практика студентов-океанологов на БНЭБ «Кагальник» (2006 г.)





Практика студентов-океанологов на БНЭБ «Кагальник» (2011 г.)

Дмитрий Геннадьевич отличался особым видением перспектив в научных исследованиях: ему удавалось вычленять узкие задачи и направления в давно, казалось бы, освоенных областях. При поддержке Д.Г. Матишова на кафедре океанологии ЮФУ было начато и продолжается изучение опасных природных явлений и их проявлений, связанных с внутренними волнами и сейшмами в Азовском и Чёрном морях, стонно-нагонными явлениями в дельте Дона, абразией берегов южных морей. Благодаря Д.Г. Матишову, указанные научные работы и наблюдения были возобновлены после более чем 30-летнего перерыва и оказались очень своевременными в условиях интенсивного хозяйственного освоения береговой зоны южных морей, в том числе побережий Тамани, Крыма и северных берегов Азовского моря. Эти важные направления имеют прикладное значение для безопасности мореплавания, обороны страны и жизни простых граждан приморских территорий. Идеи и наработки Дмитрия Геннадьевича позволяют с успехом решать проблему импортозамещения, в том числе в области морского приборостроения, в условиях санкционных реалий сегодняшнего дня.



Лекция Д.Г. Матишова для студентов-океанологов (2006 г.)



После лекций и практических занятий со студентами кафедры океанологии ЮФУ в формате «Плавучий университет» на НИС «Денеб» (2008 г.)



Д.Г. Матишов был сторонником комплексного подхода в решении сложных экологических проблем, имеющих государственный масштаб. Так, совместно с группой молодых специалистов он выполнил исследования по оценке состояния экосистем Северного Каспия и Азовского моря, в том числе в интересах рыбной и нефтегазовой отрасли. В конце 2000-х – начале 2010-х гг. указанные исследования впервые в России проводились в формате «Плавучий университет». В них принимали участие студенты Московского и Санкт-Петербургского государственных университетов, Южного федерального университета, Донского государственного технического университета, Кубанского государственного университета. Ведущие ученые страны из Москвы, Санкт-Петербурга, Ростова-на-Дону, Мурманска, Краснодара, Новороссийска проводили лекции и практические работы на научно-исследовательских судах «Профессор Панов» и «Денеб». Дмитрий Геннадьевич верил, что работы в формате «Плавучий университет» будут подхвачены и другими океанологами России. В настоящее время экспедиции в формате «Плавучий университет» поддерживаются Министерством науки и высшего образования РФ и проходят на судах в европейских, арктических и дальневосточных морях России, на реках Дон и Волга, в Цимлянском водохранилище, на оз. Байкал и в других акваториях.

При непосредственном участии Д.Г. Матишова был создан гидрометеопост «Взморье» в Таганрогском заливе и построена сеть гидропостов по восточному побережью Азовского моря, на реках Краснодарского края. Благодаря полученным данным были предупреждены несколько сильных наводнений в дельте Дона, заранее предсказаны опасные гидрологические явления в Таганрогском заливе. Д.Г. Матишов был инициатором создания серии климатических атласов по арктическим и южным морям, атласа по радиоактивности морей Европейской части России, большой вклад в эту работу внесли молодые сотрудники кафедры океанологии ЮФУ.

Д.Г. Матишов ушел в самом расцвете творческих сил. Но нам остался большой багаж накопленных знаний, начинаний и идей Дмитрия Геннадьевича. И задача всех последователей Дмитрия Геннадьевича продолжить реализацию его замыслов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матишов Г.Г., Степаньян О.В. Вклад члена-корреспондента РАН Дмитрия Геннадьевича Матишова в изучение Мирового океана // Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и промышленных вызовов («Опасные явления – II»): мат-лы II Междунар. науч. конф. памяти чл.-корр. РАН Д.Г. Матишова (г. Ростов-на-Дону, 6–10 июля 2020 г.). Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2020а. С. 7–16.

2. Матишов Г.Г., Степаньян О.В. Радиационная экологическая океанология // Природа. 2020б. № 7. С. 37–45.
3. Степаньян О.В. Вклад члена-корреспондента РАН Д.Г. Матишова в морские исследования на Юге России // Окружающая среда и человек. Современные проблемы генетики, селекции и биотехнологии: мат-лы Междунар. науч. конф. и молодежной науч. конф. памяти чл.-корр. РАН Д.Г. Матишова (г. Ростов-на-Дону, 5–8 сент. 2016 г.) / гл. ред. акад. Г.Г. Матишов. Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2016. С. 40–46.
4. Степаньян О.В. Вклад члена-корреспондента РАН Д.Г. Матишова в исследование опасных природных и техногенных явлений на юге и севере России // Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и промышленных вызовов («Опасные явления – III»): мат-лы III Междунар. науч. конф. памяти чл.-корр. РАН Д.Г. Матишова (г. Ростов-на-Дону, 15–19 июня 2021 г.). Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2021. С. 13–16.



---

## Секция 1

# СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

---

### ИЗМЕНЕНИЕ ГРУППОВОГО СОСТАВА Cd В ЧЕРНОЗЕМЕ ОБЫКНОВЕННОМ ПОД ВЛИЯНИЕМ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ И ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УГЛЕРОДИСТОГО СОРБЕНТА

**А.В. Барахов<sup>1</sup>, Т.М. Минкина<sup>1</sup>, С.С. Манджиева<sup>1</sup>, Т.В. Бауэр<sup>1, 2</sup>,  
В.И. Северина<sup>1</sup>, Е.С. Лацынник<sup>1</sup>, А.Л. Мелкумян<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup>Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

<sup>2</sup>Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия  
*tolik.barakhov@mail.ru*

Тяжелые металлы (ТМ) – это представители одних из самых токсичных загрязнителей, при повышении концентрации которых возникают различные токсические эффекты: (нарушение биологической активности почвы и, как следствие, потеря ее плодородия) [Бауэр и др., 2018]. Попадая в почву, данный поллютант становится доступным растениям. Контроль содержания и оценка ТМ в почве является индикатором экологической безопасности среды [Mandzhieva et al., 2017].

Кадмий – это опасный элемент, способный накапливаться и перемещается в пищевых цепях и в организме растений и животных, приводя к различным заболеваниям. Необходим строгий контроль содержания этого тяжелого металла [Chernikova et al., 2021].

Минимизации подвижности и стабилизации металлов в загрязненных почвах можно достичь методами биологической иммобилизации с помощью углеродистых сорбентов (биочара) [Khalid et al., 2017]. Среди углеродистых сорбентов биочар наиболее востребован для целей ремедиации почв, так как он обладает высокой пористостью и большой площадью поверхности, а также высоким содержанием углерода [Ali et al., 2017].

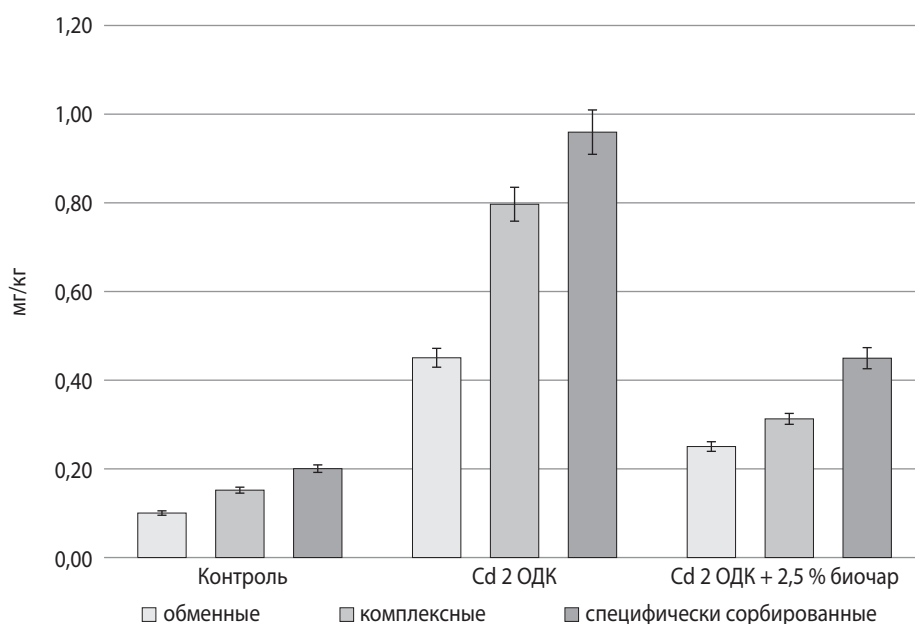
Цель работы – изучить изменение группового состава кадмия в черноземе обыкновенном при техногенной нагрузке и при внесении углеродистого сорбента (биочара).

Для достижения поставленной цели был заложен модельный опыт с искусственным загрязнением чернозема обыкновенного водным раствором ацетата Cd в дозе (2 ПДК = 4 мг/кг). Доза внесения металла соотнесена с встречающимся уровнем загрязнения в почвах Ростовской области [Минкина и др., 2016]. Для закладки модельного опыта 2 кг воздушно-сухого грунта, перетертого через сито 3 мм, помещали в сосуды с дренажной системой. Через 1 месяц инкубации в почву вносили биочар в дозах 2,5 %. Схема опыта включала контроль (почва без внесения поллютанта и сорбента), вариант с внесением поллютанта, а также вариант с внесением сорбента в загрязненные образцы почвы: 1) контроль; 2) Cd 2 ПДК; 3) Cd 2 ПДК + 2,5 % биоугля. Влагоудерживающая способность почвы поддерживалась на уровне 60 %. Процедуру повторяли в течение всего эксперимента. Загрязненную почву инкубировали при комнатной температуре и естественном освещении в течение 1 года. Опыт основан на трехкратном повторении. После внесения сорбентов почву компостировали в течение 1 месяца, поливали, не допуская ее пересыхания.

Общее содержание Cu в почве определяли рентген-флуоресцентным методом с использованием спектроскана “МАКС-GV”. Групповой состав соединений Cu определяли с использованием схемы параллельных экстракций [Минкина и др., 2008]: обменные формы металлов (Me) извлекали раствором 1 н.  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  (ААБ) с рН 4,8; количество комплексных соединений находили по разности между содержанием металлов в вытяжках 1 % раствора ЭДТА в ААБ и в 1 н. ААБ; содержание специфически сорбированных форм находили по разнице результатов, полученных при экстрагировании металлов вытяжками 1 н. HCl и ААБ. Суммарное содержание обменных, комплексных и специфически сорбированных форм составляет группу непрочно связанных соединений. Группа прочно связанных соединений представляет собой разность между общим содержанием металла и группы непрочно связанных соединений. Концентрацию подвижных соединений металла в вытяжках определяли методом атомно-абсорбционной спектrophотометрии.

Объектом исследования являлся чернозем обыкновенный карбонатный, мощный, на лессовидных суглинках. Исследуемый образец почвы обладает следующими физико-химическими свойствами: рН – 7,3; содержание физической глины – 48,1 %; ила – 28,6 %; органического углерода – 3,7 %; карбонатов – 0,1 %; ЕКО почвы – 36  $\text{сМ}(+)\cdot\text{кг}^{-1}$  [Минкина и др., 2011].

В контрольном образце почвы валовое содержание Cd составляет 1,26 мг/кг, а сумма непрочно связанных соединений (обменных, комплексных и специфически сорбированных) составляет 0,45 мг/кг при увеличении нагрузки до 2 ОДК, валовое содержание повышается до 4,28 мг/кг, при этом сумма увеличивается до 2,20 мг/кг (рис. 1).

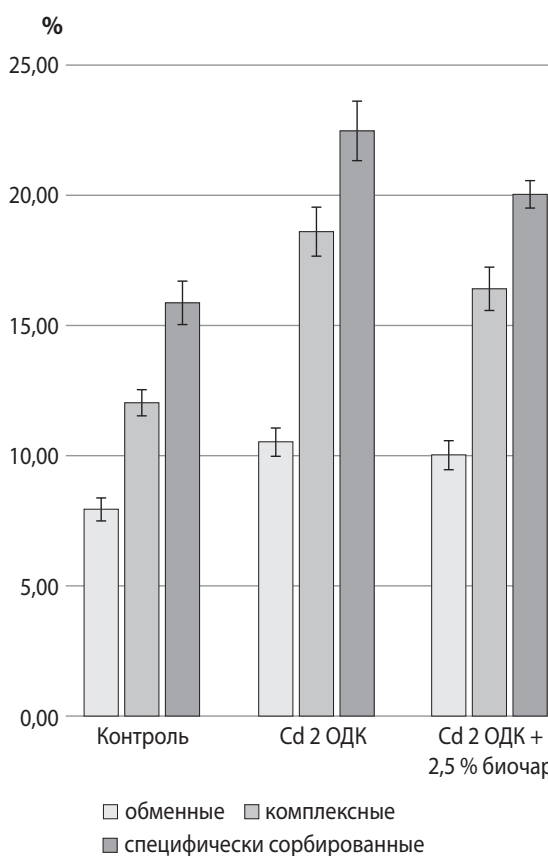


**Рис. 1.** Групповой состав непрочно связанных соединений Cd при разном уровне загрязнения

Внесение Cd приводит к возрастанию общего содержания наиболее опасных соединений – непрочно связанных. При увеличении техногенной нагрузки до 2 ОДК наблюдается увеличение всех форм непрочно связанных соединений металла как в абсолютных, так и в относительных значениях (рис. 2).

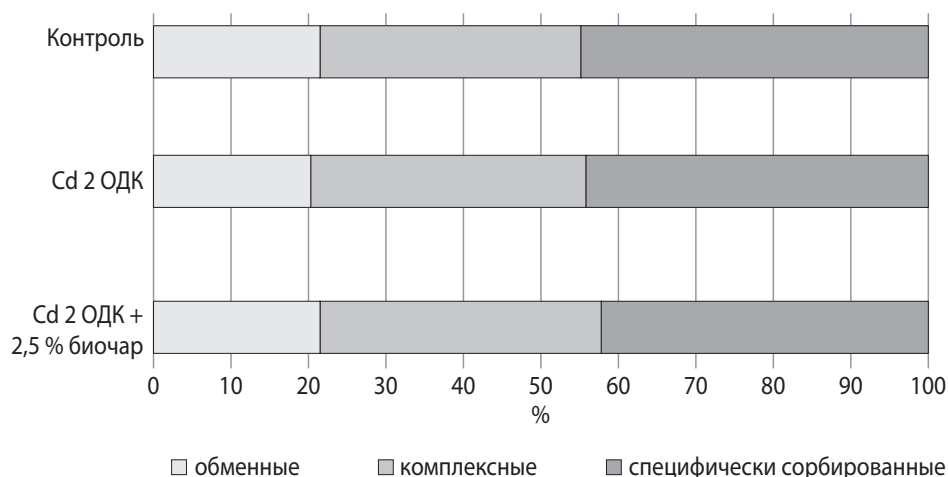
Применение углеродистого сорбента биочара снижает содержание Cd до 2,50 мг/кг в валовом содержании, а сумма непрочно связанных соединений до 1,01 мг/кг (рис. 1).

В относительных значениях происходит следующее перераспределение в группе непрочно связанных соединений в контрольном образце: процент содержания ТМ от вала непрочно связанных соединений составляет 36 %, при внесении поллютанта происходит увеличение содержания до 52 %, что говорит об увеличении на 16 %, по сравнению с содержанием в контрольном образце,



**Рис. 2.** Групповой состав непрочно связанных соединений Cd при разном уровне загрязнения, %

а при использовании сорбента происходит снижение подвижности до 40 %, что говорит о снижении на 12 % от загрязненного образца. Распределение Cd по формам соединений в незагрязненной и загрязненной почве одинаковое: специфически сорбированные > комплексные > обменные (рис. 3).



**Рис. 3.** Распределение соединений Cd в группе непрочно связанных соединений, %

Увеличение техногенной нагрузки приводит к увеличению концентрации непрочно связанных соединений Cd и, как следствие, к перераспределению группового состава непрочно связанных соединений в сторону увеличения доли наиболее подвижных форм (обменных). Использование углеродистого сорбента (биочара) в загрязненной почве привело к уменьшению подвижности, непрочно связанные соединения Cd приблизились к значениям, близким контрольным, что говорит об эффективности использования биочара в роли сорбента для ремедиации загрязненного Cd чернозема обыкновенного.

*Исследование выполнено в лаборатории «Здоровье почв» Южного федерального университета при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 075-15-2022-1122, и гранта Президента МК-6137.2021.1.5.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бауэр Т.В., Линник В.Г., Минкина Т.М., Манджиева С.С., Невидомская Д.Г. Эколого-геохимические исследования техногенных почв в пойменных ландшафтах Северского Донца (бассейн Нижнего Дона) // Геохимия. 2018. № 10. С. 956–966.
2. Минкина Т.М., Мотузова Г.В., Назаренко О.Г. Комбинированный прием фракционирования соединений металлов в почвах // Почвоведение. 2008. № 11. С. 1324–1333.

3. Минкина Т.М., Назаренко О.Г., Мотузова Г.В., Манджиева С.С., Бурачевская М.В. Групповой состав соединений тяжелых металлов в почвах агроценозов, загрязненных аэрозольными выбросами Новочеркасской ГРЭС // *Агрохимия*. 2011. № 6. С. 68–77.
4. Минкина Т.М., Федоров Ю.А., Невидомская Д.Г., Манджиева С.С., Козлова М.Н. Особенности содержания и подвижность тяжелых металлов в почвах поймы реки Дон // *Аридные экосистемы*. 2016. № 1 (66). С. 86–98.
5. Ali A., Guo D., Zhang Y., Sun X., Jiang S., Guo Z., Zhang Z. Using bamboo biochar with compost for the stabilization and phytotoxicity reduction of heavy metals in mine-contaminated soils of China // *Scientific reports*. 2017. Vol. 7 (1). P. 1–12.
6. Chernikova N.P., Fedorenko A., Beschepnikov V.V., Radzhput V.D., Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Fedorenko G., Chaplygin V.A. Effect of cadmium and zinc in soil on the tissue-organ level of spring barley // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 8. P. 012050.
7. Khalid S., Shahid M., Niazi N. K., Murtaza B., Bibi I., Dumat C. A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils // *Journal of Geochemical Exploration*. 2017. Vol. 182. Part B. P. 247–268.
8. Mandzhieva S.S., Minkina T.M., Chaplygin V.A., Sherstnev A.K., Zamulina I.V. Protective mechanism of the soil-plant system with respect to heavy metals // *Journal of Soils and Sediments*. 2017. Vol. 17 (5). P. 1291–1300.

## ДИНАМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭПОКСИДНО-ТИОКОЛОВЫХ КОМПОЗИТОВ

*Т.И. Григоренко, Ю.С. Кочергин, Йиги Ву*

*Харбинский технологический институт, Харбин, Китай  
grigorencot@rambler.ru*

В технологии эпоксидных композитов для улучшения работоспособности при действии ударных и вибрационных нагрузок в их состав вводят жидкие полисульфидные каучуки (тиоколы). При этом, как показано в работе [Sukhyu et al., 2021], для повышения адгезионных и физико-механических свойств эпоксидно-тиоколовых композиций, отверждаемых без тепловой обработки, необходимо до введения отверждающего агента проводить предварительную реакцию тиоэтерификации (ПРТЭ) за счет взаимодействия меркаптановых групп тиокола и оксирановых циклов эпоксидной смолы при повышенной температуре.

В продолжение исследований в данном направлении целью настоящей работы является изучение динамических механических свойств эпоксидно-тиоколовых композиционных материалов на основе продуктов предварительной реакции тиоэтерификации.

Объектами исследования являлись эпоксидная смола марки Epikote-828 (массовая доля эпоксидных групп (ЭГ) 22,6 %, вязкость 12 Па·с при 25 °С), полисульфидный каучук (жидкий тиокол марки I с вязкостью 28 Па·с при 25 °С, содержанием сульфгидрильных групп 3,1 %). Совмещение эпоксидной смолы и тиокола проводили путем проведения предварительной реакции тиоэтерификации при 160 °С в течение 2 ч. Для сравнения свойств исследовали также механические смеси эпоксидной смолы и каучука. Отверждение композиций проводили диэтилентриамином ДЭТА по двум режимам: I – 25 °С/24 ч + 50 °С/8 ч (отверждение при умеренной температуре) и II – 25 °С/24 ч + 120° С/3 ч (отверждение с термообработкой при повышенной температуре).

Динамические механические характеристики (динамический модуль упругости  $E'$  и тангенс угла механических потерь,  $\text{tg } \delta$ ) измеряли на установке ДМА 983 термоаналитического комплекса DuPont 9900.

Как известно [Nielsen, Landel, 1994; Shaw, MacKnight, 2018], изучение динамических механических свойств полимеров имеет большое теоретическое и прикладное значение. В частности, динамический модуль упругости является весьма важным

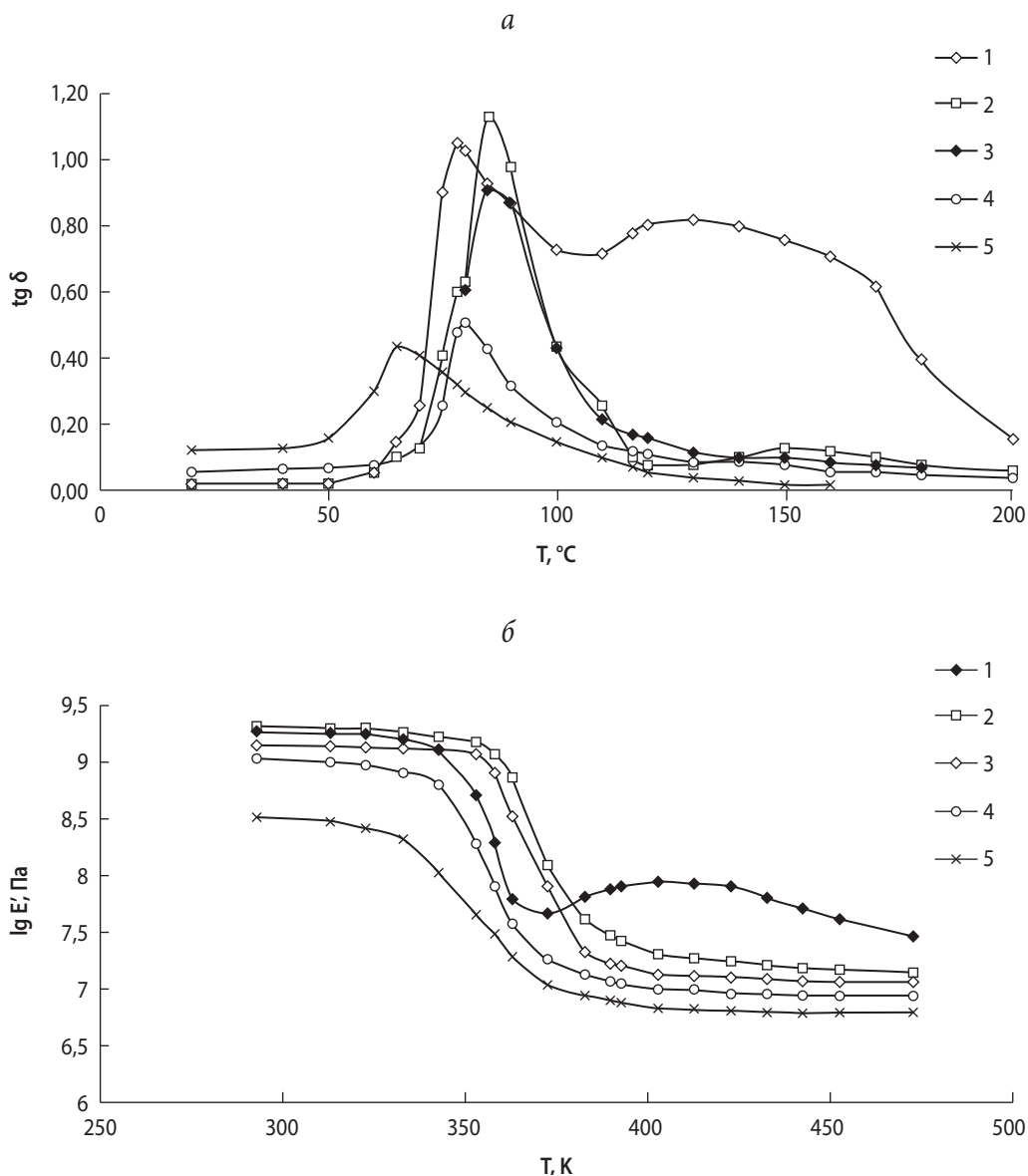
показателем деформационно-прочностных свойств полимеров. Наряду с показателем механических потерь динамический модуль упругости служит наиболее чувствительным индикатором всех форм молекулярной подвижности в полимерах, в первую очередь в стеклообразном состоянии. Помимо чисто теоретического интереса для понимания механизмов молекулярного движения в полимерах, механические потери имеют большое практическое значение, во многом определяя другие механические свойства полимеров. Поэтому абсолютные величины показателей механических потерь, положения температур и частот, при которых наблюдаются максимумы потерь, представляют особый интерес. Высокие механические потери в полимерных материалах могут быть как достоинством, так и недостатком. С одной стороны, потери уменьшают вибрации и препятствуют возникновению резонансных колебаний с резким нарастанием амплитуды. С другой – высокие потери в общем случае служат показателем пониженной стабильности размеров, которая очень нежелательна в конструкциях, работающих длительное время под нагрузкой. Другие механические свойства: долговечность, удельная поверхностная энергия разрушения и ударная прочность, коэффициент трения, истирание и износ – тесно связаны с механическими потерями.

На рисунке 1 приведены температурные зависимости тангенса угла механических потерь ( $\text{tg } \delta$ ) и динамического модуля упругости от температуры испытания для образцов, отвержденных без подвода тепла. Видно, что по мере увеличения концентрации тиокола положение максимума  $\text{tg } \delta_m$  смещается в сторону меньших температур, а его величина уменьшается (более четко об этом свидетельствуют данные, представленные на рис. 2а). Этот эффект можно объяснить тем, что интенсивность этого перехода, связанного с расстеклованием эпоксидной матрицы, пропорциональна содержанию эпоксидной компоненты в смеси, которая естественно тем меньше, чем выше концентрация тиокола в композиции. Уменьшение температуры, при которой наблюдается максимум  $\text{tg } \delta$ , можно объяснить пластифицирующим действием тиокола, имеющего температуру стеклования ниже  $0^\circ\text{C}$ .

При анализе зависимостей  $\text{tg } \delta - T$  обращает на себя внимание следующий экспериментальный факт. Для базового эпоксидного полимера (рис. 1а, кривая 1), отвержденного по режиму I, после прохождения основного максимума  $\text{tg } \delta$  вначале достаточно быстро снижается, затем при температуре выше  $100^\circ\text{C}$  падение  $\text{tg } \delta$  прекращается, и в диапазоне  $100-160^\circ\text{C}$  наблюдается второй широкий размытый максимум, после которого  $\text{tg } \delta$  снова довольно быстро уменьшается. Такой характер поведения может быть объяснен тем, что после расстеклования эпоксидного полимера ускоряется молекулярная подвижность, которая способствует процессу доотверждения. На взаимодействие непрореагировавших при отверждении без подогрева эпоксидных и аминных групп расходуется часть подводимой тепловой энергии, что находит свое отражение в образовании максимума с вершиной при температуре  $\sim 135^\circ\text{C}$ . Другим подтверждением реакции доотверждения



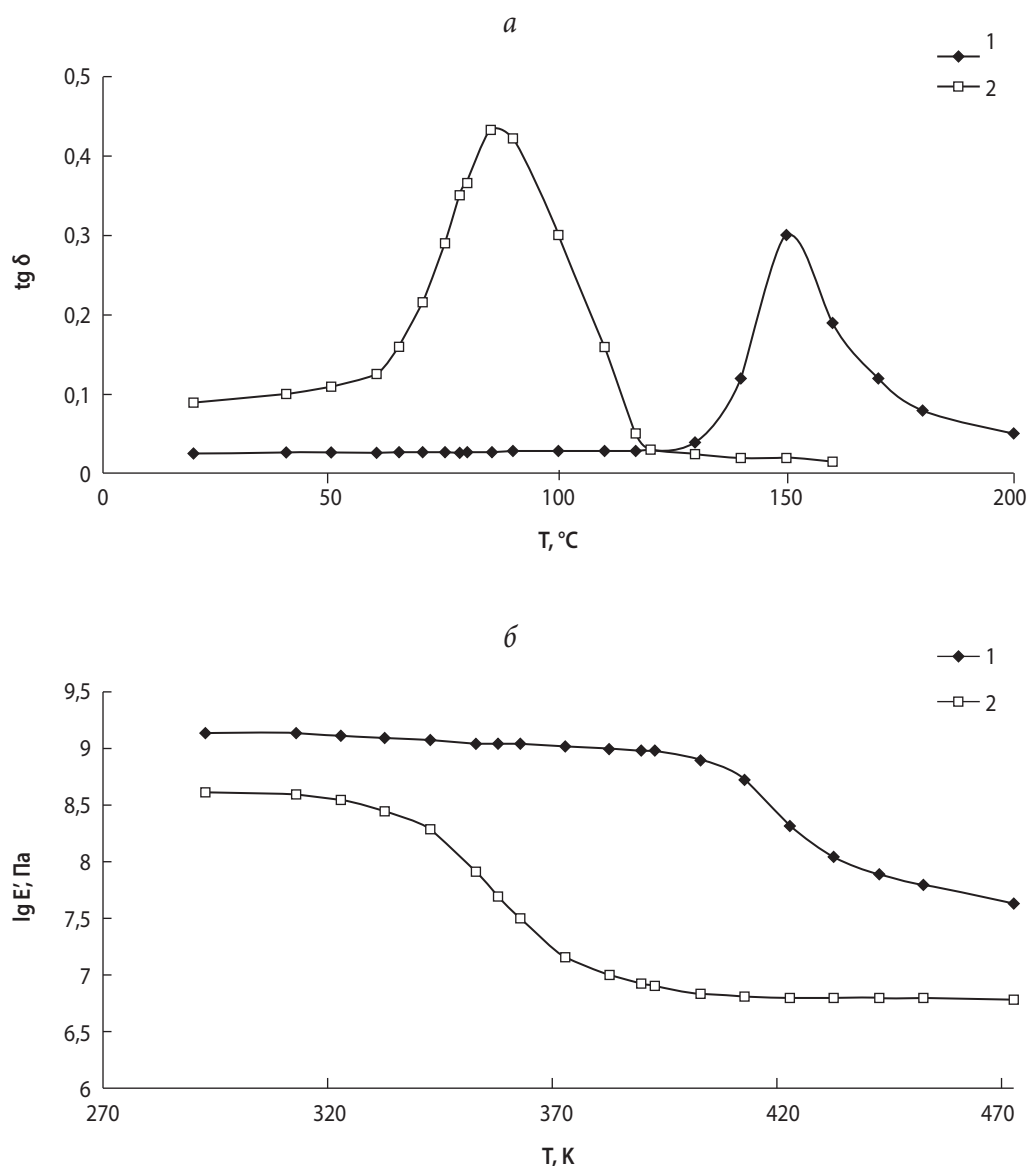
является увеличение динамического модуля упругости в температурном интервале 100–135 °С (рис. 16).



**Рис. 1.** Зависимость  $\text{tg } \delta$  (а) и  $\lg E'$  (б) от температуры ( $T$ ) для образцов на основе ПРТЭ, отвержденных по режиму I. Содержание тиокола равно: 0 (1), 10 (2), 20 (3), 60 (4) и 100 (5) масс. ч. на 100 масс. ч. ЭО Epikote-828

Наконец, если образец предварительно был подвергнут термообработке при 120 °С, т.е. процесс доотверждения уже был завершен до начала сканирования образца, то для него на зависимости  $\text{tg } \delta - T$  этот вторичный максимум не проявляется (рис. 2). Интенсивность первичного максимума при этом сильно снижается (с 1,05 до 0,30, а его положение существенно смещается в сторону более высоких температур (с 78 до 150 °С)).





**Рис. 2.** Зависимость  $\text{tg } \delta$  (а) и  $\lg E'$  (б) от температуры (Т) для образцов на основе ПРТЭ, отвержденных по режиму II. Содержание тиокола равно: 0 (1) и 100 (2) масс. ч. на 100 масс. ч. эпоксидной смолы

В случае образцов, содержащих каучук, максимум, связанный с процессом доотверждения, быстро вырождается по мере увеличения содержания модификатора. Это может свидетельствовать о том, что наличие в композиции тиокола способствует большей конверсии реакционноспособных групп. Вследствие этого при добавках тиокола вплоть до 60 масс.ч. температура максимального значения тангенса угла механических потерь ( $\text{tg } \delta_m$ ) повышается на 5–7 °С относительно базового полимера.

Выявлены значительные различия в величинах  $\text{tg } \delta_m$  для непрогретых и термообработанных образцов в области сравнительно небольших концентраций тиокола.

Высокие значения  $\text{tg } \delta_m$  для образцов, отвержденных по режиму I, могут быть объяснены наложением эффектов, обусловленных стеклованием, и конформационных перегруппировок молекул, связанных с протеканием реакции доотверждения эпоксидной матрицы в области повышенных температур, где проявляется этот максимум. После термообработки при 120 °С процесс доотверждения уже реализован, и это приводит к существенному уменьшению интенсивности данного релаксационного перехода. Наблюдаемые эффекты могут быть объяснены тем, что в результате проведения ПРТЭ формируются более длинные участки цепи между узлами сетки. Эти длинные участки при переходе в высокоэластическое состояние обуславливают большие потери механической энергии, что находит свое отражение в увеличении значений  $\text{tg } \delta_m$ . Величина самого  $\text{tg } \delta_m$ , связанного с расстеклованием эпоксидного полимера, для образцов, отвержденных без подвода тепла, монотонно уменьшается с увеличением концентрации каучука, особенно быстро в области малых добавок. Это явление можно объяснить уменьшением в смеси доли эпоксидной компоненты по мере увеличения содержания тиокола. В то же время для термообработанных образцов величина  $\text{tg } \delta_m$  не снижается, а наоборот, несколько возрастает с увеличением концентрации тиокола. Этот эффект, по-видимому, обусловлен затруднениями перемещения участков цепи эпоксидного полимера, ответственных за проявление максимума  $\text{tg } \delta_m$ , в результате прививки к ним некоторой доли молекул каучука за счет химического взаимодействия оксирановых и меркаптановых групп в процессе термообработки при 120 °С.

Установлено, что характер изменения параметра  $\text{tg } \delta_m$  с увеличением концентрации тиокола для продуктов ПРТЭ и механических смесей (МС) различен. При малых содержаниях модификатора для образцов, отвержденных по режиму I, наблюдается рост  $\text{tg } \delta_m$  для продукта ПРТЭ и МС с образованием максимума при концентрации тиокола 10 масс. ч. В дальнейшем для продукта ПРТЭ имеет место монотонное снижение  $\text{tg } \delta_m$  с выходом на плато при  $C > 100$  масс. ч. Для МС уменьшение  $\text{tg } \delta_m$  также происходит до  $C = 100$  масс. ч., однако затем наблюдается рост  $\text{tg } \delta_m$  до значений, присущих продукту ПРТЭ.

Таким образом, проведено системное исследование зависимости динамических механических свойств полимерных материалов на основе смесей эпоксидной смолы с полисульфидным каучуком в зависимости от условий совмещения компонентов (проведение предварительной реакции тиоэтерификации или механическое смешение), содержания каучука и режимов отверждения композиции. Показано, что величина максимума тангенса угла механических потерь, связанного с расстеклованием эпоксидной матрицы, уменьшается по мере увеличения в ней содержания каучука. Положение максимума при этом смещается в сторону меньших температур испытания. Установлено, что для композитов, отвержденных при комнатной температуре, при добавках каучука вплоть до 60 масс. ч. температура максимума тангенса угла механических потерь повышается на 5–7 °С относительно базово-

го эпоксидного полимера. Установлено, что характер изменения параметра  $\text{tg } \delta_m$  с увеличением концентрации модификатора для продуктов предварительной реакции тиоэтерификации и механических смесей различен. С ростом содержания каучука для продуктов ПРТЭ независимо от режима отверждения снижение температуры  $\text{tg } \delta_m$  происходит медленнее, чем это предсказывается аналитическими зависимостями для полностью совместимых компонентов. Показано, что после термообработки образцов наблюдается ощутимый рост модуля упругости в высокоэластическом состоянии, плотности узлов химической сетки, температуры перехода из стеклообразного в высокоэластическое состояние, а также температур, при которых достигаются максимальные значения модуля потерь и тангенса угла механических потерь. Термообработка способствует улучшению совместимости компонентов в композитах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Nielsen L.E., Landel R.F.* Mechanical properties of polymers and composites / 2<sup>nd</sup> ed. New York: Marcel Dekker, 1994. 580 p.
2. *Shaw M.T., MacKnight W.J.* Introduction to polymer viscoelasticity (4<sup>rd</sup> ed.). New Jersey: John Wiley&Sons, 2018. 384 p.
3. *Sukhyu K.M., Belanovskaya E.A., Sukhyu M.K., Kryshen V.P., Huang Y., Kocherhin Yu., Hryhorenko T.* Properties of epoxy-thiokol materials based on the products of preliminary reaction of thioetherification // *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii.* 2021. No. 3. P. 128–136.

## ЭПОКСИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ СЕРОСОДЕРЖАЩИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ

*Ю.С. Кочергин, Т.И. Григоренко, Йиги Ву*

*Харбинский технологический институт, Харбин, Китай  
grigorencot@rambler.ru*

Поломки, износ, протечи и коррозия являются непредвиденными факторами, способными привести к неприятным и дорогостоящим последствиям. Часто ремонты обычным способом, такими как сварка и пайка, не могут быть осуществлены из-за высокого риска пожара, взрыва или изменения структуры материала. Кроме того, они требуют больших временных затрат на демонтаж, поставку запчастей, последующие монтаж, настройку, что приводит к большой потере продукции. Альтернативой в решении этих проблем являются полимерные композиционные материалы, например UNIREP (фирма Unirep Engineering, ФРГ) и др., позволяющие осуществлять ремонт оборудования в различных отраслях техники методом «холодной сварки». Материалы марки UNIREP применяются там, где необходимо устранение последствий аварий, износа, коррозии, эрозии, кавитации, протечек, прорывов; где сварка неприменима или нецелесообразна (например, из-за опасности пожара или взрыва, деформации металла или особенностей его структуры). Материалы обладают высокой долговечностью и устойчивостью к внешним воздействиям, а также длительным сроком хранения без потери своих свойств.

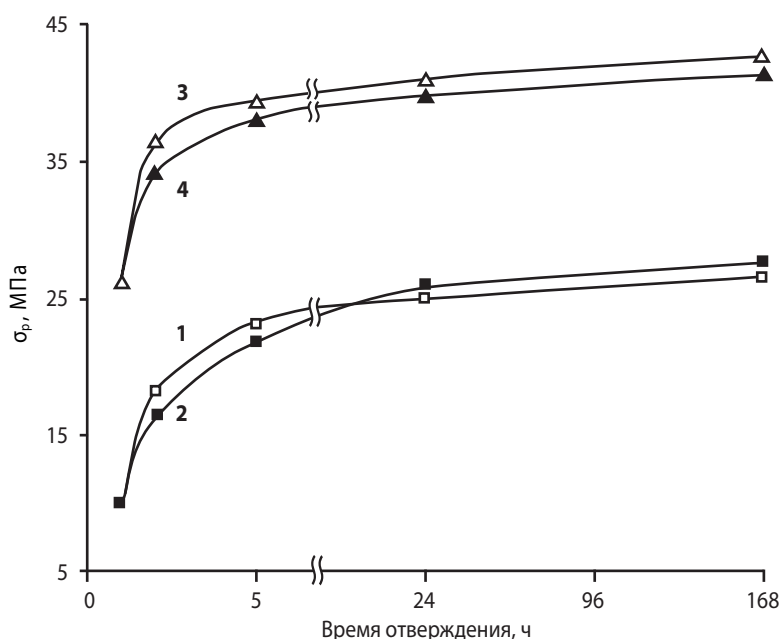
Данный вид ремонта подходит для химической промышленности, нефтегазодобывающих и перерабатывающих предприятий, сталепрокатного производства, машиностроения и машиноремонта, судоремонта, энергетики, горно- и рудообогащения, целлюлозно-бумажной, сахароперерабатывающей и многих других отраслей промышленности. Так, композиция UNIREP-1 представляет собой пастообразный быстроотвердевающий материал для срочных ремонтов и герметизации протечек трубопроводов, резервуаров и т.п. Композиция UNIREP-2 – жидкий материал для покрытия поверхностей резервуаров, уплотнения клепаных и сварных швов, а UNIREP-3 – пастообразный материал, который применяется для ремонта машин и механизмов в связи с поломками и износом, и требует последующей механической обработки.

Проведенный нами комплекс поисковых работ показал принципиальную возможность создания подобных материалов на отечественной сырьевой базе. В про-



Видно (рис. 1), что композиции уже через 0,5 ч после приготовления (смешение смоляной части с отвердителем) обеспечивают достаточно высокий уровень адгезионной прочности. Что касается когезионной прочности (рис. 2), то она также быстро возрастает при малых периодах экспозиции (до ~ 2 ч), а затем рост  $\sigma_p$  резко замедляется. При этом величина когезионной прочности существенно зависит от температуры, при которой происходит отверждение.

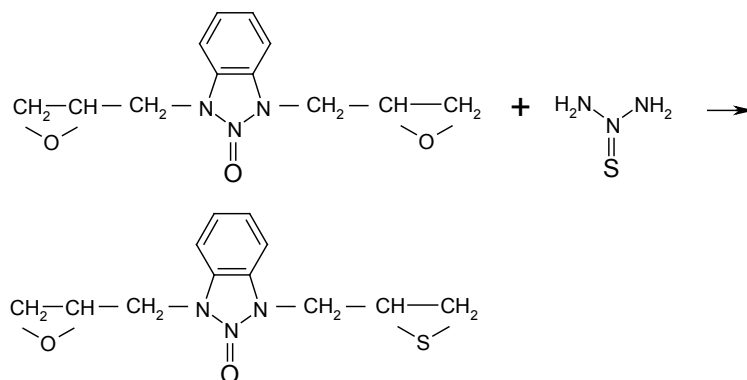
Деформация при разрыве, наоборот, вначале ощутимо уменьшается, а затем немного увеличивается. Такое поведение параметров прочности и деформации может быть связано с различным соотношением плотностей химической и физической сеток в процессе отверждения полимера. На начальном этапе превалирует процесс образования физических связей за счет полярных групп смолы и отвердителя, что приводит к увеличению прочности и снижению деформации. При больших периодах времени определяющую роль играют процессы химического взаимодействия. Увеличение плотности химической сетки уменьшает роль физической сетки и приводит к увеличению доли свободного объема, что облегчает конформационные перегруппировки и, как следствие, способствует большей деформации образца. При этом также несколько уменьшается его прочность.



**Рис. 2.** Зависимость когезионной прочности ( $\sigma_p$ ) от времени отверждения для композиций на основе тирана, отвержденных при температурах 5 (1, 2) и 22 °C (3, 4). Содержание отвердителя составляет 20 (1, 3) и 25 (2, 4) масс. ч. на 100 масс. ч. тирана

Как известно, применение соединений, содержащих гетероциклы, позволяет ощутимо улучшить такие свойства полимеров как тепло-, свето-, погодостойкость. Целесообразно исследовать для модификации эпоксидных полимеров эпоксигете-

роциклическую систему, представляющую собой эпоксиэтирированное производное бензмидазолона-2 (ЭТПБИ). Синтез ЭТПБИ осуществляли путем взаимодействия 1,3-диглицидилбензимидазолона-2 с тиомочевинной или роданидами в спиртовой среде.



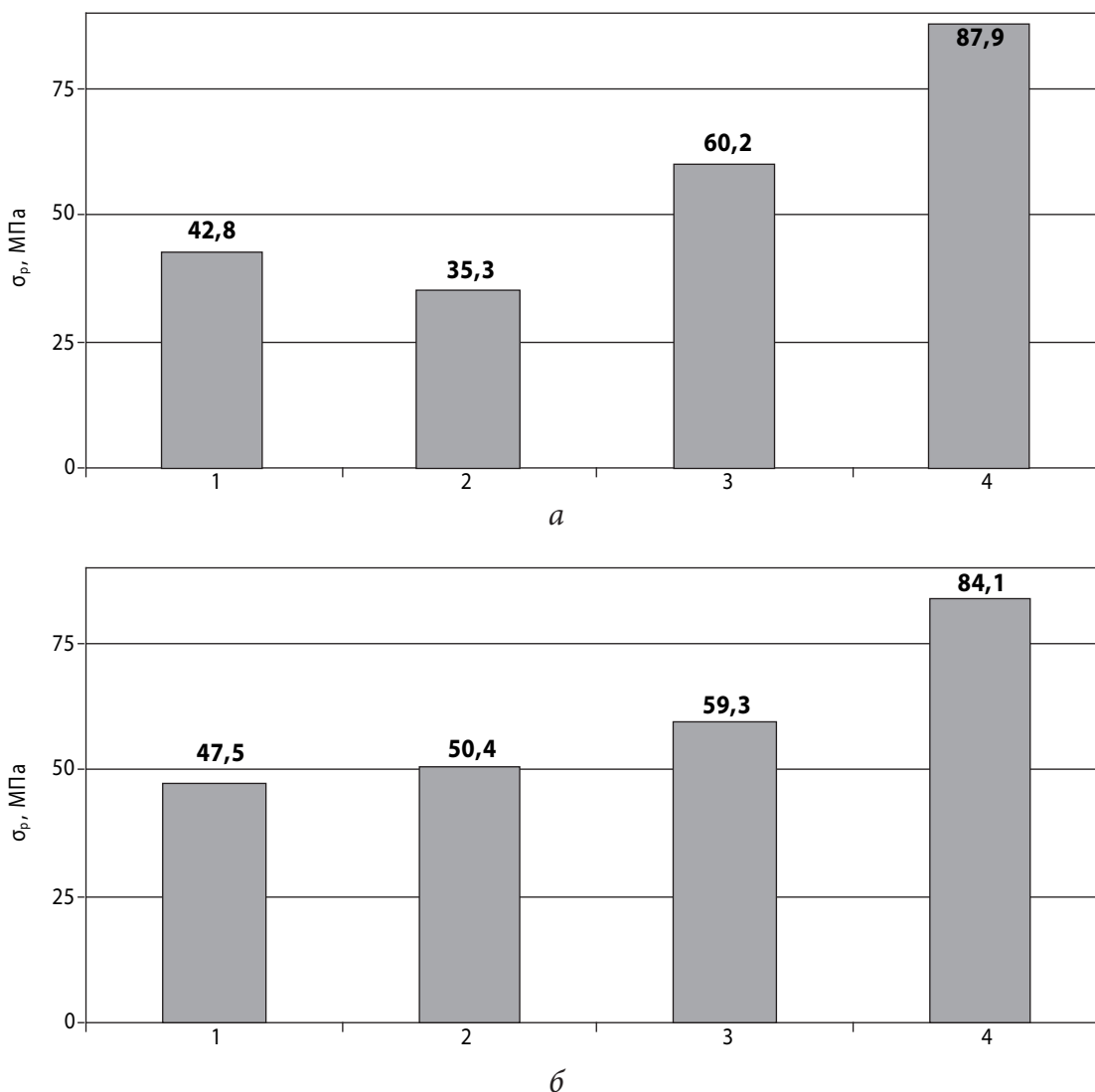
В качестве основы смоляной части была выбрана ЭС марки Epikote-828 и обеспечивающий более высокие значения статической и динамической адгезионной прочности, деформационной способности и ударостойкости продукт ее реакции тиоэтерификации (ПРТЭ) с жидким полисульфидным каучуком. Соотношение ЭС : каучук составляло 100 : 20 масс.ч. Реакцию тиоэтерификации проводили при 160 °С в течение 2 ч. Совмещение ЭТБИ с исходной смолой и ПРТЭ с проводили при температурах (80–100 °С), что выше температуры плавления ЭТПБИ (70–72 °С). При этом имело место полное растворение компонентов, что связано с близкими значениями их параметров растворимости (20,8 и 21,4 (МДж/м<sup>3</sup>) 0,5 соответственно для эпоксидной смолы и эпоксиэтирированного производного бензмидазолона-2).

Установлено, что введение в эпоксидные и эпоксидно-каучуковые композиции ЭТПБИ способствует увеличению их теплостойкости, модуля упругости, когезионной (рис. 3) и адгезионной прочности, особенно при повышенных температурах испытания. Величина эффекта зависит от концентрации ЭТПБИ, температуры отверждения, наличия каучука и других факторов.

Так, при добавке ЭТПБИ в композицию на основе исходной смолы Epikote-828 когезионная прочность снижается для образцов, отвержденных без подвода тепла (рис. 3а), и довольно ощутимо возрастает (почти на 50 %) для термообработанных образцов (рис. 3б). В случае эпоксидно-тиоколовой композиции увеличение  $\sigma_p$  наблюдается как для образцов, отвержденных при комнатной температуре, так и для термообработанных образцов.

Полученные результаты могут быть объяснены следующим образом. Априори, это насыщение эпоксидной матрицы высокополярными гетероциклическими ядрами, способствующими повышению теплостойкости и модуля упругости в результате образования дополнительных водородных связей между молекулами ЭС, ЭТПБИ и отвердителя. Со стороны ЭТПБИ в их образовании, очевидно, будут

принимать участие связь C=O, со стороны отвердителя NH-группы, а со стороны ЭС – OH-группы. Наблюдаемый характер изменения деформации при разрыве при введении ЭТПБИ сходен с влиянием дисперсных наполнителей на величину этого параметра. Это дает основание предположить, что при отверждении эпоксидной матрицы ЭТПБИ, по-видимому, выделяется в частицы самостоятельной фазы, выполняющие роль усиливающего наполнителя.



**Рис. 3.** Влияние добавки ЭТПБИ на прочность при растяжении для образцов, отвержденных по режимам: 22 °C/168ч (а) и 22 °C/24ч+120 °C/3ч (б). 1, 2 – образцы на основе исходной смолы Epicote-828; 3, 4 – образцы на основе ПРТЭ. Содержание ЭТПБИ: 0 (1, 3) и 20 (2, 4) масс. ч

Наконец, в результате термообработки при 120 °C в течение 3 ч, помимо отверждения эпоксидной матрицы, очевидно, имеет место химическое взаимодействие оксиранового цикла ЭТПБИ с непрореагировавшей в процессе формиро-



вания эпоксидной матрицы частью отвердителя. Кроме того, возможно раскрытие тиранового кольца с образованием меркаптана, который быстро реагирует с эпоксидной смолой [Ли, Невилл, 1973; Нгуен и др., 2017].

Таким образом, результаты проведенного исследования позволили разработать быстроотверждаемые и теплостойкие эпоксидные композиции, которые могут быть использованы для срочного ремонта оборудования без применения пайки, сварки и демонтажа на предприятиях металлургической, угольной промышленности, жилищно-коммунального хозяйства и др.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ли Х., Невилл К. Справочное руководство по эпоксидным смолам. М.: Энергия, 1973. 416 с.
2. Нгуен В.Н., Костромина Н.В., Осипчик В.С., Аристов В.М. Влияние природы отверждающих систем и элементоорганических соединений на процесс отверждения эпоксидного олигомера // Успехи в химии и химической технологии. 2017. Т. 31. № 11. С. 76–78.

## АВАРИЙНАЯ СИТУАЦИЯ ПРИ МОРСКОЙ ДОБЫЧЕ НЕФТИ И ГАЗА КАК УГРОЗА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

*А.Ш. Мамедов*

---

*Московский областной филиал Московского университета  
Министерства внутренних дел Российской Федерации им. В.Я. Кикотя,  
п. Старотеряево, Рузский городской окр., Московская обл.  
bulvar1969@mail.ru*

Развитие работ по добыче нефти и газа на континентальном шельфе, наряду с экономической целесообразностью, может иметь ряд негативных последствий, связанных с неблагоприятным воздействием на окружающую среду (ОС), и требует учета усложняющихся связей системы «человек – машина – среда», поиска путей и средств их взаимодействия. Одним из эффективных методов выявления и использования связей, реально существующих между техникой и технологией производства, их взаимодействия с человеком и ОС является системный подход, рассматривающий в единстве и взаимосвязи элементы и процессы сложных систем. Особенностью морской добычи нефти и газа является повышенная вероятность возникновения аварий, сопровождающихся выбросом в атмосферу и водную среду опасных загрязнителей: углеводородных токсичных газов, химических реагентов, буровых растворов, продуктов бурения (шлам), пластовых вод и т.п.

Существование широкой номенклатуры потенциальных источников загрязнения на нефтегазопромысловом шельфе (выбросы при авариях из скважин, трубопроводов и нефтехранилищ; образование грифонов, утечка нефтепродуктов из подводных хранилищ и трубопроводов; выбросы при нарушении герметичности технологического оборудования, резервуаров и пр.) при высокой плотности размещения на буровых и эксплуатационных платформах технологического оборудования и систем производственных, жилых и складских помещений, развитой сети подводных коммуникаций создают сложности в определении источников аварийной ситуации (АС). В связи с этим выявление очагов загрязнения, оценка степени загрязнения морской воды и атмосферы является сложной научно-технической задачей, требующей создания надежной системы наблюдения и контроля – мониторинга загрязнения ОС. Состояние ОС определяется воздействием возмущающих факторов, часть из которых зависит от деятельности человека и

может им регулироваться. Отклонение характеристик состояния ОС от своих нормальных значений, нанесенный среде ущерб могут быть минимальными при устранении неблагоприятных производственных опасностей, обеспечении безаварийной эксплуатации техники в условиях воздействия возмущающих факторов (ветроволновые нагрузки, коррозия, ледовые нагрузки и пр.), организации эффективной системы мониторинга. При этом вредное воздействие на ОС должно быть устранено или ослаблено за счет осуществления конструктивных или организационных мероприятий в процессе проектирования, создания и эксплуатации производственных систем, введения систем целенаправленного управления качеством ОС [Вылкован и др., 2000].

Аварийные ситуации на морских платформах могут возникать как внутри, так и вне технологических процессов добычи нефти и газа. Причиной аварий могут являться как неисправности технологического оборудования и систем, обеспечивающих нормальный ход технологических процессов, так и активное воздействие факторов ОС, способных произвести разрушение платформы, оборудования и, как следствие, вызвать аварии, человеческие жертвы, принести большой материальный и экологический ущерб.

Нормальное состояние объекта характеризуется оптимальным ходом технологического процесса добычи, исправным состоянием оборудования, технических средств контроля и управления, безопасным состоянием ОС. Под влиянием внутренних и внешних возмущающих факторов значение параметров безопасности может выйти за пределы допустимых норм. При этом объект переходит либо в предаварийное состояние, если с помощью управляющих воздействий возможно вернуть объект в исходное, нормальное, состояние, либо в аварийное, если процесс не управляем. В последнем случае, чтобы избежать аварии, необходимо остановить процесс добычи, отключить соответствующее оборудование, включить средства активного воздействия на источник аварии [Маценко и др., 2009].

Безаварийная эксплуатация объекта шельфа не может быть достигнута только за счет разработки совершенной технологической схемы, повышения надежности технологического оборудования и обслуживающих систем. Необходима разработка эффективного противоаварийного оборудования, автоматизированных систем безопасности и мониторинга ОС на основе системного подхода к изучению объекта, математического описания потенциально опасных процессов развития АС, аналитически обоснованного выбора технических средств, информационного, алгоритмического и организационного обеспечения. Неотъемлемой частью решения этой проблемы является экономическая оптимизация характеристик указанной системы, достижение максимальной эффективности и безаварийной работы нефтегазопромыслов, сохранение чистоты воздушной и водной среды при минимальных экономических затратах и стоимости эксплуатации. Автома-

тизация измерений и процессов контроля, формализация при оценке и прогнозировании ситуаций и принятие решений на основе математических методов обработки информации позволяет исключить влияние ошибок операторов, повысить безопасность проведения работ и охрану ОС на нефтегазопромыслах шельфа. При такой постановке задачи система мониторинга ОС является составной частью единой многофункциональной распределенной системы управления месторождения, которая обеспечивает контроль качества ОС, функционирование технологических процессов добычи и транспортировки нефти и газа, позволяет своевременно выявлять пожаровзрывоопасные источники (места утечки нефтепродуктов и вредных примесей), определение степени и характера загрязнения при постоянном контроле технического состояния конструкций морских сооружений, технологического оборудования и систем). Мониторинг загрязнения на акваториях месторождений требует как оперативного (непрерывного) контроля непосредственно в районе морских стационарных платформ (МСП) (зона 1), так и периодического контроля загрязнения периферийных зон (зона 2) мобильными средствами (или с помощью буйковых станций в прилегающих акваториях), выполняемого, как правило, специализированными службами [Золотарев и др., 2007].

Система мониторинга строится по иерархическому принципу. На нижнем уровне, уровне автоматизированных систем, установленных на МСП, определяется степень и характер загрязнения ОС с целью выявления мест утечки нефтепродуктов и вредных примесей. Система верхнего уровня иерархии располагается на берегу или центральной кустовой (технологической) платформе. На основе обработки информации, поступающей по радио или телеметрическим каналам связи и систем, расположенных на МСП и буйковых станциях в прилегающих к месторождению акваториях, определяется уровень и направление распространения загрязнений в данном регионе.

В настоящей работе рассматривается система оперативного контроля параметров воздушной и водной среды, которые могут достаточно быстро изменяться в результате нарушения нормального функционирования технологического оборудования или нефте- и газопроявлений в районе МСП (например, за счет образования грифонов). Параметры загрязнения воздушной и водной среды, не подвергающиеся резким изменениям вследствие функционирования морских платформ, целесообразно контролировать периодически (в данной работе не рассматривается). Такой подход позволяет оптимизировать номенклатуру контролируемых загрязнителей и их параметров, организовать контроль с целью их своевременного выявления и ликвидации возможных очагов загрязнения на ранних стадиях.

Из большой номенклатуры возможных загрязнителей и показателей качества морской воды для автоматического контроля и анализа выбраны репрезентатив-

ные показатели, позволяющие интегрально оценивать качество морской воды. Учитывая, что основным источником загрязнения на морских промыслах является утечка нефти и газа при повреждениях технологического оборудования, аварийных выбросах, образования грифонов и т.д., в качестве контролируемых выбраны следующие параметров: наличие нефтяной пленки на поверхности воды; растворенные в воде нефтепродукты; содержание в воде растворенного кислорода; показатель кислотности воды (рН).

При оценке загрязнения воздушной среды для большинства месторождений нефти и газа на шельфе основными показателями являются содержание взрывоопасных газов (паров нефти) метановой группы, содержание CO, CO<sub>2</sub> (в некоторых случаях H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> и др.) [Зоненко, Иваник, 1984]. Контроль перечисленных выше параметров загрязнения воздушной и водной сред осуществляется соответствующими контрольно-предупредительными подсистемами, входящими в состав автоматизированной системы безопасности контроля загрязнения (АСБКЗ) окружающей среды и управления технологическими процессами (УТП) добычи нефти и газа морских стационарных платформ. Указанные подсистемы обладают большой степенью автономности и могут применяться самостоятельно [Мамедов, 2020].

Оперативный контроль качества морской воды обеспечивается автономной подсистемой контроля загрязнения, в состав которой входят: пробозаборное устройство, измерительный блок, микропроцессорный блок управления, средства отображения информации и сигнализации. Пробозаборное устройство включает в себя устройство для спуска-подъема погружного насоса с гибким трубопроводом, по которому вода подается в кюветы с первичными датчиками. Такое устройство позволяет контролировать качество воды от дна до поверхностных слоев. Определение содержания нефтепродуктов в воде осуществляется методом инфракрасной спектрофотометрии, который обладает достаточно высокой чувствительностью и позволяет определять малые концентрации нефти, нефтепродуктов и минеральных масел в морской воде. Нефтяная пленка определяется методом лазерной локации поверхности воды. Содержание растворенного кислорода в морской воде определяется при помощи полярографических датчиков с твердыми электродами. Водородный показатель рН определяется электрометрическим методом.

Подсистема контроля воздушной среды состоит из первичных датчиков, согласующихся устройств, микропроцессорного комплекса сбора и обработки информации, средств диспетчеризации [Мамедов, 2010а]. Датчики концентрации взрывоопасных и токсичных газов устанавливаются в помещениях и на открытых площадках МСП, где возможно их выделение и скопление. Количество и место установки датчиков зависят от особенностей месторождения, конструкции МСП, состава технологического оборудования и могут колебаться в широких пределах.



При этом датчики, устанавливаемые во взрывоопасных зонах, должны иметь соответствующее взрывобезопасное использование.

Количество и место установки датчиков для контроля оборудования определяются в соответствии с требованиями нормативных документов и правилами безопасного ведения работ на МСП. Ввод сигналов с датчиков в микропроцессорные комплексы обеспечивается через согласующие устройства, которые в необходимых случаях имеют небезопасные входные цепи и обеспечивают нормализацию выходных сигналов датчиков до уровней, принимаемых устройством сопряжения с объектом микропроцессорных комплексов. Микропроцессорные комплексы функционируют в соответствии с заданным алгоритмом по программе, хранящейся в постоянной (полупостоянной) памяти [Мамедов, 2010б]. Программой предусматривается опрос датчиков, первичная обработка информации, включая определение текущих значений измеряемых параметров, их сравнение с заданными параметрами, формирование сигналов на включение световой и звуковой сигнализации, формирование сигналов управления исполнительными устройствами, обеспечивающими перекрытие трубопроводов, отключение оборудования и пр. Использование в системе развитого математического, общего и специального программного обеспечения позволяет осуществлять первичную обработку показаний датчиков на основе как математических моделей оценки, так и прогноза с учетом гидрометеопараметров (в состав комплексной системы входит подсистема контроля гидрометеопараметров, обеспечивающая измерение направления и скорости ветра, направления и скорости течения, волнения и др.), рассчитать степень загрязнения морской среды, направление и скорость распространения нефтяного загрязнения, произвести коррекцию и восстановление данных и т.п. Принятые в системе методы представления и хранения информации позволяют оценивать не только текущие значения параметров, но и выявлять тенденции их изменений за длительный промежуток времени [Яковлев, 2003].

Система выполнена по блочно-модульному принципу на базе микропроцессорных комплексов и интегральных микросхем. Агрегатирование устройств системы на уровнях модулей, блоков позволяет изменять ее конфигурацию для решения задач, а программное обеспечение – производить настройку системы в зависимости от особенностей и эволюции объекта. В системе АСБКЗ и УТП производится автоматическое отображение отчетной информации на дисплее и печать суточных рапортов о состоянии воздушной и водной среды, выходы за установленные пределы с указанием времени и места события. Система имеет стандартные средства подключения к серийной аппаратуре передачи данных по радио- или телемеханическим каналам, что позволяет использовать системы безопасности МСП для организации контроля загрязнения воздушной и водной среды в нефтегазодобывающих районах шельфа.

Основные технические характеристики подсистем контроля загрязнения воздушной и водной среды системы АСКЗ:

1. Количество подключаемых датчиков – до 64;
2. Максимальная длина линий связи между датчиками и центральной частью системы – 300 м;
3. Диапазон измерения концентрации горючих газов, паров нефти – 0–100 % НПВ;
4. Содержание растворенного в воде кислорода – 0–10 мг/л;
5. Водородный показатель (рН) – 4–10;
6. Содержание растворенных в воде нефтепродуктов – 0–10 мг/л;
7. Наличие на поверхности воды нефтяной пленки – да (нет).

Количество уровней сравнения и сигнализации – 2. При изготовлении и настройке системы способ задания установок – программный. Представление информации – цифровое: периодически – каждые 2 часа, спорадически – при обнаружении отклонения от нормы контролируемого параметра. В качестве средств отображения информации используются такие средства, как звуковая и световая сигнализация, мосхема, дисплей и цифropечать, обеспечивающие представление суточных рапортов и регистрацию сообщений в аварийных ситуациях.

Таким образом, на стационарных морских платформах газоконденсатного месторождения Каспийского моря проводились опытные испытания первой очереди автоматизированной системы безопасности, контроль технологических параметров и загрязнения окружающей среды (АСКЗ). В состав АСКЗ входят также подсистемы контроля гидро- и метеопараметров, обеспечивающие измерение волнения, температуры морской воды, направления и скорости течения, температуры воздуха, атмосферного давления, направления и скорости ветра.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вылкован А.И., Венциулис Л.С., Зайцев В.М., Филатов В.Д.* Современные методы и средства борьбы с разливами нефти. СПб.: Центр-Техинформ, 2000. 309 с.
2. *Маценко С.В., Волков Г.Г., Волкова Т.А.* Ликвидация разливов нефти и нефтепродуктов на море и внутренних акваториях. Расчет достаточности сил и средств: методические рекомендации. Новороссийск: МГА им. адм. Ф.Ф. Ушакова, 2009. 78 с.
3. *Золотарев В.А., Соколов А.М., Янович М.В.* Нефть и безопасность России. М.: Оружие и технологии, 2007. 355 с.
4. *Зоненко В.И., Иваник И.В.* Оценка надежности морских нефтегазопроводов // Строительство предприятий нефтяной и газовой промышленности. М.: 1984. Вып. 3. С. 12–18.
5. *Мамедов А.Ш.* Пути экологической безопасности и ликвидации разливов нефти на водных объектах с применением боновых заграждений // Закономерности

- формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и промышленных вызовов («Опасные явления – II»): мат-лы II Междунар. науч. конф. памяти чл.-корр. РАН Д.Г. Матишова (г. Ростов-на-Дону, 6–10 июля 2020 г.). Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2020. С. 298.
6. *Мамедов А.Ш.* Обоснование по обеспечению прочности устья скважин при ликвидации нефтегазоводопроявлений // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. (г. Екатеринбург, 13–17 апр. 2010 г.). Екатеринбург, 2010а. С. 147–148.
  7. *Мамедов А.Ш.* Организация и ведение аварийно-спасательных работ: курс лекций. Ч. 2. Екатеринбург: УГГУ, 2010б. 185 с.
  8. *Яковлев В.В.* Нефть. Газ. Последствия аварийных ситуаций. СПб.: СПбГПУ, 2003. 416 с.

## ПРОЦЕССЫ ПОДТОПЛЕНИЯ И ИНТРУЗИИ МОРСКИХ ВОД В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ДЕЛЬТЫ КУБАНИ (ТЕМРЮКСКИЙ РАЙОН) И ОЦЕНКА ТРЕНДА ИХ РАЗВИТИЯ

*С.Г. Миронюк*

---

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
г. Москва, Россия  
mironyuksg@gmail.com*

В последнее время во многих странах мира, имеющих выход к морю, усилилась тенденция смещения населения и производств к побережью [Айбулатов, Артюхин, 1993; Долотов, 1996]. В России особенно высока антропогенная нагрузка на Азово-Черноморское побережье [Геоэкология ... 2001; Кропянко и др., 2015; Экологический атлас ... 2011]. Так, согласно «Экологической карте России» [1999] уже в конце прошлого века экологическая ситуация в нижнем течении р. Кубань (где расположен участок наших исследований) оценивалась как «острая». Основными экологическими проблемами являлись: загрязнение почв, истощение и загрязнение поверхностных вод суши, утрата продуктивных земель по причине отчуждения сельскохозяйственных угодий и др. Следует заметить, что потеря продуктивных земельных ресурсов происходит не только из-за изменения целевого назначения земельных участков, но и в результате подтопления, заболачивания, абразии и других негативных процессов в береговой зоне Азовского моря.

Характеристике, изучению причин, масштабам проявления и прогнозу переработки берегов Азовского моря посвящена обширная литература [Беспалова и др., 2019; Дикарёв, 2018; Лукьянова, Соловьева, 2009; Мамыкина, Хрусталева, 1980; Матишов и др., 2016; Пешков, 2003; Современные опасные экзогенные процессы ... 2015; Филиппов, 2015]. Среди основных факторов развития абразии выделяют штормовые нагоны, повышение уровня моря, геологическое строение берегового массива, литологический тип пород и их свойства (наличие легкоразмываемых суглинистых отложений в береговых обрывах), обвально-оползневые процессы, активизирующие абразию, и др. Прогнозируется, что в «условиях ожидаемых изменений уровня моря и связанных с ним процессов» в дельте р. Кубань возможно затопление более 900 км<sup>2</sup> суши [Селиванов, 2001].

Глобальный процесс современной трансгрессии морей Мирового океана вызывает еще целый ряд негативных природных процессов (каскадное проявление про-

цессов), кратко рассмотренных в данной статье, среди них: подтопление, интрузия морских вод, повышение сейсмической опасности по мере обводнения грунтов, усиление коррозионной активности грунтов.

Основные материалы, положенные в основу данной статьи, были получены в ходе инженерных изысканий для строительства базы берегового обеспечения в порту г. Темрюк, выполненные в течение 2012–2013 гг.

Порт Темрюк расположен на восточном побережье Азовского моря, в районе современной дельты р. Кубань. Согласно геоморфологической схеме дельты Кубани в районе изысканий выделяют два типа рельефа: аллювиально-дельтовую современную равнину (молодую) и прибрежно-морскую лагунно-лиманную позднеголоценовую, а также современную равнину (плавни) [Коротаев, 2012]. Геологический разрез участка работ характеризуется значительной фациальной изменчивостью слагающих ее отложений, в составе которых, кроме аллювиальных песков и суглинков, присутствуют морские, лагунно-лиманские голоценовые отложения, а в нижней части толщи – морские неоплейстоценовые осадки. Подстилают четвертичные образования глинистые и песчаные отложения верхнего плиоцена ( $N_2^3$ ). В ряде мест толща перекрыта техногенными (насыпными) грунтами. По результатам инженерно-геологических изысканий в чехле покровных отложений выделено 13 инженерно-геологических элементов, представленных преимущественно илами, песками, глинами, суглинками. С северо-востока район работ ограничивает Ахтарская морская терраса, а на юге – Курчанская возвышенность. Абсолютные отметки поверхности на площадке строительства изменяются от –0,15 м до 3,30 м.

Основной массив информации, собранный для решения главной задачи исследований, а именно, для характеристики опасных природных процессов, включал данные:

- 1) рекогносцировочного обследования территории;
- 2) буровых работ, выполненных как в пределах акватории (осуществлялись с малой самоподъемной платформы «Малютка»), так и на суше (бурение производилось станком типа ПБУ-2). Глубина пробуренных скважин – 40–50 м;
- 3) полевых (статическое зондирование) и лабораторных испытаний грунтов;
- 4) гидрогеологических наблюдений и лабораторных исследований состава подземных вод;
- 5) геофизических исследований (сейсморазведка методами КМПВ для выполнения сейсмического микрорайонирования (СМР) и отраженных волн в модификации общей глубинной точки (МОВ ОГТ), электроразведка методом электротомографии (ЭТ)).

Как показал опыт, ЭТ является основным методом при изучении морской интрузии и является приоритетным по отношению к другим полевым методам для количественной региональной оценки минерализации подземных вод по величине



удельного электрического сопротивления [Миронюк, Хлебникова, 2022]. Полевым работам предшествовал сбор и анализ фондовых материалов изысканий, выполненных сторонними организациями в период с 1994 по 2005 г.

Установлено, что в пределах участка изысканий к наиболее опасным природным процессам относятся: подтопление (затопление), интрузия морских вод и обусловленные ими повышенные агрессивность и коррозионная активность подземных вод и грунтов и сейсмическая балльность.

*Подтопление (затопление).* По нашим оценкам [Природный риск ... 2004], подтопление на Таманском полуострове еще в начале нынешнего столетия было отнесено к «весьма опасной» категории опасности процессов. Изученная площадка строительства является подтопленной в естественных условиях (СП 11 – 105 – 97 часть II. Приложение «И»). Гидрогеологические условия площадки до разведанной глубины 50,0 м характеризуются наличием одного водоносного горизонта. Подземные воды на период изысканий вскрыты всеми скважинами на глубине от –0,70 до 0,52 м (абс. отм.). Воды безнапорные и приурочены ко всей многослойной толще неоген-четвертичных отложений. Основными причинами возникновения и развития подтопления являются естественные условия расположения площадки строительства – устьевая низменная область р. Кубань, прибрежная зона Азовского моря и подъем его уровня. Подземные воды имеют гидравлическую связь с указанными водными объектами. Уровень подземных вод непостоянен. В отдельные периоды возможно затопление территории (вследствие наводнений, обильного выпадения осадков, снеготаяния и штормовых нагонов).

*Интрузия морских вод.* Факторами, способствующими развитию интрузии в водоносный горизонт изученного района, помимо повышения уровня моря, являются низменные берега, нагонные явления, фильтрация морских вод к отрицательным формам рельефа с отметками ниже уровня моря, внедрение морских вод в устье р. Кубань с последующей инфильтрацией воды с повышенной минерализацией (осолоненных) в водоносные пласты суши, резкая фильтрационная неоднородность прибрежного водоносного горизонта и др. В качестве ведущего показателя проникновения морских вод в устья рек может служить полоса перехода хлоридно-натриевых вод моря в карбонатные (гидрокарбонатные) пресные речные воды, соленость которых не превышает 1 ‰ (~ 1 г/л). Основными признаками, указывающими на внедрение морских вод в прибрежные водоносные горизонты, является уровень солености грунтовых вод и их состав. Опасной признается ситуация, при которой показатель солености воды превышает 1 ‰, особо опасной – при превышении 2,5–3 ‰ [Магрицкий, 2018].

Химический анализ проб воды из скважин показал, что грунтовые воды изученного района хлоридные, гидрокарбонатно-хлоридно-натриевые, реже магниевонатриевые с общей минерализацией 6,9–14,0 г/л в среднем 10,6 г/л, т.е. имеются все признаки интрузии.

*Повышенные агрессивность и коррозионная активность подземных вод и грунтов.* Согласно СНиП 2.03.11-85, вода является сильно-, реже среднеагрессивной средой для арматуры железобетонных конструкций при периодическом смачивании и слабоагрессивной – при постоянном смачивании. По отношению к металлическим конструкциям агрессивность сильная, реже средняя. К алюминиевым оболочкам кабеля – высокая по хлор-иону, к свинцовым – высокая, реже средняя по гумусу. В свою очередь, грунты обладают высокой коррозионной агрессивностью к углеродистой и низколегированной стали, высокой степенью коррозионной агрессивности к свинцовой и алюминиевой оболочкам кабеля и сильной степенью коррозионной агрессивности – к бетонам марки W4 – W8. Установлена также сильная степень коррозионной агрессивности к железобетонным конструкциям.

*Повышенная сейсмичность.* Исследования по оценке сейсмической опасности района изысканий (уточнение исходной сейсмичности, сейсмическое микрорайонирование) показали следующее. Исходная сейсмичность для периода повторяемости сейсмических сотрясений 1000 лет составляет здесь 8,1 балла в значениях шкалы MSK-64. С помощью метода сейсмических жесткостей, было определено распределение приращения интенсивности сейсмических сотрясений на участке проектируемого объекта. Установлено, что для большей части площади участка изысканий расчетная сейсмичность составляет 8,5–8,7 балла по шкале MSK-64. В основном, рост интенсивности сейсмических воздействий связан с преобладанием в полностью обводненном массиве, грунтов III и IV категорий по сейсмическим свойствам (пески рыхлые, глины текучепластичные, илы текучей консистенции) со средними скоростями распространения поперечных волн 100–370 м/с.

В ряде работ [Гидрометеорология ... 1991; Гидрология ... 2010] указывается, что по данным наблюдений на уровневых постах Азовского моря выявлен существенный рост уровня моря в течение XX в., причем различный на разных постах. Это увеличение составляет до 6,8 мм/год по данным наблюдений на уровнежном посту в порту Темрюк. Этот факт может быть объяснен как повышением уровня Мирового океана, связанным с изменением климата, так и современными нисходящими тектоническими движениями (в настоящее время устьевая область опускается примерно со скоростью 3 мм/год [Самойлов, 1952]), а также интенсивной консолидацией грунтов в дельтах.

Имеются и иные оценки скорости роста уровня моря в пункте Темрюк (в системе ГВО России). По данным Ю.Г. Филиппова [2015], скорость роста за период 1910–2012 гг. здесь составляет 3,2 мм/год и концу нынешнего века средний подъем уровня Азовского моря (с учетом величины максимального среднегодового и сезонного уровней, штормовой активности, антропогенного влияния на уровень океана) составит 0,5 м, а максимальный – минус 1 м. Учитывая прогнозируемый

рост уровня Азовского моря, можно заключить, что этот процесс приведет к дальнейшему ухудшению инженерно-геологических условий территории строительства в изученном районе, к увеличению дальности проникновения морских вод (интрузии) в сторону суши, площадей подтопления и затопления.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айбулатов Н.А., Артюхин Ю.В. Геоэкология шельфа и берегов Мирового океана. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 304 с.
2. Беспалова Л.А., Цыганкова А.Е., Беспалова Е.В., Мисиров С.А. Опасные штормовые нагоны и разрушение берегов Азовского моря // Наука Юга России. 2019. Т. 15. №. 2. С. 29–38.
3. Геоэкология шельфа и берегов морей России / под ред. Н.А. Айбулатова. М.: Ноосфера, 2001. 428 с.
4. Гидрология дельты и устьевого взморья Кубани / под ред. В.Н. Михайлова, Д.В. Магрицкого, А.А. Иванова. М: ГЕОС, 2010. 728 с.
5. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. V. Вып. 1. Азовское море. Гидрометеорологические условия. Л.: Гидрометеиздат, 1991, 236 с.
6. Дикарёв В.А. Динамика берегов Таманского и Керченского полуостровов в условиях изменения уровня моря // Экосистемы: экология и динамика. 2018. Т. 2. № 4. С. 61–74.
7. Долотов Ю.С. Проблемы рационального использования и охраны прибрежных областей Мирового океана. М.: Науч.-изд. центр «Науч. мир», 1996. 304 с.
8. Кортаев В.Н. Геоморфология дельты Кубани // Эрозия почв и русловые процессы (Тр. Науч.-исслед. лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева). Вып. 18 / под ред. проф. Р.С. Чалова. М.: Географический факультет МГУ, 2012. С. 302–313.
9. Кропянко Л.В., Беспалова Л.А., Беспалова Е.В. Оценка Азово-Черноморского побережья Ростовской области и Краснодарского края по степени благоприятности природной среды и уровню антропогенного воздействия для эффективного развития экономики региона // Интернет-журнал «Науковедение». 2015. Т. 7. № 2. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/63EVN315>. DOI:10.15862/63EVN315
10. Лукьянова С.А., Соловьева Г.Д. Абразия морских берегов России // Вестник Московского университета. Сер. 5: География. 2009. № 4. С. 40–44.
11. Магрицкий Д.В. Опасные гидрологические процессы и явления в устьях рек России // Анализ, прогноз и управление природными рисками с учетом глобального изменения климата «Геориск-2018»: Т. 1. М.: РУДН, 2018. С. 82–87.
12. Мамыкина В.А., Хрусталева Ю.П. Береговая зона Азовского моря. Ростов н/Д.: Изд-во РГУ, 1980. 176 с.

13. Матишов Г.Г. и др. Экологический атлас Азовского моря / ЮНЦ РАН; Ин-т аридных зон. Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2011.
14. Матишов Г.Г., Беспалова Л.А., Ивлиева О.В., Цыганкова А.Е., Кропянко Л.В. Азовское море: современные абразионные процессы и проблемы берегозащиты // Доклады Академии наук. 2016. Т. 471. № 4. С. 483–486.
15. Миронюк С.Г., Хлебникова О.А. Признаки и геологические предпосылки интрузии морской воды в прибрежные водоносные горизонты (на примере Чёрного моря) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2022. № 3. С. 24–37.
16. Пешков В.М. Береговая зона моря. Краснодар: Лаконт, 2003. 350 с.
17. Природный риск морских побережий / Бурова В.Н., Пырченко В.А. Рагозин А.Л. и др. // Атлас «Геология и полезные ископаемые шельфов России» / гл. ред. М.Н. Алексеев (Геологич. ин-т РАН). Т. 4: Геоэкология окраинных морей России. Карта 4.4. М-б 1: 7 5000 000. М.: Научный мир, 2004. С. 98–101.
18. Самойлов Н.В. Устья рек. М.: Географиздат, 1952. 525 с.
19. Селиванов А.О. «Береговая катастрофа» на Азовском море: миф или реальная угроза? М.: ГЕОС, 2001. 84 с.
20. Современные опасные экзогенные процессы в береговой зоне Азовского моря / О.В. Ивлиева, Е.В. Беспалова, И.В. Швердяев и др. Ростов н/Д.: ЮФУ, 2015. 321 с.
21. Филиппов Ю.Г. О возможных изменениях в прибрежной зоне юго-восточной части Азовского моря при повышении уровня моря // Труды Государственного океанографического института. 2015. № 216. С. 86–95.
22. Экологическая карта России. Состояние окружающей природной среды. М-б 1:8000000. М.: ПКО «Картография», 1999.



## К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОСТИ УЛУЧШЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ДОСТУПНОСТИ ПРИМОРСКИХ РЕКРЕАЦИОННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

*А.Ю. Санин*

---

*Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова,  
г. Москва, Россия*

*Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды,  
г. Москва, Россия  
eather86@mail.ru*

В последние несколько лет многие проблемы, характерные для внутреннего туризма, приобрели особую остроту, что связано с пандемией COVID-19 в 2020 г. и событиями на Украине в 2022 г. Эти события в значительной мере повлияли на российский туризм в целом и внутренний туризм в частности. Имели место значительные изменения в туристических потоках, в частности их перенаправление с зарубежных курортов на внутренние, что привело к росту популярности в том числе и некоторых приморских территорий, таких как Калининградская область и Дагестан, а также поддержанию устойчивого туристического потока на наиболее популярные приморские территории, такие как Северокавказское побережье Чёрного моря и Республика Крым. Всё это обостряет накопившиеся проблемы транспортной доступности приморских территорий, которые ранее были [Осипова, 2010] (и остаются для определенного количества жителей России) одной из причин выбора зарубежных курортов для отдыха либо отказа от поездки на отдых вообще.

В 2022 г. проблема транспортной доступности обострилась в связи с закрытием ряда аэропортов на Европейском юге России, которые осуществляли рейсы на побережье Азовского и Чёрного (Крым, Краснодарский край, Ростовская область) морей. Увеличение пассажиропотока на железнодорожном сообщении вызвало дефицит мест на поездах летом 2022 г. Сохраняется возможность добраться на место отдыха на автомобиле или автобусе, однако личные автомобили имеются далеко не у всех россиян, и не все автовладельцы используют их для поездок на отдых. Автобусы, в свою очередь, для большинства туристов являются наименее удобным видом транспортом из всех возможных вариантов, особенно для поездок на дальние расстояния.

Среди проблем, связанных с транспортной доступностью приморских территорий для туризма, можно назвать следующие:

1. Высокая стоимость многих авиа- и железнодорожных билетов.
2. Нехватка поездов и самолетов, что заметно осложняет процесс покупки билетов и вынуждает планировать поездку заранее, при этом если для железнодорожных билетов хотя бы есть возможность их вернуть без финансовых потерь, то для авиабилетов такая возможность, как правило, отсутствует.
3. Низкий уровень комфорта многих транспортных средств, которые могут быть использованы для поездок на приморские территории.
4. Слабый уровень развития (за исключением автобусного транспорта во многих случаях) транспорта, позволяющего перемещаться между смежными приморскими территориями (например, Крымом и Краснодарским краем).

Важную роль в решении последней проблемы, или, по крайней мере, в ее смягчении, мог бы сыграть внутренний морской водный транспорт (здесь можно было бы позаимствовать опыт СССР). Кроме того, развитие данных видов транспорта позволит существенно увеличить разнообразие отдыха, в частности благоприятно отразится на развитии круизного туризма, например Азово-Черноморского бассейна [Садыкова, 2013] (табл. 1).

**Таблица 1.** Роль морского и внутреннего водного транспорта для организации туризма на основных приморских территориях в прошлом и настоящем и перспективы его развития в будущем

Рекреационный регион	Водный транспорт в прошлом	Водный транспорт в настоящем	Перспективы развития водного транспорта
1	2	3	4
Балтийское море	В советские годы из портов Балтийского моря отправлялись круизные суда, некоторые из них следовали до Западной Европы, другие – следовали из Балтийского моря в Чёрное. Между приморскими городами было налажено пассажирское сообщение с использованием судов на воздушных подушках – «Комет». В 2003–2010 гг. регулярное пассажирское (паромное) сообщение между Санкт-Петербургом и Калининградом.	До 2020 г. имелось круизное сообщение между столицами и крупными городами стран, имеющих выход к морю. Санкт-Петербург также связан с Хельсинки, Стокгольмом, Копенгагеном. Однако все эти маршруты заморожены вследствие пандемии коронавируса и ухудшения отношений России со странами ЕС в 2022 г.	Интенсификация пассажирских перевозок между Санкт-Петербургом и Калининградом, особенно на фоне возникших сложностей с использованием железной дороги Минск – Вильнюс – Калининград. Расширение отечественного круизного флота, государственная поддержка российских фирм, которые будут развивать круизный туризм в регионе. Развитие маршрутов из Балтики, в том числе и из Санкт-Петербурга и Калининграда, в Северную, а также Западную Европу (Францию, Ирландию и т.д.) и в Средиземноморье, а возможно, и до Чёрного моря.

Продолжение табл. 1

1	2	3	4
Азовское море	<p>Морские пассажирские перевозки здесь стали массовыми в советское время. Суда на воздушных подушках соединяли крупнейшие азовские порты: Бердянск, Мариуполь, Таганрог, Керчь.</p>	<p>В настоящее время морские пассажирские перевозки развиты слабо. Летом 2022 г. организована паромная переправа по маршруту Мариуполь – Ейск.</p>	<p>Представляется перспективным восстановление пассажирского сообщения с Украиной (Бердянск, Мариуполь), развитие круизов через Азовское море, а также вверх по Дону (здесь возможно совмещение круизного и событийного туризма, организация казачьего фестиваля в одной из донских станций или посещение такого фестиваля в станции Вёшенской круизными туристами).</p>
Чёрное море	<p>В советское время осуществлялись круизы как в пределах Чёрного моря, так и за его пределами, вплоть до Африки и Индии. После распада СССР в России и на Украине пассажирские перевозки сильно сократились. После присоединения Крыма на некоторое время оживляется морское сообщение между Крымом и Анапой, Сочи, Новороссийском. С 2014 г. и до открытия Крымского моста стратегическую роль играла переправа Крым – Кавказ, которая позволяла прибывать в Крым сотням тысяч туристов. До пандемии коронавируса в летнее время из Сочи ходило пассажирское судно в Батуми (Грузия) и Трабзон (Турция).</p>	<p>В настоящее время значение переправы Крым – Кавказ для туризма снизилось и ожидается дальнейшее снижение после расширения железнодорожного сообщения. В Сочи, Новороссийск, реже (в связи с возможными санкциями и недовольством Украины) в крымские порты до начала пандемии заходили иностранные круизные суда. С 2017 г. на первом российском круизном судне осуществляется семидневный круиз по маршруту Сочи – Новороссийск – Ялта – Севастополь – Сочи.</p>	<p>Восстановление пассажирского сообщения с Грузией и Турцией, интенсификация круизных маршрутов, в том числе и увеличение мест эконом-класса (по аналогии с круизными судами «Принцессой Марией» и «Принцессой Анастасией» на Балтийском море, которые ходили до пандемии коронавируса), многоместное размещение в каютах по аналогии с плацкартными и купейными вагонами поездов, что позволит привлечь туристов с небольшим бюджетом (это актуально и для всех остальных туристических регионов). Имеет смысл восстановить пассажирское сообщение и с азовскими портами (Ростов-на-Дону, Таганрог, Бердянск, Мариуполь)</p>
Каспийское море	<p>В советское время существовали пассажирские морские перевозки между крупнейшими портами, в частности Баку – Астрахань, Астрахань – Гурьев (современный Атырау) и др.</p>	<p>В настоящее время морские пассажирские перевозки развиты слабо.</p>	<p>Актуальным представляется разработка круизов по Волге до Москвы, и даже до Санкт-Петербурга, через Волго-Донской канал в Азовское и Чёрное моря, а также по портам пяти каспийских стран, учитывая при этом предложения для туристов с невысоким доходом, а также восстановление пассажирского сообщения между крупнейшими каспийскими городами.</p>

Окончание табл. 1

1	2	3	4
Японское море	Морские пассажирские перевозки также стали массовыми в советское время. Организуются морские круизы по Дальнему Востоку (Сахалин, Курильские острова, Камчатка) и в страны Восточной и Юго-Восточной Азии. Осуществлялось регулярное пассажирское сообщение между Владивостоком и другими крупнейшими портами Дальнего Востока, в частности Петропавловском-Камчатским.	В настоящее время круизные рейсы осуществляются только иностранными судами. Благодаря постоянным работам по реконструкции причальных стенок Владивосток может принимать большинство существующих круизных судов мира, однако их поток сдерживается отделенностью города от основных круизных маршрутов Западной Пацифики. Во Владивосток заходил самый большой круизный корабль (из всех заходивших в Россию лайнеров) – “Spectrum of the Sea” (5000 пассажиров и 1500 членов экипажа).	Увеличение потока круизных судов до 30–50 ед. в год и выше (это вполне реалистично, так как в Западной Пацифике их несколько тысяч). Спуск на воду отечественных круизных судов, восстановление советских круизных маршрутов. Восстановление пассажирского морского сообщения с Сахалином, Камчаткой, Курильскими островами, организация сообщения с портами Китая, КНДР, Южной Кореи и Японии. Совмещение круизного и событийного туризма (проведение крупных международных мероприятий, например саммита АТЭС, вполне может сопровождаться организацией круизов для участников).
Тихоокеанское побережье РФ (кроме Японского моря в окрестностях Владивостока)	В советское время в порты Тихоокеанского побережья заходили круизные или пассажирские суда, осуществлявшие каботажные рейсы.	В настоящее время сохраняется пассажирское сообщение между Сахалином и Курильскими островами, а также между Петропавловском-Камчатским и Северными Курилами Большой курильской гряды.	Восстановление советских круизных маршрутов, соединяющих Сахалин, Камчатку и Курильские острова. В случае нормализации отношений с США – разработка и реализация круизных маршрутов, соединяющих Камчатку, Чукотку, Аляску и Командорские острова.

Развитие морского и внутреннего водного транспорта не является решением большей части проблем, связанных с транспортной доступностью приморских территорий, однако оно существенно облегчит для туристов посещение смежных приморских территорий, а также существенно повысит разнообразие отдыха.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Осинова О.Я.* Транспортное обслуживание туристов: учеб. пос. 5-е изд., стер. М.: Академия, 2010. 382 с.
2. *Садыкова Э.Ф.* Развитие морских пассажирских сообщений в Азово-Черноморском бассейне // Российское предпринимательство. 2013. № 11. С. 68–73.



## МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ ВОДЫ В РУКАВАХ ДЕЛЬТЫ ДОНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЕТРОВОЙ СИТУАЦИИ В ТАГАНРОГСКОМ ЗАЛИВЕ

**А.Л. Чикин<sup>1</sup>, А.В. Клещенок<sup>1</sup>, Л.Г. Чикина<sup>2</sup>, А.М. Коршун<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия*

<sup>2</sup>*Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия*

<sup>3</sup>*Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени  
Московского технического университета связи и информатики,*

*г. Ростов-на-Дону, Россия*

*chikin1956@gmail.com*

Для основного русла Дона от ст. Раздорской до вершины дельты, состоящего только из одной открытой части, в работе [Чикин и др., 2017] с помощью математической модели проведено численное исследование зависимости поверхностного уровня воды от расхода поступающей воды и уровня воды в принимающем водоеме. В работе [Чикин и др., 2021] область расчета расширена до границы с Таганрогским заливом и включает в себя три основных рукава Дона: Старый Дон (судоходный рукав), Большая Каланча, переходящая в Мокрую Каланчу и Большую Кутерьму. При расчете течений в рукавах Дона в качестве входных данных используются уровни воды в принимающем водоеме – Таганрогском заливе, а также расход поступающей в основное русло воды. Эти данные берутся, как правило, из наблюдений. Однако провести наблюдения и получить значения уровня во всех нужных точках, особенно в устьях основных рукавов дельты Дона, часто не представляется возможным. Чтобы преодолеть эту проблему, было предложено использовать модель гидродинамики Азовского моря для получения значений уровня воды в нужных точках при заданной ветровой ситуации. Таким образом, происходит своего рода объединение модели гидродинамики Азовского моря и модели гидродинамики устьевого участка реки Дон.

Принцип работы объединенной модели следующий. Для заданной ветровой ситуации на каждом временном шаге рассчитываются скорости течения и величина уровня воды в Таганрогском заливе. В связи с тем, что гидродинамика Таганрогского залива определяется гидродинамикой самого Азовского моря, расчет проводится для всего моря в целом. Кроме того, с вычислительной точки зрения такой подход существенно облегчает решение задачи, так как нет необходимости ставить граничные условия на открытой границе Таганрогского залива. Затем значения уровня

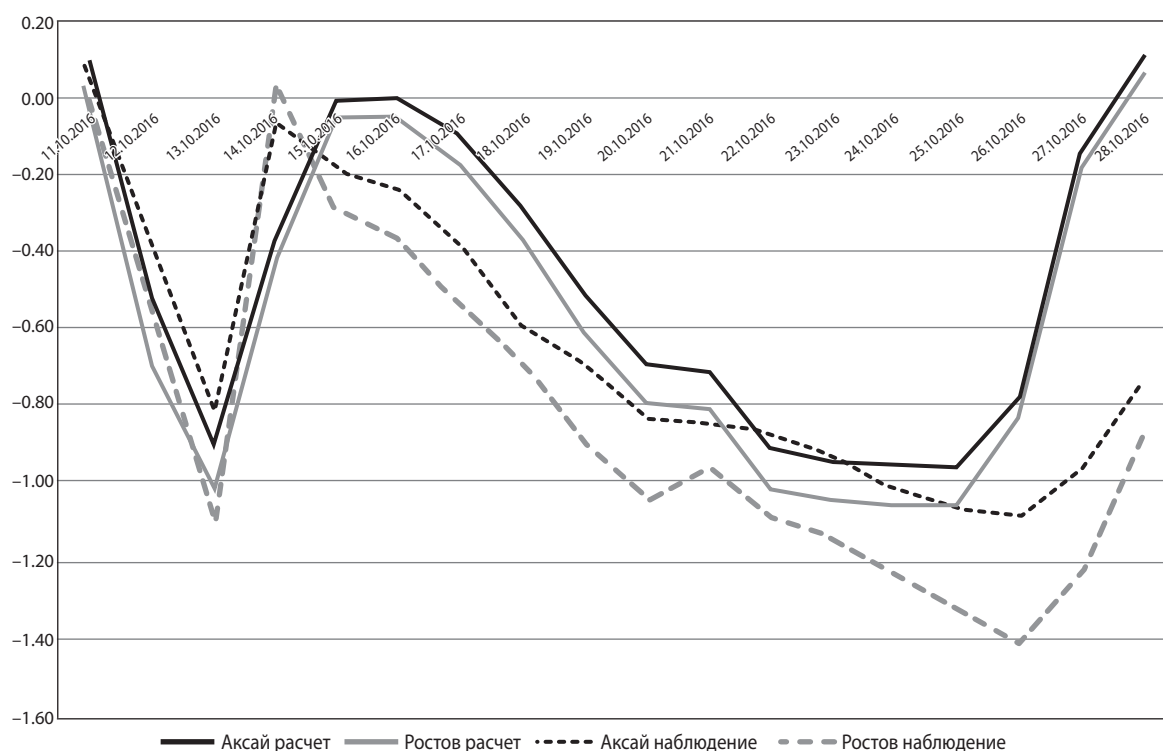


На разных гидропостах и в разные периоды наблюдаемые значения могли сниматься с интервалами от 10 мин. (ГП х. Донской) до двух раз в сутки (в 08:00 и 20:00) (ГП «Азов», «Дугино», «Ростов-на-Дону», «Аксай»). В случае, когда наблюдаемые значения фиксировались два раза в сутки, они усреднялись как среднесуточные.

Для оценки эффективности моделирования уровня при совместном использовании описанных выше гидродинамической модели Азовского моря и гидрологической модели русла был рассмотрен ряд типичных гидрологических ситуаций в устьевой области Дона.

В период 11–28.10.2016 наблюдался ветер восточного направления, что привело к сгону воды в Таганрогском заливе. В начале наблюдался слабый ветер 1–3 м/с, затем усилился до 9–11 м/с. С 14–16.10.2016 ветер ослаб до 1–3 м/с, но затем снова начал набирать силу и 25–26.10.2016 достиг силы 10–12 м/с. После этого стал ослабевать и изменил направление на СВ–ССВ.

Расчетные значения достаточно точно повторяют динамику колебаний уровня воды на станциях наблюдения и хорошо с ними согласуются на гидропостах в Аксае и Ростове-на-Дону (рис. 2). Однако расчетные значения несколько завышены.



**Рис. 2.** Сравнение наблюдаемых и расчетных колебаний уровня воды на гидропостах в Ростове и Аксае (11–28.10.2016)

В период 08–23.09.2018 ветер менял направления с восточного на западное и наоборот, при этом сила ветра колебалась от 2–4 м/с до 4–8 м/с. С 10.09.2018 по 14.09.2018 наблюдался ветер 2–4 м/с преимущественно восточных направлений, что привело к обычной верховке. В период 15–18.09.2018 наблюдался ветер 4–8 м/с

преимущественно западных направлений, что привело к обычной низовке. Затем ветер сменился на восточные направления. Такое изменение ветровой ситуации хорошо коррелирует с поведением графиков уровней воды как в основном русле на гидропостах «Ростов» и «Аксай» (рис. 3), так и в дельте Дона на гидропостах «Азов» и «Дугино» (рис. 4). Однако на гидропостах «Дугино» и «Азов» расчетные значения существенно завышены.

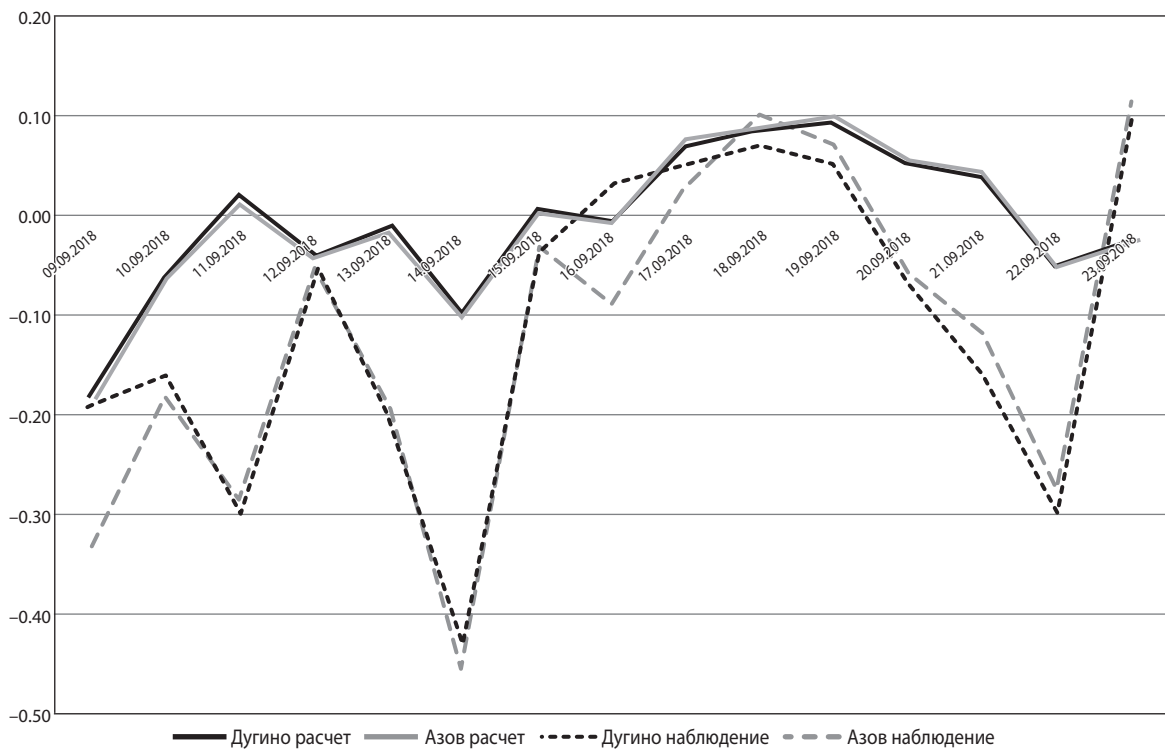


**Рис. 3.** Сравнение наблюдаемых и расчетных колебаний уровня воды на гидропостах в Ростове и Аксае (10–21.09.2018)

Предложенный нами подход к численному исследованию, который включает объединение модели гидродинамики Азовского моря и модели гидродинамики устьевое участка реки Дон, позволяет определять гидродинамические характеристики руслового потока в основных рукавах дельты Дона в зависимости от ветровой ситуации в Азовском море и Таганрогском заливе. Это особо ценно для бесшовного анализа общей гидродинамики в устьевой области Дона, что может оказаться полезным в будущем для оценки транспорта общей взвеси, микропластика, интрузий соленых вод и исследования иных типов загрязнения.

Сравнение наблюдаемых и расчетных значений уровней воды в исследованной области демонстрирует удовлетворительное качество получаемых результатов, что говорит о достаточной адекватности представленной модели, однако расчетные значения в основном несколько завышены, по сравнению с наблюдаемыми данными. Возможна дополнительная корректировка расчетных значений с помощью поправочных коэффициентов.





**Рис. 4.** Сравнение наблюдаемых и расчетных колебаний уровня воды на гидропостах в Азове и Дугино (10–21.09.2018)

Установлено, что при обработке наблюдаемых значений уровня воды определение среднего за сутки его значения может существенно зависеть от способа усреднения наблюдений.

Предлагаемая методика может применяться и для других водоемов при совместном расчете течений в устьевых руслах и ветровых течений в принимающем водоеме.

*Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН, № гр. проекта 122011900153-9.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чикин А.Л., Клещенок А.В., Чикина Л.Г., Коршун А.М. Сгонно-нагонные колебания уровня воды устьевой области Дона: численное моделирование и сценарии изменения // Наука Юга России. 2017. Т. 13. № 3. С. 39–49. DOI: 10.23885/2500-0640-2017-13-3-39-49.
2. Чикин А.Л., Клещенок А.В., Чикина Л.Г. Один из подходов к численному исследованию гидрологии дельтовой области Дона // Водные ресурсы. 2021. Т. 48. № 5. С. 492–499. DOI: 10.31857/S0321059621050072.

---

## Секция 2

# ПОТЕНЦИАЛ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В СИСТЕМЕ МЕЖДУНАРОДНЫХ МОРСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ

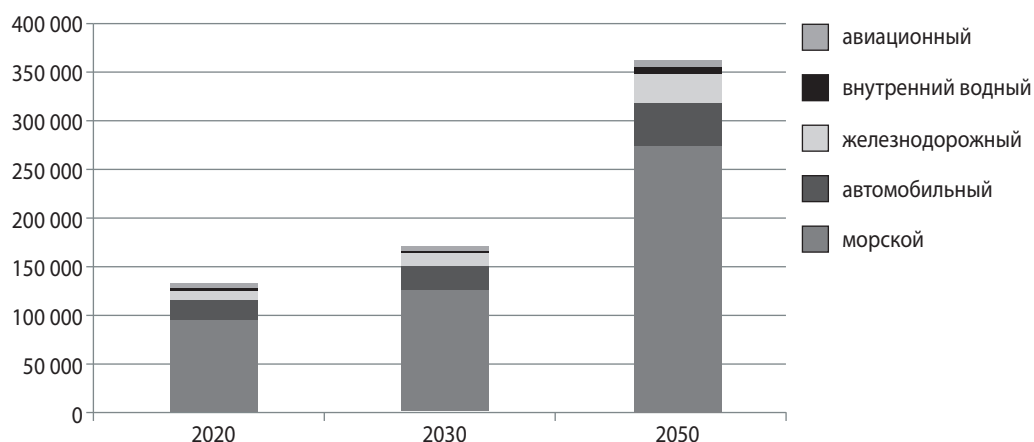
---

### ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ КАК МЕЖДУНАРОДНОГО ТРАНСПОРТНОГО КОРИДОРА

*А.Н. Афонин, Н.Н. Киселева*

*Санкт-Петербургский политехнический университет  
Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия  
kening305@mail.ru, kiseleva.n.natalia@gmail.com*

По прогнозам Еврокомиссии, к 2050 г. пассажирские перевозки вырастут на 42 %, а грузовые – до 60 %. Согласно оценке Организации экономического сотрудничества и развития (далее – ОЭСР) [ITF Transport Outlook, 2021], основанному на анализе текущих темпов роста потребностей в грузовых перевозках, мировой спрос на морские грузовые перевозки в период с 2020 по 2050 г. увеличится почти втрое, и они составят более 75 процентов от общего объема грузовых перевозок (рис. 1).



**Рис. 1.** Прогнозируемое развитие спроса на грузовые перевозки по видам транспорта (млрд тоннокилометров)

Увеличение грузопотока ляжет огромным бременем на транспортные сети и окружающую среду. Сопоставляя водный транспорт с другими видами транспорта, маршруты которых обладают недостаточной пропускной способностью и отчасти перегруженностью, водный транспорт – надежен, энергоэффективен и имеет возможности к более разнообразному и широкому использованию. Расширение направлений эксплуатации водного транспорта потенциально увеличит грузопотоки, при этом умеренное строительство новых автомобильных и железных дорог не нанесет существенного ущерба окружающей среде, а взлетно-посадочных полос. Развитие водного транспорта, в т.ч. в акватории Арктической зоны Российской Федерации (далее – РФ), является приоритетным направлением создания и развития транспортно-логистических коридоров.

Основные направления научно-технического и социально-экономического развития РФ отражены в национальных проектах. Принятые в рамках данных проектов документы стратегического планирования содержат меры, направленные на развитие и использование цифровых технологий в различных отраслях экономики, в т.ч. транспортной, поскольку в РФ транспорт является одной из крупнейших базовых отраслей, обеспечивающих географическую связь между территориями РФ и экономическую взаимозависимость всех отраслей экономики. В рамках исполнения поручений Президента и Правительства РФ по реализации национальных проектов была утверждена Транспортная стратегия РФ до 2030 г. с прогнозом на период до 2035 г. [Распоряжение Правительства РФ от 27.11.2021 № 3363-р] и Стратегия цифровой трансформации транспортной отрасли РФ [Распоряжение Правительства РФ от 21.12.2021 № 3744-р], Единый план мероприятий по реализации Основ государственной политики РФ в Арктике на период до 2035 г. и Стратегии развития Арктической зоны РФ и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 г. [Распоряжение Правительства РФ от 15.04.2021 № 996-р], а также ряд других документов.

В Транспортной стратегии обозначены цели развития транспортной системы РФ. Для достижения этих целей были инициированы и реализованы ключевые проекты по развитию транспортного комплекса:

- в отношении водного транспорта, в т. ч. строительство и расширение портовых мощностей, строительство уникальных новых атомных ледоколов для развития Северного морского пути (далее – СМП);
- в отношении цифровизации, в т.ч. создание электронных навигационных карт, ввод в промышленную эксплуатацию Государственной автоматизированной информационной системы ГЛОНАСС.

В рамках Единого плана мероприятий по реализации Основ государственной политики РФ в Арктике разработана концепция Единой платформы цифровых сервисов, предоставляемых в акватории СМП (далее – ЕПЦС СМП). Концепция реализации ЕПЦС СМП предусматривает развитие различных цифровых продуктов,

направленных на обеспечение безопасности судоходства, а также диспетчеризацию флота в акватории СМП. Планируется разработка 27 цифровых сервисов, выделенных в 9 блоков по направлениям, затрагивающим безопасность мореплавания, организацию судоходства, гидрометеорологическое и навигационно-гидрографическое обеспечение, управление инфраструктурой и экологический мониторинг акватории СМП и пр.

На данный момент СМП является одним из перспективных транспортных коридоров, обладающих потенциалом как для мировой экономики, так и для экономики РФ. Направление имеет перспективу развития, поскольку уменьшает расстояние и соответственно время транспортировки грузов в направлении Азия – Европа. По сравнению с южными воднотранспортными коридорами через Суэцкий и Панамский каналы, СМП короче в 1,5 раза. Например, по сравнению с маршрутом через Суэцкий канал, СМП позволяет сократить расстояние перевозки между Шанхаем и Гамбургом на 5200 км. Также следует отметить ряд ограничений южных воднотранспортных коридоров, в т.ч. по размерам и осадке судов.

Основой грузопотока по СМП является перевозка сжиженного природного газа, нефти, нефтепродуктов, угля, железорудного сырья в транзитном направлении. Следует отметить, что мировая тенденция на снижение потребления углеводородов приведет к росту использования возобновляемых источников энергии, следствием чего будет падение спроса на ископаемые источники топлива, в первую очередь на уголь и нефть. Ожидается, что в период с 2019 по 2050 г. доля возобновляемых источников энергии, включая гидроэлектростанции, в мировом объеме производства электроэнергии увеличится в 6 раз. К 2050 г. потребление нефти снизится на 9 %, энергетического угля на 40 %, потребление газа возрастет на 4 % [Распоряжение Правительства РФ от 27.11.2021 № 3363-р]. Это приведет к смещению перевозок по СМП в пользу транзитных мультимодальных контейнерных перевозок между Европой и Азией.

По данным ФГУП «Атомфлот», который входит в государственную корпорацию «Росатом» и является инфраструктурным оператором СМП, грузооборот по СМП составил: в 2018 г. – 20,0 млн т; 2019 г. – 31,5 млн т; в 2020 г. – 32 млн т. Согласно Стратегии развития Арктической зоны РФ до 2035 г., грузооборот по СМП будет наращиваться поэтапно: 80 млн т – к 2024 г.; 90 млн т – 2030 г.; 130 млн т – 2035 г. (рис. 2). Следует отметить, что грузопотоки по СМП планировалось увеличить до 80 млн т, но, в связи с со снижением экономической активности из-за пандемии коронавирусного заболевания (COVID-19) и ухудшением внешнеполитической обстановки, данный показатель был пересмотрен в сторону уменьшения [Указ Президента РФ от 07.05.2018 № 204]. Согласно Ассоциации морских торговых портов РФ [Динамика ... 2017], максимальный суммарный грузооборот морских портов по Арктической зоне РФ в 2019 г. составил 104,8 млн т, в 2020 г. и 2021 г. наблюдалось небольшое снижение грузооборота, вызванное пандемией COVID-19 и соответствующими ограничениями (рис. 3).



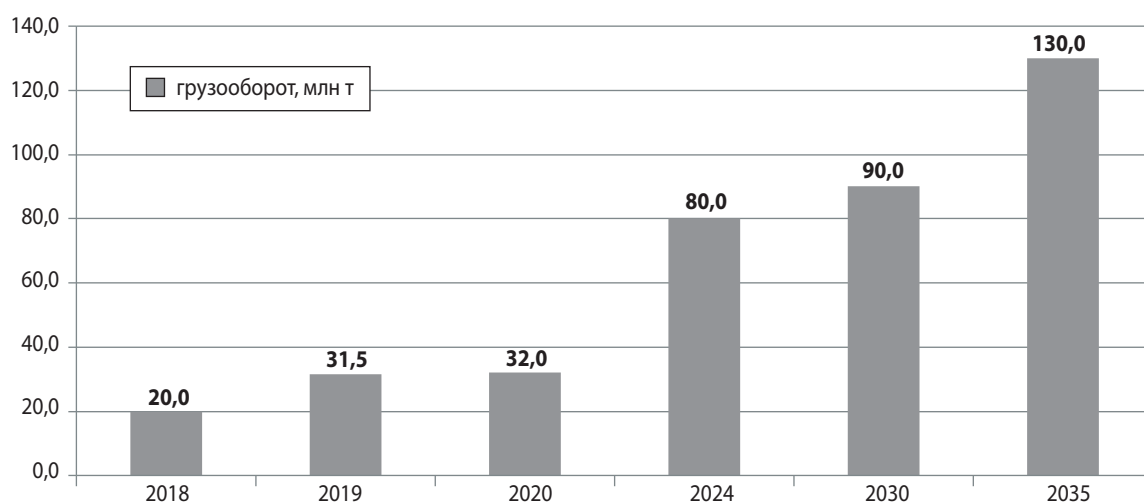


Рис. 2. Грузооборот СМП (млн т)

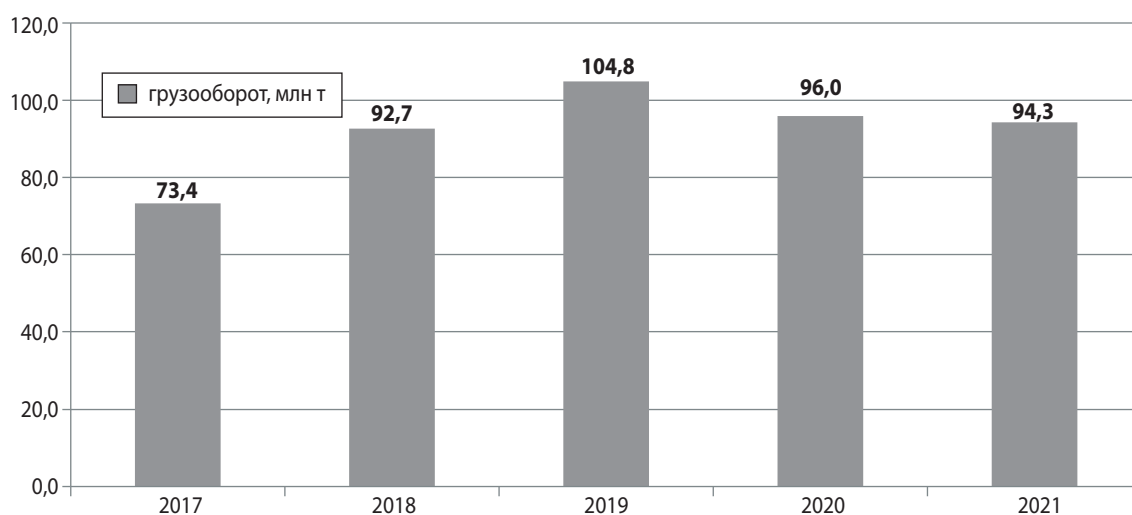


Рис. 3. Грузооборот морских портов по арктическому бассейну (млн т)

Как отмечалось выше, СМП является приоритетным и перспективным транспортным коридором (по сравнению с южными маршрутами), при условии его круглогодичного использования и обеспечения конкурентной стоимости перевозок, но вместе с тем его развитие связано со значительными капиталовложениями, поэтому необходимы работа в форме государственно-частного партнерства, обращение к научным организациям, расширение и развитие механизмов финансирования в целях обеспечения эффективности, привлечение внешних инвесторов, например таких как: DP World (ОАЭ), COSCO Shipping (Китай), Tschudi Group (Норвегия) и др., разработка актуальной нормативно-правовой базы, что позволит создать современную, развитую транспортно-логистическую структуру, которая, в свою очередь, повысит привлекательность СМП в качестве международного транспортного коридора, ускорит темпы развития береговой инфраструктуры и Арктической зоны РФ в целом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Динамика количественных показателей грузооборот и мощность морских портов России. Ассоциация морских торговых портов. 2017. URL: <https://www.morport.com/rus/content/statistika-0> (дата обращения: 15.06.2022).
2. Распоряжение Правительства РФ от 15.04.2021 № 996-р (ред. от 13.05.2022) «Об утверждении Единого плана мероприятий по реализации Основ государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года и Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года». URL: <https://www.garant.ru/> (дата обращения: 15.06.2022).
3. Распоряжение Правительства РФ от 27.11.2021 № 3363-р «О Транспортной стратегии РФ до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года». URL: <https://www.garant.ru/> (дата обращения: 15.06.2022).
4. Распоряжение Правительства РФ от 21.12.2021 № 3744-р «Об утверждении Стратегии цифровой трансформации транспортной отрасли РФ». URL: <https://www.garant.ru/> (дата обращения: 05.06.2022).
5. Указ Президента РФ от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43027> (дата обращения: 05.06.2022).
6. ITF Transport Outlook 2021. URL: <https://doi.org/10.1787/16826a30-en> (дата обращения: 05.06.2022).

## ПЕРЕДАЧА ЭНЕРГИИ ОКЕАНА ПО СПЕКТРУ РАЗМЕРОВ ОТ МЕЗОМАСШТАБНЫХ К СУБМЕЗОМАСШТАБНЫМ ПРИ ВЫТЯГИВАНИИ МЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ В ФИЛАМЕНТЫ: СОПУТСТВУЮЩИЕ ЯВЛЕНИЯ

*В.В. Жмур<sup>1, 2</sup>, Т.В. Белоненко<sup>3</sup>, Б.С. Суетин<sup>2</sup>, Д.А. Арутюнян<sup>2</sup>,  
Е.В. Новоселова<sup>3</sup>, В.С. Травкин<sup>3</sup>*

---

<sup>1</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия*

<sup>2</sup> *Московский физико-технический институт, г. Москва, Россия*

<sup>3</sup> *Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия*

Один из вариантов «перекачки» энергии от мезомасштабных на субмезомасштабные процессы связан с удлинением вихрей при воздействии растягивающих неоднородных горизонтальных течений на эти вихри. При этом в некотором горизонтальном направлении вихрь сильно вытягивается, а в поперечном направлении он значительно уменьшается. Такой вихрь становится похожим на вихревую нить. Иногда такое образование называют филаментом. При значительном удлинении вихря его энергия перераспределяется от исходного горизонтального размера (мезомасштаба) на поперечный размер вихревой нити (субмезомасштаб).

Цель исследований – определение физических условий неограниченного вытягивания вихрей на базе теории поведения эллипсоидальных вихрей в неоднородных горизонтальных течениях, оценка выполнимости физических условий растяжения вихрей в течениях для реальных регионов Мирового океана, а также выяснение энергетических последствий и реакции основных физических характеристик вихря на подобное вытягивание. В частности, обсуждение возможности проявления отрицательной вязкости в системе «ансамбль мезомасштабных вихрей на фоне в условиях деформирующего фонового течения».

Показано, что относительно слабые вихри неминуемо должны вытягиваться в вихревые нити. При этом энергия первоначально более компактного образования перераспределяется на вытянутые вихревые структуры с небольшим поперечным размером вихревого ядра. Если вихрь сильно вытянут, то его поперечный размер может достичь характерных значений, соответствующих субмезомасштабным явлениям. Это означает, что механизм вытягивания вихрей неоднородными течениями несет ответственность за перераспределение энергии мезомасштабных явлений на субмезомасштаб. Передача энергии с больших размеров на малые – это так назы-

ваемый прямой энергетический каскад. В свою очередь, вытянутые вихри имеют меньшую энергию, чем исходные компактные вихревые образования, что подтверждается не только теоретическими расчетами, но и изучением вихрей в натуре.

В системе течение – вихрь интегральная энергия обязана сохраняться, поэтому потерянная вихрем энергия возвращается в течение, то есть происходит обратное перераспределение энергии от субмезомасштаба к более крупным образованиям. Это свойство формирует обратный энергетический каскад и связано с явлением отрицательной вязкости. Таким образом, в областях (зонах), где возможно неограниченное вытягивание вихрей, следует ожидать проявление свойств отрицательной вязкости.

Выявлены необходимые условия, накладываемые на характеристики неоднородности фоновых течений, приводящих к вытягиванию вихрей. На качественном уровне это условие сводится к тому, что деформационные свойства фоновых течений должны преобладать над свойством подвергать вращению жидкие частицы движущейся среды. Это условие, выраженное математически, позволяет рассчитать и определить зоны Мирового океана, а также отобразить эти зоны на географических картах, где должны проявляться свойства отрицательной вязкости. Как оказалось, интегральная территория зон с отрицательной вязкостью весьма велика и составляет примерно 60 % всей территории Мирового океана. Данная доля в 60 % устойчива и слабо меняется от месяца к месяцу, от сезона до сезона, от года к году, что проверялось на рядах реанализа, охватывающего период 26 лет. В ходе исследований также удалось получить оценку относительного количества вихрей Мирового океана, подвергающихся сильному вытягиванию фоновыми течениями. Эта доля составляет 40–45 % от общего количества образовавшихся в океанах вихрей.

*Работа выполнена в рамках проекта РНФ 22-17-00267.*



---

### Секция 3

## ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ И КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЕВРАЗИИ И ИХ РОЛЬ В РАЗВИТИИ ВОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ

---

### ДЕЛЬТА ВОЛГИ – ВОРОТА ИЛИ КАЛИТКА В КАСПИЙСКОЕ МОРЕ?

*П.И. Бухарицин<sup>1, 2</sup>, С.А. Котеньков<sup>1</sup>*

---

<sup>1</sup> *Институт Океанологии им. П.П. Шишова РАН, г. Астрахань, Россия*

<sup>2</sup> *Институт водных проблем РАН, Москва  
astrgo@mail.ru; piter@bukharitsin.com*

Волго-Каспийский морской судоходный канал (ВКМСК), или Главный банк, проходящий по реке Бахтемир, существует лишь двести лет. Однако мореплавание по Волго-Каспию началось тысячу лет назад, и для прохода к морю использовались иные протоки волжской дельты: Болда, Бузан, Старая Волга (рис. 1).

Арабские мореплаватели первыми освоили Волго-Каспийский маршрут, связавший арабский мир с Русью и странами Европы. С этого времени Волжский торговый путь или путь «из варяг в персы» становится важным транзитным путем из Скандинавии на Восток, прообразом современного международного транспортного коридора «Север – Юг». Данный торговый путь способствовал освоению человеком дельтовых просторов и появлению первых поселений, а впоследствии и столиц средневековых государств – Хазарского каганата, Золотой Орды, Астраханского ханства.

Каспийское море всегда считалось сложным для плавания, прежде всего по причине наличия большого количества мелей в районе устьевого взморья, затруднявших проход судов из моря в Волгу и обратно. Зона мелей, образующихся из ежегодно приносимых рекой взвешенных наносов, формирует так называемый бар. Кроме того, колебания уровня Каспийского моря имели катастрофические последствия для народов, населяющих эти земли. Так, в середине X в., в связи с подъемом уровня моря, оказалась затопленной территория, располагавшегося в дельте Волги Хазарского государства и его столицы – города Итиль. Русло главной торговой арте-

рии – рукава Болда – было занесено морскими отложениями, и водные пути стали проходить по рукавам Бузан и Старая Волга. Повторный подъем уровня Каспия в XIII в. привел к подтоплению дельтовых городов Золотой Орды. По этой причине столица государства – г. Сарай – был перенесена из окрестностей с. Красный Яр на 100 км к северу, в район с. Селитренное. В начале XIX в. вследствие обмеления рукава Старая Волга движение кораблей стало осуществляться по правому волжскому рукаву – Бахтемир (рис. 1) [Бухарицин, Котеньков, 2022]. Но, когда и судоходный канал по Бахтемировскому рукаву стал заноситься в отдельных местах и возникла реальная опасность для судоходства, в середине XIX в. была предпринята попытка построить судоходный канал по волжскому рукаву Камызяк (рис. 1). Однако по причине интенсивной заносимости углубленных участков этого гидротехнического сооружения после каждого половодья, а также и из-за нецелевого расходования средств, работы на указанном направлении были прекращены [Бухарицин, Котеньков, 2021]. Судоходство продолжалось по Бахтемировскому направлению. С начала XX в. уровень Каспия в течение 50 лет понизился на 3 м, затем на 20 лет установился период стабилизации уровня, а затем – вновь падение уровня. К началу 1970-х гг. в результате дноуглубительных работ удалось добиться проходной глубины канала в речной части 4,9 м, в морской – 5,1 м [Русанов и др., 2016].

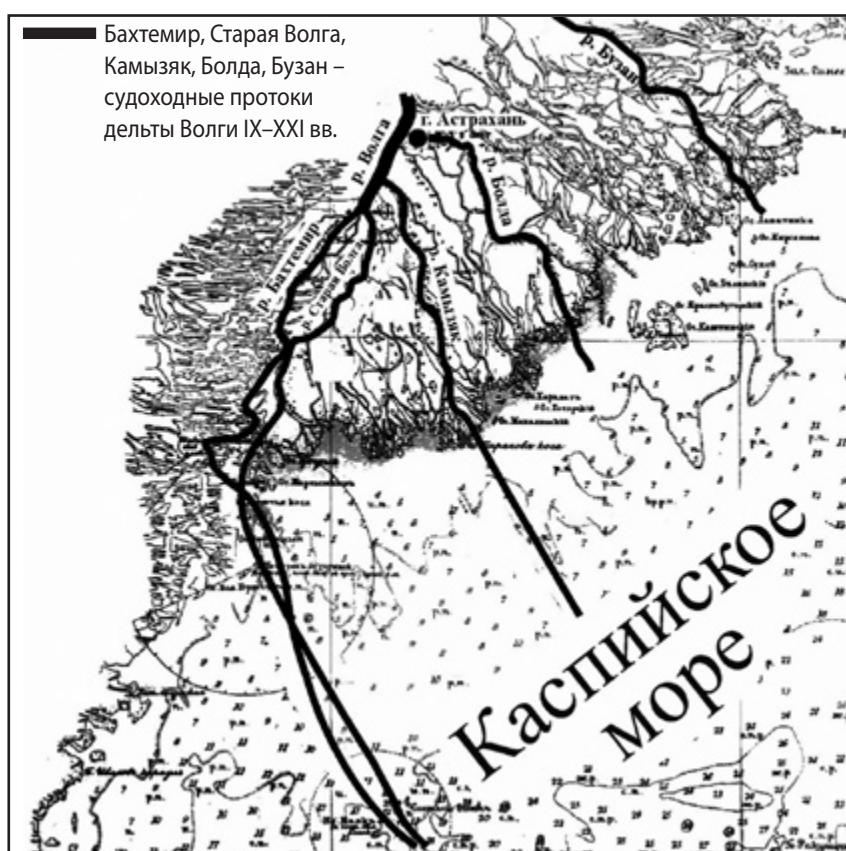


Рис. 1. Карта Каспийского моря по съемке и промеру 1861–1873 гг. с показаниями фарватера, 1873 г.

В 1990-е гг. подъем уровня Каспийского моря привел к изменению гидрологического режима в канале, увеличению отложения наносов в его баровой части, а объем дноуглубительных работ на канале, по сравнению с прошлым десятилетием, сократился почти в 40 раз, что привело к резкому сокращению грузоперевозок.

Борьба с аккумуляцией речных и морских наносов была актуальна во все времена эксплуатации ВКМСК. Эта задача решалась традиционными способами – ежегодным эксплуатационным черпанием и ограждением канала дамбами. Систематическое ежегодное дноуглубление в объеме более 10 млн м<sup>3</sup> обеспечивало безопасность судоходства, позволяло не снижать проходные осадки судов, гарантировать стабильный грузопоток. Повышение уровня Каспия с начала 1990-х гг. до 2000 г. позволило уменьшить объемы дноуглубления. В настоящее время мы наблюдаем период очередного понижения уровня Каспийского моря, что требует ежегодного увеличения объемов дноуглубления.

Поддержание паспортных характеристик (глубины и ширины) на участках, подверженных заносимости, – приоритетная и постоянная задача. Эти участки занимают от 120 до 160 км канала (рис. 2).

Организацией ремонтных дноуглубительных работ на ВКМСК занимается Астраханский филиал ФГУП «Росморпорт». В 2014 г. планировалось разработать 4,09 млн м<sup>3</sup> донного грунта, в 2015 г. – 5,36 млн м<sup>3</sup> грунта. Фактически в 2014 г. объем извлеченного грунта составил 2,55 млн м<sup>3</sup>, или 62 % от планируемого объема, в 2015 г. – 4,08 млн м<sup>3</sup>, или 76 %. По плану ожидается рост объемов работ: в 2016 г. – 5,8 млн м<sup>3</sup>, далее показатели идут по нарастающей.

Обмеление негативно сказывается на состоянии ВКМСК. В 2013–2015 гг. на отдельных участках ширина основного судового хода (фарватера), по которому движутся суда с осадкой до 4,2 м, составляла 35–40 м. В целях обеспечения безопасности мореплавания эти участки были объявлены участками одностороннего движения.



Рис. 2. Трасса современного Волго-Каспийского канала – Главного Банка: 50–52 км, 120–160 км – основные участки дноуглубления

Как правило, ранее такие участки представляли собой повороты русла реки, где не обеспечивалась достаточная визуальная и уверенная радиолокационная видимость встречного судна. Увеличение количества участков одностороннего движения уменьшает пропускную способность ВКМСК, усложняет маневрирование судов при прохождении мест, где работает морская дноуглубительная техника, а также в период ледокольных проводок увеличивает риски аварийных случаев. Сохраняется на определенном уровне количество посадок судов на мель: в 2011 г. зафиксировано 7 таких случаев, в том числе один с иностранным судном, в 2012 г. – 4, в том числе с двумя иностранными судами, в 2013 г. – 6, в 2014 г. – 7, в том числе один с иностранным судном, в 2015 г. – 2. Не снижается количество посадок судов на мель и в последующие годы.

Существующая технология проведения ежегодных ремонтных дноуглубительных работ на ВКМСК, расстановка дноуглубительного флота на участках работ, закладываемые сроки начала и окончания производства работ обеспечивают габариты для прохождения судов с осадкой 4,2 м только в ноябре отчетного года. В целях более раннего выхода на показатели осадки судов 4,2 м, мы предлагаем изменить технологию проведения ремонтных дноуглубительных работ для многочерпаковых земснарядов в части разделения выемки грунта на участках дноуглубления на три условных этапа. В предложениях служб АМП Каспийского моря подробно описаны условия, сроки и достигаемые при применении такой технологии габариты канала.

Первый этап должен начинаться в марте-апреле на участках, которые значительно уменьшились в зимний период и не позволяют обеспечивать безопасное плавание судов с осадкой 4,2 м. Ориентировочные сроки проведения работ – апрель – июнь. Второй этап – достижение проектных габаритов с полной выборкой нормативного запаса на заносимость (глубина – 5,9 м, ширина – 100–120 м). Третий этап – подчистка выявленных наносов в результате сгонно-нагонных явлений во время проведения ремонтного дноуглубления [Абдулатипов, 2017].

Однако в зимние месяцы к сгонно-нагонным и волновым, прибавляются еще и ледовые процессы, также способствующие перемещению изъятых грунта обратно, в ложе канала, что заставляет вновь и вновь извлекать один и тот же грунт (рис. 3).

Извлекаемый из ложа канала грунт не следует перекладывать многократно до самого глубокого моря, его необходимо сразу перевозить спецсудами большой грузоподъемности на отведенные места по берегу (т.н. карты намыва) для последующего использования в хозяйственных целях. Это позволит:

- в течение 2–5 лет резко сократить объем дноуглубительных работ (до 2–3 млн м<sup>3</sup>);
- наладить реальный учет количества наносов и их рациональное использование в хозяйственных целях;
- ликвидировать лимитирующие участки с односторонним движением;



- обеспечить поддержание паспортных характеристик собственном флотом (оптимальный набор);
- подготовить предложения по реконструкции ВКМСК с целью максимального использования возможностей, предоставляемых новой концепцией с учетом ликвидации одностороннего движения в морской и по возможности в речной части ВКМСК, и улучшения гидрологического режима [Бухарицин, 2016].



**Рис. 3.** Сизифов труд. Изъятый в морской части канала грунт вскоре вновь попадет в ложе канала под воздействием течений, волнения и дрейфующих льдов  
(фото П.И. Бухарицина)

В 2022–2024 гг. дноуглубительная компания China Communications Construction Company Dredging Group Co Ltd (Китай) будет участвовать в производстве дноуглубительных ремонтных работ в акватории ВКМСК. Об этом сообщили 11 марта в Росморречфлоте. Вопросы сотрудничества стали темой встречи, прошедшей 10 марта между представителями Астраханского филиала ФГУП «Росморпорт» и СССС Dredging Group. Представители филиала рассказали о технических характеристиках возможных участков дноуглубительных работ на ВКМСК, а также о климатических условиях в районе их проведения. В ходе встречи были намечены пути дальнейшего сотрудничества с учетом технических возможностей дноуглубительного флота китайской компании при проведении ремонтных дноуглубительных работ.

Планируемый объем дноуглубления при реконструкции ВКМСК оценивается в 15 млн м<sup>3</sup>. Реконструкцию ВКМСК планируется завершить в 2028 г.

Станет ли в XXI в. дельта Волги воротами в Каспийское море, покажет время.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бухарицин П.И.* Волго-Каспийский морской судоходный канал — современное состояние проблемы и пути их решения, доклада на расширенном заседании Общественной палаты Астраханской области. 14.03.2016 // URL: <https://www.iwr.ru/about/structure/otdel-poverkhnostnykh-vod/gruppa-issledovaniy-ekologicheskikh-problem-v-delte-r-volgi-g-astrakhan/> (дата обращения: 05.08.2022).
2. *Бухарицин П.И., Котеньков С.А.* Проблемы заносимости Волго-Каспийского морского судоходного канала: история и современность // Изучение водных и наземных экосистем: история и современность: тез. докл. Междунар. науч. конф., посвящ. 150-летию Севастопольской биологической станции Института биологии южных морей имени А.О. Ковалевского и 45-летию НИС «Профессор Водяницкий» (Севастополь, РФ, 13–18 сент. 2021 г.). Севастополь: ФИЦ ИнБЮМ, 2021. С. 629–631.
3. *Бухарицин П.И., Котеньков С.А.* Трудные перекаты Волго-Каспия. Историческая ретроспектива. Часть I (IX–XIX вв.) // Гидрометеорология и экология. № 67. Научно-теоретический журнал. СПб.: РГГМУ, 2022. С. 283–305.
4. *Абдулатипов М.* Безопасность судоходства по Волго-Каспийскому судоходному каналу – категория экономическая. 18.04.2017 // URL: <http://www.morvesti.ru/analitika/1692/62541> (дата обращения: 30.02.2022).
5. *Русанов Н.В., Бухарицин П.И., Беззубиков Л.Г.* Волго-Каспийский морской судоходный канал – современное состояние проблемы и пути ее решения // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 4. С. 863–871.

## ВЛИЯНИЕ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА НА МОРЕХОЗЯЙСТВЕННУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ АЗОВСКОГО И КАСПИЙСКОГО МОРЕЙ

*А.А. Магаева<sup>1</sup>, Н.А. Яицкая<sup>1, 2</sup>*

<sup>1</sup>*Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия*

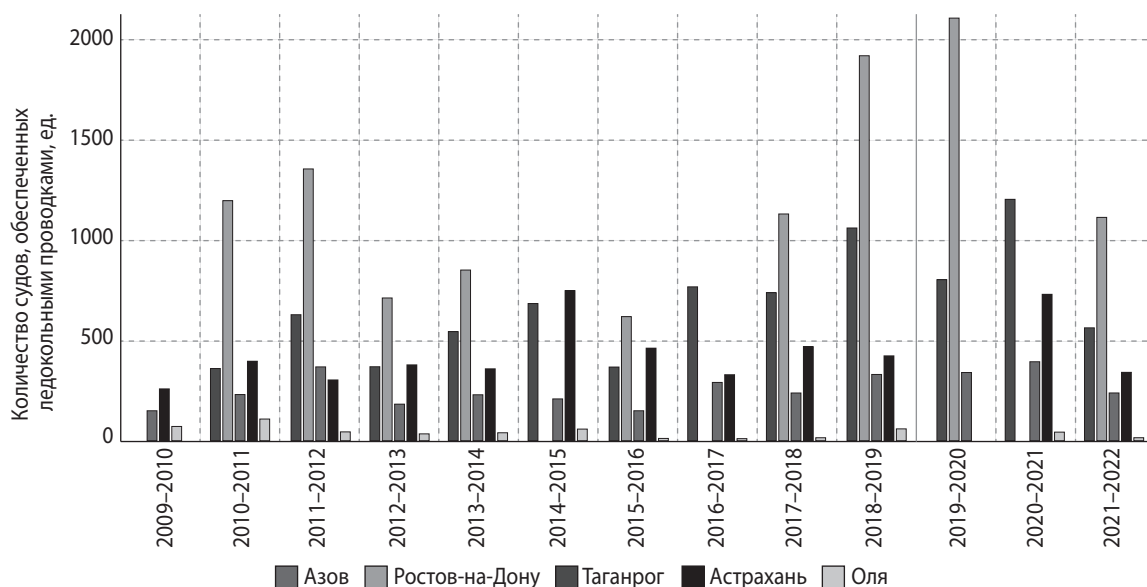
<sup>2</sup>*Субтропический научный центр РАН, г. Сочи, Россия  
a.magaeva@mail.ru*

Азовское и Каспийское моря, расположенные на юге Российской Федерации, имеют важное геополитическое, стратегическое и экономическое значение, что обусловлено выгодным географическим положением. Через Азовское (и Чёрное) и Каспийское моря Россия граничит с Турцией, Болгарией, Румынией, Ираном и Туркменистаном. Также внутри страны моря являются транзитными по направлению к европейской территории России и имеют выходы к федеральным округам – Южному, Северо-Кавказскому, Центральному и Поволжскому. Как следствие, широко развитая транспортная сеть, в особенности морская: в Азово-Черноморском бассейне расположено 8 портов, в Северном Каспии – 3 порта.

Основными особенностями портов российского сектора Азовского и Каспийского морей являются относительно небольшие глубины и сезонный ледяной покров. Для обеспечения безопасного мореплавания здесь ежегодно проводятся дноуглубительные работы, а в зимний период организована ледовая проводка судов. По данным Министерства Транспорта Российской Федерации [Завершена подготовка ... 02.11.2020], наибольшее число ледовых проводок осуществляется в Азовском бассейне (рис. 1) за счет возможности проводки небольших судов караванным методом. Ледокольную проводку здесь осуществляют три ледокола: «Капитан Демидов», «Капитан Мошкин» и «Капитан Чудинов», – а также ледокол-буксир-толкач-спасатель «Фанагория», ледокольный буксир «Георгий Седов» [В Азовском море стартовал сезон ледокольных проводок ... 24.12.2021], в Каспийском море – ледоколы «Капитан Чечкин», «Капитан Мецайк» и «Капитан Букаев» [Астрахань – стратегический порт на Каспии ... 11.03.2022].

Но иногда ледовые условия бывают настолько сложными для судоходства, что ледоколы не справляются со своей задачей. Например, в январе 2008 г. около 150 судов ожидало ледокольной проводки у кромки льда в Керченском проливе. В экстремально суровую зиму 1953/1954 г. вся акватория Северного Каспия была

занята припаем толщиной 60–65 см, ледокольная проводка была приостановлена ввиду ее неэффективности, несколько нефтяных вышек было разрушено. Усложняет судоходство и работу ледоколов активное торошение льда. Вот для примера сообщение с л/к «Афанасий Никитин» от 03.02.1972: «В районе каравана судов (45° 37' с.ш., 36° 37' в.д.) восточный ветер усилился до 20–25 м/с, началось интенсивное сжатие, продвижение судов прекратилось. В районе дрейфа т/х «Кореиз» началась подвижка льда, торошение. Высота торосов – 6–7 м. Лед был выжат на главную палубу. Судно получило крен» [Думанская, 2014].



**Рис. 1.** Количество судов, обеспеченных ледокольными проводками, осуществивших судозаходы в морские порты Азовского (Азов, Ростов-на-Дону, Таганрог) и Каспийского (Астрахань, Оля) морей, по данным ФГУП «Росморпорт»

Результатом зимы 2005/2006 г. на Северном Каспии, в Керченском проливе и Азовском море стали арктические ледовые условия с типичными явлениями торошения. Толщина льда достигала 0,5 м, а высота торосов 1,5–2,5 м. судоходство было «заморожено» почти на два месяца [Матишов и др., 2008].

В открытой части Азовского моря наибольшая торосистость и максимальное число барьеров торосов образуются в юго-западной части моря, что связано с преобладающим выносом льда в этот район. Это создает благоприятные условия для начала образования подсонов, наслоений, торосов и гряд торосов. Часто эти гряды садятся на мель и образуются сплошные ледяные барьеры, непроходимые для ледоколов. Наибольшее количество торосов обычно отмечается у восточных сторон кос северного берега и вдоль Арабатской стрелки. Вдоль береговой линии торосистость велика повсеместно, что объясняется сильной изрезанностью береговой линии, неоднократными вскрытиями и замерзаниями. Исключение составляют Таганрог и Геничesk в силу устойчивого существования припая. Высота торосов

в открытом море, как правило, не превышает одного метра, на прибрежных отмелях торосистые нагромождения иногда достигают 5–10 м [Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР ... 1991; Атлас ... 1962]. На Северном Каспии положение кромки припая в течение холодного сезона постоянно изменяется, поэтому полоса активного торошения захватывает большую площадь.

Подвижки ледяных торосистых образований приводят к механическому выпаиванию дна, образованию специфических ледово-экзарационных форм [Кошечкин, 1958]. Данные процессы представляют опасность для гидротехнических и др. инженерных сооружений. Так, подводные трубопроводы в российском и казахстанском секторах Северного Каспия проложены без заглубления в грунт. Результат долго не заставил себя ждать: в зимний сезон 2012/2013 г. подвижки и наслоение льдин, толщина которых достигала нескольких десятков сантиметров, привели к аварии на нефтепромысле «Кашаган» в казахстанском секторе Северного Каспия, где льдом были повреждены четыре нитки трубопровода, проложенного по дну без заглубления [Огородов и др., 2019].

Также серьезную опасность для морских операций представляет раннее появление льда или припая в море и каналах (до 20 ноября в Азовском море и в конце октября – начале ноября в Северном Каспии), когда срываются с якорей и уносятся в море навигационные буи. Однако с начала 2000-х гг. раннее ледообразование не наблюдается на исследуемых акваториях, за исключением единичного случая на ГМС «Пешной» Северного Каспия в зимний сезон 2011/2012 г. [Магаева, Yaitskaya, 2021; Магаева, Яицкая, 2022].

Регулярно наблюдаются случаи навалов льда на берега Азовского моря, например, в зимы 2009/2010, 2010/2011, 2019/2020 гг. На Северном Каспии широко распространены навалы льда, погребаящие под собой многочисленные острова и банки, находящиеся выше и ниже текущего положения уровня моря [Бухарицин и др., 2015].

Вследствие современных изменений климата в Азово-Каспийском регионе наблюдается рост температуры воздуха в предзимний и зимний периоды, сокращение площади ледяного покрова и сдвиг сроков образования и разрушения льда. Тем не менее образование устойчивого ледяного покрова (припая) и процессы торошения в прибрежных мелководных районах морей, где сосредоточены крупные порты, судоходные пути и каналы, районы рыбного промысла, представляют угрозу для морехозяйственной деятельности на акваториях Азовского и Каспийского морей. Данные ледовые явления могут препятствовать судоходству, нарушать безопасную эксплуатацию морских и прибрежных инженерных и гидротехнических сооружений, что ведет к экономическим потерям. Поэтому изучение ледяного покрова Азовского и Каспийского морей и его воздействия на берега и дно чрезвычайно важно не только с теоретической, но и с практической стороны, в особенности на Азовском море, где такого рода исследования не проводились.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астрахань – стратегический порт на Каспии // Морские вести России. 11.03.2022. URL: <http://morvesti.ru/analitika/1688/94473/> (дата обращения: 05.08.2022).
2. Атлас льдов Чёрного и Азовского морей. Л.: Гидрометеиздат, 1962. 120 с.
3. Бухарицин П.И., Огородов С.А., Архипов В.В. Воздействие ледяных образований на дно Северного Каспия в условиях колебаний уровня и ледовитости // Вестник Московского ун-та. Сер. 5: География. 2015. № 2. С. 101–108.
4. В Азовском море стартовал сезон ледокольных проводок // Морские вести России. 24.12.2021. URL: <http://morvesti.ru/news/1679/93276/> (дата обращения: 05.08.2022).
5. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. V. Азовское море. СПб.: Гидрометеиздат. 1991. 237 с.
6. Думанская И.О. Ледовые условия морей европейской части России. М.: ИГ-СОЦИН, 2014. 608 с.
7. Завершена подготовка всех 12 портовых ледоколов ФГУП «Росморпорт» к зимнему сезону // Официальный Интернет-ресурс Министерства транспорта Российской Федерации. 02.11.2020. URL: <https://mintrans.gov.ru/press-center/news/9752> (дата обращения: 05.08.2022).
8. Кошечкин Б.И. Следы деятельности подвижных льдов на поверхности дна мелководных участков Северного Каспия // Тр. Лаборатории аэрометодов АН СССР. 1958. Т. 6. С. 227–234.
9. Магаева А.А., Яицкая Н.А. Гидрометеорологические опасные природные явления Северного Каспия в зимний период на фоне климатических изменений // ИнтерКарто.ИнтерГИС. 2022. Т. 28.
10. Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Бердников С.В., Сорокина В.В., Левитус С., Смолья И.В. Внутривековые флуктуации климата Азовского моря (по термохалинным данным за 120 лет). Доклады Академии Наук. 2008. Т. 422. № 1. С. 106–109.
11. Огородов С. А., Мазнев С. В., Бухарицин П. И. Ледово-экзарационный рельеф на дне Каспийского и Аральского морей // Изв. РГО. 2019 Т. 151. № 2. С. 35–50.
12. *Magaeva A.A., Yaitskaya N.A.* Hydrometeorological hazards during the winter periods in the Sea of Azov and dynamics under the influence of climatic changes // Proceedings of the 26<sup>th</sup> Int. Conf. on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions. 2021. P. 1–7.

---

**Секция 4**  
**ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**  
**И ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЙ МОРСКОЙ**  
**И ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ. СРЕДСТВА, МЕТОДЫ**  
**И ВОЗМОЖНОСТИ ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОЛОГИИ**

---

**ПРОЯВЛЕНИЕ СЕЙШЕВЫХ ТЕЧЕНИЙ В ТАГАНРОГСКОМ ЗАЛИВЕ**  
**ПО ДАННЫМ ADCP-ИЗМЕРЕНИЙ**

*К.С. Григоренко, А.Д. Фролова, Е.П. Олейников, А.Ю. Московец*

---

*Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия*  
*klim\_grig@mail.ru*

Представлены материалы измерений течений в Таганрогском заливе и северной части Керченского пролива в 2021 г. Измерения параметров течений и термохалинной структуры с борта судна и с заякоренной буйковой станции проводились с помощью регистратора течений Aanderaa RCM 9 LW, оснащенного дополнительно датчиками давления, температуры и электропроводности. На каждой станции проводилось вертикальное профилирование течений. На якорных стоянках Aanderaa RCM 9 LW работал как буйковая станция на глубине 2–3 м. Дискретность записи измерений составила 30 мин.

Во время каждого измерения в буйковом режиме отмечена периодическая изменчивость векторов течений (рис. 1). На приустьевой станции-1 стоковое течение Дона неразлично, период колебаний скорости течения составил 6 ч. Здесь же зарегистрирована максимальная за всю декабрьскую экспедицию скорость течения 35 см/с. Действовал умеренный ветер (до 7 м/с) южных направлений. 18-часовой интервал обнаружен на близкой к устью, но расположенной у северного берега станции 4. Ветер сменился на северный только через 48 часов после начала измерений. У южного берега центральной части Таганрогского залива, вблизи поселка Порт-Катон, течения оказались направлены преимущественно на север. Интервал северо-западного течения с максимумом 19 см/с составил 25 ч. Около 6–12 ч между выраженными пиками скоростей наблюдалось вращение направления движения вод от северо-западного по часовой стрелке.

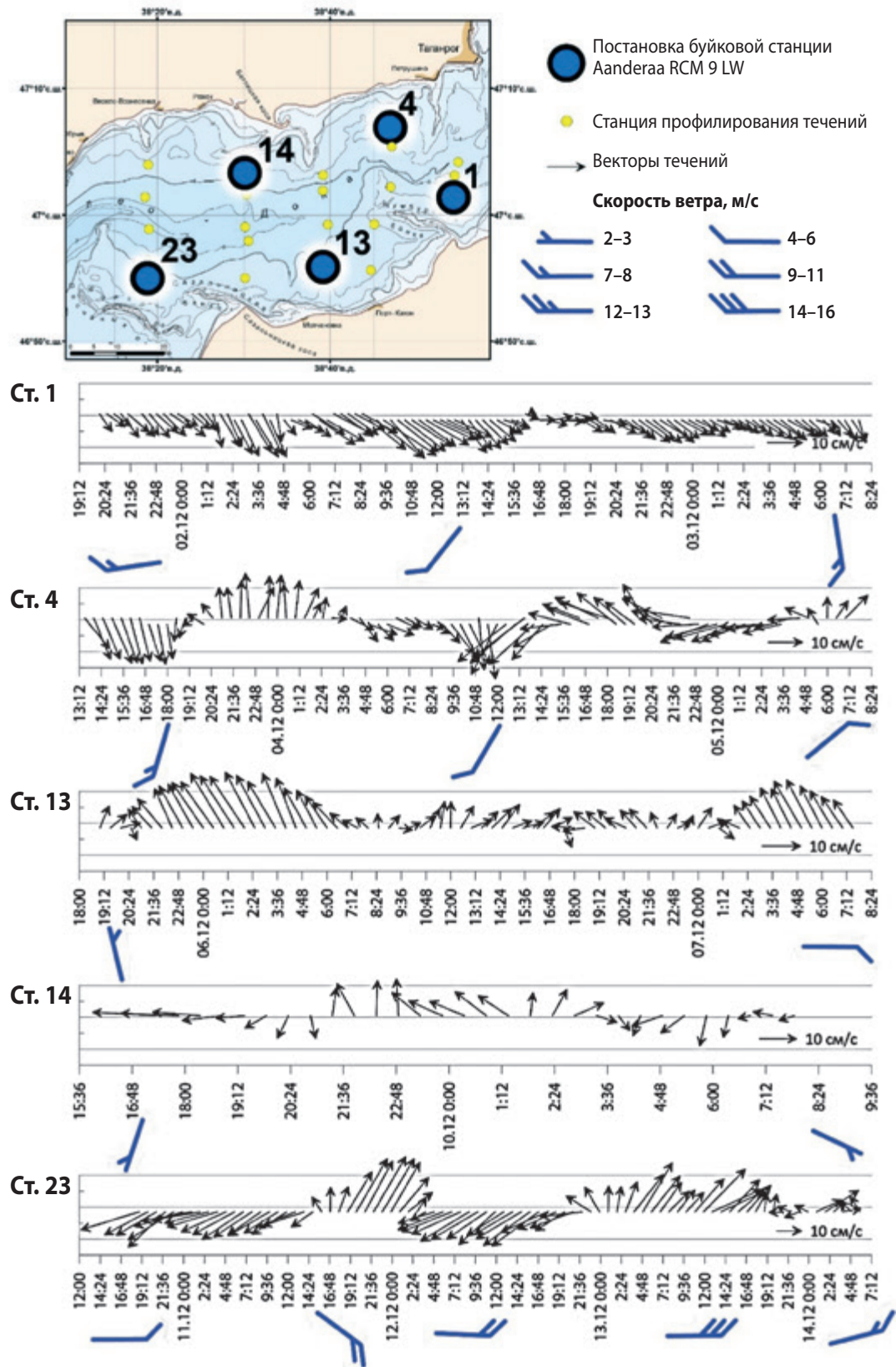


Рис. 1. Векторные диаграммы течений на буйковых станциях в Таганрогском заливе в декабре 2021 г.

Скорости таких движений были минимальными – 4–6 см/с. У Беглицкой косы (ст. 14) при наименьшей продолжительности измерений (18 ч) зафиксировано колебание северного-южного течения с периодом 10 ч.

На границе между центральной и западной частями Таганрогского залива, к западу от подводной оконечности Сазальницкой косы измерения проводились в течение почти четырех суток. В этот промежуток времени произошел типичный для Приазовья трехдневный зимний цикл усиления стгонного восточного ветра до штормовых 15–17 м/с. На диаграмме (рис. 1) наглядно представлен 36-часовой цикл течений. На более восточных станциях преимущественно наблюдалось колебание северного – южного течения. Здесь же добавляется и меридиональная компонента. Полные сутки 13 декабря, при максимальном встречном ветре, преобладало северо-восточное течение со скоростью до 24 см/с.

*Исследование выполнено в рамках госзадания ЮНЦ РАН «Южные моря России и их водосборы: современное состояние и многолетняя изменчивость в условиях глобальных климатических воздействий и индустриальных вызовов – с целью оценки ресурсов и обеспечения безопасности пространственного развития страны» № гос. регистрации темы 122011900153-9, на научно-экспедиционных судах и оборудовании ЦКП ЮНЦ РАН № 501994.*

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ MIKE ZERO (НА ПРИМЕРЕ ПОРТА АКТАУ)

**А.Г. Елтай<sup>1,2</sup>, Н.И. Ивкина<sup>1</sup>, Е.И. Васенина<sup>1</sup>,  
Ж.К. Наурызбаева<sup>1</sup>, Г.М. Шишкина<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Республиканское государственное предприятие  
на праве хозяйственного ведения «Казгидромет», г. Нур-Султан, Казахстан  
<sup>2</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан  
eltai\_a@meteo.kz

Каспийское море является внутренним водоемом, расположенным на границе Европы и Азии [Терзиев и др., 1992], которое подвержено значительным колебаниям уровня.

Для расчета уровня у порта Актау использовался гидродинамический модуль модели MIKE Zero, разработанный в Датском гидравлическом институте (Дания) и адаптированный к условиям Каспийского моря специалистами РГП «Казгидромет». Он основан на решении трехмерных осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье – Стокса, которые состоят из уравнения неразрывности (1), сохранения импульса сил (2) [DHI, 2019a]:

$$\frac{\delta \xi}{\delta t} + \frac{\delta p}{\delta x} + \frac{\delta q}{\delta y} = Q_s - e, \quad (1)$$

$$\frac{\delta q}{\delta t} + \frac{\delta}{\delta x} \left( \frac{p^2}{h} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left( \frac{\delta q}{h} \right) + gh \frac{\delta \xi}{\delta x}. \quad (2)$$

Гидродинамический модуль может применяться в широком диапазоне гидравлических и связанных с ними явлений, например при моделировании приливов, течений, штормовых нагонов [DHI, 2019b].

Калибровочными параметрами гидродинамической модели являются:

- коэффициент гидравлического трения дна (коэффициент Шези);
- коэффициент трения ветра по свободной поверхности воды;
- коэффициент турбулентной дисперсий жидкости.

Однако модель в значительной степени зависит и от достоверности исходных данных, таких как батиметрия, граничные гидрографические условия, скорость и направление ветра.



Построение качественной сетки является важным параметром для получения достоверных результатов моделирования. В качестве такой основы для описания колебания уровня на всей акватории Каспийского моря принята батиметрическая модель с шагом сетки 10 км. Батиметрическая модель была построена по имеющимся топографическим и морским картам, данным промеров глубин на отдельных участках моря и аэрофотоснимкам.

Входными данными для модели являются поля атмосферного давления и ветра на высоте 10 м по данным реанализа ERA5 с разрешением 0,25 град [Hersbach et al., 2018]. Поля ветра и давления на модельной сетке линейно интерполируются во времени, чтобы получать поля на каждом модельном шаге во времени.

Данные наблюдений за уровнем моря были получены с береговой станции РГП «Казгидромет» МГП «Актау», наблюдения на станции проводилось 4 раза в сутки (в 0:00, 6:00, 12:00 и 18:00 ч).

Моделирование уровня поверхности осуществлялось за 1980, 1990, 2000, 2010, 2020 гг.

Выполненный анализ показал, что имеется тесная линейная связь между измеренными и рассчитанными с использованием данных реанализа значениями уровня моря. Как следует из таблицы 1, коэффициент корреляции, который при линейной зависимости служит как мера тесноты связи и как показатель, характеризующий степень приближения корреляционной зависимости, находился в пределах 0,65–0,91, абсолютная ошибка – 4–8 см, среднеквадратичная ошибка находится в пределах 0,05–0,08. Также была произведена оценка качества при помощи индекса согласия, предложенного Уиллмоттом (1981) и стандартного отклонения. Данные критерии качества, в соответствии с Наставлением по службе морских гидрологических прогнозов, характеризуют надежность результатов, поэтому метод прогноза может считаться эффективным и применимым для выпуска оперативных прогнозов.

**Таблица 1.** Оценка точности и эффективности расчетов уровня воды Каспийского моря у порта Актау

Год	Ср. ошибка, м	Ср. абс. ошибка, м	Ср. кв. ошибка, м	Станд. откл., м	Коэффициент детерминации	Коэффициент эффективности	Индекс согласия
1980	0,0044	0,0808	0,1010	0,1009	0,4325	0,3814	0,8019
1990	0,0066	0,0451	0,0567	0,0563	0,8201	0,8063	0,9502
2000	-0,0143	0,0671	0,0837	0,0825	0,5129	0,4783	0,8347
2010	-0,0159	0,0649	0,0873	0,0858	0,6490	0,6056	0,8913
2020	-0,0082	0,0465	0,0604	0,0598	0,8040	0,7882	0,9451

Внедрение данной системы в оперативную практику позволяет усовершенствовать существующую систему прогнозирования и своевременно проводить гражданское предупреждение об опасных морских наводнениях. Особенно это актуально для северо-восточного района Каспийского моря, не охваченного данными натурных наблюдений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Терзиев Ф.С., Косарев А.Н., Керимов А.А. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 6. Вып. 1: Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. 361 с.
2. DHI, MIKE 21 Flow Model and MIKE 21 Flood Screening Tool. Hydrodynamic Module, Scientific Documentation. 2019a. 58 p.
3. DHI, MIKE 21. Hydrodynamic Module, Step-by-step training guide. 2019b. 46 p.
4. Hersbach H., Bell B., Berrisford P., Biavati G., Horányi A., Muñoz Sabater J., Nicolas J., Peubey C., Radu R., Rozum I., Schepers D., Simmons A., Soci C., Dee D., Thépaut J.-N. (2018): ERA5 hourly data on single levels from 1959 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS).

## ПРОБЛЕМЫ ГЕОМОРФОЛОГИИ ВОДОЕМОВ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА

**В.Г. Ильичёв**

---

Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия  
vitaly369@yandex.ru

Известный проф. А.М. Молчанов с грустью утверждал, что художники неправильно рисуют реку в долине. По его мнению, нет четкой границы между сушей и водой. Так, при движении по берегу к реке должны всё чаще и чаще встречаться озераца, и, напротив, при пересечении реки следует ожидать появления островков. Похожая картина наблюдается и в лесоведении: *лес наступает на степь своими опушками*.

В конечном счете два указанных семейства (“Озерца” + “Островки”) входят в соприкосновение и должны образовать причудливую размытую область.

Обсудим ключевые формы «союза» воды и суши. Это образование новых или увеличение прежних островов на реках и возникновение и рост кос в морях. Прогноз этих явлений может быть основан на расчетах простых моделей массообмена, учитывающих три фактора: взмучивание, перенос и оседание взвесей. Рассмотрим эти особенности для двух типичных ситуаций.

*Река и острова.* Здесь актуальна задача определения связи русла реки и места возможного образования новых островов. Обычно взмучивание происходит при высокой скорости реки, а оседание возникает при замедлении течения. Определенную роль играет и кривизна (излучины, миандры) русла. В рамках данных представлений интересна задача о возможности «движения» островов против течения. Или столкновения островов, например островов Зеленый и Быстрый на реке Дон. Возможно ли «причаливание» острова к берегу?

Любопытно рассмотреть ситуацию, когда в большую медленную реку впадает быстрый приток. Каков характер островообразования возникает в районе слияния таких потоков?

С одной стороны, рельеф русла формирует характер течения в реке, а с другой стороны, скорость и направление течения деформирует русло реке. Поэтому возникает проблема поиска равновесия в такой геоморфологической системе. В традиционных прямолинейных гидрологических лотках это невозможно осуществить. Однако в кольцеобразных лотках (рис. 1) при заданной скорости вращения, объема

воды и абразионного материала (например, песка) это вполне реализуемо. Какие в этом случае возникают структуры в донных отложениях и острова?

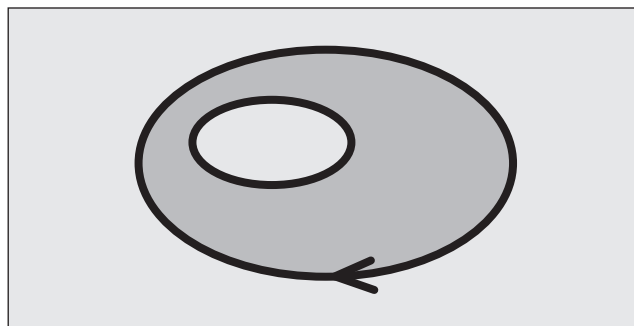


Рис. 1. Гидрологический «синхрофазотрон» с переменным сечением

*Море и косы.* В Азовском море расположено около двадцати крупных кос (Должанская, Арабатская стрелка и др.). Они соединены с материком и имеют длинную вытянутую форму. Косы подобно живому организму изменяются. Более того, некоторые косы время от времени теряют свою связь с берегом и превращаются в остров. И затем позднее восстанавливают связь с материком (например, остров/полуостров Тузла). Обычно такие процессы порождают сложные геополитические проблемы, связанные с неопределенностью государственной принадлежности этого объекта.

Согласно наблюдениям, положение косы может несколько перестраиваться во времени. Тем не менее удивительна долговременная способность существования «хрупкой» конструкции косы. Для описания жизнедеятельности косы необходимо разработать не только математическую модель, но и содержательную методику модельных экспериментов. Простейший вариант такой модели – это разбиение водоема на боксы (камеры), которые под действием течения обмениваются взвесьями. Формально эта математическая структура называется конечной марковской цепью и задается некоторой матрицей переходов. Здесь ключевое значение имеет семейство финальных состояний. В простейшем случае можно полагать, что коса – это набор поглощающих состояний (рис. 2Р), а в более сложном – набор возвратных циклических состояний (рис. 2С).

Вполне допустима и осязаемая (физическая) реализация поиска устойчивости кос в рамках традиционного гидрологического лотка, участки которого наполнены легким песком. Так, насыпем на косу красный песок, а донные фрагменты ее окружающей акватории насытим песком своего (не красного цвета) (принцип цветной шахматной доски). Тогда под действием течения будет происходить перенос песка из одной части лотка в другую. Очевидно, где-то будет происходить накопление песка, а где-то его убыль. Благодаря раскраске (трассерам) можно сразу определить, как происходит перенос взвесей. Какие конкретные фрагменты «ответственны» за образование, а какие – за разрушение конкретной косы в зависимости от характера течений.

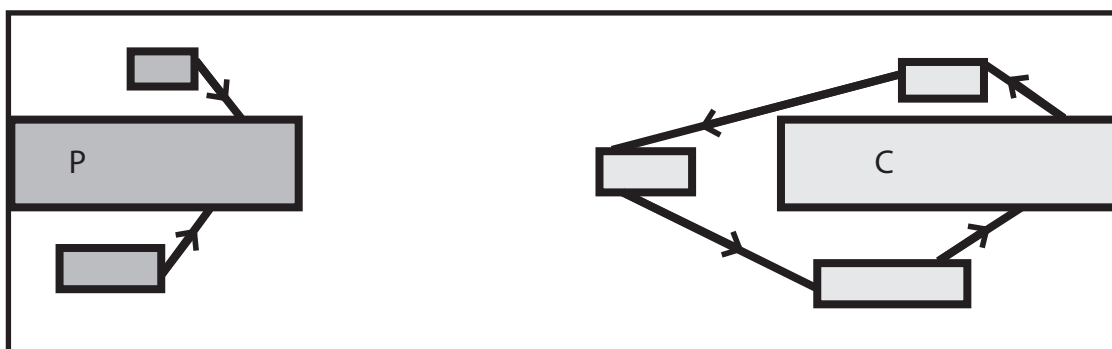


Рис. 2. Два секрета долгой жизни кос (пояснения в тексте)

Разумеется, при изменении климата деформируется гидрограф речного стока. Каким ожидается сток в будущем – маловодным или многоводным, – зависит не только от температуры, но и от региона. Например, количество осадков при потеплении определяется во многом и географическим расположением реки. Перечисленные явления могут существенно повлиять на речное и морское судоходство при деформации климата.



## К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОНИКНОВЕНИЯ СОЛЕННЫХ ВОД В ДЕЛЬТУ ДОНА СО СТОРОНЫ МОРЯ

*А.В. Клещенков, В.А. Костюк*

---

*Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия  
geo@ssc-ras.ru*

Как ранее отмечалось [Клещенков, Московец, 2021], одной из современных проблем развития устьевой области Дона являются интрузии соленых вод из Таганрогского залива Азовского моря в дельту Дона.

В классическом представлении [Руководство ... 1973] в качестве верхней (по речному руслу) границы зоны проникновения морских вод принято использовать значение солености 1 ‰. Однако следует отметить, что в современных условиях маловодья наблюдается рост минерализации речной воды в пределах речного участка устьевой области Дона до значений выше 1 г/л [Матишов и др., 2019] даже при нормальном уровне без влияния нагонных явлений. Анализ данных муниципального предприятия «Азовводоканал» по минерализации воды в створе водозабора г. Азова за период 2015–2019 гг. (n = 60) показал, что наибольшая минерализация наблюдалась в период зимне-весенней межени 2018 и 2019 гг. и составила 1,09 и 1,01 г/л соответственно при среднемноголетней минерализации за исследованный период 0,85 г/л. Кроме того, при сгонах в дельте Дона наблюдается интенсивное поступление подземных вод в отдельные рукава (Свиное гирло, Мертвый Донец) [Матишов и др., 2018].

Принимая во внимание указанное, для целей данного исследования мы рассматриваем интрузии соленых вод в дельту Дона как увеличение солености и минерализации речной воды над исходным значением при изменении уровня режима на устьевом участке больше чем на 0,5 м.

Основная цель данной работы – выделить случаи проникновения осолоненных вод в рукава дельты Дона, определить их статистическую структуру, функциональные зависимости от различных предикторов и наметить возможности прогнозирования.

В качестве исходных материалов были использованы данные наблюдений за уровнем, электропроводностью и температурой воды, осуществляемых в автомати-

ческом режиме с дискретностью 10 мин. на ГМП ЮНЦ РАН в х. Донском, расположенном в рукаве Старый Дон в 7 км от устья. Пересчет значений температуры и электропроводности воды в соленость проводился по формуле уравнения состояния морской воды УС-80 [Мамаев, 1987]. Всего было выделено и рассмотрено 36 случаев проникновения осолоненных вод, зафиксированных в период с декабря 2018 г. по апрель 2021 г.

В качестве основной гипотезы нами было принято, что уровень воды на гидрологическом посту в дельте реки Дон является функцией стока (расхода) на данном водотоке и подпора воды приемного бассейна (Таганрогского залива). В связи с этим рассматривалась зависимость солености воды от уровня воды (как результирующего предиктора расхода воды и подпорного уровня) на ГП «Донской». В качестве критерия проникновения осолоненных вод принято значение солености, равное одной единице практической солености (е.п.с.) и выше.

Были построены графики хода уровня воды (Н мБС) и солености (S, е.п.с.), оценивалось взаимосмещение пиков уровня и солености. По каждому случаю определялась общая продолжительность времени проникновения осолоненных вод в дельту р. Дон, продолжительность подъема и спада уровня, а также скорость изменения уровня воды при подъеме и спаде ( $dH/dT$ ). Отдельно выделялись случаи «плато» – ровного или незначительных колебаний уровня или солености, выраженные на графиках линией близкой к прямой.

Построены графики связи (зависимости) изменения солености от уровня воды в виде линейных либо полиномиальных уравнений. По тангенсу угла наклона линейных уравнений были определены углы наклона линий тренда в градусах. Это позволило в дальнейшем (с учетом начального уровня) разделить уравнения связи на 2 типа.

Получены статистические характеристики уровня (Н мБС) и солености (S, е.п.с.) – min, средние, max, размах ( $\Delta$ , интервал), дисперсия как для каждого ряда, так и для выборки в целом (табл. 1).

При анализе уравнений связи уровня воды и солености в фазу подъема уровня было выявлено, что имеет место два типа процесса проникновения осолоненных вод в дельту р. Дон: тип 1 – при высоком начальном уровне стояния воды в дельте (от 0,24 мБС до 1,02 мБС) и тип 2 – при низком стоянии уровня от -0,67 мБС до +0,20 мБС.

По всем уравнениям связи был определен угол наклона тренда к оси уровня как дополнительного параметра для разделения процессов. Разделение процессов на основании скорости изменения уровня во времени ( $dH/dT$ ) положительного результата не дали. При анализе уравнений связи уровня воды и солености в фазу падения уровня существенных различий в полученных кривых связи также выявлено не было.

Таблица 1. Статистические характеристики солености

Дата			S, е.п.с.				E <sub>x</sub>	A <sub>s</sub>	Дисперсия
Год	Месяц	Число	S <sub>min</sub>	S <sub>ср</sub>	S <sub>max</sub>	ΔS			
Первый тип уравнения связи (процесса)									
2020	2	12–13	0,63	2,39	3,08	2,45	-1,21	0,11	0,41
	2	24–25	0,98	1,73	2,39	1,41	-1,31	-0,08	0,2
	2	28–29	0,95	1,71	2,82	1,87	-1,33	0,33	0,37
2020	3	15	0,98	1,08	1,16	0,18	-0,46	-0,32	0
	3	29–30	0,98	1,04	1,16	0,18	-0,7	-0,49	0
2021	3	7–8	0,96	1,63	2,08	1,12	-0,62	-0,31	0,09
	3	8	0,98	1,06	1,12	0,14	-0,8	0,43	0
	3	20	0,96	1,02	1,07	0,11	-1,14	0	0
2020	4	16–18	0,9	1,41	1,94	1,04	-0,58	-0,3	0,07
	4	22	0,99	1,02	1,08	0,09	0,42	1,3	0
	4	26–27	0,88	1,16	1,32	0,44	0,72	0,75	0,01
2021	4	20–21	0,94	1,08	1,25	0,31	-1,1	0,26	0,01
	Средняя		0,93	1,36	1,71	0,78	-0,68	0,14	0,10
Второй тип уравнения связи (процесса)									
2021	2	4–5	0,55	2,72	3,58	2,17	-0,25	-1,19	1,07
	2	6–7	0,97	1,87	2,78	0,90	-1,61	-0,24	0,36
	2	9–10	0,53	1,83	2,42	1,30	-0,33	-1	0,21
	2	10–11	0,98	1,72	2,21	0,74	-0,12	-0,3	0,07
2020	3	10–12	0,95	2,39	3,54	1,44	-1,15	-0,05	0,49
	3	15–16	0,95	1,06	1,15	0,11	-0,75	0,09	0
	3	19–20	0,8	0,94	1,05	0,14	2,14	-0,02	0
2021	3	2–3	0,74	3,16	4,77	2,42	-0,99	-0,53	1,27
	3	12–13	0,86	1,34	1,7	0,48	-1,28	-0,17	0,05
	3	17	0,91	1,59	2,24	0,68	-0,04	-0,46	0,08
	3	17–18	0,88	1,12	1,35	0,24	-0,4	0,34	0,01
2020	10	12	0,69	0,97	1,37	0,28	-0,25	0,36	0,04
	10	14	0,95	1,29	1,64	0,34	-1,46	0,21	0,05
	10	14	0,93	1,08	1,25	0,15	-1,49	0,07	0,01
	10	15	0,77	0,98	1,16	0,21	-0,44	-0,47	0,01
	10	15–16	0,92	1,04	1,15	0,12	-0,78	-0,18	0
	10	29–30	0,43	1,04	1,18	0,61	11,22	-3,3	0,02
2018	12	25–27	0,7	2,42	4,61	1,72	-1,45	0,38	1,71
	Средняя		0,81	1,59	2,18	0,78	0,03	-0,36	0,30

Работа выполнена в рамках научного проекта РНФ № 22-27-00818 «Влияние длительного маловодья и изменений климата (на рубеже XX–XXI веков) на динамику взвешенного вещества в устьевой области Дона».

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Клещенок А.В., Московец А.Ю.* Интрузии соленых вод в дельту Дона: закономерности развития и последствия // Наука Юга России. 2021. Т. 17. № 3. С. 30–37. DOI:10.7868/S25000640210304.
2. Руководство по расчету элементов гидрологического режима в прибрежной зоне морей и в устьях рек при инженерных изысканиях. М.: Гидрометеиздат, 1973. 535 с.
3. *Матишов Г.Г., Клещенок А.В., Булышева Н.И., Кренева К.В., Семин В.Л., Глушченко Г.Ю.* Современные проблемы развития природно-территориальных систем Цимлянского водохранилища и Нижнего Дона // Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения: сб. науч. тр. Всерос. науч. конф. с междунар. участием (г. Нижний Новгород, 8–14 сент. 2019 г.). 2019. М.: Студия Ф1. С. 30–35.
4. *Матишов Г.Г., Клещенок А.В., Григоренко К.С., Московец А.Ю., Кириллова Е.Э.* Изменение водного баланса в бассейне Нижнего Дона в условиях маловодья // Наука Юга России. 2018. Т. 14. № 3. С. 45–55. DOI: 10.7868/S25000640180306.
5. *Мамаев О.И.* Термохалинный анализ вод Мирового океана. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 296 с.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ МОРСКОГО КРАЯ ДЕЛЬТЫ РЕКИ ДОН

*С.А. Мисиров, А.В. Клеценков, И.В. Шевурдяев*

*Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия  
sam.misirov@gmail.com, geo@ssc-ras.ru, ig71089@yandex.ru*

Изменения морского края дельты (МКД) реки Дон и его устьевого взморья происходят под влиянием совокупности факторов. К естественным факторам, формирующим морской край дельты, относят речной вынос взвешенных и влекомых наносов (водный и твердый сток), вдольбереговые течения и связанный с ними перенос морских наносов, морское волнение, а также характер берегового склона и тектонические движения устьевой области. Но наряду с естественными факторами, существенную роль играют антропогенные факторы преобразования материкового стока. Значительные масштабы антропогенного преобразования речного стока в Азовское море позволяют ожидать столь же сильных сопутствующих изменений в литоморфодинамике устьевых областей Дона и Кубани [Бронфман, Хлебников, 1985].

Учитывая хозяйственное освоение и экологическое значение дельты реки Дон, изучение изменений МКД является важным вопросом в современный период времени. В связи с этим целью настоящего исследования является сравнительный анализ методов исследования динамики морского края дельты реки Дон на основе данных дистанционного зондирования Земли из космоса.

В работе были использованы архивные данные космических миссий: “Corona”; “Spot”; “Sentinel-2”. Выбор обусловлен тем, что к снимкам обеспечен открытый доступ через архивы данных “EarthExplorer USGS” (Геологической службы США) [Веб-сервис EarthExplorer], “SWH Data Center” [Spot World Heritage Data Center], а также материалы имеют достаточное пространственное разрешение (от 4 до 10 м). Для анализа динамики морского края дельты реки Дон был отобран ряд космических снимков (табл. 1), самый ранний из которых датируется 1975 г., а последний 2020 г. Таким образом, период оценки составил 45 лет.

Так как снимки миссий “Corona” поставляются без географической привязки, а снимки “Spot” имеют точность привязки 300–500 м, поэтому было принято решение для более точного геометрического согласования выполнить процедуру пространственной привязки указанных снимков с использованием опорных точек



более современного снимка Sentinel-2. Далее была проведена фиксация положения береговой линии на каждую дату съемки путем визуального дешифрирования и оцифровки в линейный класс пространственных объектов.

**Таблица 1.** Данные дистанционного зондирования Земли, использованные в работе

Спутник	Миссия	Дата съемки	Разрешение, м
Corona KH-9-10	DZB1210-500022L009001_a	13.06.1975	4
Spot-1	005-011_S1_117-255-0_HRV-1_P_DT_KK	17.10.1986	10
Ресурс-Ф1М	–	30.09.1999	4
Spot-4	002-004_S4_117-255-0_HRVIR-1_M_DT_BK	10.09.2010	10
Sentinel-2	T37TEN_A023899	19.01.2020	10

Оценка динамики морского края дельты реки Дон проводилась при помощи пакета ArcGIS 10.4, двумя методами – оценка изменений площади суши на морском крае дельты и оценка выдвигения/размыва на перпендикулярных к МКД разрезах.

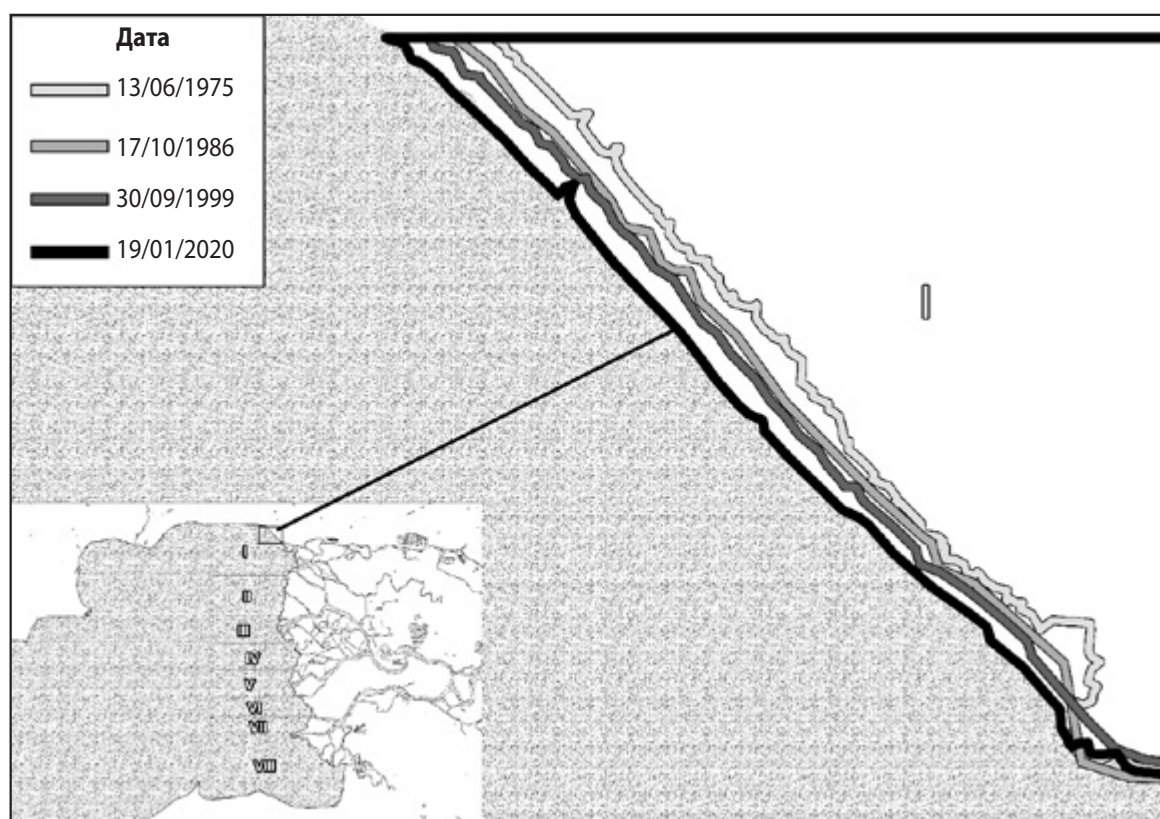
Оценка изменений площади суши проводилась следующим образом. Была выделена зона между МКД и меридианом Кагальник – Синявское. Согласно исследованию Бронфмана, Хлебникова [1985], классификации в соответствии с характером миграции материала в зоне бара, в её пределах было выделено 8 участков. Были определены площади выделенных участков при морском крае дельты на соответствующие даты спутниковой съемки. Данный метод позволяет оценить приращение/размыв площадей дельты в целом и по частям (рис. 1, табл. 2).

Для оценки выдвигения/размыва были установлены перпендикулярные разрезы к МКД через каждые 10 м. Построение и расчет изменений проводились с помощью программного обеспечения Digital Shoreline Analysis System (DSAS) v5 [Геологическая служба США (USGS)]. DSAS позволяет вычислить статистику скорости изменений из нескольких исторических позиций береговой линии на основе построенных разрезов (трансектов), перпендикулярных берегу с заданным шагом (рис. 2А).

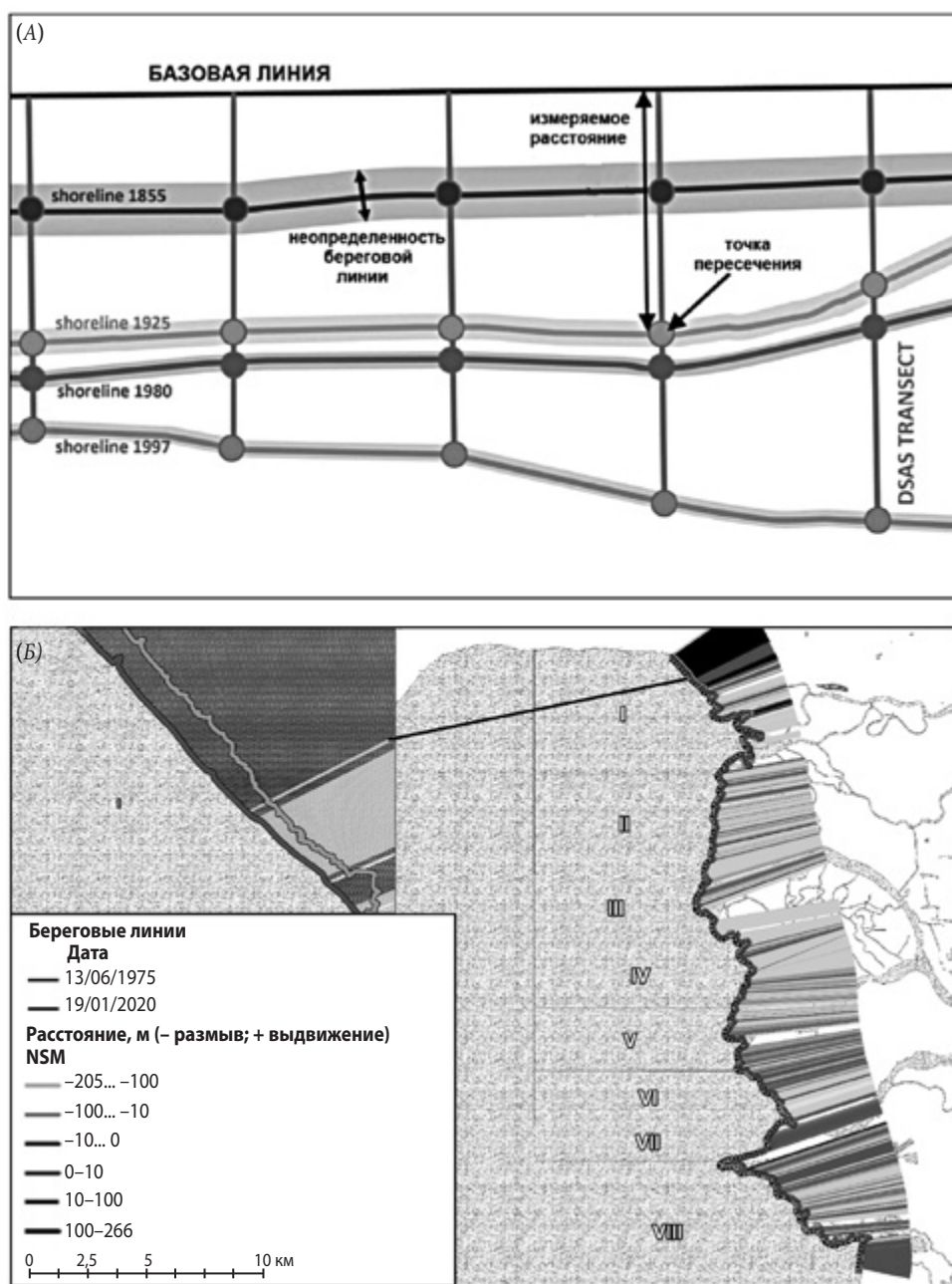
В результате применения метода оценки изменений площади суши, для каждого из 8 участков были получены значения изменений по площадям в га (табл. 2). При сравнении площадей 1975 и 2020 гг., полученные данные говорят о том, что участки по краям дельты (№ 1, 8) выдвигаются, в то время как все остальные размываются. Но если проводить анализ по периодам, то можно сделать вывод об увеличении площади участков за последние 20 лет.

**Таблица 2.** Результаты применения оценки изменений площади суши на морском крае дельты

№ участка	Площадь, га 1975 г.	Площадь, га 1986 г.	Площадь, га 1999 г.	Площадь, га 2020 г.	Изменение площади (га) (+выдвижение / -размытие) 1975–2020 гг.
1	3909.06	3916.41	3929.38	3946.30	37.24
2	3380.14	3374.04	3372.34	3375.81	-4.33
3	2447.87	2437.16	2440.60	2440.71	-7.16
4	1929.642	1923.639	1924.136	1924.915	-4.73
5	1929.143	1926.672	1927.065	1926.825	-2.32
6	1243.368	1250.847	1236.232	1237.552	-5.82
7	942.5452	938.413	943.6407	947.2099	4.66
8	1931.989	1949.056	1926.158	1938.359	6.37



**Рис. 1.** Данные, полученные после применения метода оценки изменений площади суши



**Рис. 2.** Метод оценки выдвигения/размыва на перпендикулярных к МКД разрезах:  
 (А) – схема измерения расстояния от базовой линии до каждой точки пересечения DSAS v5;  
 (Б) – изменения, полученные в результате применения метода

Оценка выдвигения/размыва на перпендикулярных к МКД разрезах показывает схожие результаты, а максимальные и минимальные значения колебаний размыва и выдвигения составляют 200–250 м (рис. 2Б).

Рассматривая полученные данные, можно сказать, что оба метода подтверждают характер изменений для каждого участка. Первый метод на основе полигональных слоев и получения площадных изменений более полно отражает картину изменений

и позволяет их изучить на всем протяжении МКД. Что касается второго метода, то данные показывают линейное движение в точке пересечения трансект с линиями МКД, но стоит отметить пробелы в расчетах для дельты р. Дон. Они связаны, в первую очередь, с большими изгибами МКД на участках и невозможности построить на них перпендикулярные разрезы. Вследствие этого метод применим для участков с небольшими изгибами МКД.

*Исследование выполнено в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН, № гр. проекта 122013100131-9.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бронфман А. М., Хлебников Е. П. Азовское море: основы реконструкции. Гидрометеиздат, 1985.
2. Веб-сервис EarthExplorer. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
3. Spot World Heritage Data Center. URL: <https://regards.cnes.fr/user/swh/modules/60>
4. Геологическая служба США (USGS). URL: [https://www.usgs.gov/centers/whcmsc/science/digital-shoreline-analysis-system-dsas?qt-science\\_center\\_objects=0#qt-science\\_center\\_objects](https://www.usgs.gov/centers/whcmsc/science/digital-shoreline-analysis-system-dsas?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects)

## ИЗМЕНЕНИЯ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ПРОМЫСЛОВЫХ СКОПЛЕНИЙ САЙРЫ, САРДИНЫ И СКУМБРИИ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА

*Е.И. Устинова, В.Н. Филатов, Д.Н. Чульчечков*

---

*Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), г. Владивосток, Россия  
elena.ustinova@tinro-center.ru; saira1@mail.ru*

Работа посвящена оценке изменений океанологических условий северо-западной части Тихого океана (СЗТО) и их влиянию на пространственное перемещение промысловых скоплений сайры (*Cololabis saira*), сардины (*Sardinops melanostictus*), и скумбрии (*Scomber japonicus* и *Scomber australasicus*). Данный район характеризуется высокой изменчивостью океанографических параметров в широких масштабах, которая оказывает влияние на формирование и динамику промысловой обстановки в этом высокопродуктивном районе.

В свою очередь, изменения положения районов основного лова, как, например, это произошло в случае с промыслом сайры, сместившимся в восточные регионы СЗТО, ведут к необходимости принятия управленческих решений по изменению логистики транспортировки, снабжения промысловых судов и доставки рыбной продукции на берег. В частности, после смещения основных миграционных путей сайры на восток, в зону, недоступную для японского прибрежного рыболовства, были достигнуты и реализованы беспрецедентные договоренности о сдаче выловленной японскими рыбаками сайры на российскую рыбодобывающую плавбазу. Это было взаимовыгодное сотрудничество, так как российские плавбазы испытывали нехватку сырья, а японские рыбаки, не имея подобных плавзаводов, не могли довести сайру до Японии без потери качества из дальних восточных регионов.

Основой для исследования послужили материалы комплексных пелагических съемок ТИНРО в 2014–2021 гг. из баз данных «Морская биология» и «Океанография» и промысловая информация по этим видам.

Данный период характеризуется увеличением численности и возобновлением промысла сардины и скумбрии в российских водах. Для сравнения с предыдущим «периодом без скумбрии и сардины» использованы данные аналогичных комплексных научных экспедиций 2004–2013 гг. (июнь). Также были проанализированы



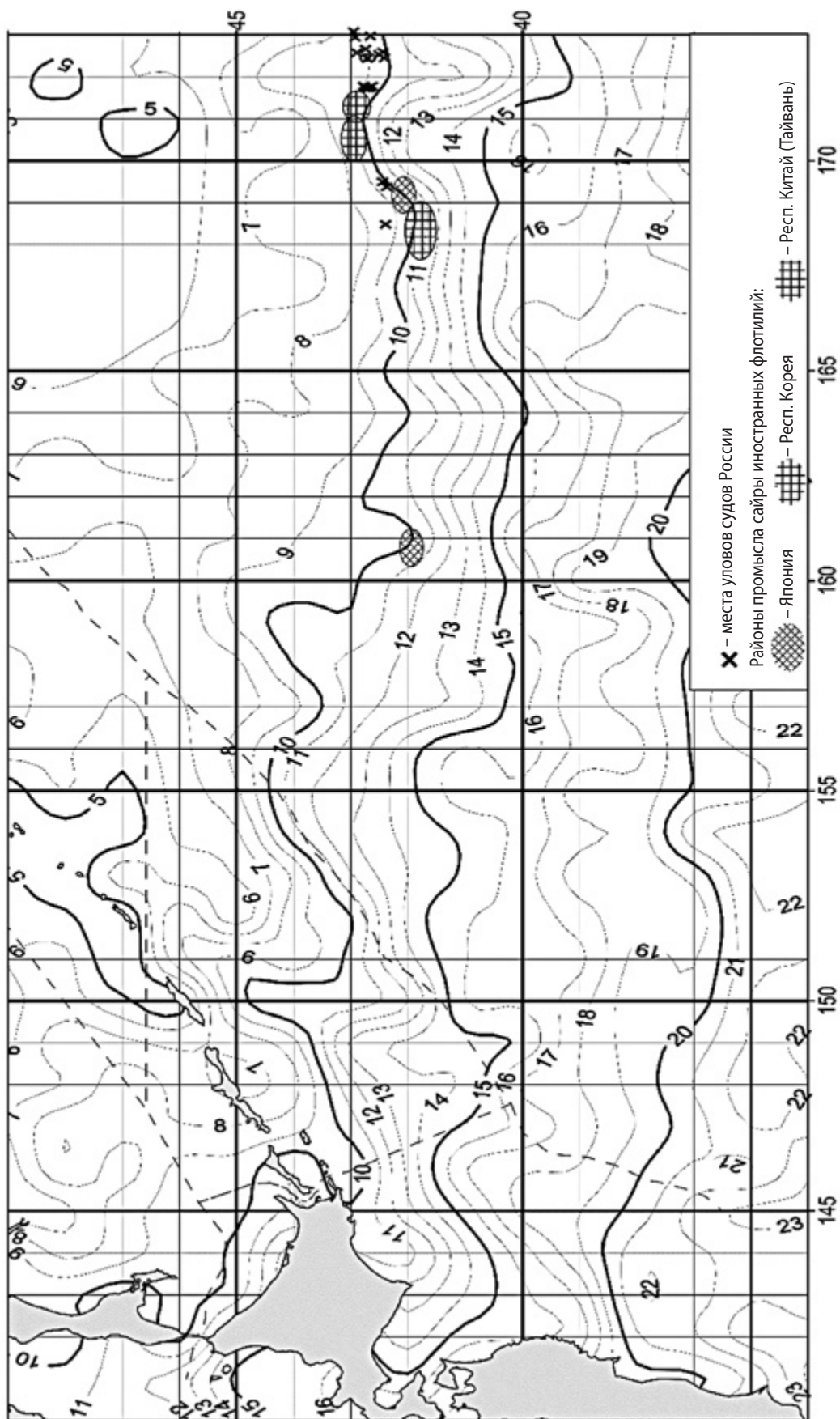


Рис. 1. Крайнее восточное положение центра промысла тихоокеанской сайры в 3-й декаде июня 2019 г. и распределение поверхностной температуры

данные о температуре поверхности океана (ТПО) и течениях Японского метеорологического агентства (JMA) международного проекта NEAR-GOOS [NEAR-GOOS. Regional Real Time Data Base].

Для оценки сдвигов климатического режима (резких переходов от одного режима к другому) использовался метод С.Н. Родионова [Rodionov, 2004, 2006], рассчитывался индекс сдвига климатического режима (RSI). При выделении экстремумов применялся критерий  $1,5\sigma$ .

Значительные изменения в пространственном распределении рассматриваемых видов в северо-западной части Тихого океана произошли от 2013 г. к 2014 гг. С 2014 г. в водах, доступных для российского промысла, массово отмечаются скумбрия и сардины [Хоружий и др., 2015], а с 2015 г. основные скопления сайры сместились на восток и север. В третьей декаде июня 2019 г. промысел сайры достиг крайнего восточного в историческом смысле положения: он велся восточнее  $170^\circ$  в.д. (рис. 1).

Линейный тренд ТПО для периода с 1950 г. по настоящее время в районе нагула сайры, сардины и скумбрии практически отсутствует во все сезоны, но в зоне воспроизводства этих видов многолетнее потепление значимо. Несмотря на отсутствие значимого линейного тренда в районе нагула, здесь произошло изменение климатического режима в сторону потепления в 1990 и 2018 гг., согласно расчетам индексов сдвига климатического режима, однако последний сдвиг близок к концу ряда, достоверность его невысока. Менее значительные изменения к потеплению отмечены в 2008 г. После максимально значимого сдвига в сторону потепления в 1990 г. произошло резкое уменьшение численности мигрирующей на нагул в субарктические воды сардины. В зоне воспроизводства сдвиг 1990 г. был более существенен, чем в зоне нагула.

«Термическая биология» рассматриваемых видов рыб достаточно хорошо известна [Беляев, 2003; Филатов, 2015]. Они распределены в достаточно широком диапазоне температур, однако для каждого периода их жизненного цикла характерно свое оптимальное «термическое окно». По данным съёмки были вычислены медианы «предпочитаемых температур» в период начала миграций в субарктические воды (июнь) и в период массового нагула в этих водах в июле – сентябре. Значимое различие между видами было найдено только для пятнистой (южной) скумбрии: она «предпочитает» воды на  $1^\circ\text{C}$  теплее, чем японская скумбрия и сардина иваси.

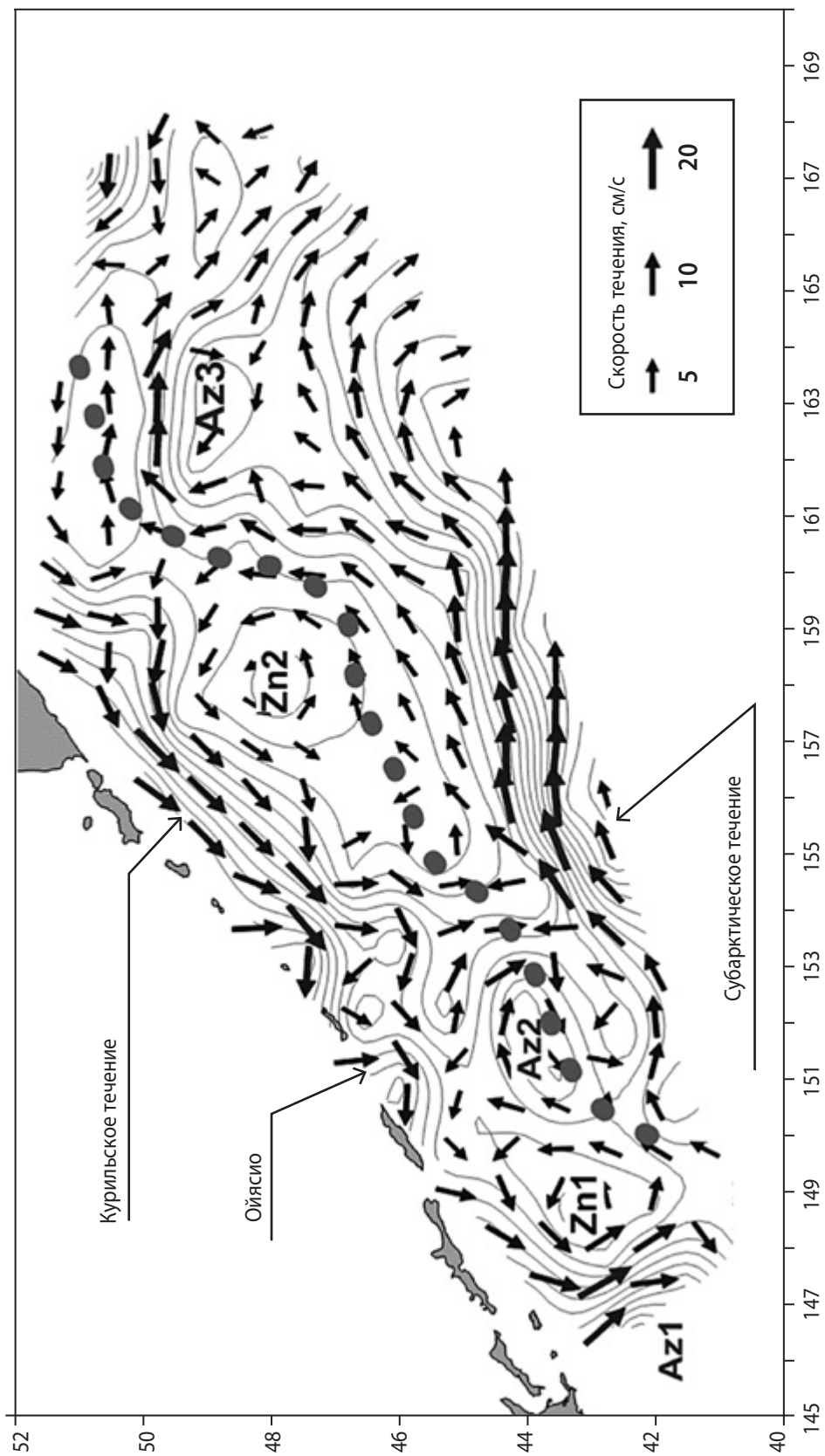
По сложившимся к настоящему времени представлениям [Беляев, 2003], реальный сдвиг ареала и экспансия вида для эпипелагических рыб ихтиоцена Курисио существенно зависят от его общей численности (на динамику которой тоже воздействуют изменения климата), а не только от непосредственного воздействия климатических факторов (в том числе через локальные продукционные процессы). В современный период наблюдаются значительные изменения пространственного распределения сардины и скумбрии, хорошо заметные по результатам траловых и акустических съёмки, выполняемых в СЗТО судами ТИНРО. Начиная с 2014 г. в ИЭЗ России и к

востоку от нее эти виды стали массово встречаться, и оценка их численности позволила рекомендовать их к промышленному лову. Это произошло при более теплых, чем в предыдущую вспышку численности этих видов, условиях, которые могут из-за кормовых условий «вынудить» сардину и скумбрию мигрировать на нагул далеко на север в нынешний период роста численности популяции.

Как известно, на миграции сардины, сайры и скумбрии оказывают существенное влияние наблюдающиеся изменения основных звеньев циркуляции вод СЗТО: течения Куроисио, Ойясио, Соя, Субарктическое, их ветви и меандры, а также синоптические вихри [Беляев, 2003; Булатов, Самко, 2002; Филатов и др., 2011]. Большая часть элементов динамики вод в тихоокеанской ИЭЗ России и прилегающих районах открытого океана является составной частью крупномасштабного западного субарктического циклонического круговорота. Океанографические съемки ТИПРО позволяют в общих чертах оценить его состояние (см. пример со схемой геострофических течений, рассчитанных по данным такой съемки, на рис. 2).

Выявлено, что юго-восточные звенья макрокруговорота – Субарктическое течение и течение Исогути (продолжение Третьей ветви Куроисио, отдельное наименование которого произошло от имени первого автора работы [Isoguchi et al, 2006]) – остаются интенсивными на протяжении последних 9 лет. Максимальные скорости этих течений, превышавшие 30 см/с, отмечались, как правило, на участке от 151 до 159° в.д. Это способствует, помимо возросшей численности, более интенсивным миграциям рассматриваемых видов в северо-восточном направлении – в район высокопродуктивных субарктических вод внутренней области этого круговорота. Локальный экстремум наблюдался в 2015 г., когда течение Исогути было наиболее интенсивным. Именно в этом году была получена максимальная оценка биомассы скумбрии в эпипелагиали прикурильских вод в июле – августе – 4,74 млн т. Однако по индексам RSI для характеристик этого течения не выявляется какого-либо значимого сдвига режима. Параллельно произошло ослабление течения Ойясио и его ветвей.

Локальные события также могут вызывать экстремальные аномалии, влияющие на пространственное распределение, пути миграции и, возможно, даже изменения численности короткоцикловых видов рыб, таких как тихоокеанская сайра. Так, в 2015–2016 гг. известный крупный антициклонический вихрь с экстремальными положительными температурными аномалиями, достигавшими в отдельные периоды +7 °С, располагавшийся восточнее острова Хоккайдо, вызвал смещение (более чем на 100 миль по сравнению с обычной ситуацией, характерной для данного сезона) осенних южных миграций сайры в открытые воды из-за блокировки прибрежных путей миграций. В последующем численность сайры значительно снизилась в районах традиционного промысла вплоть до невозможности осуществлять там результативный промысел, он сместился в восточную область.



**Рис. 2.** Поверхностные геострофические течения относительно 1000 дб, рассчитанные по данным комплексной съемки ТИПРО, выполненной в июне 2018 г.:  
Zn – циклоны, Az – антициклоны



Влияние крупномасштабных изменений климата на распределение сардины, скумбрии и сайры в СЗТО проявляется через изменения путей и скорости сезонных миграций, связанных с динамикой вод и фронтальных разделов. Температурные аномалии имеют значение в тех случаях, когда они вызваны динамическими факторами либо формируются на границах ареала или в уязвимый период жизни (личинки и молодь). В случаях их формирования как результата локального взаимодействия океана и атмосферы они могут способствовать усилению или размыванию фронтов, а значит, влиять на концентрацию скоплений исследуемых видов рыб.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беляев В.А.* Ихтиоцен эпипелагиали зоны течения Куроисио и его динамика – Хабаровск: Хабаровское книжн. изд-во, 2003. 382 с.
2. *Булатов Н.В., Самко Е.В.* Основные черты структуры фронтальных зон северо-западной части Тихого океана // Известия ТИНРО. 2002. Т. 130. С. 12–13.
3. *Филатов В.Н.* Миграции и формирование скоплений массовых пелагических гидробионтов (на примере тихоокеанской сайры). Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2015. 168 с.
4. *Филатов В.Н., Старцев А.В., Устинова Е.И., Еремин Ю.В.* Тихоокеанская сайра. Научно-информационное обеспечение промысловой экспедиции. Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2011. 120 с.
5. *Хоружий А.А., Сомов А.А., Емелин П.О., Старовойтов А.Н., Ванин Н.С.* Появление высокоурожайных поколений японской скумбрии и дальневосточной сардины в прикурильских водах северо-западной части Тихого океана // Рыбное хозяйство. 2015. № 6. С. 74–77.
6. *Isoguchi O., Kawamura H., and Oka E.* Quasi-stationary jets transporting surface warm waters across the transition zone between the subtropical and the subarctic gyres in the North Pacific // J. Geophys. Res. 2006. 111. C10003. DOI:10.1029/2005JC003402.
7. NEAR-GOOS. Regional Real Time Data Base. URL: <https://ds.data.jma.go.jp/gmd/goos/data/rrtdb/jma-pro.html> (дата обращения: 22.07.2022).
8. *Rodionov S.N.* A sequential algorithm for testing climate regime shifts // Geophys. Res. Lett., 2004. Vol. 31. No. 9. L09204. DOI: 10.1029/2004GL019448.
9. *Rodionov S.N.* The use of prewhitening in climate regime shift detection // Geophys. Res. Lett. 2006. Vol. 33. No. 12. L12707. DOI: 10.1029/2006GL025904.



---

**Секция 5**  
**МОНИТОРИНГ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ  
И ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРИБРЕЖНЫХ ЗОНАХ.  
ТРАНСПОРТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

---

**ДИНАМИКА БЕРЕГОВ КАЛАМИТСКОГО ЗАЛИВА  
НА ЗАПАДНОМ ПОБЕРЕЖЬЕ КРЫМА**

*И.В. Агаркова-Лях<sup>1,2</sup>*

---

<sup>1</sup>*Институт природно-технических систем, г. Севастополь, Россия*

<sup>2</sup>*Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия  
iva\_crimea@mail.ru*

Пляжи Каламитского залива являются основным ресурсом рекреации и объектом привлечения туристов в Западный Крым. С 1930-х гг. на отдельных участках залива началось поступательное уменьшение ширины пляжей, в 1980-е гг. сменившееся их деградацией почти на всем протяжении. Сегодня эти процессы представляют серьезную региональную проблему, а их основной причиной выступает рост хозяйствования на берегах Мирового океана [Агаркова, 1999; Coastal erosion ... 2013; Агаркова-Лях, Лях, 2021].

Цель работы – охарактеризовать динамику пляжей и берегов Каламитского залива на протяжении второй половины XX – начала XXI в. по материалам наблюдений ведущих научных организаций Крыма и собственным полевым исследованиям с 1998 по 2017 г.

Каламитский залив расположен у Западного берега Крыма и ограничен на севере м. Евпаторийский, на юге – м. Лукулл. Общая протяженность его берегов составляет около 66 км (по карте масштаба 1 : 200 000). Еще в середине XX в. В.П. Зенкович представлял берега залива в качестве примера абразионно-аккумулятивной пары, состоящей из двух участков: северного аккумулятивного (от м. Евпаторийский до оз. Кызыл-Яр) и южного абразионного (от Красной Горки до м. Лукулл), – связанных обменом вещества в единую литодинамическую систему [Зенкович, 1947]. Прислоненные пляжи абразионного участка образовались из материала твердого

стока рек Западный Булганак и Альма, продуктов размыва берегов и подводного склона, биогенных выбросов. Пляжи полного профиля аккумулятивного участка сформированы, главным образом, транспортируемым с юга материалом вдольберегового потока, направленного от устья р. Бельбек к Евпатории и включающего твердый сток рек Качи и Бельбека, донными выбросами, продуктами размыва берегов и бенчей. Далее рассмотрим изменения ширины пляжей на разных участках Каламитского залива в течение второй пол. XX – нач. XXI в.

В середине 1980-х гг. в устье р. Альмы существовал естественный пляж, шириной 8–10 м, а у с. Песчаное – искусственный, такой же ширины [Состояние ... 2006]. Пляжи севернее с. Песчаное и у с. Береговое в этот период имели ширину 5–8 м; к северу от с. Береговое – 10–15 м. В южной и центральной частях пгт. Николаевка в середине 1980-х гг. был пляж шириной около 30 м, в северной – нестабильный пляж – 10 м.

После строительства между с. Песчаное и пгт. Николаевка бун и откосно-ступенчатых набережных (общей протяженностью около 2,75 км), здесь началось резкое сокращение ширины пляжей, а сами берегоукрепительные сооружения (БУС) спустя 10 лет начали разрушаться [Состояние ... 2006; Горячкин, 2016б]. Положительные изменения коснулись небольших участков у пгт. Николаевка, защищенных набережными и бунами.

В середине 1980-х гг. пляж к югу от пересыпи оз. Богайлы имел ширину 18 м. Между озерами Богайлы и Кызыл-Яр ширина пляжа составляла 7–12 м, а в районе Красной Горки – 10 м. В те же годы ширина южной части Кызыл-Ярской пересыпи была 200 м. После строительства в 1979–1982 гг. в северной части пересыпи гидротехнического сооружения, перед ним стал нарастать пляж, со средней скоростью 7,5 м/г. [Агаркова, 1999]. В начале 2000-х гг. южная часть Кызыл-Ярской пересыпи сократилась в 1,5 раза, а береговая линия ее северной части выдвинулась в море на 120 м (на длину гидротехнического сооружения).

Сходные процессы наблюдались и на Сакской пересыпи. По результатам наших исследований, в начале 1980-х гг. между детским оздоровительным лагерем «Звездный» им. г. Титова и оздоровительным комплексом «Парус» были широкие пляжи до 60 м, от которых сегодня осталось до 15–20 м. Формирующийся здесь уступ размыва имеет высоту от 0,1 до 1 м с постоянным его смещением к суше. Пляж в северной части Сакской пересыпи у детского оздоровительного центра «Прибрежный» относительно стабилен. Его изменения с середины 80-х гг. прошлого века лежат в пределах –3... +5 м. Ширина этих пляжей практически не изменилась за исследуемый период и составляет более 50 м.

На пересыпи озера Сасык-Сиваш средняя ширина пляжей в середине 1980-х гг. составляла от 30 до 50 м. Максимальных величин 50–100 м в этот период достигали пляжи полного профиля напротив пос. Прибрежное, где береговая линия меняет свое направление, и происходит аккумуляция материала вдольберегового потока наносов.

В конце 1950-х – начале 1980-х гг. ширина евпаторийских пляжей на восточной окраине в районе улицы Симферопольской была 30–50 м. После затопления этой территории во время шторма в ноябре 1981 г., началось уничтожение морем части улицы вместе с набережной. В настоящее время попытки отдельных собственников защитить дома от разрушения привели к образованию завалов из камня-ракушечника, бетонных плит и пр.

В 1968–1972 гг. в исторической части города построили набережную им. В. Терешковой, длиной 1,8 км, выдвинутую в море на 30–50 м, после чего пляжи здесь полностью исчезли [Горячкин, 2016а].

До 1950-х гг. на м. Карантинный и прилегающих участках был широкий пляж полного профиля, сужавшийся к востоку до 10–20 м. В конце 1970-х гг. на м. Карантинном построили мол Евпаторийского морского торгового порта длиной 200 м. В итоге с его восточной стороны образовалась обширная отмель, а с западной (район набережной им. М. Горького) берег начал активно отступать. Это строительство стоило потери до 50 м ширины городских пляжей [Горячкин, 2016а]. После появления мола, пляжи между м. Карантинный и м. Евпаторийский устойчиво деградируют.

В начале XX в. ширина пляжей у теперешней набережной им. М. Горького была 21–85 м, а в 2005 г. – только 15–35 м. Западнее, у нынешнего парка им. Фрунзе – пансионата «Золотой берег», ширина пляжа в начале XX в. была 50–80 м, в середине 1980-х гг. – 30–40 м, а в 2005 г. – лишь 6–15 м. За 90 лет, с 1915 по 2006 г. пляжи в районе современного санатория «Орленок» сократились более чем в два раза [Состояние ... 2006]. По подсчетам [Горячкин, 2016а], в центральной части Евпатории пляжи отсутствуют на протяжении 3 км; еще на 1,5 км они существенно уменьшились.

Ширина пересыпи оз. Мойнаки сократилась с 125–150 м в 1989 г. до 90–100 м в 2005 г. Активный размыв подтверждают уступы размыва высотой до 0,8 м на пляжах пансионатов «Планета», «Магнат», «Алмазный» и «Россия» [Состояние ... 2006].

Судить о запасах отложений на пляжах залива в конце 1980-х гг. позволяют материалы [Изучение ... 1993], согласно которым наибольшие объемы отложений были сосредоточены на аккумулятивных пересыпях озер (Богайлы, Кызыл-Яр, Сакского, Сасык-Сиваш) и в зоне разгрузки вдольберегового потока наносов (вершина залива).

Таким образом, следует констатировать, что с 1980-х гг. до настоящего времени ширина пляжей Каламитского залива катастрофически сокращается на всем их протяжении от м. Лукулл до Евпатории, кроме нескольких устойчивых участков и районов гидротехнического строительства с нарушенным естественным режимом литодинамики. В итоге, средней ширины пляжей (10–15 м) крайне недостаточно для гашения энергии морского волнения, из-за чего их берега размываются и отступают. Сегодня размыв является доминирующим береговым процессом и главным источником обломочного материала. Объективная оценка скоростей размыва берегов залива возможна при сравнении рядов многолетних наблюдений за ними (табл. 1).

**Таблица 1.** Скорости отступления берегов Каламитского залива

Участок берега		Период наблюдений	Средняя (max) скорость отступления, м/год	Источник
Аккумулятивный	Евпатория	1970-ые гг.	3,75	[Шуйский, 1979]
		–	1,0–2,0	[Состояние ... 2006]
	Сакский участок	1970-ые гг.	1,0	[Шуйский, 1979]
	Сакская пересыпь	1979–1982 гг.	2,6	[Евпаторийско-Сакский ... 1986, 1988]
	юг Сакской пересыпи	1941–1963 гг.	2,1	[Романюк и др., 1992]
	юг Сакской пересыпи у ДОЛ «Звездный»	1983–2005 гг.	1,5–2,0; (3,76)	[Агаркова, 1999]
Абразионный	юг Кызыл-Ярской пересыпи	–	5,0	[Изучение ... 1993]
	Красная Горка	–	2,0–2,8	
	севернее пересыпи оз. Богайлы у с. Фрунзе	1994–2005 гг.	1,36	[Состояние ... 2006]
	юг пересыпи оз. Богайлы	–	5,0	[Изучение ... 1993]
	между пгт. Николаевка и оз. Кызыл-Яр	1940–1973 гг.	1,46	[Романюк и др., 1992]
	севернее пгт. Николаевка	–	от 0,6–1,0 до 6,0	[Изучение ... 1993]
	устье Альмы, с. Песчаное и с. Береговое	–	3,0	
	между м. Лукулл и с. Фрунзе	–	2,0–2,8	
весь залив	1905–2005 гг.	1,3; (7,8)	[Состояние ... 2006]	

Средняя скорость размыва берегов залива за последние 100 лет составила 1,3 м/год, максимальная – 7,8 м/год. Сложившаяся в Каламитском заливе береговая обстановка обусловлена чрезвычайно низким количеством поступающего в береговую зону обломочного материала. В условиях катастрофического снижения твердого стока рек и низкой продукции ракуши, основным источником пляжеобразующего материала является размыв свободных от БУС береговых откосов и подводного склона, удельная величина которых составляет соответственно 2,7 м<sup>3</sup>/м-год и 1,7 м<sup>3</sup>/м-год наносов [Шуйский, 2005].

Суммарно они дают около 4,4 м<sup>3</sup>/м-год наносов в среднем за многолетний период, однако их недостаточно для полного насыщения Каламитского потока. Ненасыщенный поток мощностью 65 тыс. м<sup>3</sup>/год полностью разгружается на дно Евпаторийской бухты, оставляя без подпитки северную часть Каламитского залива. Для сохранения пляжей залива актуальна реализация научно и технически обоснованных проектов берегозащиты.

*Работа выполнена по теме гос. задания ИПТС № 121122300072-3.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Агаркова И.В.* Влияние хозяйственной деятельности на динамику Сакского побережья // Ученые записки Таврического национального ун-та им. В.И. Вернадского. Серия: География. 1999. 12 (51). № 1. С. 15–19.
2. *Агаркова-Лях И.В., Лях А.М.* Многолетняя динамика пляжей и берегов Каламитского залива Крыма // Вестник Воронежского гос. ун-та. Серия: География. Геоэкология. 2021 (3). С. 41–51. URL: <https://doi.org/10.17308/geo.2021.3/3599>
3. *Горячкин Ю.Н.* Берегозащитные сооружения Крыма: Западное побережье. Ч. 1 // Гидротехника. 2016а. № 1. С. 49–54.
4. *Горячкин Ю.Н.* Берегозащитные сооружения Крыма: Западное побережье. Ч. 2. // Гидротехника. 2016б. № 2. С. 38–43.
5. Евпаторийско-Сакский курортно-рекреационный подрайон. Террит. комплекс. схема охраны природы курортов общесоюзного значения. Украинский институт проектирования городов «Гипроград». Прил. 14. Ялта, 1986. Т. 1. К., 1988.
6. *Зенкович В.П.* Изучение динамики берегов Западного Крыма // Вопросы географии. 1947. Вып. 3. С. 205–206.
7. Изучение оползней Крымской области за 1976–1980 гг. и 1981–1982 гг.: отчет / Крымская гидрогеологическая экспедиция; исполн. И.Ф. Ерыш. Симферополь, 1983.
8. Изучение условий развития экзогенных геологических процессов береговой зоны Крымского полуострова: отчет / ГПП «Крымгеология»; исполн. Ю.П. Лукьянов. Симферополь, Ялта. 1993.
9. *Романюк О.С., Лущик А.В., Морозов В.И.* Условия формирования и динамика морского побережья в районе Сакской курортной зоны: отчет / Институт минеральных ресурсов. Симферополь, 1992.
10. Состояние Западного побережья АР Крым: отчет / ГП «Крымское республиканское противооползневое управление». Ялта, 2006.
11. *Шуйский Ю.Д.* Питание обломочным материалом северо-западного и крымского районов шельфа Черного моря // Исследование динамики рельефа морских побережий. М.: Наука, 1979. С. 89–97.
12. *Шуйский Ю.Д.* Основные закономерности морфологии и динамики Западного берега Крымского полуострова // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. 2005. Вып. 13. С. 62–72.
13. Coastal erosion and protection in Europe / Ed. by E. Pranzini and A. Williams. Taylor & Francis Ltd. 2013. 488 p.



## ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСЛОЖНЕНИЯ ПРИ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ РАБОТАХ НА ТАМАНСКОМ ШЕЛЬФЕ

*Е.А. Глазырин*

---

*АО «Южморгеология», г. Геленджик, Россия*

*eaglazyrin@mail.ru*

В инженерно-геологическом отношении Таманский шельф изучен относительно хорошо и активно осваивается. Здесь уже выполнено и планируется значительное число морских инженерно-геологических изысканий под различные объекты – портовые сооружения, подходные каналы, транспортные переходы, подводные трубопроводы и пр. В акватории Таманского шельфа активно проводятся дноуглубительные работы под портовое строительство и судоходные каналы. Своевременное выявление и идентификация инженерно-геологических осложнений (препятствий) является актуальной задачей инженерно-геологического обеспечения дноуглубительных работ, в том числе для обоснования типа земснаряда и предотвращения его поломки при встрече препятствий.

В геоморфологическом отношении Таманский шельф представляет собой преимущественно подводную абразионно-аккумулятивную равнину. Коренные породы представлены палеоген-неогеновыми глинами различной карбонатистости с мало-мощными прослоями скальных преимущественно карбонатных пород. С увеличением глубины моря коренные породы перекрываются чехлом рыхлых четвертичных отложений. Они представлены глинистыми, суглинистыми и супесчаными илами с прослоями песков. Дно покрыто маломощным слоем ракуши с детритовым песком.

Выполняемый под дноуглубительные работы в соответствии с нормативными требованиями комплекс инженерных изысканий успешно решает задачи обнаружения и идентификации инженерно-геологических осложнений (препятствий) на поверхности морского дна и в маломощном чехле рыхлых отложений, таких как минная опасность, антропогенные объекты и отдельные крупные скальные глыбы и валуны. Между тем практика дноуглубления на Таманском шельфе показала, что при разработке коренных пород нередко встречаются не выявленные изысканиями высокопрочные скальные инженерно-геологические осложнения. С ними связаны поломки механических разрыхлителей грунта самоотвозных трюмных земснарядов, что приводит к финансовым и производственным потерям. Анализ результатов стандартных инженерных изысканий показал их недостаточность для выявления

таких скальных осложнений и необходимость выполнения 3Д-исследований для их обнаружения. Во многом это связано с нестратифицированным характером залегания скальных осложнений и недоучетом геологических особенностей региона. К таковым особенностям относится активное развитие подводного грязевого вулканизма, метановой разгрузки и их производных в неоген-четвертичный период [Глазырин, 2017; Глазырин, Глазырина, 2015; 2020; Ростовцева, 2012; Шнюков и др., 2006].

По данным геологического обследования прилегающей суши и научных исследований [Глазырин, Глазырина, 2015; 2020; Ростовцева, 2012] на Таманском шельфе в качестве инженерно-геологических осложнений присутствует несколько морфогенетических типов скальных образований.

**1. Стратифицированные пласты карбонатных пород** (от известняков до известковых мергелей). Мощность их до 0,5 м, редко более. Они выдержанные по протиранию, присутствуют пережимы и раздувы. Имеют различное распространение (мощность и частота встречи) в свитах палеоген-неогенового разреза. Относительно мощные пласты относительно уверенно картируются при квалифицированном выполнении стандартного комплекса инженерно-геологических изысканий, но локальные раздувы пластов могут пропускаться между геофизическими профилями и скважинами.

**2. Субизометричные карбонатные постройки метановых сипов.** Их образование связано с функционированием метановых сипов на морском дне [Foucher et al., 2009; Levin, 2005]. В регионе такие постройки встречены в нижне-неогеновом разрезе, что соответствует начальному этапу формирования Керченско-Таманской грязевулканической области [Шнюков и др., 2006]. Представлены двумя типами, имеющими переходные разности [Глазырин, Глазырина, 2015; 2020].

*Воронкообразные карбонатные образования.* Встречены в глинах зеленой свиты ( $N_1zI$ ) сарматского яруса. Текстура брекчиевая и брекчиевидная, ноздревато-кавернозная с цементацией магнезиальным кальцитом. Размер тел составляет первые метры в поперечнике. Верхняя граница воронкообразных тел синседиментационная с присутствием обильной «прижизненной» донной фауны (раковины моллюсков и др.), очень редкой во вмещающих глинах. Нижние границы тел имеют постепенные контакты с вмещающими глинами [Глазырин, Глазырина, 2015].

*Биогермы* выделяются в виде частых холмообразных бугристых тел протяженностью до 40 м и высотой до 15 м в основании холоднодолиновской свиты ( $N_1hd$ ) на границе сарматского и меотического яруса. Сложены они несколькими типами известняка доломитистого – мшанковым, серпуловым, строматолитовым и копролитовым [Глазырин, Глазырина, 2020]. Мшанковый известняк составляет основной объем построек. Такими биогермами, в частности, сложен мыс Панагия и уходящие от него в море отдельные скалы.

Помимо таких, относительно крупных биогермов, более мелкие и редкие тела описаны в других частях неогенового разреза [Ростовцева, 2012]. Биогермы образуют также раздувы в вышеописанных пластах карбонатных пород.

**3. Карбонатизированные грязевулканические образования.** Присутствуют в потухших грязевулканических каналах – некках, дайках, жилах, субпластовых телах [Глазырин, Глазырина, 2015]. Представлены крупными (до нескольких метров в поперечнике), весьма крепкими скальными ксеноблоками известкового доломита округлой, эллипсоидальной и плитообразной формы. Петрографическое изучение показало, что это нацело карбонатизированная грязевулканическая брекчия, вынесенная из более глубоких частей грязевулканических каналов.

В результате волновой абразии коренного ложа и берегов описанные скальные карбонатные образования как более прочные породы концентрируются на морском дне в виде делювиальных и перлювиальных обломков до глыбовой размерности. Недоучет особенностей формирования инженерно-геологического разреза Таманского шельфа, в результате которых были сформированы специфические скальные образования в глинистом неогеновом разрезе, приводит к удорожанию или удлинению сроков дноуглубительных работ, необходимости проведения дополнительных инженерно-геологических изысканий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глазырин Е.А. Основные результаты изучения подводного грязевого вулканизма Керченско-Таманского региона // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Т. VII. Ч. 2 / под ред. Керимова И.А. М.: ИИЕТ РАН, 2017. С. 39–48.
2. Глазырин Е.А., Глазырина Н.В. Неоген-четвертичные карбонатные постройки и образования подводных газо-флюидных разгрузок Азово-Таманского региона // Геология рифов: мат-лы Всерос. литологич. совещ. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2015. С. 32–33.
3. Глазырин Е.А., Глазырина Н.В. Реперные карбонатные постройки начальной стадии формирования Керченско-Таманской грязевулканической области // Геология рифов: мат-лы Всерос. литологич. совещ., посвященного 130-летию со дня рождения Веры Александровны Варсанюковой. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2020. С. 39–41.
4. Ростовцева Ю.В. Седиментогенез в бассейнах среднего и позднего миоцена Восточного Паратетиса (стратотипический Керченско-Таманский регион): автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. М., 2012. 50 с.
5. Шнюков Е.Ф. и др. Грязевые вулканы Керченско-Таманского региона. Краснодар: ГлавМедиа, 2006. 176 с.
6. Foucher J.P. et al. Structure and Drivers of Cold Seep Ecosystems // Oceanography. 2009. Vol. 22. № 1. P. 92–109.
6. Levin L.A. Ecology of cold seep sediments: interactions of fauna with flow, chemistry and microbes // Oceanography and Marine Biology: An Annual Review. 2005. 43. P. 1–46.

## НЕЛИНЕЙНЫЕ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ ВОЗМУЩЕНИЯ ШЕЛЬФОВЫХ ОБЛАСТЕЙ

*Г.И. Долгих, С.Г. Долгих*

---

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва  
Дальневосточного отделения РАН, г. Владивосток, Россия  
dolgikh@poi.dvo.ru*

В исследовании обсуждаются результаты обработки и анализа экспериментальных данных, полученных на лазерном измерителе вариаций гидросферного давления при регистрации вариаций гидросферного давления на дне в различных точках шельфа Японского моря. В первой части раздела «Обработка и анализ полученных экспериментальных данных» рассмотрены особенности возникновения нелинейных гидрофизических возмущений типа волн-убийц в поле ветровых волн. Далее приводятся участки записей лазерного измерителя вариаций гидросферного давления, содержащие нелинейные гидрофизические возмущения типа волн-убийц «морская яма» и «бугор». Обсуждается возможное влияние атмосферных процессов на возникновение этих нелинейных образований. Во второй части раздела «Обработка и анализ полученных экспериментальных данных» обсуждаются результаты обработки участков записей лазерного измерителя вариаций гидросферного давления, в которых выделяются морские возмущения, по внешнему виду похожие на волны-убийцы «одна сестра», «две сестры», «три сестры». При обработке полученных экспериментальных данных выделены основные моды ветрового волнения и инфрагравитационных морских волн, ответственных за формирование наблюдаемых волн-убийц. Межмодовая перекачка энергии в наблюдаемом пакете волн по своему поведению напоминает модифицированный возврат Ферми – Пасты – Улама.

По результатам спектральной обработки и внешним признакам выявлено три возможных механизма образования волн-убийц: 1) образование в поле ветровых волн в результате воздействия внешнего импульса атмосферного или литосферного происхождения (длительность которого равна периоду основного максимума поля ветровых волн) и межмодовой самофокусировки; 2) нагружающее воздействие атмосферных нелинейных процессов на водную поверхность колоссального давления, приводящих к образованию волн-убийц «морская яма» или «бугор»; 3) межмодовое взаимодействие основных мод ветрового волнения (волн зыби)

и основной моды региональных инфрагравитационных морских волн. В результате этого нелинейного взаимодействия образуются волны-убийцы, такие как «одна сестра», «две сестры» и «три сестры». Интересен вопрос о зависимости возникновения волн-убийц от периодов волн зыби. Возможно, что при значительном увеличении периодов ветрового волнения, например до 10–12 с, в процесс образования волн-убийц будут вовлечены другие инфрагравитационные моды.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта № 220-5163-9919 «Нелинейная гидрофизика с приложениями к природным катастрофам Дальневосточного региона».*



## СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И КОМПЬЮТЕРНОЙ ТРАЕКТОРНОЙ МОДЕЛИ РАССЕЙВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ

*А.А. Егоркин*

---

*Институт природно-технических систем, г. Севастополь, Россия  
egorkin1974@yandex.ru*

Одним из компонентов атмосферы, оказывающих влияние на качество воздуха и климатическую систему, являются аэрозоли. Аэрозоли – это твердые или жидкие частицы, находящиеся во взвешенном состоянии в воздухе. В атмосфере аэрозольные загрязнения воспринимаются в виде дыма, тумана, мглы или дымки [Сапрыкин и др., 2016]. Современные спутниковые данные обеспечивают более точное средство для оценки переноса аэрозолей, чем информация, полученная по результатам наземных измерений. Измерения со спутниковых датчиков на солнечно-синхронных и геостационарных орбитах могут быть использованы для картирования распределения параметров аэрозоля в глобальном или региональном масштабах.

В октябре 2017 г. была запущена миссия Sentinel-5 Precursor (S5P) с прибором мониторинга тропосферы (TROPOMI), который обеспечивает ежедневный глобальный охват с пространственным разрешением до 7 км × 3,5 км. Sentinel-5P является датчиком, анализирующим состав атмосферы и обеспечивающим измерения O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, формальдегида, аэрозолей и облаков с высоким пространственным, временным и спектральным разрешением. Наличие аэрозоля в атмосфере регистрируется с помощью аэрозольного индекса, который вычисляется как отношение измеренного коэффициента отражения верхней части атмосферы в ультрафиолетовом диапазоне спектра, где поглощение озона слабое и предварительно рассчитанного теоретического коэффициента отражения для атмосферы, в которой присутствует только рэлеевское рассеяние. TROPOMI наблюдает спектральную область в поперечном измерении за один раз с помощью двумерного детектора, способен наблюдать видимый в ультрафиолетовом (UV-VIS, 267–499 нм), ближний инфракрасный (NIR, 661–786 нм) и коротковолновый инфракрасный (SWIR, 2300–2389 нм) диапазоны длин волн. Ширина полосы орбиты составляет 2600 км, что обеспечивает глобальный охват за 1 сутки [Tilstra, 2020; и др.].

Аэрозольный индекс TROPOMI называется ультрафиолетовым аэрозольным индексом (UVAI) и может быть рассчитан при наличии облаков, чтобы обеспечить ежедневный глобальный охват. UVAI идеально подходит для отслеживания эволюции эпизодических аэрозольных шлейфов от вспышек пыли, вулканического пепла и сжигания биомассы. Положительные значения UVAI, как правило, свидетельствуют о наличии в атмосфере поглощающих аэрозолей, таких как дым, минеральная пыль или вулканические аэрозоли. Отрицательные – означают присутствие непоглощающих аэрозолей (например, сульфатов и частиц морской соли) из природных и антропогенных источников, нулевые значения характерны для облачности.

Для оценки и прогнозирования влияния переноса аэрозолей на экологическую ситуацию предлагается провести моделирование возможного переноса аэрозольных частиц из территорий с повышенными уровнями концентраций, определенными на основе спутниковых исследований, и моделирования с использованием гибридной траекторной модели (HYSPLIT) Национальной лаборатории океанических и атмосферных ресурсов (NOAA) (ARL). Модель представляет собой полную систему для вычисления как простых прямых, так и обратных траекторий воздушных выбросов, а также сложных моделей переноса, дисперсии, химического превращения и осаждения [Stein, 2015; и др.]. Методика анализа обратных траекторий достаточно давно стала широко применяться для оценки возможных изменений концентраций газовых смесей в связи с крупномасштабным переносом воздушных масс [Moody, 1995; и др.].

Цель исследования – апробировать совместное использование возможностей дистанционного мониторинга аэрозольных частиц и траекторной модели движения частиц для оценки результатов наземного мониторинга, проводимого в г. Севастополе. В результате мониторинга был зарегистрирован повышенный уровень концентрации взвешенных частиц. Мониторинг состояния загрязнения атмосферного воздуха г. Севастополя проводился на стационарном посту Государственной наблюдательной сети ФГБУ «Крымское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (ул. Госпитальный спуск, 1). По данным наблюдений за период с 01:00 ч 20.05.2019 по 19:00 ч 25.05.2019 наблюдались превышения предельно-допустимой концентрации по взвешенным веществам в 2,6 раза.

По данным TROPOMI были построены ежедневные карты распределения UVAI. Семидневный композит карт (рис. 1) демонстрирует распространение аэрозольного шлейфа (с 20 по 26 мая 2019 г.) на расстояние более 1000 км к южному побережью Крымского полуострова. Аэрозольный шлейф образовался предположительно от песчаной бури в период с 20 по 25 мая 2019 г., достиг г. Севастополя и, соответственно, мог быть причиной фиксации превышения уровня предельно-допустимой концентрации взвешенных частиц, что может сказываться негативно на состоянии качества воздуха в этом регионе.

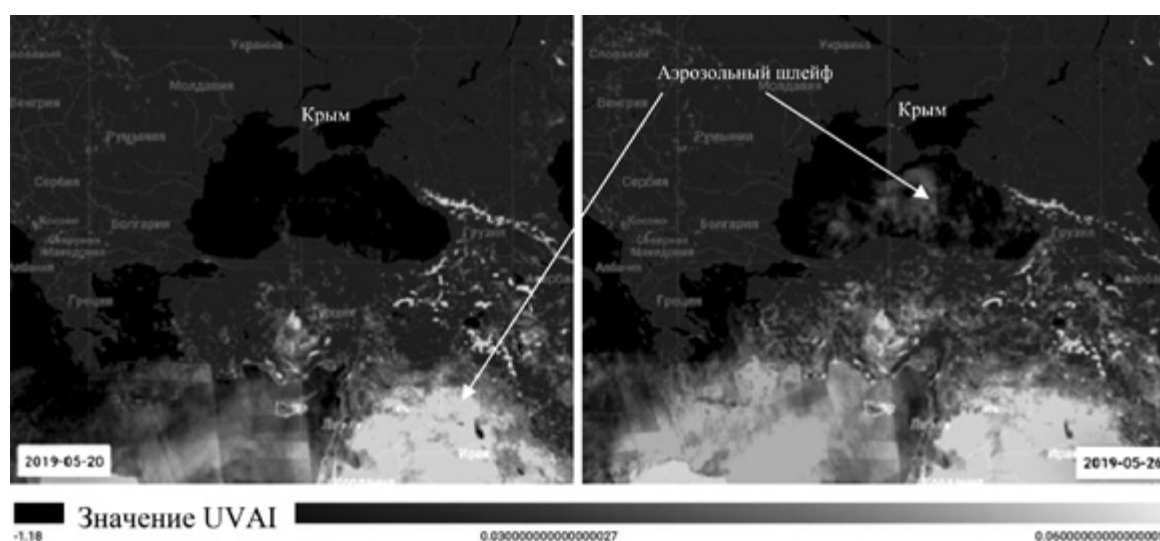


Рис. 1. Усредненные за 7 дней значения аэрозольного индекса (UVAI), полученные по данным TROPOMI (Sentinel-5P)

На рисунке 2 отображается район возможного зарождения обратных траекторий, по которым предположительно переносятся аэрозольные частицы.

Анализируя полученные результаты (рис. 2), можно обнаружить траектории перемещений частиц на малой высоте, преимущественно с западного направления, и траектории на большой высоте (до 1500 м над уровнем Земли), берущей свое начало из района пустыни Сахары и характеризующейся достаточно большой скоростью переноса воздушных масс. Предполагается, что воздушные потоки могут переносить частицы пыли на большие расстояния, это подтверждают показатели значения аэрозольного индекса (рис. 1).

Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности использования космических данных для оценки пространственно-временной изменчивости зон с повышенной концентрацией аэрозольных частиц, совместно с моделью атмосферного переноса. Эти данные важны для проведения исследований, оценки негативного воздействия на качество воздуха, влияющего на здоровье людей, а также на климат региона.

В дальнейшей работе необходимо провести исследования по совместному использованию предложенного подхода и в качестве исходных прогнозных данных использовать модели исследования и прогнозирования погоды (ECMWF, WRF, RAMS) как для анализа наблюдений прошедших метеорологических событий, так и для целей планирования измерений с использованием прогнозов. Объединение Лагранжевой модели дисперсии частиц (LPDM) с моделью численного прогнозирования погоды предлагает лучший инструмент для реалистичного моделирования атмосферного переноса в региональном масштабе. Модели исследования и прогнозирования погоды предлагают наиболее реалистичные ветровые поля, с которыми

возможно использовать LPDM. Возможность использования полей, создаваемых различными метеорологическими факторами, позволяет проводить углубленные исследования по взаимному сопоставлению моделей и оценке предполагаемого негативного воздействия на окружающую среду с подтверждением данного факта данными TROPOMI (Sentinel-5P).

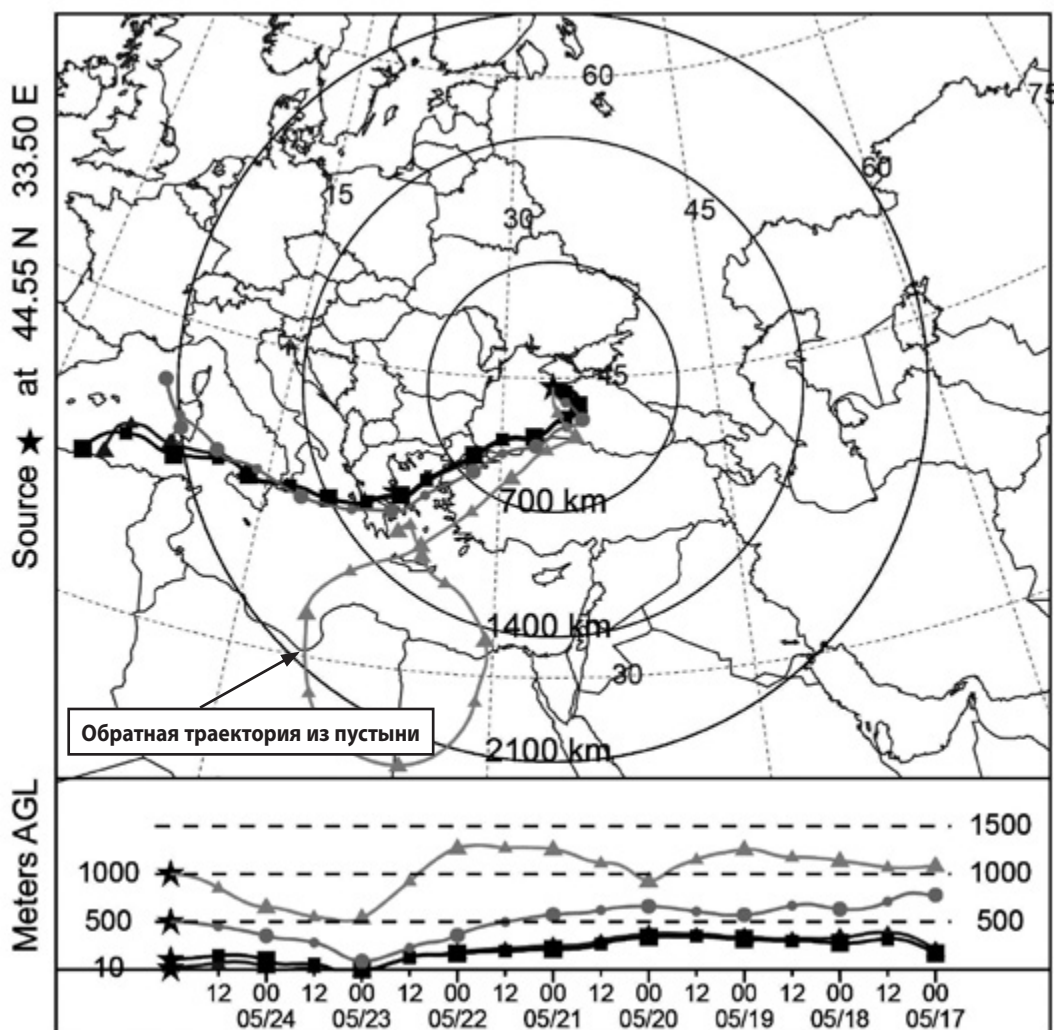


Рис. 2. Обратные восьмидневные траектории движения воздушных масс, рассчитанные с помощью модели HYSPLIT

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сапрыкин Е.И., Шагаев М.П., Кулик Е.Н. Автоматизация мониторинга аэрозольного индекса и содержания озона в атмосфере на основе спутниковых данных с космического аппарата Suomi NPP // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2016. № 9. С. 135–140.

3. *Moody J., Oltmans S., Levy II H., and Mertill J.* Transport climatology of tropospheric ozone: Bermuda, 1988–1991 // *Journal of Geophysical Research*. 1995. No. 100. P. 7179–7191.
2. *Stein A.F., Draxler R.R., Rolph G.D., Stunder B.J.B., Cohen M.D., and Ngan F.* NOAA's HYSPLIT Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2015. Vol. 96. Iss. 12. P. 2059–2077 (Accessed: Oct. 7, 2021). URL: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1>.
4. *Tilstra L.G., de Graaf M., Wang P., and Stammes P.* In-orbit Earth reflectance validation of TROPOMI on board the Sentinel-5 Precursor satellite // *Atmos. Meas. Tech*. 2020. No. 13. P. 4479–4497.



## К ВОПРОСУ ОБ УСТОЙЧИВОСТИ АРКТИЧЕСКИХ БЕРЕГОВ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО ОСВОЕНИЯ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

*Ермолов А.А., Белова Н.Г., Новикова А.В.*

---

*Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия  
alexandr.ermolov@gmail.com*

Берега арктических морей России в настоящее время подвержены активному техногенному влиянию, в частности в связи с началом разработки ряда крупнейших нефтегазовых месторождений. Применение передовых технологий по подготовке и транспорту углеводородного сырья обусловило необходимость строительства масштабных производственных и инфраструктурных объектов, включая разнообразные гидротехнические сооружения. Это не могло не отразиться на условиях развития и устойчивости таких сложных природных геосистем, как морские берега замерзающих морей, сложенные многолетнемерзлыми породами. Изучение процессов формирования рельефа и динамики наносов в береговой зоне арктических морей и анализ их изменений под влиянием техногенного фактора в районах промышленного освоения имеет большое прикладное и научное значение.

Оценка устойчивости береговой зоны и дна арктических морей осложняется необходимостью учета влияния глобальных климатических изменений, в том числе изменения уровня Мирового океана. Повышение среднегодовых, особенно летних, температур воздуха и воды, изменение циркуляции атмосферных масс и морских вод, увеличение частоты штормов, рост продолжительности безледного периода и сокращение площади морских льдов, а соответственно, и увеличение длины разгона волн, будет приводить к усилению размыва берегов криолитозоны, сложенных чувствительными к изменениям термических условий нелитифицированными многолетнемерзлыми породами. Тенденция к потеплению климата, отмечающаяся в мире, и особенно в Арктике [IPCC, 2022], будет способствовать увеличению темпов отступления термоабразионных берегов и активизации отступления берегов ранее стабильных и даже аккумулятивных. Согласно последним прогнозам [Nielsen et al., 2022], к концу XXI в. средняя многолетняя скорость разрушения берегов арктических морей вырастет примерно в 2 раза в условиях антропогенного изменения климата по сценариям SSP1-2.6, SSP2-4.5 и почти в 3 раза – по сценарию SSP5-8.5 [Nielsen et al., 2022].

В результате многолетних исследований авторов на различных участках промышленного освоения арктических берегов был накоплен большой объем данных о динамике береговой линии и изменениям рельефа береговой зоны под влиянием различных факторов. Наиболее заметные изменения в развитии берегов вызывает хозяйственная деятельность человека, связанная с гидротехническим строительством. Одним из ярких примеров могут служить берега Обской губы Карского моря, где в настоящее время ведется обустройство Салмановского и Южно-Тамбейского месторождений.

С целью оценки устойчивости [Исследование ... 1988] и выявления долговременных тенденций развития берега были выполнены подбор, подготовка и дешифрирование общедоступных спутниковых снимков разных лет участка низкого аккумулятивного берега протяженностью 7 км на западном побережье Гыданского полуострова, где с 2014 г. ведется строительство терминала «Утренний» и завода по сжижению газа (между устьями рек Нядайпынгчë и Халцанаяха). Проект включает различные гидротехнические сооружения, ледозащитные конструкции и инженерные объекты со сложными (намывными) основаниями, возводимыми на мелководье Обской губы. Их строительство ведется в пределах верхней части подводного берегового склона, осушки, пляжа и современной морской террасы (лайды), сложенных преимущественно песчаным материалом.

Сравнительный анализ разновременных снимков позволил выявить многолетнюю динамику положения береговой линии, оценить скорости отступления и выдвижения берега, выделить участки с различной интенсивностью и направленностью береговых процессов и техногенного воздействия. При анализе данных дистанционного зондирования особое внимание уделялось определению положения уреза воды – линии берега. В рамках настоящего исследования береговая линия определялась по положению границы, непосредственно разделяющей водную поверхность моря от суши (граница суши – моря, линия уреза — ЛУ), и по границе плотной растительности (ГПР). Это обусловлено, с одной стороны, высокой изменчивостью положения уреза воды в связи с приливно-отливными, сгонно-нагонными и штормовыми колебаниями уровня моря, с другой – деградацией растительного покрова на отдельных участках в результате развития техногенных и эоловых процессов.

До начала строительства (2012–2014 гг.) берег находился в относительно стабильном состоянии и развивался преимущественно по аккумулятивному типу. Береговая линия на значительном протяжении перемещалась в сторону моря со средней скоростью до 5,3 м/г., граница растительности — до 3,9 м/г., то есть берег преимущественно выдвигался в сторону моря. С началом строительных работ (2014–2017 гг.) береговая зона подверглась мощному техногенному воздействию, связанному с изъятием большого объема наносов с пляжа и осушки, дноуглубительными работами, возведением гидротехнических сооружений и пр. Эти работы вызвали серьезную перестройку подводного берегового склона на участках

строительства, отступление берега и изменение его общей морфологии и динамики. В результате направленность и интенсивность береговых процессов изменилась, в течение значительного периода времени отмечался размыв современной морской террасы, береговая линия отступала со средней скоростью до 5,8 м/г. И интенсивно берег отступал в центральной части участка в районе строящегося порта: максимальные скорости смещения береговой линии достигали 28,5 м; максимум для границы растительности 28,8 м/г. Это как нельзя лучше иллюстрирует низкую устойчивость арктических берегов, сложенных рыхлыми отложениями, к техногенному воздействию.

В последние годы (2017–2020 гг.) темпы размыва берега снижаются, средние многолетние скорости отступления берега не превышают 3,8 м/г. Это указывает на относительную стабилизацию литодинамической системы после интенсивного воздействия на предыдущем этапе. Этому способствовало прекращение изъятия наносов с пляжа и осушки, сокращение объемов дноуглубительных работ в приурезовой зоне, строительство причальных сооружений и гидронамывных оснований завода, блокирующих размыв береговой линии. Кроме того, за прошедшие годы завершилась первичная нивелировка техногенного рельефа на подводном склоне и его адаптация к существующим гидродинамическим условиям волноприливного поля, оказывающего основное воздействие на рельеф дна в сравнительно короткий безледный период времени. Подводный склон продолжает формировать профиль динамического равновесия, что ведет к снижению общей интенсивности береговых процессов.

В ближайшие годы ожидается продолжение строительства ледозащитных конструкций блокирующего типа и дальнейшая стабилизация берега на участке строительства. Этому будет способствовать кардинальное снижение волновой активности во внутренней части акватории порта, защищенной от внешних воздействий, и строительство причалов различного назначения, инженерной инфраструктуры и пр.

В заключение следует подчеркнуть, что арктические берега характеризуются высокой чувствительностью к техногенным воздействиям. Устойчивость рельефа береговой зоны на участках освоения определяется не столько направленностью и интенсивностью экзогенных процессов, важнейшими особенностями которых являются сезонность, сколько видами и объемами строительных работ, способными активизировать размыв берега и отступление береговой линии. Нередко техногенный фактор оказывает настолько масштабное воздействие, что начинает определять основные тенденции развития берега в большей степени, чем природные факторы, вызывает кардинальную перестройку рельефа береговой зоны и изменение условий его развития на долгие годы. В отдельных случаях ситуация может приобретать катастрофический характер и возникает угроза безопасной эксплуатации инженерных сооружений в береговой зоне, наносится серьезный ущерб окружающей среде. Это определяет необходимость учета

влияния техногенных факторов при оценке устойчивости морских берегов, мониторинге литодинамических процессов и прогнозировании развития береговой зоны на этапах строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений и инженерных объектов.

*Работа выполнена при поддержке госбюджетной темы НИР лаборатории геоэкологии Севера географического ф-та МГУ им. М.В. Ломоносова, № 121051100167-1.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование устойчивости геосистем Севера / под ред. В.И. Соломатина. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988. 213 с.
2. IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.) / Cambridge University Press, Cambridge, UK and NY, USA, 3056 p. DOI:10.1017/9781009325844.
3. Nielsen D.M., Pieper P., Barkhordarian A., et al. Increase in Arctic coastal erosion and its sensitivity to warming in the twenty-first century // Nature Climate Change. 2022. No. 12. P. 263–270.

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ПРОСЛЕЖИВАНИЕ КОНВЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ПО ДАННЫМ О РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ОТРАЖАЕМОСТИ

**О.В. Калмыкова, С.В. Козлов**

---

НПО «Тайфун», г. Обнинск, Калужская обл., Россия  
*kov@feerc.ru*

Опасные природные явления конвективного происхождения, такие как ливни, град, грозы, шквалы и смерчи, относят к числу быстроразвивающихся метеорологических процессов, точное время и место возникновения которых достаточно сложно спрогнозировать. Для прогноза подобного рода явлений был введен специальный термин «наукастинг» (англ. *nowcasting*), под которым понимается детализированный прогноз погоды на ближайшие часы (до 2 ч). Основу наукастинга составляет комплексный анализ данных оперативных наблюдений за состоянием атмосферы, подкрепленный результатами численного прогноза погоды. За рубежом уже достаточно долго функционируют такие системы наукастинга, как, например, NowCastMIX [James et al., 2018], COALITION [Hamann et al., 2019], ANC [Ba et al., 2017]. В России тема наукастинга стала подниматься относительно недавно. Толчком к ее развитию послужило формирование на территории нашей страны единого радиолокационного поля на базе сети ДМРЛ-С, развитие систем мезомасштабного моделирования и расширение сети автоматических метеостанций с высокой частотой наблюдений [Киктев и др., 2019].

Большинство известных систем наукастинга оперируют облачными образованиями, как объектами. При этом решаются следующие задачи: выявление/идентификация объекта, описание его параметров, отслеживание перемещения объекта, анализ динамики изменения его параметров, классификация объекта по степени риска возникновения опасных явлений (ОЯ), прогноз перемещения объекта. В данной работе авторы ограничиваются вопросами идентификации конвективных систем, их описания и последующего наблюдения.

Практически все известные алгоритмы выявления конвективных зон опираются на пороговый принцип их распознавания [Dixon, Wiener, 1993; Wilson et al., 1998]. В качестве порогового значения выбирается определенный уровень радиолокационной отражаемости (при этом, как правило, рассматривается максимальная отражаемость по всем горизонтальным сечениям для каждой точки радиолокационного



поля). Этот уровень может быть фиксированным для всех зон, к примеру 30, 35, 40, 44, 48 dbZ, либо же адаптивным, когда для каждой зоны устанавливается свой определенный порог. В последнем случае, как правило, используется следующий алгоритм выбора адаптивного порога: определяются локальные максимумы и минимумы отражаемости, из максимума вычитается некоторое заранее определенное значение «высоты порога» (6–10 dBZ), полученный в результате уровень отражаемости назначается текущим порогом, и если этот порог позволяет выделить в рассматриваемой окрестности отдельную подобласть, то он закрепляется за конвективной зоной, в противном случае значение текущей «высоты» порога уменьшается.

По результатам работы пороговой схемы распознавания формируются связанные области конвективных систем. Геометрическая форма этих областей описывается в виде приведенного эллипса или эллипсоида, и/или в виде многогранника [Dixon et al., 1993]. В первом случае указываются координаты центра эллипса или эллипсоида, значения длин полуосей, угол наклона большей полуоси к направлению оси X. Многогранник описывается картой значений радиолокационной отражаемости связанной области, для него рассчитываются координаты центра масс и характерные размеры вдоль осей X, Y, Z. В качестве параметров конвективной системы могут быть использованы различные характеристики, к примеру: верхняя граница облачности, объем области, максимальная отражаемость и др.

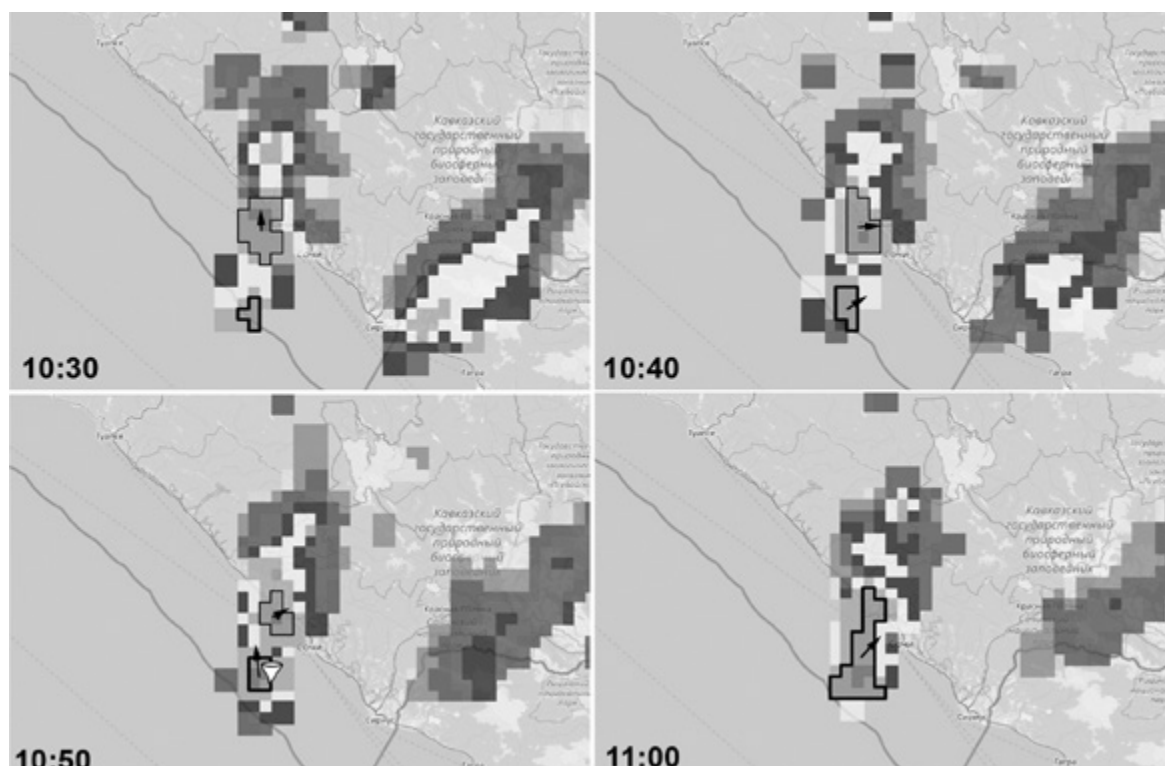
Среди известных методов прослеживания конвективных систем можно выделить следующие: методы экстраполяции, центроидные методы и корреляционные методы. Методы экстраполяции чаще используются для отдельных грозовых облаков или больших образований, площади которых в смежные моменты времени явно перекрываются [Hering et al., 2005]. Центроидные методы подразумевают построение целевой функции, характеризующей «стоимость» перехода  $i$ -го объекта в момент времени  $t$ , в  $j$ -ый объект в момент  $t + 1$ , с последующим поиском такой пары объектов, для которой эта функция принимает минимальное значение [Dixon et al., 1993]. В качестве аргументов целевой функции обычно используют взвешенные меры различия объектов. Корреляционные методы базируются на поиске пары объектов, имеющих максимальный коэффициент корреляции [Rinehart, Garvey, 1978]. Расчет коэффициента корреляции производится по данным о радиолокационной отражаемости в пределах двух соразмерных областей: области самого объекта в момент времени  $t$  и одной из всевозможных областей нахождения предполагаемого потомка объекта в момент  $t + 1$ . Выбор областей с предполагаемым потомком ограничиваются окрестностью, рассчитываемой с учетом известных данных о скорости и направлении перемещения объекта.

К числу наиболее известных зарубежных алгоритмов идентификации и прослеживания конвективных зон по радиолокационным данным можно отнести: TRACE3D, KONRAD3D, TITAN, CELLTRACK, TRT, SCIT, TREC, COTREC, DITREC, MTREC. В автоматизированных метеорологических радиолокационных комплексах

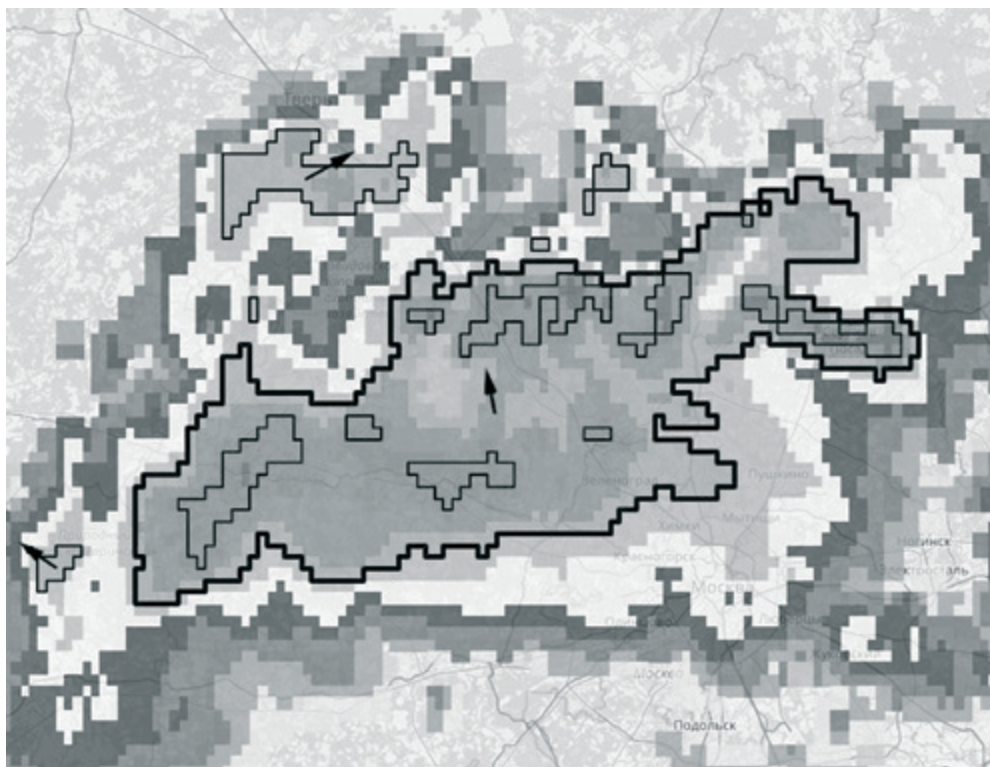
(АМРК), используемых в России, реализована возможность выделения контуров ОЯ либо по коду явления (Метеоячейка, АКСОПРИ) [Методические указания ... 2019], либо по заданному пользователем порогу радиолокационной отражаемости (АСУ-МРЛ) [Абшаев и др., 2010]. Для выделенных зон в АМРК рассчитывается скорость и направление их перемещения.

В рамках работ по предупреждению угроз возникновения ОЯ на Европейской территории России (ЕТР) авторами были предложены новые схемы идентификации и прослеживания конвективных систем, учитывающие накопленный к этому времени мировой опыт решения соответствующих задач и результаты проведенного анализа известных случаев регистрации ОЯ в рассматриваемом регионе.

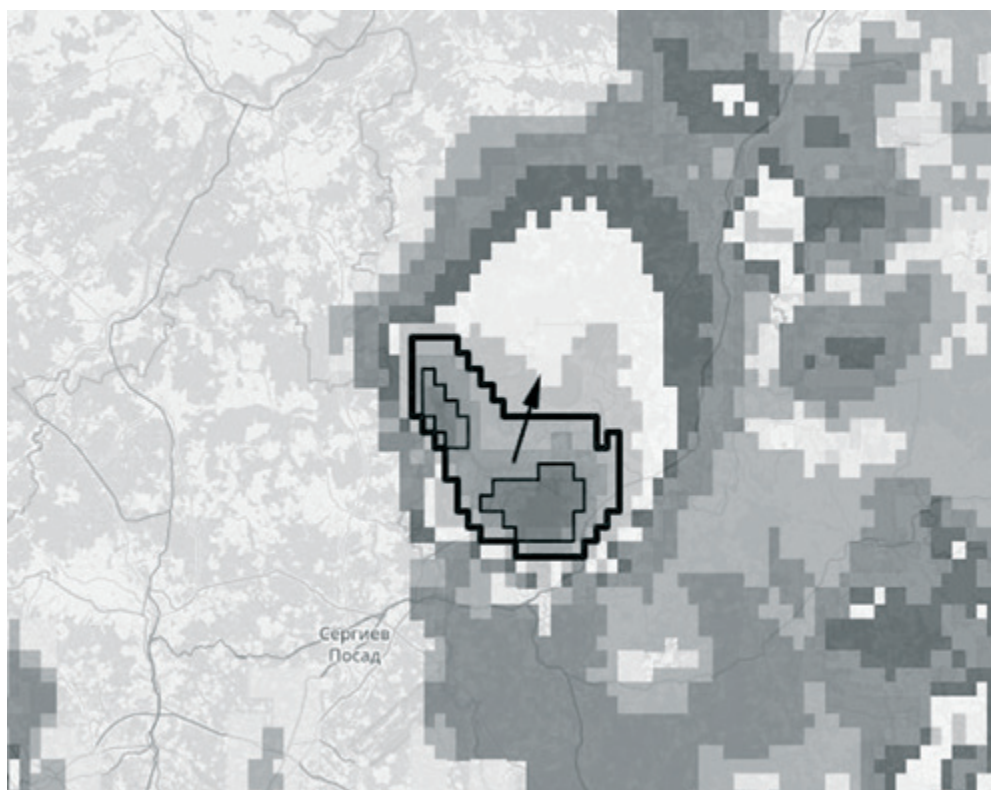
Для выделения конвективных систем предлагается использовать фиксированный порог радиолокационной отражаемости, равный 30 dBZ. Как показали результаты анализа, в большинстве случаев с этим порогом связано первое появление на радиолокационных картах хорошо локализованной в пространстве области конвективной системы с последующими ОЯ (рис. 1). Это так называемая фоновая область, в ее пределах в дальнейшем могут быть идентифицированы зоны активной конвекции (ЗАК) (рис. 2–3). Для их обнаружения используется адаптивный порог, выбираемый по результатам анализа распределения значений радиолокационной отражаемости в пределах фоновой области. Чем более ярко выражены локальные максимумы очагов ЗАК, тем больше их адаптивный порог.



**Рис. 1.** Эволюция моноячейки со смерчем (10:50 UTC) вблизи г. Сочи 17.08.2019 (выделена жирным контуром, стрелкой показано направление ее перемещения)



**Рис. 2.** Мезомасштабный конвективный комплекс на северо-западе Москвы 09.05.2019 15:40 UTC



**Рис. 3.** Суперячейка к северо-востоку от Сергиева Посада 15.05.2021 07:10 UTC

Таким образом, предлагается рассматривать и анализировать динамику характеристик как фоновой области конвективной системы, так и связанных с ней ЗАК. Анализ динамики характеристик фоновой области может быть полезен для прогноза угроз возникновения ОЯ (до их появления), а характеристик ЗАК – для прогноза изменения их интенсивности и последующего распада конвективной системы.

Для всех выявленных конвективных систем и связанных с ними ЗАК рассчитываются координаты центра масс, а также ряд дополнительных характеристик (минимальная, максимальная отражаемость, вертикально интегрированная водность, высота максимальной отражаемости и др.), который в дальнейшем планируется существенно расширить, в том числе за счет включения характеристик, рассчитываемых по данным грозопеленгаторов и спутниковым данным.

При прослеживании конвективных систем на данном этапе предлагается ограничиться рассмотрением фоновых областей. Реализованная схема прослеживания комбинирует базовые подходы центроидных и корреляционных методов. По результатам расчета коэффициента корреляции сужается круг возможных потомков рассматриваемого объекта. Для каждой пары объект – предполагаемый потомок строится целевая функция в виде взвешенной линейной комбинации трех показателей: мера близости объектов в пространстве, мера подобия объектов по объему и коэффициент корреляции объектов. В качестве потомка выбирают объект с максимальным значением целевой функции.

По результатам проведенной работы были систематизированы известные подходы к решению задач идентификации и прослеживания конвективных систем по радиолокационным данным. С учетом изученного опыта и полученных результатов анализа случаев ОЯ на ЕТР, предложены новые схемы идентификации и прослеживания конвективных систем, которые могут быть полезны для наукастинга ОЯ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абшаев М.Т., Абшаев А.М., Малкарова А.М., Жарашуев М.В.* Автоматизированная радиолокационная идентификация, измерение параметров и классификация конвективных ячеек для целей защиты от града и штормооповещения // *Метеорология и гидрология*. 2010. № 3. С. 36–45.
2. *Киктев Д.Б., Муравьев А.В., Смирнов А.В.* Наукастинг метеорологических параметров и опасных явлений: опыт реализации и перспективы развития // *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*. 2019. № 4 (374). С. 92–111.
3. *Методические указания по использованию информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С в синоптической практике*, М., 2019.



4. *Ba M., Xin L., Crockett J., Smith S.B.* Evaluation of NCAR's AutoNowCaster for Operational Application within the National Weather Service // *Weather and Forecasting*. 2017. Vol. 32. P. 1477–1490.
5. *Dixon M., Wiener G.* TITAN: Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis, and Nowcasting – A Radar-based Methodology // *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 1993. Vol. 10. No. 6. P. 785–797.
6. *Hamann U., Zeder J., Beusch L., Clementi L., Foresti L., Hering A., Nerini D., Nisi L., Sassi M., Germann U.* Nowcasting of thunderstorm severity with Machine Learning in the Alpine Region // *European Nowcasting Conference 2019*. Madrid, Spain, April 2019.
7. *Hering A.M., Sénési S., Ambrosetti P., Bernard-Bouissières I.* Nowcasting thunderstorms in complex cases using radar data // *The World Weather Research Programme's symposium on nowcasting and very short range forecasting: abstracts of conference*. Toulouse (France), 2005.
8. *James P.M., Reichert B.K., Heizenreder D.* NowCastMIX: Automatic Integrated Warnings for Severe Convection on Nowcasting Time Scales at the German Weather Service // *Weather and Forecasting*. 2018. No. 33 (5). P. 1413–1433.
9. *Rinehart R.E., Garvey E.T.* Three-dimensional storm motion detection by conventional weather radar // *Nature*. 1978. Vol. 273. Iss. 5660. C. 287–289.
10. *Wilson J.W., Crook N.A., Mueller C.K., Sun J., Dixon M.* Nowcasting thunderstorms: A status report // *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 1998. Vol. 79. P. 2079–2099.



## ПРИЧИНЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКСТРАОРДИНАРНЫХ УРОВНЕЙ МОРЯ В НИКОЛЬСКОМ (о. БЕРИНГА) в 2021–2022 гг.

**Ю.В. Любцкий<sup>1</sup>, Л.П. Кравчук<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Дальневосточный региональный научно-исследовательский  
гидрометеорологический институт, г. Хабаровск, Россия

<sup>2</sup> Камчатское управление по гидрометеорологии и мониторингу  
окружающей среды, г. Петропавловск-Камчатский, Россия  
yuvadlub@gmail.com

Для проектирования сооружений на побережье и в прибрежной зоне морей необходимы сведения об экстремальных уровнях моря различной обеспеченности. Точность определения этих характеристик очень важна. Например, завышение расчетных значений максимальных уровней моря приводит к необоснованному удорожанию строительства, занижение – к возможным аварийным ситуациям и разрушению построенных объектов в будущем.

В 2021–2022 гг. автоматизированный пост (АП) службы цунами Росгидромета, действующий в с. Никольское (северо-западное побережье о. Беринга), три раза зарегистрировал аномально высокие уровни моря, значительно превышающие максимальное значение уровня моря, полученное по данным многолетних наблюдений в этом пункте (табл. 1).

Во время этих ситуаций максимальные значения нагонной составляющей уровня моря (для ее выделения из суммарных (наблюдаемых) уровней вычиталась приливная компонента, рассчитанная методом наименьших квадратов [Foreman, 2004]) достигали значений 105–186 см (табл. 1). Полученные оценки не превышают величины штормовых нагонов, возникающих на побережье многих районов Мирового океана. Следует отметить только кратковременность процесса: продолжительность интервала времени, когда величина нагона превышала 40 см, составляет от 7 до 17 ч, при этом скорость увеличения нагонного уровня достигала 63 см/ч, уменьшения – 43 см/ч.

Ранее в Никольском никогда не наблюдались столь значительные нагоны – абсолютный максимум по данным многолетних измерений (до 2020 г. включительно) составляет всего 70 см (табл. 1). Это объясняется небольшой шириной шельфа о. Беринга – нагоны в Никольском в основном возникают в результате понижения приземного атмосферного давления, влияние ветра незначительно.

**Таблица 1.** Максимальные значения уровня моря в Никольском (по материалам наблюдений)

Период	Метод измерений	Суммарный уровень моря, см	Величина нагона, см
1977	СУМ	106	56
1978	СУМ	96	45
1979	СУМ	114	59
1980	СУМ	110	63
1981	СУМ	83	38
1982	СУМ	91	46
1983	СУМ	97	56
1984	СУМ	97	45
1985	СУМ	103	35
1986	СУМ	101	70
1987	СУМ	117	47
1988	СУМ	110	38
1990	СУМ	116	52
1991	СУМ	105	44
1992	СУМ	98	49
1993	СУМ	90	47
1994	СУМ	103	50
1995	СУМ	77	43
1996	СУМ	89	53
1997	СУМ	85	50
1998	СУМ	91	59
2016	АП	83	36
2017	АП	78	42
2019	АП	90	43
2020	АП	95	41
03-04.02.2021	АП	192	105
02-03.12.2021	АП	274	186
01-02.01.2022	АП	241	144

Рассмотрим возможные причины формирования экстраординарных уровней моря в Никольском.

**1. Погрешности в работе измерительных устройств АП**

Сбои в работе гидростатических датчиков измерения уровня моря АП службы цунами по техническим причинам иногда возникают. В основном они приводят к ухудшению качества наблюдений в продолжительные периоды или к появлению

пиков в рядах измерений длительностью от одной до нескольких минут [Любицкий и др., 2015]. Такие погрешности легко идентифицируются визуально или с помощью специальных алгоритмов.

Полагать, что датчик АП по неизвестным причинам может всего в течение нескольких часов выполнять неверные измерения, а затем «восстанавливаться», крайне сомнительно. Следует исключить из рассмотрения также возможные вертикальные перемещения датчика, поскольку на АП «Никольское» датчик жестко закреплен в колодце, соединяющемся с морем подводящей трубой. Кроме того, изменения высотного положения датчика должны были бы прослеживаться и в других, не только в рассматриваемых однотипных ситуациях.

### ***2. Строительство или реконструкция в районе расположения поста сооружений, влияющие на режим уровня моря***

Влияние этого фактора проявилось в Буревестнике (о. Итуруп Курильской гряды) за несколько лет до закрытия (в 1984 г.) поста. После удлинения пирса, при заплеске на него ветровых волн вода начала скатываться к месту установки самописца уровня моря (СУМ). Величина зарегистрированных штормовых нагонов в результате скачком увеличилась приблизительно в два раза (до 1,5–2 м). При визуальном просмотре лент СУМ при этом никаких аномалий не прослеживается – уровень моря равномерно повышался до своего максимума.

Характер произошедших изменений уровня моря в Никольском и Буревестнике в штормовых условиях очень похож, но в районе АП «Никольское» никакого строительства или реконструкции гидротехнических сооружений в конце 2020 г. не было.

### ***3. Волновой нагон***

Величина волнового нагона (повышение среднего уровня моря вблизи уреза воды в результате разрушения ветровых волн и трансформации их кинетической энергии в потенциальную энергию) в некоторых районах Мирового океана во время значительных штормов достигает 1–1,5 м. Но, во-первых, волновой нагон достигает наибольшей величины у берега, а датчик АП «Никольское» расположен на оконечности пирса, ориентированного в сторону моря; во-вторых, во время рассматриваемых ситуаций должны были наблюдаться аномальные волновые условия, каких не было в предшествующие годы. Конечно, можно допустить возникновение таких условий, но данная ситуация должна иметь уникальный, а не серийный характер.

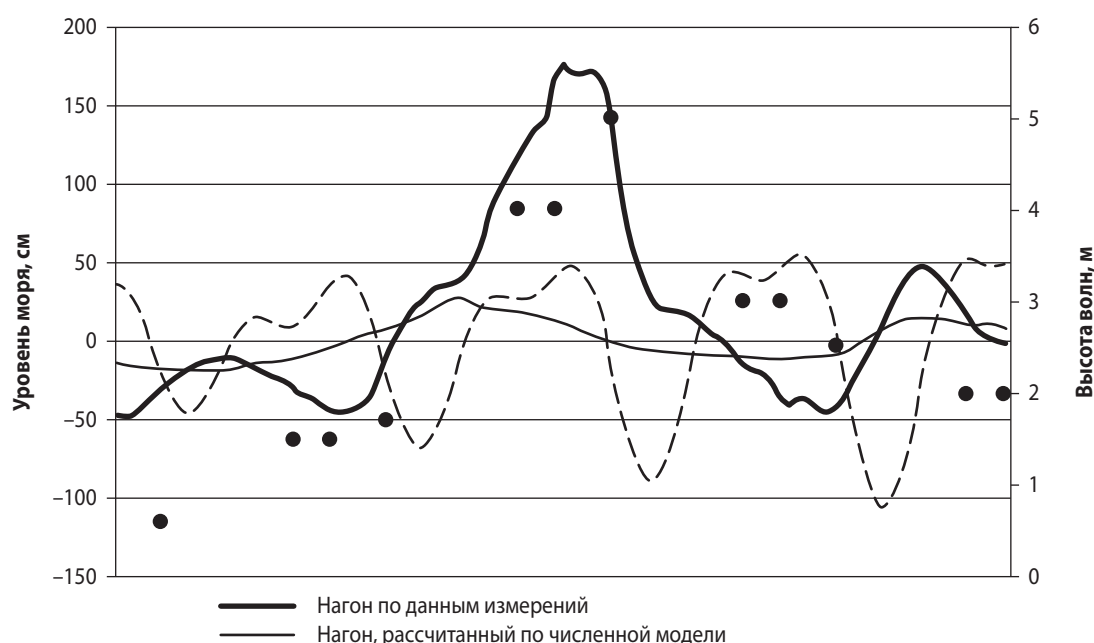
### ***4. Поступление морской воды в колодец АП под действием ветрового волнения***

Была предложена гипотеза, что при значительной высоте волн во время рассматриваемых ситуаций происходит заливание пирса и вода попадает в колодец АП либо через его верх, либо через трещины в колодце. С каждой волной вода постепенно накапливается в колодце, не успевая вытекать через подводящую трубу. Как только заливание пирса прекращается, уровень воды в колодце со временем возвращается в «правильное» состояние.

В пользу этой гипотезы свидетельствует характер изменений гидрологических характеристик во время аномальных подъемов уровня моря.

Суммарный уровень моря во всех случаях повышается в результате формирования штормового нагона (его возможная величина рассчитана с помощью численной модели, используемой в рамках метода прогноза изменений уровня моря в юго-западной части Берингова моря [Любицкий, Романский, 2022]) вблизи полной воды прилива (рис. 1). Максимальные значения суммарного уровня моря при этом составляют от 51 до 74 см, величина нагона – от 20 до 34 см. Полученные оценки хорошо согласуются с данными, полученными для многолетнего периода времени, приводимыми в табл. 1.

На фоне повышения уровня моря при высоте ветровых волн юго-западного направления более 3 м начинается заливание пирса, на котором установлен АП, что приводит к поступлению морской воды в колодец. Когда высота волн уменьшается, заливание пирса прекращается и уровень воды в колодце быстро понижается (рис. 1).



**Рис. 1.** Изменения гидрологических характеристик в Никольском 1–4 декабря 2021 г.

Для проверки возможности возникновения данного эффекта было выполнено обследование АП «Никольское». Установлено, что в нижней части металлического контейнера, расположенного над колодцем, есть длинная щель шириной около 5 см, через которую при заливании пирса ветровыми волнами вода попадает в колодец. Для устранения этого недостатка в ближайшее время запланирован ремонт АП.

Выполненные исследования позволяют сделать вывод, что максимальные значения уровня моря, полученные по измерениям АП «Никольское» в 2021–2022 гг.,

нельзя использовать для расчета экстремальных характеристик уровня моря, востребованных при проектировании гидротехнических сооружений.

Рассмотренный пример свидетельствует о необходимости детального критического анализа материалов наблюдений при выполнении инженерных расчетов.

К сожалению, следует отметить, что в последние десятилетия в научной литературе регулярно появляются публикации, в которых на основе недостоверных данных наблюдений над уровнем моря делаются ошибочные выводы о характеристиках многолетних трендов уровня моря, наличии тектонических сдвигов земной коры, изменениях режима атмосферных процессов в различных районах и т.д.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Любичкий Ю.В., Манько А.Н., Соколов О.В. Перспективы использования данных измерений автоматизированных постов службы цунами для формирования многолетних массивов наблюдений над уровнем моря // Юбилейный выпуск «ДВНИГМИ – 65 лет». Владивосток: Дальнаука. 2015. С. 8–32.
2. Любичкий Ю.В., Романский С.О. Метод и технология краткосрочного прогноза изменений уровня моря в юго-западной части Берингова моря // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2022. № 1 (383). С. 71–88.
3. Foreman M.G.G. Manual for tidal heights analysis and prediction // Pacific Marine Science Report 77–10, Ins. Ocean Scien., Patricia Bay, Victoria, B.C. 2004. 58 p.



## МОДУЛЬ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ПРИБРЕЖНЫХ ЗОНАХ

**Э.В. Мельник<sup>1</sup>, И.С. Пуха<sup>2</sup>, М.В. Орда-Жигулина<sup>1</sup>, Д.В. Орда-Жигулина<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup>Южный научный центр РАН, г. Таганрог, Россия

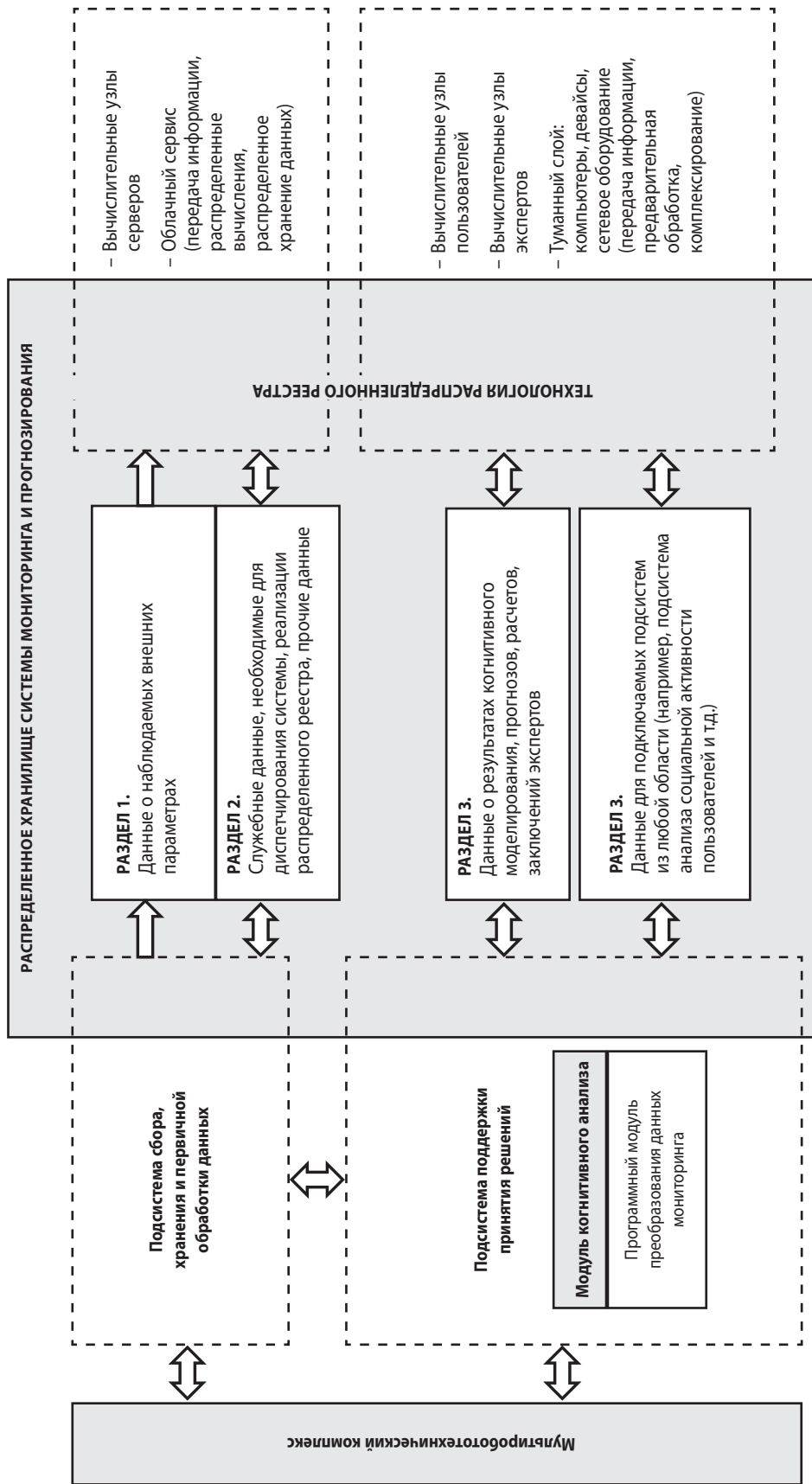
<sup>2</sup>НИИ многопроцессорных вычислительных систем им. академика А.В. Каляева

Южного федерального университета, г. Таганрог, Россия

*jigulina@mail.ru*

В настоящее время задачи мониторинга возникают в разных сферах человеческой деятельности – от промышленного производства до наблюдений за опасными природными явлениями в прибрежных зонах. Появление новых интеллектуальных датчиков, усовершенствование традиционных методов исследований приводит к увеличению объема требующей обработки информации в режиме реального времени. Кроме того, при решении задач мониторинга растут не только объем и скорость новой требующей обработки информации, но и сами исходные данные обладают разнородностью и многообразием. Всё это приводит к изменениям традиционных методов работы централизованных систем мониторинга и требует не только автоматизации процессов обработки и анализа данных, но и интеллектуализации информационных и организационных процессов, разработки и внедрения новых методов и технологий хранения данных, а также создания новых принципов построения информационных систем поддержки принятия решений [Карелин, 2011].

Для решения вышеперечисленных научно-технических задач авторами был разработан и интегрирован в подсистему поддержки принятия решений прототип модуля распределенного хранения данных. Интеграция прототипа модуля была осуществлена на основе разработанного комплекса методов интеллектуальной обработки данных для систем мониторинга и диагностики для различных областей деятельности, а также ранее предложенной авторами [Мельник и др., 2020; Мунтян, Мельник., 2021; Пуха и др., 2021; Gorelova et al., 2021; Kapustyan et al., 2021a; Kapustyan et al., 2021b; Melnik et al., 2021] методологии построения высоконадежных реконфигурируемых систем на базе технологий «цифровой экономики» для обработки информации, обеспечения доступа, хранения и передачи данных на базе распределенного реестра, метода комплексирования информации, метода робастно устойчивого управления движением группы мобильных роботов при решении задач мониторинга мультиробототехническими комплексами методологии.



**Рис. 1.** Схема интеграции модуля распределенного хранения данных в подсистему поддержки принятия решений для систем мониторинга опасных природных явлений в прибрежных зонах

При интеграции модуля была обеспечена возможность объединения в рамках одной системы различных участников, без их иерархической подчиненности, и возможность автоматизированной оценки вероятности наступления опасных процессов или явлений из различных областей человеческой деятельности, например, вероятность наступления опасных природных явлений в прибрежных зонах.

Интеграция модуля распределенного хранения данных была осуществлена в виде подсистемы принятия решений (рис. 1).

Модуль распределенного хранения данных реализован на базе технологии распределенного реестра [Melnik et al., 2021; Gervais et al., 2016; Consensus Protocols ... 2019]. Разработанный модуль представляет собой комплекс программ распределенного реестра, набор скриптов для организации доступа и хранения данных в распределенном реестре и локальный диспетчер для организации распределенных вычислений и запуска и диспетчирования сервисов внешних подсистем для децентрализованных гетерогенных реконфигурируемых систем мониторинга. При этом технология распределенного реестра позволяет эффективно объединять разрозненные источники данных, гетерогенные вычислительные ресурсы и каналы связи с различной пропускной способностью и надежностью. Модуль распределенного хранения данных предназначен для хранения исходных и обработанных данных, в том числе данных о гидрометеорологических, гидрологических и гидробиологических параметрах, и содержит в себе не только распределенный реестр, но и локальные диспетчеры и функциональные приложения для организации доступа к данным.

Локальные диспетчеры [Melnik et al., 2021; Пуха и др., 2021; Мельник и др., 2018] введены в состав модуля распределенного хранения данных для организации взаимодействия подсистем, снижения нагрузки на сеть, снижения латентности, а также для использования ресурсов устройств туманного слоя в качестве резервных. При этом локальные диспетчеры обеспечивают распределение вычислительной нагрузки между всеми устройствами системы, перенося вычислительную нагрузку краевого и туманного слоев между слоями.

Интеграция модуля распределенного хранения данных в подсистему поддержки принятия решений осуществляется за счет подключения к модулю подсистемы сбора, хранения и первичной обработки данных о параметрах гидроэкосистем прибрежной зоны, с которой взаимодействует мультиробототехнический комплекс и подсистема поддержки принятия решений.

Применение модуля распределенного хранения данных позволит разрабатывать новые распределенные системы мониторинга опасных природных явлений в прибрежных зонах без централизации функции управления, реализовывать расширенные возможности масштабирования, обеспечить повышенную отказоустойчивость и повысить надежность систем мониторинга.

Научная новизна полученных результатов заключается в комплексном применении таких технологий цифровой экономики, как распределенный реестр, интеллектуальный анализ данных, технологии беспроводной связи, «туманных и облачных» вычислений в системах мониторинга и диагностики для различных областей применения.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке ГЗ 122020100270-3.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карелин В.П. Интеллектуальные технологии и системы искусственного интеллекта для поддержки принятия решений // Вестник Таганрогского института управления и экономики. 2011. № 2.
2. Мельник Э.В. и др. Об организации сбора и обработки данных в системе прогнозирования опасных явлений для прибрежной зоны с применением технологий цифровой экономики // Известия ЮФУ. Технические науки. 2018. № 8 (202).
3. Мельник Э.В., Орда-Жигулина М.В., Орда-Жигулина Д.В., Родина А.А. Метод повышения надежности за счет реконфигурации ресурсов в системах мониторинга и диагностики опасных природных явлений // Известия ТулГУ. Технические науки. 2020. № 2. С. 18–26.
4. Мунтян Е.Р., Мельник Э.В. Исследование структурных характеристик распределенных вычислительных систем на основе графов с множественными разнотипными связями // Известия ЮФУ. Технические науки. 2021. № 3. С. 186–198. DOI: 10.18522/2311-3103-2021-3-186-198.
5. Пуха И.С., Орда-Жигулина Д.В., Орда-Жигулина М.В. Разработка модели распределенного хранилища данных на базе технологии распределенного реестра для систем мониторинга // Мат-лы XIV Всерос. мультиконф. по проблемам управления (МКПУ – 2021): в 4 т. 2021. Т. 2. С. 119–122.
6. Consensus Protocols. 2019. URL: <https://medium.com/@vardan.sevan/consensus-protocols-b8487881823d> (дата обращения: 02.09.2020).
7. Gervais A. et al. On the security and performance of proof of work blockchains // Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC conference on computer and communications security. 2016. P. 3–16.
8. Melnik E. V., Orda-Zhigulina M. V., Orda-Zhigulina D. V. Distributed Library Model Based on Distributed Ledger Technology for Monitoring and Diagnostics System // Lecture Notes in Networks and Systems. 2021. Vol. 230. P. 501–509. DOI: 10.1007/978-3-030-77442-4\_43.
9. Kapustyan S. G., Orda-Zhigulina D. V., Orda-Zhigulina M. V., Prakaпович R. A., Sychev U. A. Model of Multi-robotic Complex at the Base of Distributed Registry for

- Monitoring and Diagnostics System // Lecture Notes in Networks and Systems. 2021a. Vol. 228. P. 659–669. DOI: 10.1007/978-3-030-77448-6\_64.
10. *Kapustyan S.G., Orda-Zhigulina M.V., Orda-Zhigulina D.V.* Control of the Group of Mobile Robots Without Pre-planned Route for Monitoring and Diagnostic Purposes // Lecture Notes in Networks and Systems. 2021b Vol. 232. P. 945–953. DOI: 10.1007/978-3-030-90318-3\_75.
11. *Gorelova G., Melnik E., Safronenkova I.* The Problem Statement of Cognitive Modeling in Social Robotic Systems // Lecture Notes in Computer Science (включая Lecture Notes in Artificial Intelligence). 2021. Vol. 12998. P. 62–75. DOI: 10.1007/978-3-030-87725-5\_6.



## ДИНАМИКА БЕРЕГОВЫХ АККУМУЛЯТИВНЫХ ФОРМ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ И ЛОКАЛЬНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ: АРКТИКА И ДАЛЬНИЙ ВОСТОК

**С.А. Огородов**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
г. Москва, Россия  
ogorodov@geogr.msu.ru*

Береговые аккумулятивные формы (косы и барьеры) являются неотъемлемым элементом эволюционной стадии зрелости морского побережья. Считается, что они получили широкое распространение в Мировом океане около 6 тыс. лет назад, в период, когда в ходе послеледниковой трансгрессии уровень моря достиг отметок, близких к современным [Каплин, 1973]. По своему происхождению крупные береговые аккумулятивные формы делят на *косы*, формирование которых имело место в результате накопления наносов, перемещавшихся вдоль береговой линии [Морская геоморфология, 1980], и *барьеры*, образовавшиеся в процессе подтопления пляжа полного профиля (серии береговых валов) на фоне трансгрессии. В действительности большинство подобных образований имеют смешанный генезис. И те и другие надстраиваются за счет эоловых процессов, которые играют важную роль в формировании и стабилизации крупных аккумулятивных форм. В XX веке в результате массового строительства водохранилищ, портовых и берегозащитных сооружений произошло резкое сокращение поступления в береговую зону наносов пляжеобразующих фракции, и аккумулятивные формы практически повсеместно начали деградировать [Сафьянов, 1978, Бёрд, 1990]. В последние два десятилетия этот процесс усилился на фоне глобальных климатических изменений и интенсификации хозяйственного освоения побережья Мирового океана. Не стало исключением и побережье замерзающих морей Российской Арктики и Дальнего Востока. Снижение ледовитости привело здесь к существенному усилению волнового воздействия на берега и активизации разрушительных береговых процессов [Огородов, 2011].

Освоение новых районов на морском побережье в условиях Арктики и Дальнего Востока в целом ряде случаев начинается с береговых аккумулятивных форм. С точки зрения строителей, хорошо дренируемые, сложенные песчаными наносами береговые барьеры и косы имеют существенные преимущества, по сравнению с

сильно заболоченными прилегающими низменностями морского побережья. Другим немаловажным фактором является транспортно-логистический: снабжение объектов инфраструктуры возможно исключительно с моря, нормальные транспортные артерии со стороны суши часто просто отсутствуют. Рассмотрим два типичных примера освоения барьеров и кос, характерных для каждого из макрорегионов.

*Система острова Варандей вместе с островом Песяков (Печорское море)* представляют собой береговой барьер (рис. 1), сложенный мелкозернистыми мелкопесчаными песками, в нижней части разреза выходит торфяно-травяная подушка, под в основании разреза местами вскрываются среднеплейстоценовые многолетнемерзлые льдистые валунные суглинки [Огородов, 2004]. Фронтальную, обращенную к морю, часть барьера венчает авантюна (дюнный пояс), в середине прошлого века достигавшая отметок 5–12 м абс. На дистальных участках авантюны постепенно переходит в серию переработанных эоловым процессом береговых валов, фиксирующих стадии развития берегового барьера, или косы-барьера. Тыловая, обращенная к суше, часть берегового барьера представляет собой лайду с высотами до 2,5 м абс, в морфологии которой выделяется два уровня, соответствующих нагонам низкой и высокой обеспеченности.

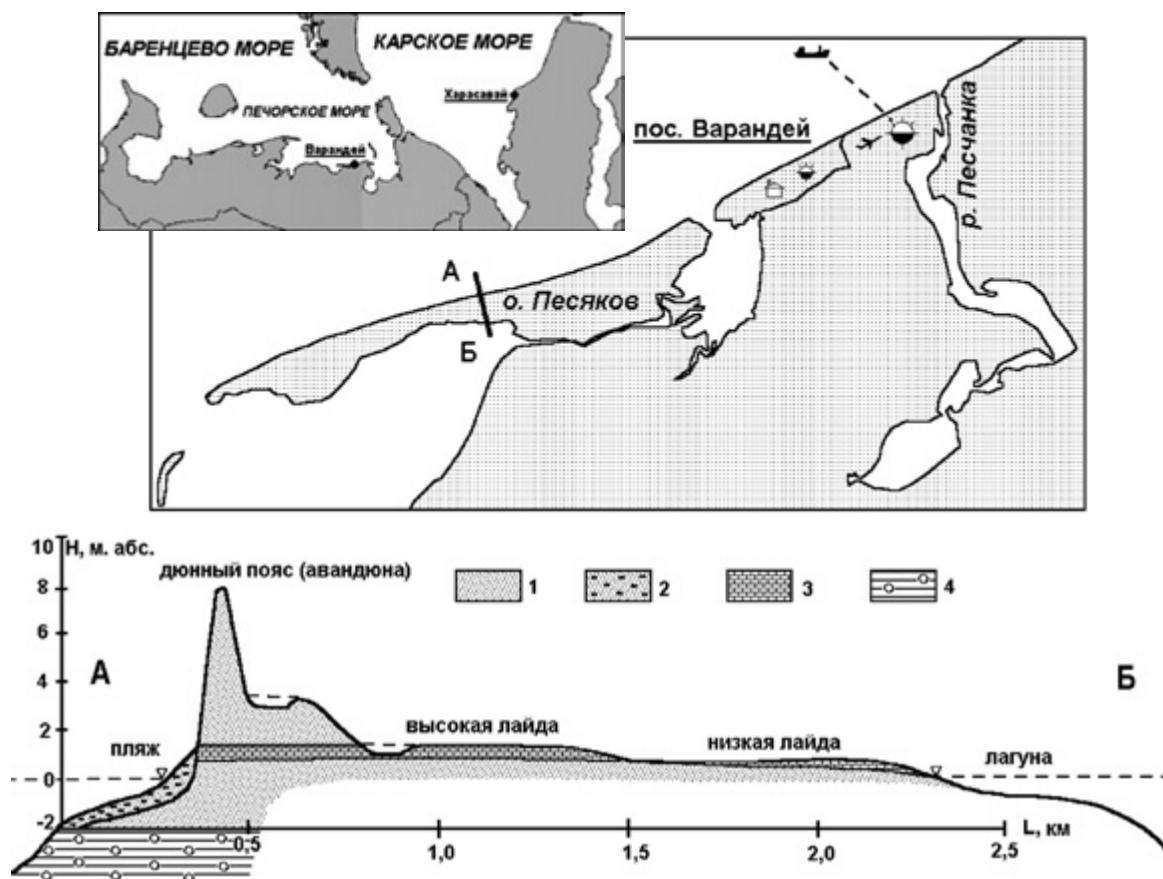


Рис. 1. Поперечный разрез берегового барьера о. Песяков (Печорское море):  
1 – пески; 2 – песок с галькой; 3 – торф; 4 – валунный суглинок [Огородов и др., 2003]

Активное освоение Варандейского промышленного участка началось еще в 1970-е гг. Техногенной нагрузке подвергся о. Варандей, где была заложена производственная база, построен поселок на 3,5 тыс. жителей. Авандюна под строительство поселка, нефтебазы и аэропорта была срезана и планирована. В ходе начатого практически у бровки абразионного уступа строительства поселка и производственной базы имели место многократные изъятия песчаных и песчано-галечных наносов с авандюны и пляжа. Бессистемное использование транспортной и строительной техники, в том числе гусеничной, привело к деградации почвенно-растительного покрова по всей поверхности дюнного пояса о. Варандей.

Дюнный пояс, сложенный мелкими песками, в условиях глубокого сезонного протаивания является ареной особо благоприятной для развития дефляции, термоэрозии и термокарста. Масштабы и скорость этих процессов столь заметны, что местами поверхность острова за период освоения стала ниже на 1–3 м. Широкое распространение получили дефляционные и термокарстовые котловины, в абразионном уступе заложилась многочисленная дефляционно-термоэрозионные врезы. В результате скорость абразии о. Варандей удвоилась и, согласно последним измерениям, составляет 3–4 м в год (рис. 2). 24 июля 2010 г. на фоне климатических изменений и раннего очищения акватории ото льдов на о. Варандей был зафиксирован самый большой штормовой нагон за всю историю наблюдений [Шабанова, Огородов, 2019]. Уровень моря достиг отметки 3,58 м абс. Остров оказался полностью затоплен, размер причиненного инфраструктуре ущерба составил несколько сотен миллионов рублей.

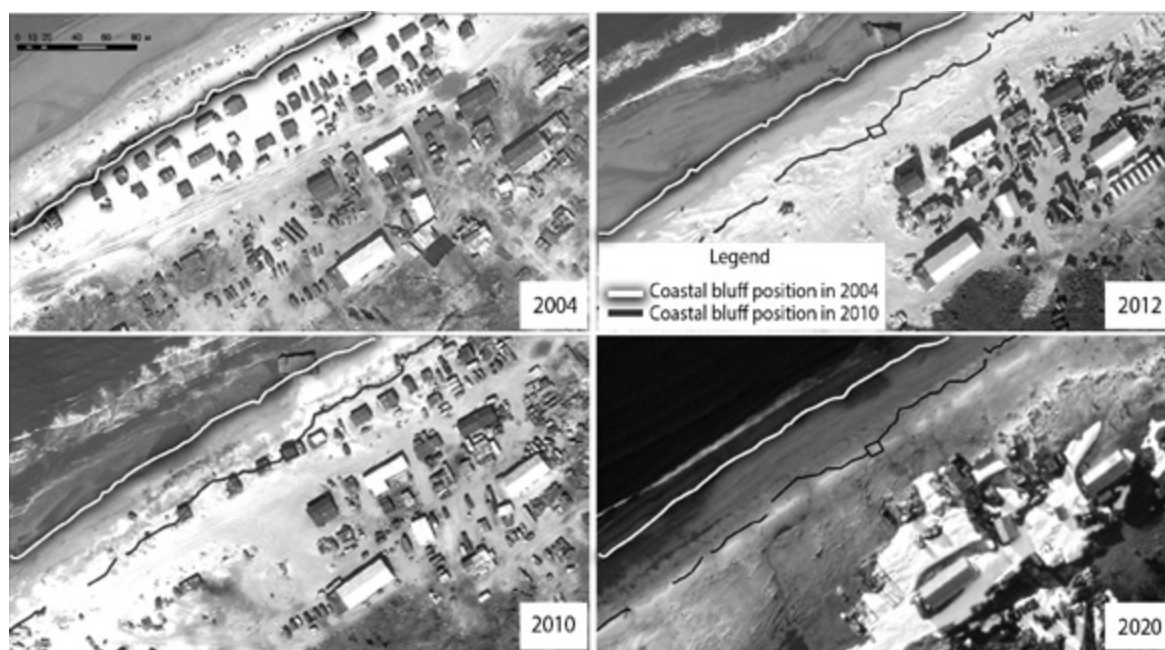


Рис. 2. Динамика береговой линии в створе пос. Варандей (по: [Sinitsyn et al., 2020] с дополнен.)

*Коса Октябрьская (Охотское море)* сформировалась в приустьевой области р. Большая (Камчатский край) за счет наносов, поступающих с абразионного участка, расположенного севернее мыса Левашова, а также с подводного склона. Коса сложена песчано-галечным материалом, в пределах дюнного комплекса – песчаным. Протяженность косы составляет почти 40 км, ширина от 100 до 400 м, высота над урезом моря не более 3 м. Возраст косы в ее современных очертаниях, по-видимому, не превышает двух столетий: на картах XVIII–XIX вв. в устье р. Большая рисуют морской залив. По-видимому, на фоне снижения ледовитости Охотского моря усилилось влияние волнений северо-западной четверти, и вдольбереговой поток наносов примерно с середины XIX в. отклонился на юг, способствуя быстрому росту косы. Соответственно, устье р. Большая также сместилось на 40 км на юг, а ранее существовавший здесь морской залив заполняется речными наносами. Скорость роста протяженности косы, определенная с 1950 по 2010 г. по разновременным аэрокосмическим материалам, составила 150 м в год [Горин, 2012].



**Рис. 3.** Защита дорожной насыпи на Косе Октябрьской (Охотское море) бетонными плитами

В 1933 г. на расширении косы (15 км от корневой части) был основан поселок на 5 тыс. жителей с соответствующей портовой и рыбоперерабатывающей инфраструктурой. Для связи поселка с Большой Землей по гребню косы (а фактически по гребню пляжа полного профиля), через которую происходит волновой заплеск и осуществляется перелив морских вод во время штормового нагона, построена



дорожная насыпь (рис. 3) протяженностью около 20 км. С этого момента начинается многолетняя эпопея борьбы за существование поселка и функционирование дороги. Рост косы в дистальной части, размыв в корневой, также как и процесс смещения всей абразионно-аккумулятивной системы в сторону суши, в результате абразии на разрушающемся участке берега и перераспределения материала с морской части пляжа в лагунную на аккумулятивном не что иное, как естественный процесс эволюции морских побережий. По оценкам на середину XX в., скорость смещения береговой линии в сторону суши оценивалась здесь 0,5 м в год [Владимиров, 1961]. Закономерный итог эволюции – прорыв косы в уязвимом месте и образование нового выхода устья реки в море. Равномерная диссипация волновой энергии происходит лишь в том случае, если пляж имеет профиль динамического равновесия (пляж полного профиля).

Строительство насыпи, ее укрепление бетонными плитами (рис. 3), фактически создание искусственного препятствия (уступа) приводит к отражению волны, в результате скорость обратного заплеска превышает скорость прямого, что способствует выносу пляжеобразующего материала в открытое море. Более того, отсутствие естественного перелива вод в лагуну в период штормового нагона, совпадающего с сизигийным приливом, ведет к дополнительному росту уровня моря, что увеличивает риск локальных размывов дорожной насыпи. Ситуация усугубляется постоянным изъятием наносов с пляжа на нужды рыбной отрасли. Наносы, поступающие на подводный склон, вовлекаются во вдольбереговой поток и идут на наращивание дистальной части косы. В свою очередь, аномальный рост протяженности косы ухудшает водообмен в устьевой области р. Большая с морем, что не лучшим образом сказывается на рыболовной отрасли и судоходстве.

В последние два десятилетия на фоне потепления климата и снижения ледовитости волновое воздействие на берега Западной Камчатки заметно усилилось. В период сильных штормов с октября по декабрь отсутствующий в Охотском море ледяной покров не препятствует развитию волнения, а обломки льда, выброшенные на пляж, больше не защищают дорожную насыпь от размыва [Огородов, 2011]. В результате отступление береговой линии корневой части Косы и в створе пос. Октябрьский угрожает объектам инфраструктуры, а расходы на берегоукрепительные мероприятия и поддержание дорожной насыпи постоянно растут.

Рассмотренные примеры варварского освоения морских побережий в Арктике и на Дальнем Востоке и строительства объектов инфраструктуры в пределах чрезвычайно уязвимых аккумулятивных береговых форм еще раз свидетельствуют в пользу необходимости грамотного, экологически выверенного подхода при освоении новых территорий и акваторий, учитывающего лучшие существующие теоретические и практические наработки в области учения о динамике морских берегов.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФ, проект № 22-17-00097.*



### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бёрд Э. Изменение береговой линии: глобальный обзор. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 254 с.
2. Владимиров А.Т. Особенности динамики берега Западной Камчатки в связи с гидротехническим и промышленным строительством // Сырьевые ресурсы Камчатской области. М.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 138–142.
3. Горин С.Л., Игнатов Е.И., Кравчуновская Е.А., Корзинин Д.В., Тембрел И.И. Морфодинамика Октябрьской косы (Охотоморское побережье Камчатки) // Морские берега – эволюция, экология, экономика: мат-лы XXIV Междунар. береговой конф., посвященной 60-летию Рабочей группы «Морские берега» (г. Туапсе, 1–6 окт. 2012 г.). Краснодар: Юг, 2012. Т. 1. С. 94–97.
4. Каплин П.А. Новейшая история побережий Мирового океана. М.: Изд-во МГУ, 1973. 265 с.
5. Морская геоморфология. Терминологический справочник. Береговая зона: процессы, понятия, определения / ред. В.П. Зенкович, Б.А. Попов. М.: Мысль, 1980. 280 с.
6. Огородов С.А. Морфолитодинамика береговой зоны Варандейского района Печорского моря в условиях техногенного прессинга // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. 2004. № 3. С. 273–278.
7. Огородов С.А. Роль морских льдов в динамике рельефа береговой зоны. М.: Изд-во МГУ, 2011. 173 с.
8. Огородов С.А., Полякова Е.И., Каплин П.А. Эволюция береговых баров Печорского моря // Доклады Академии наук. 2003. Т. 388. № 3. С. 392–394.
9. Сафьянов Г.А. Береговая зона океана в XX веке. М.: Мысль, 1978. 263 с.
10. Шабанова Н.Н., Огородов С.А. Варандей-2010 – сильнейший штормовой нагон за всю историю наблюдений: причины, характеристика и последствия // Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и индустриальных вызовов («Опасные явления»): мат-лы Междунар. науч. конф. (г. Ростов-на-Дону, 13–23 июня 2019 г.). Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2019. С. 214–217.
11. Sinitsyn A., Guegan E, Shabanova N., Kokin O., Ogorodov S. Fifty four years of coastal erosion and hydrometeorological parameters in the Varandey region, Barents Sea // Environmental Science. Coastal Engineering. 2020. Vol. 157. P. 103610. URL: <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2019.103610>.

## ЛОГНОРМАЛЬНАЯ ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСОТ ЦУНАМИ ВДОЛЬ ПОБЕРЕЖЬЯ

*Е.Н. Пелиновский<sup>1-3</sup>, А.А. Зайцев<sup>4</sup>, И.И. Диденкулова<sup>5,3</sup>*

<sup>1</sup>*Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород, Россия*

<sup>2</sup>*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,  
г. Владивосток, Россия*

<sup>3</sup>*Нижегородский технический университет им. Р.Е. Алексева,  
г. Нижний Новгород, Россия*

<sup>4</sup>*Специальное конструкторское бюро средств автоматизации  
морских исследований ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия*

<sup>5</sup>*Университет Осло, г. Осло, Норвегия  
pelinovsky@appl.sci-nnov.ru*

Обсуждается теоретическая модель распределения высот волн цунами вдоль побережья, приводящая к логнормальному распределению. В качестве примера рассчитана функция распределения высот волн, полученная по натурным измерениям после цунами на о-ве Сулавеси (Индонезия), случившегося в сентябре 2018 г.

Сейчас получено достаточно данных о высотах волн цунами на побережье как в исторических событиях, так и в прогностических расчетах опасности цунами. Особенно много данных получено после катастрофического цунами 2004 г. в Индийском океане и цунами вулканического происхождения на острове Тонга в 2022 г., когда цунами проявилось на побережьях всех океанов. Анализ распределения высот волн вдоль побережья позволяет выполнить районирование побережья по степени опасности цунами и планировать мероприятия по предупреждению и ликвидации последствий стихийных бедствий. С учетом повторяемости землетрясений можно с заданной вероятностью получать многолетние оценки высот цунами для конкретных пунктов побережья; такие оценки в настоящее время проводятся в рамках подхода РТНА (вероятностная оценка опасности цунами); см., например, [Selva et al., 2021].

В каждом отдельном событии плотность функции распределения высот волн вдоль побережья является очень неоднородной, поэтому здесь эффективными являются методы математической статистики и теории вероятности. В работах [Van-Dorn, 1965; Kajiuura, 1983; Choi et al., 2002, 2006, 2012; Burroughs, Tebbens, 2005; Kaistrenko, 2011; Wahyuni, Adnan, 2018] было предложено использовать логнормальное распределение для аппроксимации реальных данных. Теоретическая

интерпретация логнормального распределения была дана в работе [Го, 1987] и развита в исследовании [Choi et al., 2002]. Тем не менее наблюдаются отличия реальных функций распределения, и на практике могут быть использованы различные аппроксимации [Kim et al., 2014; Song, Cho, 2020]. Однако в целом можно сказать, что логнормальное распределение является неплохой аппроксимацией натуральных данных.

В настоящей работе мы опишем теоретическую модель, основанную на логнормальном распределении, и применим ее к анализу цунами 2018 г. на острове Сулавеси в Индонезии.

Теоретическое логнормальное распределение может быть объяснено в рамках линейной теории мелкой воды при учете нерегулярной (случайной) батиметрии бассейна. Волна, подходящая к берегу в силу неоднородности донного рельефа, меняет свои характеристики в силу процессов отражения, рассеяния и дифракции. В силу линейности уравнений высота волны на побережье  $H$  пропорциональна смещению уровня воды в очаге цунами  $H_0$ :

$$H = K H_0, \quad (1)$$

где коэффициент трансформации  $K$  сильно зависит от донного рельефа. Наиболее просто его интерпретировать в рамках лучевой теории, часто используемой для расчета волн цунами [Satake, 1988]. Пример расчета лучевых траекторий (путей распространения волн) в Японском море представлен на рисунке 1, откуда ясно виден нерегулярный характер распространения волн.

Разбивая путь распространения волны на серию более или менее статистически однородных сегментов, коэффициент трансформации становится равен произведению локальных коэффициентов трансформации на каждом сегменте:

$$K = \prod_{i=1}^{i=N} K_i. \quad (2)$$

Тогда формула (1) после применения операции логарифмирования преобразуется в

$$\ln H = \ln H_0 + \sum_i \ln K_i. \quad (3)$$

Входящие в (3) слагаемые  $\ln K_i$  могут рассматриваться как независимые случайные переменные, и в силу центральной предельной теоремы для высоты волн получается логнормальное распределение:

$$f(H) = \frac{1}{H\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{(\ln H - a)^2}{2\sigma^2} \right], \quad (4)$$

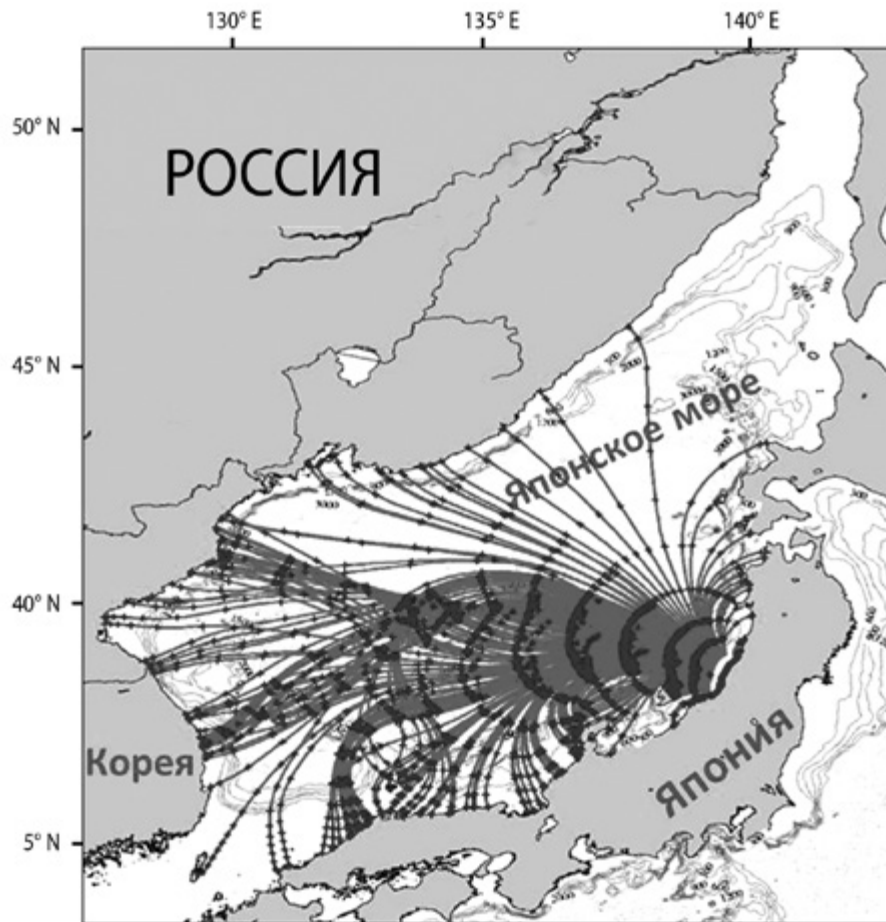
в котором имеются два параметра:  $a = \langle \ln H \rangle$  – среднее значение, и  $\sigma$  – стандартное отклонение логарифма высоты. Для определенности все величины измеряются

в метрах. Удобно работать с интегральной (кумулятивной) функцией распределения, которую можно записать в безразмерном виде:

$$F(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \ln 10}} \int_y^{\infty} \frac{1}{z} \exp \left[ -\frac{1}{2} (\log z)^2 \right] dz, \quad (5)$$

где введена безразмерная высота:

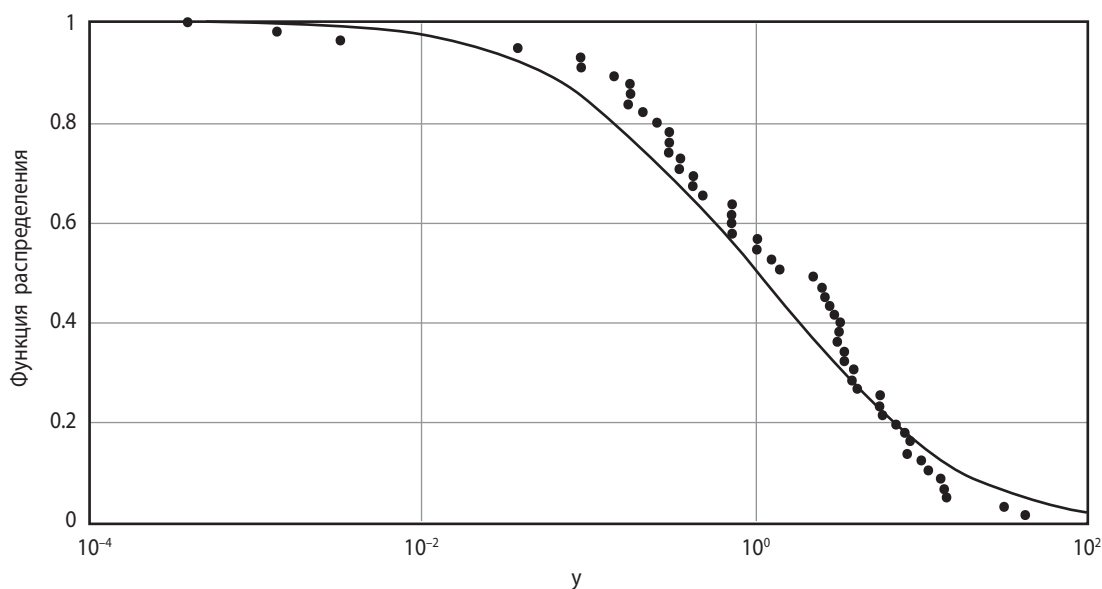
$$y = \frac{H^{1/\sigma}}{\exp(a/\sigma)}. \quad (6)$$



**Рис. 1.** Расчеты путей распространения волн цунами в Японском море

28 сентября 2018 г. случилось катастрофическое землетрясение магнитудой 7,5 на острове Сулавеси (Индонезия) в окрестностях столицы этой провинции – г. Палу. Максимальная высота волн достигла 9 м. В обследовании этого цунами принял участие один из авторов статьи (А.И. Зайцев), и результаты обследования приведены в работах [Зайцев и др., 2019а, б; Omira et al., 2019; Zaytsev, 2021]. Важно отметить, что землетрясение вызвало ряд оползней, которые вызвали сильные локальные волны, так что, скорее всего, цунами было инициировано оползнями, а вклад землетрясения в наблюдаемую высоту волны цунами не превышает 20 %.

Рассчитанная для этого случая функция распределения высот волн цунами, построенная по 55 измерениям, представлена на рисунке 2. Можно видеть, что даже в этом событии сложной генерации цунами с несколькими источниками, данные наблюдений по-прежнему хорошо следуют логнормальному распределению.



**Рис. 2.** Функция распределения высот волн цунами 2018 г. на острове Сулавеси

В данной статье мы обсудили теоретическую модель распределения высот волн цунами вдоль побережья, приводящую к логнормальному распределению. Эта модель применена для интерпретации данных полевых измерений высот волн цунами на острове Сулавеси (Индонезия), случившегося в 2018 г. Показана хорошая применимость логнормальной кривой для объяснения наблюдаемых данных.

*Исследование для ПЕН выполнено при поддержке Лаборатории нелинейной гидрофизики и природных катастроф ТОИ им. В.И. Ильичева ДВО РАН, грант Министерства науки и высшего образования РФ, соглашение № 075-15-2022-1127 от 01.07.2022.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Го Ч.Н. Статистические свойства заплесков цунами на побережье Курильских островов и Японии. Препринт / ИМГиГ. Южно-Сахалинск, 1987.
2. Зайцев А.И., Пелиновский Е.Н., Ялченир А. и др. Возникновение цунами 2018 года на острове Сулавеси: возможные очаги // Доклады Академии наук. 2019а. Т. 486. № 3. С. 375–379.



3. *Зайцев А.И. и др.* Влияние цунами 28 сентября 2018 г. на экологическую обстановку на о. Сулавеси (Индонезия) // Экологические системы и приборы. 2019б. № 5. С. 25–29.
4. *Burroughs S.M., Tebbens S.F.* Power-law scaling and probabilistic forecasting of tsunami runup heights // *Pure Appl. Geophys.* 2005. Vol. 162. С. 331–342.
5. *Choi B.H. et al.* Distribution functions of tsunami wave heights // *Natural Hazards.* 2002. Vol. 25. P. 1–21.
6. *Choi B.H., Hong S.J., and Pelinovsky E.* Distribution of runup heights of the December 26, 2004 tsunami in the Indian Ocean // *Geophysical Research Letters.* 2006. Vol. 33. L13601.
7. *Choi B.H. et al.* Comparable analysis of the distribution functions of runup heights of the 1896, 1933 and 2011 Japanese Tsunamis in the Sanriku Area // *Natural Hazards and Earth System Sciences.* 2012. Vol. 12. P. 1463–1467.
8. *Kaistrenko V.M.* Tsunami recurrence versus tsunami height distribution along the coast // *Pure Applied Geophysics.* 2011. Vol. 168. P. 2065–2069.
9. *Kajiura K.* Some statistics related to observed tsunami heights along the coast of Japan // *Tsunamis – Their Science and Engineering.* Tokyo: Terra Pub., 1983. P. 131–145.
10. *Kim D. et al.* Best-fit distribution and log-normality for tsunami heights along coastal lines // *Stoch Environ Res Risk Assessment.* 2014. Vol. 28. P. 881–893.
11. *Omira R. et al.* The September 28<sup>th</sup>, 2018, tsunami in Palu-Sulawesi, Indonesia: A post-event field survey // *Pure and Applied Geophysics.* 2019. Vol. 176. P. 1379–1395.
12. *Satake K.* Effects of bathymetry on tsunami propagation: application of ray tracing to tsunamis // *Pure and Applied Geophysics.* 1988. Vol. 126. P. 27–36.
13. *Selva J. et al.* Probabilistic tsunami forecasting for early warning // *Nature Communications.* 2021. Vol. 12. P. 5677.
14. *Song M.J., Cho Y.S.* Modeling maximum tsunami heights using Bayesian neural networks // *Atmosphere.* 2020. Vol. 11. P. 1266.
15. *Van Dorn W.G.* Tsunamis // *Advances in Hydrosience* / ed. Chow V.T. London: Acad. Press, 1965. Vol. 2. P. 1–48.
16. *Wahyuni D., Adnan A.* Best fit probability model for runup height tsunami in Aceh using some mixture distribution // *Applied Mathematical Sciences.* 2018. Vol. 12. P. 1191–1199.
17. *Zaytsev A. et al.* Impact analysis of the 2018 tsunami on Sulawesi Island using satellite imagery // *Science of Tsunami Hazards.* 2021. Vol. 40. P. 218–227.

## ПРОТОТИП АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЛЯРНЫХ МЕЗОЦИКЛОНОВ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ РОССИИ

*С.А. Петриченко, О.В. Калмыкова, С.В. Козлов, Л.К. Кулижникова*

---

*НПО «Тайфун», г. Обнинск, Калужская обл., Россия  
psa@rpatyphoon.ru*

По определению Европейской рабочей группы по полярным мезоциклонам [Rasmussen, 1985] *полярные мезоциклоны* (ПМЦ) – это циклонические вихри с масштабами мезо-альфа и мезо-бета, возникающие в области между полюсом и полярным фронтом. В настоящее время этот термин, как правило, применяют для интенсивных морских циклонов в приполярной области с масштабами до 1000 км и скоростями ветра вблизи поверхности превышающими 15 м/с.

В Северном полушарии областью наиболее активного мезомасштабного циклогенеза является акватория Северо-Европейского бассейна. Это связано с наличием значительных межширотных температурных контрастов в приводном слое атмосферы, которые особенно велики вблизи ледового барьера и усилены проникновением теплых атлантических вод на север. В сочетании с интенсивным тропосферным переносом эти температурные контрасты создают условия для развития бароклинной неустойчивости в регионе в холодное время года.

Над северными морями России, лежащими к востоку от Новой Земли (Карское море, море Лаптевых и Восточно-Сибирское море), ПМЦ возникают гораздо реже, вследствие меньшей, чем в Северо-Европейском бассейне, площади, свободной ото льда, морской поверхности. В этих областях наблюдается летний максимум в годовом ходе количества ПМЦ, в отличие от зимнего максимума в морях западнее Новой Земли. Возникновение ПМЦ над акваториями морей Восточного сектора Арктики связано, в первую очередь, с переносом относительно теплого воздуха с суши на море [Яровая, Ефимов, 2022].

Поскольку размеры полярных мезоциклонов незначительны по сравнению с крупномасштабными барическими образованиями (в среднем 200–600 км), а срок их жизни в большинстве случаев менее полутора суток, они достаточно редко обнаруживаются на синоптических картах. Тем не менее анализ полей давления и геострофической завихренности все же используется для идентификации ПМЦ. Однако чаще всего такие циклоны обнаруживаются по данным спутниковых

наблюдений. Фактически в настоящий момент спутниковые данные – это основное средство их обнаружения и идентификации. Запуск в 2021 г. российского высокоэллиптического метеорологического спутника «Арктика-М» расширило эти возможности. В последнее время для идентификации ПМЦ актуальными стали и методы численного моделирования. Например, в работе [Вазаева и др., 2022] разрабатываются критерии, позволяющие идентифицировать и исследовать генезис ПМЦ.

Несмотря на определенные успехи в этой области, обнаружение ПМЦ, как и их прогноз, пока остаются нерешенной задачей.

Нами ранее было предложено использовать для прогноза ПМЦ индексы конвективной неустойчивости. Расчет полей конвективных индексов для уже идентифицированных ПМЦ и их сопоставление с наблюдаемыми характеристиками позволили выделить ограниченный перечень этих индексов в качестве предикторов. Для каждого используемого индекса были определены региональные пороговые значения. Суперпозиция их полей, по нашему мнению, дает возможность вероятностного прогнозирования ПМЦ [Петриченко и др., 2021а, 2021б]. На основе полученных результаты был разработан программный комплекс, позволяющий в автоматическом режиме формировать вероятностные прогностические карты угроз возникновения ПМЦ.

Технологическая линия построения прогнозов зарождения полярных мезоциклонов в Арктическом регионе РФ включает в себя:

- численную модель PolarWRF-ARW 4.1.5 с выбранными настройками и параметризациями подсеточных процессов;
- программный модуль для расчета полей индексов конвективной неустойчивости;
- программный модуль для расчета полей вероятности образования ПМЦ на основе отобранной конфигурации Индексов, с каждым из которых сопоставлено свое региональное пороговое значение;
- комплекс программ запуска расчетов по расписанию;
- программный модуль построения карт областей риска образования ПМЦ.

На рисунке 1 представлена блок-схема технологической линии прогноза возникновения ПМЦ.

На FTP-сервере НПО «Тайфун» по заданному расписанию запускается программа, которая осуществляет загрузку и передачу на сервер «Хранилище данных» результатов счета по модели GFS от 00:00 ч UTC текущей рассматриваемой даты с сервера NCEP.

На расчетном сервере с установленной системой PWRF по заданному расписанию с помощью специальных скриптов, при наличии соответствующих прогнозов GFS запускается расчет по модели PWRF с последующей обработкой ее выходной продукции.

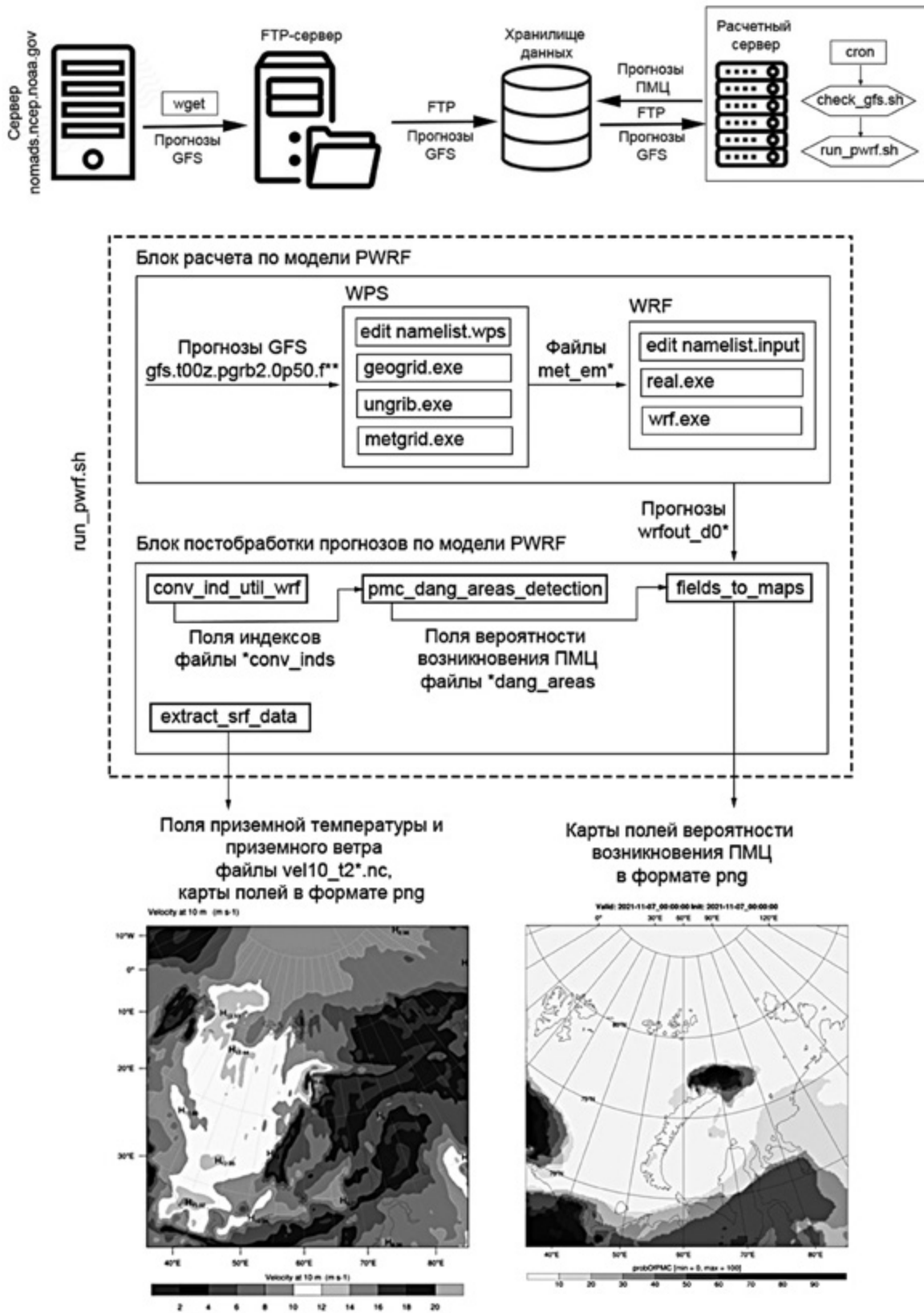


Рис. 1. Блок-схема технологической линии прогноза возникновения ПМЦ

В процессе расчета по модели PWRP формируются выходные файлы, содержащие прогностические данные по стандартным метеоэлементам (температура, давление, влажность, скорость ветра и др.) в узлах расчетной сетки на различных вертикальных уровнях. Эти данные используются для последующего расчета полей индексов конвективной неустойчивости атмосферы.

Для расчета индексов используется специально разработанный программный модуль, по результатам работы которого формируются выходные файлы, содержащие значения около 100 индексов конвективной неустойчивости.

На основе выбранной конфигурации индексов строится поле вероятности образования ПМЦ. Расчет вероятности производится с помощью специально разработанного программного модуля. При расчете вероятности используется, как это отмечалось нами ранее, следующее предположение: чем больше индексов идентифицировали закритическую область, тем больше вероятность того, что в этой области может возникнуть ПМЦ.

В настоящий момент используется блок из десяти конвективных индексов, в который входят группы индексов, связанных с завихренностью, со скоростью и сдвигом скорости ветра, а также с градиентами температуры и с влажностью в нижнем слое атмосферы.

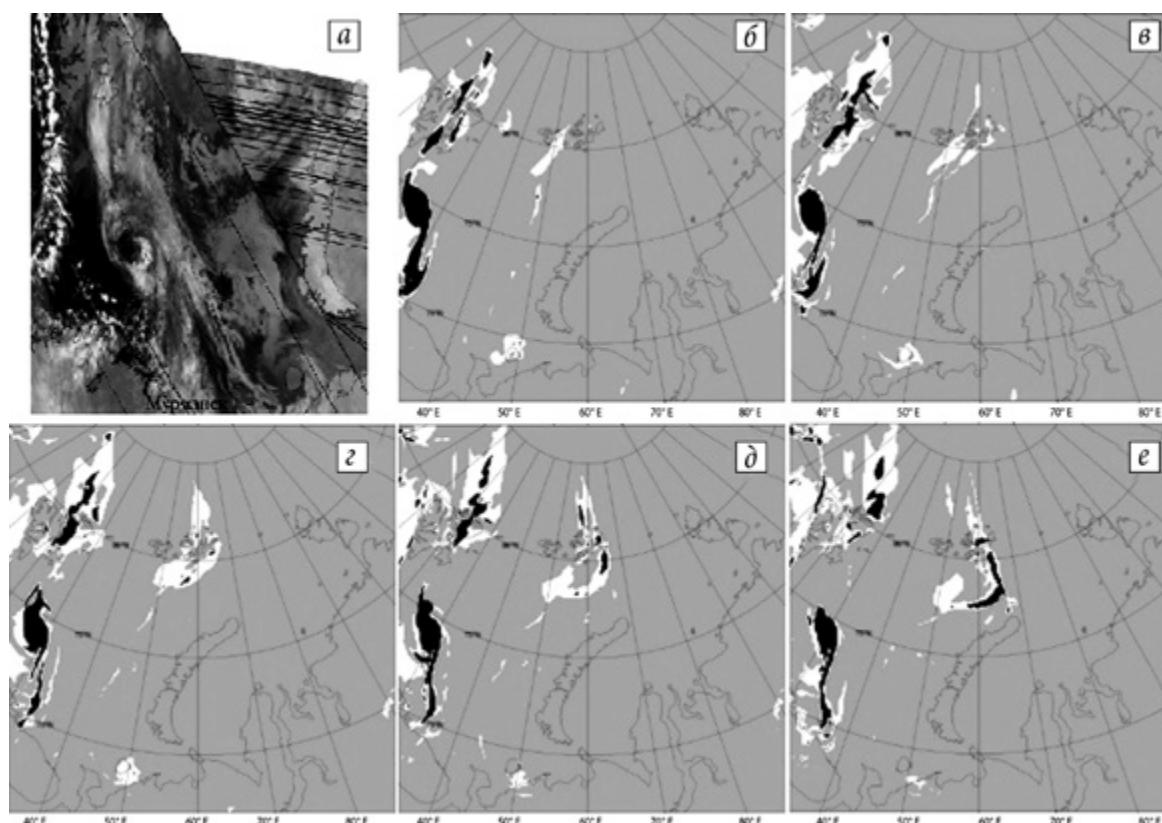
На заключительном этапе работы технологической линии осуществляется построение карт областей риска образования ПМЦ (на базе вышеупомянутых полей вероятности), а также карт приземной температуры и приземной скорости ветра.

Разработанная технологическая линия запущена в работу в тестовом режиме с ноября 2021 г. В процессе работы проводится доводка отдельных узлов системы.

Моделирование проводится один раз в сутки, заблаговременность прогноза – до 48 ч. По результатам моделирования формируются поля вероятности образования ПМЦ с часовым шагом по времени, шаг расчетной сетки составляет 12 км. Расчетная область включает в себя практически всю акваторию Баренцева и Карского морей, а также западную часть моря Лаптевых. В качестве начальных и граничных условий используются прогностические данные глобальной модели GFS с разрешением  $0,5^\circ$  (счет от 00:00 ч UTC). Для удобства анализа формируются карты риска образования ПМЦ в виде трех уровней опасности по типу «светофора»: зеленый уровень – вероятность образования ПМЦ в диапазоне 0–50 %, желтый уровень – от 50 до 70 %, красный уровень – больше 70 %.

В качестве примера расчетов на рисунке 2 представлено спутниковое изображение района Баренцева моря с явно выраженным полярным мезоциклоном (снимок с сайта НИЦ «Планета») и последовательные прогностические карты областей риска образования ПМЦ, рассчитанные в те же сроки. Из рисунка 2 видно, что область высокой вероятности возникновения ПМЦ располагалась в непосредственной близости от реального положения мезоциклона.





**Рис. 2.** Спутниковые изображения акватории с ПМЦ в 08:39 UTC 08.03.2022 (а); прогностические карты от 00:00 ч UTC 08.03.2022 областей риска образования ПМЦ за период с 00:00 до 12:00 ч UTC 08.03.22 с интервалом в 3 ч (б – е)

Первые результаты, полученные с помощью разработанной технологической линии, позволяют предположить, что выбранные подходы по построению вероятностных прогнозов возникновения ПМЦ могут дать положительный результат.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вазаева Н.В., Чхетиани О.Г., Дурнева Е.А.* О критериях идентификации полярных мезоциклонов // *Метеорология и гидрология*. 2022. № 4. С. 20–33.
2. *Петриченко С.А., Калмыкова О.В., Козлов С.В.* Использование индексов конвективной неустойчивости для оценки вероятности возникновения полярных мезоциклонов в Арктическом регионе России // *Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных и опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и промышленных вызовов: мат-лы III Междунар. науч. конф. памяти чл.-корр. РАН Д.Г. Матишова («Опасные явления – III»)* (г. Ростов-на-Дону, 15–19 июня 2021 г.) Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2021. С. 114–117.

2. *Петриченко С.А., Калмыкова О.В., Козлов С.В.* Расчет полей вероятности зарождения (обнаружения) полярных мезоциклонов в Арктическом регионе России с использованием региональных пороговых значений индексов конвективной неустойчивости // Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России: мат-лы IV Всерос. науч.-практ. конф. (г. Иркутск, 24–26 ноября 2021 г.). Иркутск: Изд-во ИГУ, 2021. С. 329–337.
3. *Яровая Д.А., Ефимов В.В.* Климатологические особенности полярных мезомасштабных циклонов над восточным сектором евразийской Арктики по данным реанализа ASR // Метеорология и гидрология. 2022. № 4. С. 5–19.
4. *Rasmussen E.A.* A case study of a polar low development over the Barents Sea // *Tellus A.* 1985. Vol. 37. No. 5. P. 407–418.

## КРАТКИЙ ОБЗОР МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

*А.А. Халиева, Н.А. Яицкая*

---

*Субтропический научный центр РАН, г. Сочи, Россия  
yaitskayan@gmail.com, azakhaliyeva@mail.ru*

Потребность в более качественном мониторинге и анализе прибрежной среды резко возросла в последние годы, особенно вдоль прибрежных районов, где деятельность человека носит разносторонний характер и может привести к неблагоприятным последствиям. За последнее десятилетие стремительное развитие компьютерных технологий произвело революцию в процессах сбора и анализа данных. Это дало возможность получать регулярные данные в рамках значительных временных промежутков и охватывать большие регионы для исследований из любой точки мира, что в свою очередь открывает новые возможности и перспективы для мониторинга различных процессов, выявления новых явлений и феноменов, пространственно-временных закономерностей, а также делает процесс получения информации быстрым и экономичным. Эти достижения значительно повысили нашу способность понимать сложные взаимосвязи между прибрежными процессами и эффективно управлять ресурсами прибрежной зоны.

В статье приведен анализ методов мониторинга прибрежных геосистем и их компонентов с использованием геоинформационных (ГИС) технологий, опубликованные в отечественных и зарубежных журналах, с оценкой возможности последующего применения для региона Сочинского Причерноморья.

Часто динамика и морфология прибрежных районов связаны с эрозией и аккумуляцией, когда изменение профиля пляжа вызывает увеличение либо уменьшение высоты его склона [Narashid et al., 2021]. Для мониторинга и анализа таких сложных процессов используются различные методы – статистические подходы, аэрофотосъемка и топографические съемки [Nassar et al., 2019], оценка эрозии/аккумуляции по историческим данным с использованием методов ГИС [Bagheri et al. 2019], результаты дистанционного зондирования Земли и съемка с беспилотных летательных аппаратов [Мисиров и др., 2020].

Недостаточность береговых укреплений для сдерживания склоновых гравитационных процессов и их значительный износ приводят к резкому ухудшению экологического состояния, деградации и уничтожению прибрежных зон. Анализ современного состояния береговых процессов показывает необходимость проведения полномасштабных берегозащитных и природоохранных мер в прибрежных геосистемах. В работе [Шешеня, 2014] рассмотрены проблемы использования геоинформационных технологий для изучения изменений экзогенных геологических процессов на берегах водоемов. Выяснено, что проведение детальной топографической съемки оползневого региона с одних и тех же базовых точек в разные годы с последовательным построением цифровой модели рельефа позволяет проследить пространственную неоднородность и интенсивность плоскостных деформаций в разных частях оползневого региона. Предложена методика анализа пространственно-временных изменений оползневых процессов с помощью картографической алгебры, математической и картографической модели для управления мониторингом экзогенных геологических процессов.

В статье [Мисиров и др., 2020] коллектив авторов произвел отработку методики оценки динамики береговой линии Таганрогского залива на основе исторических космических снимков и ГИС-технологий. Так авторы, используя данные дистанционного зондирования и снимки искусственных спутников Земли, после их географической привязки и оцифровки, произвели расчет пространственно-временной динамики берега за период с 1967 по 2020 г. с помощью программного обеспечения Digital Shoreline Analysis System (DSAS) v5.

Процесс абразии или размыва береговых склонов (один из наиболее активных геодинамических процессов) широко распространен на поверхности планеты. Одной из актуальных областей для изучения данного процесса являются искусственные водоемы. На искусственных водоёмах абразия перерабатывает берега десятки лет в отличие от берегов естественных водоёмов (сотни тысяч и миллионы лет), и стадия развития процесса может быть однозначно определена как начальная. Так в статье [Баранова и др., 2016] приведены результаты применения ГИС-технологий и спутниковых данных для мониторинга геодинамических процессов водохранилища. Показано, что полученные в ГИС картосхемы отступления берега, данные о протяженности участков с различным темпом отступления и особенностей геологического строения берегов дают возможность рассчитать объем разрушения всей береговой линии. А данные многолетнего мониторинга позволяют построить кривые объемов размыва и объемов аккумуляции для всех профилей действующих участков наблюдения за переформированием берегов водоема. По полученным кривым впоследствии могут быть составлены прогнозы объемов утраты прибрежной территории и объемов аккумуляции продуктов размыва вдоль береговой линии за какой-либо период времени.

В работе [Скрипка и др., 2020] представлена методика мониторинга морфологических и морфометрических характеристик различных типов берегов водохранилища с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и инструментария программы Agisoft PhotoScan, благодаря чему возможно оценить интенсивность опасных экзогенных геологических абразионно-оползневых процессов, своевременно разработать и реализовать водоохранные мероприятия береговой зоны водных объектов.

Например, в работе [Калинка, Карнатов, 2019] описывается метод создания карт экологической уязвимости морских акваторий и чувствительности берегов к нефтяному загрязнению. Интегральная экологическая уязвимость исследуемого района моря рассчитывается как результат «суммирования» карт сезонного распределения наиболее значимых компонентов экосистемы с учетом потенциального воздействия нефти на биоту, её чувствительности к воздействию нефти и способности к восстановлению. Степень чувствительности берегов определяется в соответствии с системой индексов чувствительности среды Environmental Sensitivity Index (ESI). Данная система характеризует интегральную восприимчивость побережья к нефтяному загрязнению, отражая связь между строением, структурой берега и физическими процессами, происходящими при попадании нефти на берег, а также учитывает трудности последующей его очистки. В работах с большими объемами разнородных данных, аккумулированных в картах различного назначения, содержания и масштаба, возникает необходимость обрабатывать и интерпретировать такие данные, для чего применялся ГИС-ориентированный подход.

Следует отметить, что в последние годы в отечественной науке исследований, посвященных мониторингу прибрежных процессов, становится больше. Несмотря на отсутствие общепринятых методик и использование в расчетах большого количества допущений, прогнозирование прибрежных опасностей и оценка риска являются важными инструментами при принятии решений по обеспечению безопасности прибрежной окружающей среды, а также дают возможность инвестировать в мероприятия, направленные на снижение риска. Такая оценка позволяет осуществить анализ потерь от менее опасных, но часто встречающихся явлений, и потерь от более опасных, но редких событий.

Однако для территории Сочинского Причерноморья требуется сбор исторических данных наблюдений за разные временные промежутки и их систематизация, а также организация мониторинга, учет главных показателей линейного отступления береговых бровок и объемов разрушения береговых склонов, исследование береговой линии с классификацией берегов по геоморфологическим и геологическим признакам, по степени их защищенности от волнового воздействия, а также создание эффективного инструмента непрерывного мониторинга за состоянием береговой зоны и интенсивностью воздействия эндогенных и экзогенных факто-



ров. Учитывая, что проведение полевых исследований характеризуется высокой трудоемкостью, имеются ограничения в количестве мониторинговых участков, а также в частоте и регулярности наблюдений, в связи с чем они не могут в полной мере охарактеризовать развитие процесса для всей береговой линии, альтернативой могут служить дистанционные измерения.

Комбинация математического и картографического моделирования, результатов дистанционного зондирования Земли позволит производить мониторинг прибрежной окружающей среды, геологических, береговых процессов качественно и своевременно и накапливать эту информацию в ГИС для принятия организационно-управленческих решений в сфере обеспечения безопасности на побережье. Это является обязательным условием предупреждения кризисного, возможно и катастрофического, развития экологических ситуаций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранова М.С., Филиппов О.В., Кочеткова А.И., Брызгалина Е.С. ГИС-технологии и спутниковые данные как инструменты мониторинга геодинамических процессов Волгоградского водохранилища // Географический вестник. 2016. № 2 (37). С. 148–160. DOI 10.17072/2079-7877-2016-2-148-160.
2. Калинин О.П., Карнатов А.Н. ГИС-технологии при разработке карт уязвимости морских акваторий чувствительности берегов к нефтяному загрязнению // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2019. Т. 25. № 2. С. 133–145. DOI 10.35595/2414-9179-2019-2-25-133-145.
3. Мисиров С.А., Магаева А.А., Цыганкова А.Е. Оценка динамики берегов Таганрогского залива (на примере северного берега) при помощи ГИС и ДЗЗ // Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и промышленных вызовов («Опасные явления – II»): мат-лы II Междунар. науч. конф. памяти чл.-корр. РАН Д.Г. Матишова (г. Ростов-на-Дону, 06–10 июля 2020 г.). Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2020. С. 182–185.
4. Скрипка Г.И., Ивлиева О.В., Беспалова Л.А., и др. Мониторинг опасных береговых процессов Цимлянского водохранилища с использованием ГИС-технологий // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2020. Т. 26. № 2. С. 253–263. DOI 10.35595/2414-9179-2020-2-26-253-263.
5. Шешеня Н.Л. Состояние морского побережья Краснодарского края и его инженерная защита // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 1. С. 57–61.

6. *Bagheri M., Zaiton Ibrahim Z., Bin Mansor S. et al.* Shoreline change analysis and erosion prediction using historical data of Kuala Terengganu, Malaysia // *Environ. Earth Sci.* 78, 477 (2019). URL: <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8459-x>
7. *Narashid R.H., Zakaria M.A., Mohd F.A., Pa'Suya M.F., Talib N., and Ariffin E.H.* Effect of erosion and accretion on beach profile in Kuala Terengganu coastal areas: IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 2021. Vol. 620. No. 1. DOI: 10.1088/1755-1315/620/1/012008.
8. *Nassar K. et al.* Shoreline change detection using DSAS technique: Case of North Sinai coast, Egypt // *Marine Georesources & Geotechnology.* 2019. Т. 37. № 1. С. 81–95.

**ОБ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ  
НАУЧНО-ПРОСВЕТИТЕЛЬСКОМ ПРОЕКТЕ ЮНЦ РАН  
«ВИРТУАЛЬНЫЕ (VR 360°) ВИДЕОАТЛАСЫ АЗОВСКОГО МОРЯ:  
ДОРОГАМИ БЕРЕГОВЫХ ЭКСПЕДИЦИЙ»**

***О.А. Хорошев***

---

*Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия  
ourregion@mail.ru*

«Виртуальные (VR 360°) видеоатласы Азовского моря: дорогами береговых экспедиций» – экспериментальный научно-просветительский мультимедийный проект, реализуемый Южным научным центром РАН с 2019 г. и по настоящее время. Его целью являлась разработка серии научно-просветительских панорамных видеоатласов российского сектора береговой зоны Азовского моря и отдельных ее участков для виртуального (в формате VR 360°) знакомства самой широкой аудитории с разнообразием берегов, особенностями прибрежного природопользования, культурными и природно-историческими достопримечательностями самого континентального моря планеты.

В задачи проекта входили: панорамная видеофиксация на всем протяжении береговых экспедиционных маршрутов ЮНЦ РАН (2019–2021 гг.) аккумулятивных форм рельефа, участков берегов с активным проявлением абразионных и оползневых процессов, объектов культурного наследия и природных достопримечательностей, подверженных риску разрушения, а также особенностей берегового природопользования; обработка панорамного видеоматериала с последующим размещением контента на популярных интернет-хостингах, подготовка картосхем, иллюстративного и текстового материала, монтаж pdf-версий видеоатласов и размещение их в сети Интернет; представление результатов проекта и практических аспектов его разработки учащимся и научной общественности на научных и научно-просветительских мероприятиях, мастер-классах, проводимых в рамках молодежных фестивалей.

Среди средств визуализации результатов полевых исследований на морских берегах видится перспективным применение технологий виртуальной реальности (VR), в частности, при разработке современного мультимедийного контента, популяризирующего географические и геоэкологические исследования. Создаваемый панорамным (сферическим) видео в формате VR 360° «эффект присутствия» позво-

ляет реалистично демонстрировать, в частности будущим специалистам в области наук о Земле, береговые ландшафты и процессы, последствия опасных природных явлений, особенности природопользования на точках экспедиционных маршрутов. Так, через знакомство с динамическими VR-образами отдельных типичных, а также наиболее подверженных разрушению участков морского побережья студенты-океанологи могут эффективнее осваивать программы дисциплин, посвященных геоморфологии морских берегов [Бердников и др., 2022]. Это особенно актуально на фоне сложившейся в последние годы сложной эпидемиологической обстановки и связанным с ней удаленным форматом обучения, а также невозможностью по требованиям техники безопасности проведения массовых полевых выездов студентов-практикантов в зоны повышенного риска, к которым можно отнести и подверженные разрушению морские берега.

Сферическое видео также позволяет исследователям, осуществляющим мониторинг опасных береговых процессов, фиксировать отдельные условия и процессы, влияющие на интенсивность разрушения берегов: высоту и направленность морских волн, характер хозяйственной деятельности в прибрежной полосе, активность населяющей ее фауны и пр. Возможна панорамная видеофиксация в реальном времени процессов осыпания берегов, размыва аккумулятивных форм рельефа, скорости ветра, определяемой по косвенным признакам. Кроме того, серия панорамных фото- и видеоматериалов, отснятых в различные периоды времени на одних и тех же точках, позволяет создавать фото- и видеоретроспективы последствий проявления опасных береговых процессов. О практическом применении способа сферической видеофиксации, в частности на отдельных участках побережья Азовского моря, сообщается в научных работах [Хорошев и др., 2021; Бердников и др., 2022], о применении данного способа видеофиксации для нужд криминалистики – в публикации [Еремченко, 2020].

Панорамные видеоатласы могут быть разработаны, как в виде отдельных VR-приложений (для просмотра требуется дорогостоящая гарнитура виртуальной реальности), так и в более доступном для широкого круга пользователей – pdf-формате.

По итогам реализации проекта в период с 2020 по 2022 г. последовательно, по мере пополнения панорамного видеоархива новыми материалами береговых экспедиций вышли в свет три части электронного издания (в pdf-формате), объединенные серией «Виртуальные (VR 360°) видеоатласы Азовского моря» (рис. 1):

- Часть 1. Виртуальный видеоатлас Азовского моря «Берегами Приазовья» (2020 г.);
- Часть 2. Панорамный видеоатлас «Берега Азовского моря: красивые и опасные» (2021 – начало 2022 г.);
- Часть 3. VR-атлас «Берега и косы южного побережья Таганрогского залива Азовского моря: особенности природопользования» (2021 г.).



Рис. 1. Титульная страница проекта «Виртуальные (VR 360°) видеоатласы Азовского моря: дорогами береговых экспедиций», представленного на конкурс Русского географического общества «Хрустальный компас – 2022», и пример страницы VR-атласа «Берега и косы южного побережья Таганрогского залива Азовского моря: особенности природопользования» (2021 г.)



Проект «Виртуальные (VR 360°) видеоатласы Азовского моря: дорогами береговых экспедиций» реализован Южным научным центром РАН. Руководитель проекта: с.н.с. лаборатории прикладного научного приборостроения ЮНЦ РАН к.г.н. О.А. Хорошев. Основные участники проекта: к.г.н. О.А. Хорошев, к.г.н. К.С. Сушко, С.А. Мисиров, к.г.н. А.В. Клещенков, М.Ю. Русаков.

Первый из представленной серии – виртуальный видеоатлас Азовского моря «Берегами Приазовья» был разработан в 2020 г. по итогам реализации Азовской комплексной экспедиции, проведенной в 2019 г. ЮНЦ РАН и возглавляемой академиком РАН Г.Г. Матишовым (экспедиция была поддержана Русским географическим обществом). В первую часть серии вошли панорамные видеозарисовки маршрутных точек береговых экспедиционных маршрутов по Азовскому морю, некоторые ранние материалы из VR360°-видеоархива ЮНЦ РАН. Представленная пилотная версия видеоатласа имела обзорный характер.

По результатам продолжения Азовской комплексной экспедиции 2021 г., также возглавляемой академиком РАН Г.Г. Матишовым, проведенной ЮНЦ РАН при поддержке Русского географического общества, а также в рамках реализации государственного задания ЮНЦ РАН на 2021 г., была осуществлена сферическая фото-, видеофиксация маршрутных точек южного побережья Таганрогского залива. В пределах пляжей и кос, подверженных воздействию опасных береговых процессов берегов, участков с проявлением нерационального природопользования – снято более 150 Гб сферического видеоконтента, составившего основу создания VR-атласа «Берега и косы южного побережья Таганрогского залива Азовского моря: особенности природопользования».

Завершает представленную серию панорамный видеоатлас «Берега Азовского моря: красивые и опасные», разработанный в конце 2021 – начале 2022 г. по итогам реализации проекта РФФИ «Закономерности формирования опасных береговых процессов в Азовском море и социально-экономические последствия их проявлений» (2018–2021 гг., ЮНЦ РАН / ЮФУ, руководитель проекта – д.г.н. С.В. Бердников), а также в рамках выполнения государственного задания ЮНЦ РАН на 2022 г. [Премьера ... 2022]. В электронное издание вошли ретроспективные и самые новые материалы панорамной видеофиксации маршрутных точек из 5 многодневных комплексных экспедиций и более 10 полевых выездов по всему российскому побережью Азовского моря с 2018 г. и по настоящее время.

Ознакомиться с видеоатласами можно на официальном сайте ЮНЦ РАН по адресу: <https://www.ssc-ras.ru/ru/page1150.html/> [Виртуальные (VR 360°) видеоатласы Азовского моря ... 2022].

Экспериментальный научно-просветительский мультимедийный проект ЮНЦ РАН «Виртуальные (VR 360°) видеоатласы Азовского моря: дорогами береговых экспедиций» в 2022 г. принял участие в юбилейном конкурсе Русского географического общества «Хрустальный компас» в номинации «Просвещение» [Наши проекты ... 2022].

В рамках продолжения проекта планируется модернизация электронных оболочек вышедших в свет pdf-версий видеоатласов (создание одноименных VR-приложений), а также добавление в сферический видеоряд материалов с планируемыми в 2022–2023 гг. экспедиционными выездами по побережью Азовского моря.

Коллектив проекта выражает искреннюю благодарность за всестороннюю поддержку в его реализации лично директору ЮНЦ РАН д.г.н. С.В. Бердникову, научному руководителю ЮНЦ РАН академику РАН Г.Г. Матишову, а также к.ф.-м.н П.С. Пляке, к.б.н. О.В. Степаньяну.

*Публикация подготовлена в рамках реализации проекта РГО «География Нижнего Дона и Цимлянского водохранилища: трансформация в условиях маловодья и засоления» (договор № 40/2022-И) и государственного задания ЮНЦ РАН, № госрегистрации 122020100352-6.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бердников С.В., Беспалова Л.А., Хаванский А.Д. и др. Опасные абразионные и оползневые процессы в береговой зоне Азовского моря и социально-экономические последствия их проявлений: [монография] / отв. ред. С.В. Бердников; авт. кол.: С.В. Бердников, Л.А. Беспалова, А.Д. Хаванский и др. Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2022. 288 с. ISBN 978-5-4358-0224-5.
2. Виртуальные (VR 360°) видеоатласы Азовского моря: дорогами береговых экспедиций // ЮНЦ РАН: [официальный сайт]. 2022. URL: <https://www.ssc-ras.ru/ru/page1150.html/> (дата обращения: 07.08.2022).
3. Еремченко В.И. Сферическая видеофиксация как перспективное направление развития криминалистической видеозаписи // Общество и право. 2020. № 3 (73). С. 59–63.
4. Наши проекты. Виртуальные (VR 360°) видеоатласы Азовского моря: дорогами береговых экспедиций // Национальная премия «Хрустальный компас»: [официальный сайт]. 2022. URL: <https://rus-compass.ru/projects/7773/> (дата обращения: 07.08.2022).
6. Премьера научно-просветительского мультимедийного издания: Ч. II. Панорамный (VR 360°) видеоатлас «Берега Азовского моря: красивые и опасные» // «ВКонтакте»: [страница О.А. Хорошева]. 2022. URL: [https://vk.com/olegkhoroshev?w=wall475510532\\_1414%2Fall](https://vk.com/olegkhoroshev?w=wall475510532_1414%2Fall) (дата обращения: 07.08.2022).
7. Хорошев О.А., Сушко К.С., Мисиров С.А. Результаты выявления участков с проявлением нерационального природопользования в береговой зоне Азовского моря // Наука Юга России. 2021. Т. 17. № 3. С. 94–98. DOI 10.7868/S25000640210311.

## БЕРЕГА АЗОВСКОГО МОРЯ: ОТ ИССЛЕДОВАНИЙ К ПРАКТИКЕ

*А.Е. Цыганкова, Л.А. Беспалова, О.В. Ивлиева*

*Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия  
bepalowaliudmila@yandex.ru*

Протяженность берегов Азовского моря в пределах России составляет более 1000 км, в прибрежной полосе проживает около 1,2 млн россиян. Берега Азовского моря поражены комплексом опасных экзогенных геологических процессов, главные из которых абразия и оползни. На рубеже XX–XXI вв. наблюдается тенденция разрушения берегов Азовского моря вследствие активизации природных и негативных техногенных процессов, что подчеркивает актуальность проведенных исследований.

Целью работ являлось обобщение результатов работ кафедры океанологии Южного федерального университета и Южного научного центра РАН, проводившихся на различных участках Азовского побережья, и их дополнение материалами исследований сторонних организаций применительно к анализу современных береговых процессов.

В работе подводится итог многолетним исследованиям авторов по изучению береговых процессов в Азовском море:

- анализу истории исследования берегов и изучению вклада ведущих ученых в этой области за более чем 100-летний период;
- исследованию основных факторов берегоформирования, таких как геологическое и тектоническое строение, рельеф побережья, гидрометеорологических условий (ветер, волнения, колебания уровня, ледовый режим) и оценке их роль в процессах развития абразионных и аккумулятивных берегов;
- системному описанию берегов и береговых процессов Таганрогского залива, Восточного побережья Азовского моря, Таманского и Керченского полуостровов;
- анализу современного состояния кос Азовского моря и выявлению тренда развития этих уникальных аккумулятивных образований под влиянием природных и антропогенных факторов;
- по результатам современных исследований проведено динамическое районирование берегов Азовского моря, установлена цикличность в проявлении опасных береговых процессов (ОБП);
- выполнена оценка состояния и эффективности действующих берегозащитных сооружений.

Комплексный характер исследований определил необходимость применения методов, используемых в геологии, геоморфологии, литологии, гидрологии.

Круг задач включал сведение воедино данных многочисленных и многоплановых работ, определение доминирующих процессов и их интенсивности воздействия на побережья Азовского моря для разработки необходимых охранных мероприятий, рекреационного и хозяйственного его использования, определения оптимальных мер берегозащиты, а также выявления вопросов, для решения которых необходима постановка дополнительных исследований.

Изучение пространственного развития береговых процессов показало, что их динамика обусловлена, главным образом, характером и направленностью современных тектонических движений, литологическими особенностями пород, активностью ветро-волновых процессов, синоптическими колебаниями уровня моря, развитием водно-эрозионных процессов и антропогенной деятельностью [Беспалова, Цыганкова, 2021].

Тектонические движения земной коры и особенности структуры, создаваемые этими движениями, оказывают существенное воздействие на процессы развития берегов и формирование береговых форм. При средней скорости погружения берегов Азовского моря 2–2,5 мм в год на небольшом промежутке времени тектонические процессы нельзя отнести к активным берегоформирующим факторам. Однако в процессе развития берега в масштабе больших промежутков времени поднятие и погружение суши, несомненно, влияет на формирование берега, создавая условия, в которых протекают активные береговые процессы.

Вместе с тем оценка роли вертикальных движений значительно усложняется эвстатическим повышением уровня водоема, которое качественно вызывает те же явления. Высокие скорости разрушения азовских берегов прежде всего обусловлены геолого-геоморфологическими условиями.

Геологическое строение берега, состав и свойства слагающих его пород определяют условия, в которых действуют такие основные берегоформирующие факторы, как волнение, прибой, волновые течения и др. В зависимости от того, к каким породам прилагается энергия морских динамических факторов, будет по-разному проявляться и результат их воздействия. В связи с этим для развития берегов, их динамики и морфологии большое значение имеют геологическое строение и литология пород. Берега Азовского моря на всем протяжении сложены рыхлыми осадочными малоустойчивыми породами: лёссовидными суглинками, скифскими и аллювиальными глинами, песками. Это обуславливает большую активность процессов абразии.

Морфология и морфометрические характеристики береговых обрывов также влияют на степень проявления ОБП. К ним относятся высота и крутизна берегового склона, его устойчивость. Интенсивность абразии при прочих равных условиях значительно больше в случае высоких обрывистых берегов. Высота берегов Азов-

ского моря изменяется от нескольких метров до 25–30 м, на берегах Керченского полуострова до 40–50 м. Песчаные отложения в основании береговых обрывов и на дне, а также известково-песчанистые включения береговых пород служат постоянным источником питания берегового и донного перемещения наносов, формирующих аккумулятивные формы, косы и пляжи [Цыганкова и др., 2020].

Ветровое волнение является самым активным геоморфологическим фактором, определяющим процессы абразии и аккумуляцию на берегах Азовского моря. Его роль проявляется в механическом воздействии на берег – раздроблении и размыве береговых пород под действием волновой энергии. Другой важной стороной влияния волнения на береговые процессы является формирование продольного и поперечного перемещения наносов в зависимости от угла подхода волн к берегу (скорость абразии выше при величине углов от 15 до 65 градусов). Для многих участков береговой зоны моря волноопасными являются румбы западных и восточных четвертей, они же имеют наибольшую повторяемость в регионе.

Воздействие морских льдов на берега Азовского моря изучено недостаточно. При образовании припая абразия приостанавливается. Но при этом опасным является воздействие дрейфующих льдов на берега – ледовая экзарация. Сильные ветры взламывают припай. На отмелях и у кос происходит торошение льда. Под воздействием сильных ветров лед может наплзать на берег на расстояние до 500 м от уреза.

Таким образом, широкое развитие ОБП обусловлено комплексом факторов, главными из которых являются геолого-геоморфологическое строение берегов и экстремальные колебания уровня вместе со штормовым воздействием волн в период нагонов. Антропогенное влияние может быть связано как с глобальными, региональными воздействиями, через экосистемные изменения, зарегулирование речного стока, загрязнения среды, так и с локальными – нерациональной берегозащитой, промышленной и сельскохозяйственной деятельностью в берегозащитной зоне, не санкционированным изъятием пляжевого материала и др. [Цыганкова и др., 2021].

При учете этих особенностей для районирования азовских берегов был применен динамический подход, который предусматривает для каждого берегового участка комплексную характеристику по вышеперечисленным параметрам. По активности проявления ОБП берега были подразделены на 4 типа: I тип – с очень высокой ( $> 4$  м/год), II тип – с высокой (2–4 м/год), III тип – со средней (1–2 м/год), IV тип – со слабой ( $< 1$  м/год) скоростью отступления берегов. В пределах этих типов подтипы берегов определялись по преобладающим экзогенными геологическим процессам (абразионные, абразионно-оползневые, аккумулятивные) [Цыганкова и др., 2020]. Проведенный анализ имеет большое значение с точки зрения практического берегопользования. Установлено, что за период 1980–2020 гг. типы берегов по интенсивности проявления ОБП можно разделить на 3 группы:

- активные (переходные), которые могут переходить из одного типа в другой при интенсификации или ослаблении гидродинамической активности;



- стабильно размывающиеся берега, которые имеют относительно высокие скорости проявления ОБП (II и III типов) и при этом не меняют свой тип при изменении внешних факторов в многолетнем аспекте.
- пассивные – берега, которые никогда не меняют своего типа ОБП, в основном это берега со слабой скоростью проявления ОБП (IV типа).

Таким образом, на побережье Азовского моря развиты активные и пассивные берега, которые в процентном соотношении сопоставимы между собой (44 % и 48 % соответственно) и лишь 8 % приходится на стабильно размывающиеся. Результаты проведенных исследований показывают необходимость учета динамических процессов [Беспалова, Цыганкова, 2021].

Анализ перечисленных особенностей показывает, что берегозащита в данных условиях преследует обычно две цели: предотвращение абразионного разрушения коренного берега и прекращение обвального и оползневого процессов в призме берегового обрыва.

Для предотвращения абразионных и оползневых процессов необходимо проведение комплекса мероприятий, включающих уполаживание склона, создание каменно-набросной бермы для предотвращения абразии. Для рекреационного использования побережья целесообразна засыпка бермы галечно-гравийным материалом.

Применяемые пассивные способы защиты берегов (жесткие конструкции), как правило, это бетонные преграды, создаваемые с целью разрушения прибойных волн и стабилизации основания коренного берега – совершенно не эффективны. Кроме того, использование громоздких железобетонных конструкций ограничивает возможность рекреационного использования побережья [Ивлиева, Беспалова, 2021].

Опыт берегозащиты как на Азовском море, так и на других побережьях показывает, что успешное решение проблемы не может быть обеспечено только инженерными способами. Программа берегозащиты может включать организационные меры, направленные на снижение загрязнения прибрежных вод, оптимизацию агротехнического и агрохимического воздействия на прибрежные территории. Безусловно положительный эффект могут иметь меры по рациональному планированию строительства как в пределах береговой суши, так и в прибрежных акваториях.

В современных хозяйственных условиях, определяемых рыночными отношениями, берегозащита должна не только отвечать принципам окупаемости за счет сохранения потенциально угрожаемых объектов и земель, но и содержать в себе возможность доходного использования сохраняемых либо создаваемых в процессе берегозащиты объектов, повышения доходности от хозяйственной деятельности в связи с улучшением ее качества.

*Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 18-05-80082 Опасные явления по теме: «Закономерности формирования опасных береговых процессов в Азовском море и социально-экономические последствия их проявлений».*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беспалова Л.А., Цыганкова А.Е. Опасные береговые процессы Азовского моря в многолетнем аспекте // Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и промышленных вызовов («Опасные явления – III»): мат-лы III Междунар. науч. конф. памяти чл.-корр. РАН Д.Г. Матишова (г. Ростов-на-Дону, 15–19 июня 2021 г.). Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2021. С. 178–182.
2. Цыганкова А.Е., Беспалова Л.А., Ивлиева О.В., Магаева А.А. Использование динамического подхода при районировании берегов Азовского моря // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. 2020. Т. 1. № 5. С. 207–213.
3. Цыганкова А.Е., Беспалова Л.А., Магаева А.А., Беспалова Е.В., Подколзина Д.А. Активные, пассивные и стабильные берега Азовского моря // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем, 2021. Т. 1. № 6. С. 178–184.
4. Ивлиева О.В., Беспалова Л.А. Морские берега Ростовской области и проблемы берегозащиты // Моря России: Год науки и технологий в РФ (г. Севастополь, 20–24 сентября 2021 г.). Севастополь: ФГБУН ФИЦ МГИ, 2021. С. 403–405.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОНАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ГЛОНАСС В ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

***В.Л. Шестопалов***

*Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия  
valcpg@mail.ru*

Глобальная радионавигационная система позиционирования ГЛОНАСС начала работу в полном объеме в 2012 г. и в настоящее время всё шире используется в геодезии, навигации и инженерных приложениях. Многолетний опыт эксплуатации аналогичной системы GPS (Global positioning system) (США) показал возможность её использования в геодинамических исследованиях для получения точных оценок 3D-положения точки на земной поверхности и её перемещения в пространстве. Основные физические процессы, представляющие интерес, могут иметь временные шкалы, варьирующиеся от долей секунды (например, сейсмология) до миллионов лет (например, движение тектонических плит) и пространственные шкалы от нескольких метров (например, отдельные геологические разломы) до глобального движения полюсов. Одно из преимуществ GPS и ГЛОНАСС заключается в том, что по сравнению с другими средствами измерений в геодезии и сейсмологии, эти системы обеспечивают вычисление положения относительно глобальной обще-земной опорной системы [Bock et al., 2016].

На сейсмоактивном Азово-Черноморском побережье Краснодарского края начиная с 2012 г. усилиями Южного научного центра РАН (ЮНЦ РАН), Южного научно-производственного объединения по морским геологоразведочным работам (АО «Южморгеология») и в сотрудничестве с КубГУ была развернута сеть спутниковых геодинамических, оснащенных приемной аппаратурой GPS/ГЛОНАСС пунктов (СПП), на которых выполнялись наблюдения за движениями участков земной коры. Результаты этих наблюдений получены по данным GPS-измерений и изложены в ряде публикаций с охватом по 2019 г. [Бабешко и др., 2016; Шестопалов и др., 2020].

В последней версии пакета GAMIT V.10.7 [Herring et al., 2018] появилась возможность получить геодинамическое решение по данным спутников ГЛОНАСС. Представляет интерес сравнить параметры геодинамических движений СПП по спутникам ГЛОНАСС с результатами системы GPS.

Для решения этой задачи был выбран массив спутниковых измерений GPS и ГЛОНАСС, полученный на СПП «Сочи» в 2019–2021 гг. Использовался приемник GPS/ГЛОНАСС Prego JNSS с приемной антенной TPS CR3. Первичная обработка

исходных данных приемника осуществлялась переформатированием внутреннего формата jps в универсальный формат RINEX 2.11 программами на языке tcshell в среде Scientific Linux. В процессе вторичной обработки пакетом GAMIT V.10.7 использовалась международная координатная система ITRF2014, реализация которой осуществлялась опорными станциями ARTU (г. Екатеринбург, Россия), MOBN (г. Обнинск, Россия), GLSV (г. Киев, Украина), JOZ2 (Польша), PENC (Венгрия), WTZR (Германия) и ZECK (станция Зеленчукская, Карачаево-Черкесия, Россия).

За период наблюдений было получено среднее значение ошибки 3 компонент местоположения приемной антенны, была вычислена средняя скорость движения пункта в горизонтальной плоскости и по высоте регрессионным методом [Gabsatov, 2012] (табл. 1).

**Таблица 1.** Характеристики спутниковых измерений GPS и ГЛОНАСС на СГП «Сочи» в 2019–2021 гг.

Характеристика	GPS	ГЛОНАСС
$\sigma_{LAT}$	$2,4 \pm 0,4$	$2,9 \pm 0,4$
$\sigma_{LON}$	$1,9 \pm 0,4$	$3,9 \pm 0,7$
$\sigma_H$	$8,8 \pm 1,7$	$12,5 \pm 2,1$
$V_{LAT}$	$13,8 \pm 0,03$	$13,2 \pm 0,1$
$V_{LON}$	$24,2 \pm 0,02$	$24,3 \pm 0,17$
$V_H$	$-4,3 \pm 0,12$	$-1,7 \pm 0,13$

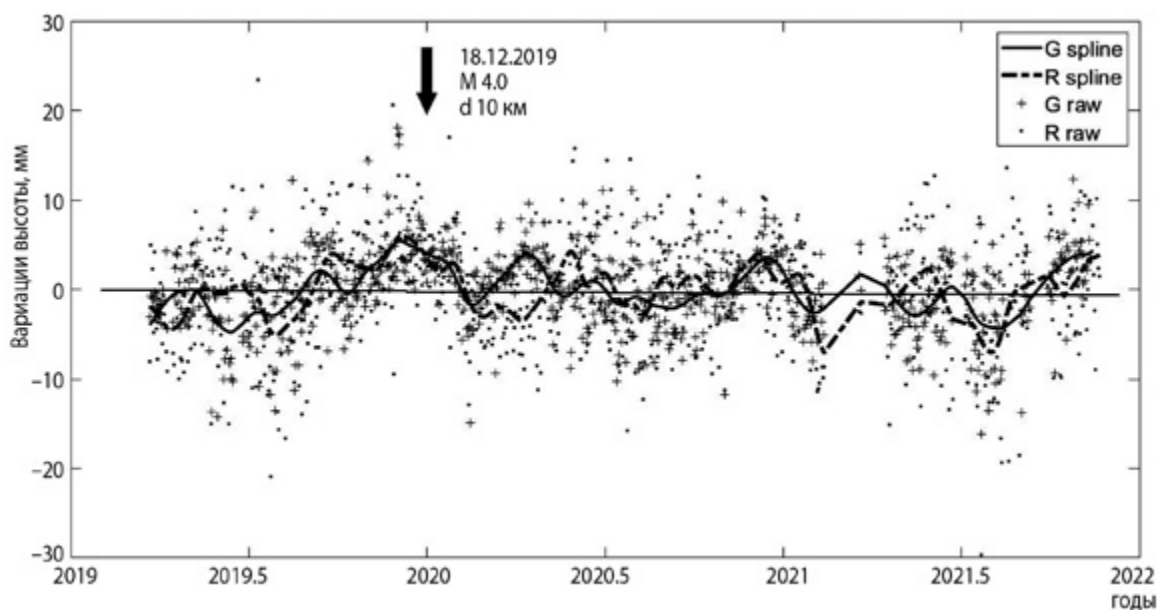
*Примечание.* Здесь  $\sigma_{LAT}$ ,  $\sigma_{LON}$ ,  $\sigma_H$  – средняя ошибка местоопределения по широте, долготе и высоте соответственно, в мм.  $V_{LAT}$ ,  $V_{LON}$ ,  $V_H$  – скорости движения по широте, долготе и высоте соответственно, в мм/год.

Характер траекторий движения СГП «Сочи», полученных в системах GPS и ГЛОНАСС, рассматривался в период геодинамической активности в декабре 2019 г., на фоне которой 18.12.2019 произошло землетрясение с магнитудой 4 на расстоянии 40 км к северо-востоку от Сочи (рис. 1).



**Рис. 1.** Схема эпицентра землетрясения 18.12.2019 в районе г. Сочи

На рисунке 2 представлены вариации вертикального движения СГП «Сочи» относительно тренда, по данным GPS (G) и ГЛОНАСС (R) в 2019–2021 гг.



**Рис. 2.** Вертикальное движение СГП «Сочи» относительно тренда, по данным GPS (G) и ГЛОНАСС (R) в 2019–2021 гг.: знак (+) – исходные измерения GPS; знак (·) – исходные измерения ГЛОНАСС. Траектории, полученные сплайн-аппроксимацией: сплошная линия – GPS, пунктирная – ГЛОНАСС

Условные обозначения дают представление о точностных характеристиках обеих систем позиционирования. Интерес представляет также вариация вертикального движения в период повышенной геодинимической активности в середине декабря 2019 г., на фоне которой произошло землетрясение 18.12.2019. Коэффициент корреляции по всем 3 компонентам движения – широте (LAT), долготе (LON) и высоте (H) проводился как для исходных измерений, так и для значений, сглаженных кубическим сплайном (табл. 2).

**Таблица 2.** Характеристики спутниковых измерений GPS и ГЛОНАСС на СГП «Сочи» в 2019–2021 гг.

Координаты	Коэффициент корреляции данных исходных / сглаженных	Значимость
H	0,30 / 0,55	0 / 0
LAT	0,69 / 0,84	0 / 0
LON	0,64 / 0,90	0 / 0

*Примечание.* Значимость отмечена для всех составляющих движения.



1. Впервые в российской и зарубежной литературе получены параметры геодинимических движений по спутникам ГЛОНАСС и выполнено сравнение их с результатами системы GPS.
2. На временном отрезке в 3 года скорости геодинимических движений показывают хорошую согласованность и высокую значимость, кроме скорости движения по высоте.
3. Анализ вариаций вертикального движения в период повышенной геодинимической активности в середине декабря 2019 г. показывает возможность использовать измерения по спутникам ГЛОНАСС для выделения геодинимических аномалий и мониторинга опасных геодинимических процессов.

*Публикация подготовлена в рамках реализации государственного задания Южно-го научного центра РАН «Исследование сложных природных и техногенных процессов с применением метода блочного элемента», № госрегистрации проекта 122020100341-0.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабешко В.А., Шестопалов В.Л., Юбко В.М., Глазырин Е.А.* Характер движений поверхности земной коры по данным GPS-измерений в районе Азово-Черноморского побережья Российской Федерации // Наука Юга России. 2016. Т. 12. № 4. С. 33–40.
2. *Шестопалов В.Л., Глазырин Е.А., Фоменко В.А., Карцева М.В., Шереметьев В.М.* Исследование геодинимической активности черноморского побережья России в 2017–2019 гг. по данным GNSS-измерений // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле: мат-лы докл. Всерос. конф. с междунар. участием, посвящ. столетию М.В. Гзовского. М., 2020. С. 578–582.
3. *Bock Y., Melgar D.* Physical applications of GPS geodesy: a review // Rep. Prog. Phys. 2016. No. 79. P. 106801. DOI:10.1088/0034-4885/79/10/106801
4. *Herring T.A., King R.W., Floyd M.A., McClusky S.* GAMIT Reference Manual Release 10.7. 2018. URL: [http://geoweb.mit.edu/gg/GAMIT\\_Ref.pdf](http://geoweb.mit.edu/gg/GAMIT_Ref.pdf) (дата обращения: 04.03.22).
5. *Gabsatarov Yu.V.* Analysis of deformation processes in the lithosphere from geodetic measurements based on the example of the San Andreas fault // Geodynamics & Tectonophysics. 2012. No. 3 (3). P. 275–287.

## РАЗРУШЕНИЕ КОММУНАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ г. ТАГАНРОГА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

*Г.А. Шмидько, Т.Г. Шмидько*

*Станция юных натуралистов, г. Таганрог, Россия  
genshmid@mail.ru*

2018 год запомнится таганрожцам как год экологического бедствия, вызванного массовыми провалами грунта.

Первая авария на самотечном канализационном коллекторе диаметром 2 м случилась 3 февраля в районе пересечения улицы Галицкого и Поляковского шоссе. 12 марта обрушился канализационный коллектор на участке 30 м.

13 марта на пересечении улиц Шило и Ломоносова на несколько метров провалился асфальт. 15 марта пострадала выехавшая на вызов техника. Так, на улице Ейской КамАЗ задним колесом полностью ушел под землю. А на улице Шило провалился под землю гидромолот. К счастью, обошлось без жертв. Разрушения продолжались, и земля уже обнажала целые траншеи труб в несколько сотен метров.

28 марта был введен режим ЧС по Таганрогу, а также ограничено движение. Закрыли проезд по улице Шило от пересечения с улицей Ломоносова и до улицы Транспортная. Также частично перекрыта улица Транспортная от улицы Шило до улицы Чехова. 2 апреля на территории детского сада № 13/38 по адресу улица Чехова, 278 зафиксировали очередной обвал. Место оградили от взрослых и детей и направили туда ремонтную бригаду. Уже вечером 2 апреля яму засыпали. К счастью, от провалов никто не пострадал. С 28 марта в Таганроге введен режим ЧС, по сообщению администрации города, в связи со сложившейся аварийной ситуацией на самотечном коллекторе города Таганрога, в соответствии с Федеральным законом от 21.12.1994 № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера», введен режим чрезвычайной ситуации с 28 марта 2018 г.

Объектом экологического бедствия явился городской канализационный самотечный коллектор диаметром 2 м, у которого 9,5 км из 36 км находятся в нерабочем (аварийном состоянии). Он был построен в 1960-е гг., и сейчас его износ составляет 100 %. Наблюдаются протечки канализационных вод на протяжении около 1,5 км на глубине 6–8 м (данные «Водоканала»).

Участок провала коллектора образовался после резких перепадов температур в зимне-весенний период. Канализационная система разрушается по причине

вымывания грунта и просадки железобетонных труб. Срок эксплуатации городского коллектора закончился в 2005 г. Тогда трубы решили не заменять, так как на их замену требовалось 4,6 млрд рублей, которых не было в бюджете. Пока на ремонт коллектора будет отправлено 180 млн рублей из бюджета области. Цена планируемых работ на ближайшее время 1,5 млрд рублей. Можно предположить, что в целом на восстановление городской канализационной системы потребуется 10–20 млрд рублей.

Весной наблюдаются всплески суффозионных процессов в Таганроге. Выявлены 12 провалов, не связанных с самотечным канализационным коллектором. Были исследованы объекты: у травмпункта БСМП, детского сада 13/38 на ул. Чехова, 278, на улицах Москатова и Греческой.

У травмпункта БСМП и детского сада наблюдалась просадка антропогенных грунтов на месте сливных (сточных) ям. Фильтрация атмосферных осадков вглубь привела к суффозии в данных местах.

В пригороде Таганрога можно наблюдать суффозионные блюдца на 1300 км железной дороги Таганрог – Ростов. Их диаметр 7–8 м, глубина 1,5 м.

Интересным фактом является разрушение в 1971 г. таганрогского маяка, под воздействием гидрогеологических процессов.

На самотечном канализационном коллекторе, проходящем под дорогами, образовались пустоты под асфальтом. Провальные участки под дорогами шириной 2–5 м, глубина 1–5 м. Разрушение коллектора ведет к разрушению фундаментов близлежащих многоквартирных домов.

Суффозия в Таганроге носит природно-техногенный характер в виде выноса частиц грунта водами искусственных техногенных горизонтов, реже естественных подземных горизонтов. Ее развитие происходит практически мгновенно и способно привести к природно-техногенным катастрофам и к значительным экономическим потерям. Коллектор проходит под транспортными магистралями и образование полости невозможно заметить до момента разрушения асфальтового покрытия под нагрузкой от транспорта.

Основными факторами данного процесса являются размываемость пород в зоне воздействий инженерных коммуникаций и источники поступления воды в грунт, напор и наличие зоны выноса (рис. 1). Можно предположить, что они являются наиболее важными критериями для прогноза суффозии на городских территориях. В качестве оценочных и прогнозных показателей можно использовать количество на единицу площади и состояние водонесущих коммуникаций, наличие и емкость потенциальных зон выноса и аккумуляции разрушенных грунтов. Своевременный ремонт каналов городского коллектора, включающий в себя борьбу с фильтрацией и избыточной водоподачей – один из методов предупреждения процессов суффозии.

Методы борьбы с суффозией включают предотвращение движения воды через размываемый грунт:

- регулирование стока грунтовых вод через систему дренажа;
- организация противofильтрационных завес и шпунтовых стенок;
- увеличение пути фильтрации и уменьшение скорости движения грунтовых вод;
- искусственное изменение свойств пород путем изменения их состава (цементация, силикатизация).

Суффозия сегодня является актуальной геотехнической проблемой для Таганрога, устранение ее последствий требует проведения технологически сложных и дорогостоящих работ. Если не восстановить работоспособность самотечного канализационного коллектора, неисправность деструктивно повлияет на систему водоотведения ближайших жилых районов и может вызвать масштабную коммунальную аварию.



**Рис. 1.** Схема разрушения коллектора под влиянием гидрогеологических процессов

---

**Секция 6**  
**ВОДНЫЕ И НАЗЕМНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ,**  
**ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

---

**ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПОЧВ ЮГА РОССИИ**  
**К ЗАГРЯЗНЕНИЮ АНТИБИОТИКАМИ**  
**ПО СТЕПЕНИ НАРУШЕНИЯ ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ**

***Ю.В. Акименко***

---

*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия*  
*jvakimenko@sfedu.ru*

Во всем мире антибиотики широко используются в качестве лекарственных средств, а также в качестве кормовых добавок в целях профилактики и стимулирования роста животных и растений [Kumar et al., 2005]. Примечательно, что в последние десятилетия огромные количества антибиотиков используются в животноводстве, в основном это аминогликозиды,  $\beta$ -лактамы, цефалоспорины фторхинолоны, сульфонамиды, тетрациклины и др. [Sarmah et al., 2006].

Согласно данным [Van Voeckel et al., 2015], глобальное потребление антибиотиков в сельском хозяйстве вырастет на 67 % в период с 2010 по 2030 г. из-за прогнозируемого увеличения численности населения. Действительно, потребление в Бразилии, России, Индии, Китае и Южной Африке, как ожидается, удвоится к 2030 г., поскольку ожидается, что численность населения увеличится на 13 %. Среди антибиотиков наиболее часто используются тетрациклины, сульфонамиды и макролиды. Фактически, на эти три антибиотика приходится около 90 % от общего количества, используемых в медицине и сельском хозяйстве антибиотиков [Du and Liu, 2012].

Основными причинами загрязнения агроэкосистем антибиотиками являются использование навоза в качестве удобрения, а также орошение поверхностными и подземными водами [Du and Liu, 2012]. В зависимости от сорбции и стабильности, периоды полураспада антибиотиков в почвах довольно разнообразны. Например,  $\beta$ -лактамы разлагаются от нескольких часов до нескольких дней [Braschi et al., 2013], макролиды от 5 до 65 дней [Jechalke et al., 2014], тетрациклины могут сохраняться в



почве более 1 года [Zuccato et al., 2000]. Антибиотики накапливаются в почве с течением времени, когда скорости их поступления превышают скорости их разложения. Попадая в почву и накапливаясь в ней, антибиотики, нарушают структуру и качество почвенного микробиоценоза, приводят к возникновению антибиотикорезистентности, изменению ферментативной активности и фитотоксических свойств, что показано многими исследованиями [Jechalke et al., 2014; Jufer et al., 2019; Gros et al., 2019].

Цель исследования – оценка устойчивости почв юга России к загрязнению антибиотиками по степени нарушения их экологических функций.

В ходе исследования был проведен ряд лабораторных модельных экспериментов для сравнения устойчивости черноземов обыкновенных, бурых лесных кислых почв и серопесков. Эти почвы значительно различаются по эколого-генетическим свойствам [Вальков и др., 2008], а соответственно, и по устойчивости к химическому загрязнению.

Антибиотики (окситетрациклин, тилозин) вносили в почву в концентрациях 1, 10, 100 и 1000 мг/кг почвы, концентрации выбраны согласно литературным данным [Sarmah et al., 2006; Sun et al., 2014] и результатам ранее проведенных рекогносцировочных исследований [Акименко и др., 2014, 2015, 2017; Akimenko, 2021]. Почву инкубировали в вегетационных сосудах в трехкратной повторности при температуре 20–22 °С и весовой влажности почвы 25 %. Биологические показатели оценивали через 30 суток после загрязнения. Для определения биологических свойств почвы использовали общепринятые методы [Казеев и др., 2016]. Численность бактерий в почве определяли методом люминесцентной микроскопии, активность каталазы – по скорости разложения перекиси водорода, активность дегидрогеназ – по скорости превращения хлорида трифенилтетразолия в трифенилформазан, о фитотоксичности почв судили по длине побегов и корней тест-объекта редиса *Raphanus sativus* (сорт «Жара»). На их основе рассчитывали интегральный показатель биологического состояния (ИПБС) почвы [Казеев и др., 2016]. Используемый набор показателей позволяет дать интегральную характеристику экологического состояния и в целом, оценить устойчивость почв.

В результате проведенных исследований установлено, что загрязнение черноземов обыкновенных, бурых лесных кислых почв и серопесков антибиотиками приводит к ухудшению их биологического состояния: снижается общая численность бактерий, активность каталазы и дегидрогеназ, интенсивность начального роста редиса. Степень негативного воздействия антибиотиков зависит от их природы и концентрации. Из всех исследованных антибиотиков наибольшим токсическим действием обладает окситетрациклин (более токсичен, чем тилозин). Так, достоверное ингибирование биологических показателей почв тилозином наблюдается при высоких концентрациях 100 и 1000 мг/кг. В целом результаты дисперсионного анализа свидетельствуют о том, что чем выше концентрация антибиотика, тем более выражено его токсическое воздействие.

Все использованные в исследовании биологические показатели отличаются высокой чувствительностью и информативностью к загрязнению антибиотиками. Наиболее чувствительным из исследованных биологических показателей при загрязнении почв антибиотиками является общая численность бактерий, наименее чувствительным – активность каталазы. Наиболее информативным показателем является активность дегидрогеназ, наименее информативным – активность каталазы.

В качестве индикатора нарушения той или иной группы экологических (экосистемных) функций почвы хорошо зарекомендовал себя ИПБС почвы. Установлено, что при снижении ИПБС менее чем на 5 % нарушения экосистемных функций почвы не происходит. Уменьшение значений ИПБС на 5–10 % диагностирует нарушение информационных функций, на 10–25 % – биохимических, физико-химических, химических и целостных, более чем на 25 % – физических [Колесников и др., 2002, Добровольский, Никитин, 2006]. Следовательно, чем меньше значение ИПБС, тем менее устойчива к загрязнению антибиотиками почва.

Таким образом, по степени устойчивости к загрязнению окситетрациклином исследованные почвы юга России образуют следующую последовательность (значения ИПБС загрязненных почв (%), усредненные для всех концентраций, ИПБС незагрязненных почв (контроль) принят за 100 %): бурые лесные кислые почвы (94) > черноземы обыкновенные (78) > серопески (74) – и тилозином: бурые лесные кислые почвы (98) > черноземы обыкновенные (85) ≥ серопески (84). Установленная последовательность объясняется свойствами исследованных почв: прежде всего, гранулометрическим составом, содержанием органического вещества и уровнем биологической активности.

*Исследование выполнено при поддержке гранта Президента Российской Федерации (МК 2085.2022.1.4) и в лаборатории «Здоровье почв» Южного федерального университета при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 220–5234–7520).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акименко Ю.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Влияние загрязнения антибиотиками на биологические свойства чернозема обыкновенного. Ростов н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2015. 154 с.
2. Акименко Ю.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Козунь Ю.С., Мясникова М.А., Одабашьян М.Ю., Николаева К.Н., Тимошенко А.Н. Устойчивость микроорганизмов чернозема к загрязнению антибиотиками в условиях полевого модельного опыта // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 104. С. 135–148.

3. *Акименко Ю.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Минникова Т.В.* Оценка устойчивости экологических функций почв к загрязнению антибиотиками // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017. Т. 19. № 2 (2). С. 207–210.
4. *Вальков В.Ф., Колесников С.И., Казеев К.Ш.* Почвы Юга России. Ростов н/Д.: Эверест, 2008. 276 с.
5. *Добровольский Г.В., Никитин Е.Д.* Функции почв в биосфере и экосистемах (экологическое значение почв). М.: Наука, 1990. 261 с.
6. *Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В.* Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2016. 356 с.
7. *Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф., Денисова Т.В.* Методология нормирования химического загрязнения почв на основе нарушения их экологических функций // Экология и промышленность России. 2007. № 11. С. 48–51.
8. *Akimenko Y.* Influence of Pollution by Antibiotics on Biological Properties of Soils (Through the Example of Ordinary Chernozem) // Water, Air, and Soil Pollution. 2021. Vol. 232 (6). P. 232.
9. *Braschi I., Blasioli S., Fellet C., Lorenzini R., Garelli A., Pori M., Giacomini D.* Persistence and degradation of new  $\beta$ -lactam antibiotics in the soil and water environment // Chemosphere. 2013. Vol. 93. P. 152–159.
10. *Du L., Liu W.* Occurrence, fate, and ecotoxicity of antibiotics in agro-ecosystems // Agronomy for Sustainable Development. 2012. Vol. 32. P. 309–327.
11. *Gros M., Mas-Pla J., Boy-Roura M. et al.* Veterinary pharmaceuticals and antibiotics in manure and slurry and their fate in amended agricultural soils: Findings from an experimental field site // Sci. Total Environ. 2019. No. 654. P. 1337–1349.
12. *Jechalke S., Heuer H., Siemens J., Amelung W., Smalla K.* Fate and effects of veterinary antibiotics in soil // Trends Microbiol. 2014. Vol. 22. P. 536–545.
13. *Jufer H., Reilly L., Mojica E.R., Geli I., Domingo F., Petrović M.* Antibiotics Pollution in Soil and Water: Potential Ecological and Human Health Issues // Encyclopedia of Environmental Health. 2019. P. 118–131.
14. *Kumar K., Gupta S.C., Baidoo S.K., Chander Y., Rosen C.J.* Antibiotic Uptake by Plants from Soil Fertilized with Animal Manure // Journal of Environmental Quality. 2005. Vol. 34. P. 2082–2085.
15. *Sarmah A.K., Meyer M.T., Boxall A.B.* A global perspective on the use, sales, exposure pathways, occurrence, fate and effects of veterinary antibiotics (VAs) in the environment // Chemosphere. 2006. No. 65. P. 725–759.
16. *Sun P., Cabrera M.L., Huang C.-H., Pavlostathis S.G.* Biodegradation of veterinary ionophore antibiotics in broiler litter and soil microcosms // Environ. Sci. Technol. 2014. No. 48. P. 2724–2731.
17. *Van Boeckel T.P., Brower C., Gilbert M., Grenfell B.T., Levin S., Robinson T.P., Teillant A., Laxminarayan R.* Global trends in antimicrobial use in food animals // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2015. No. 112. P. 5649–5654.
18. *Zuccato E., Calamari D., Natangelo M., Fanelli R.* Presence of therapeutic drugs in the environment // Lancet. 2000. V.355. P. 1789–1790.

**ДИАГНОСТИКА СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗА,  
ОБРАЗУЮЩИХ СОБСТВЕННЫЕ ФАЗЫ-НОСИТЕЛИ  
ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ  
В ГИДРОМОРФНЫХ ВЫСОКО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВАХ**

***Т.В. Бауэр<sup>1</sup>, Т.М. Минкина<sup>2</sup>, А.Г. Федоренко<sup>2</sup>,  
И.В. Замулина<sup>2</sup>, Н.В. Старовойтова<sup>2</sup>***

---

<sup>1</sup>*Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия*

<sup>2</sup>*Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия  
bauertatyana@mail.ru; tminkina@mail.ru*

Последствия, которые порождает промышленное производство, сопряжены со значительными трансформациями компонентов экосистем. Деятельность промышленных предприятий приводит к накоплению большого количества твердых и жидких техногенных отходов [Hu et al., 2006], которые становятся исходным материалом и со временем в почвах образуются агрессивные продукты выветривания. Это сопровождается нарушением свойств естественных почв, в результате чего формируются техногенно трансформированные почвы – хемоземы. Хемоземы представляют особый интерес, так как при длительном загрязнении происходят структурные изменения, затрагивающие твердую фазу, что влияет на видообразование и подвижность загрязняющих веществ [Coussy et al., 2017; Root et al., 2015]. В природных естественных почвах процессы почвообразования осуществляются в масштабе тысячелетий [Minasny et al., 2008] и включают формирование специфических почвенных веществ – гумуса, а также процессы минералообразования, растворение и/или осаждение минералов. В хемоземах процессы преобразования почвенного материала сильно ускорены из-за термодинамических дисбалансов, возникающих при осуществлении процессов окисления, карбонизации, осаждения вторичных минералов и других [Leguedois et al., 2016]. Техногенно трансформированные почвы отличаются от естественных также частым присутствием минералов, не свойственных последним.

Целью работы являлась идентификация соединений железа и серы, образующих собственные фазы-носители тяжелых металлов в гидроморфных высокозагрязненных почвах с использованием мессбауэровской спектроскопии.

Объект исследования – почвы территории бывшего озера Атаманское Ростовской области, расположенного в пойме реки Северский Донец. В течение 40 лет озе-

ро использовалось в качестве резервуара для сброса промышленных стоков химических предприятий г. Каменска-Шахтинский. В настоящее время озеро является высохшим и на его поверхности активно идут почвообразовательные процессы.

В результате выполненных литохимических опробований на исследуемой территории выбрана площадка мониторинга с наиболее высоким уровнем техногенного загрязнения (62032 мг/кг Zn), расположенная на южной оконечности высохшего озера, где, как предполагается, имел место выход трубы, по которой сбрасывались отходы химических предприятий. Почва данной площадки согласно классификации и диагностики почв России [Шишов и др., 2004] относится к хемоземам (Spolic Technosols).

Анализ физико-химических свойств техногенно преобразованной почвы показал, что в слое 0–20 см содержание  $C_{\text{орг}}$  составляет 4,4 %,  $\text{CaCO}_3$  – 3,8 %, значение рН – 7,7 %. Содержание фракции физической глины (<0,01 мм) составляет 52,1 %, илистых частиц (<0,001 мм) – 33 %.

Для выявления минералов железа в исследуемой почве были использованы методы мессбауэровской спектроскопии, ориентированной на анализ Fe-минералов. Для более качественной диагностики Fe-минералов с образца загрязненной почвы была снята и проанализирована бурая железистая охра в оптической системе СIE-Lab. Мессбауэровские спектры измерялись с помощью спектрометра MS1104Em. В качестве источника  $\gamma$ -квантов использовался  $^{57}\text{Co}$  в матрице Rh. Мессбауэровские спектры измерялись в режиме постоянных ускорений в геометрии подвижного источника, скорость изменялась по треугольному закону. Для охлаждения образцы помещались в камеру гелиевого рефрижераторного криостата CCS-850 (Janisinc.). Модельная расшифровка спектров проводилась с помощью программы SpectRelax [Matsnev, Rusakov, 2012]. Изомерные сдвиги вычислялись относительно металлического  $\alpha$ -Fe.  $^{57}\text{Fe}$  ЯГР-спектры образца почвы и охры представлены на рисунке 1.

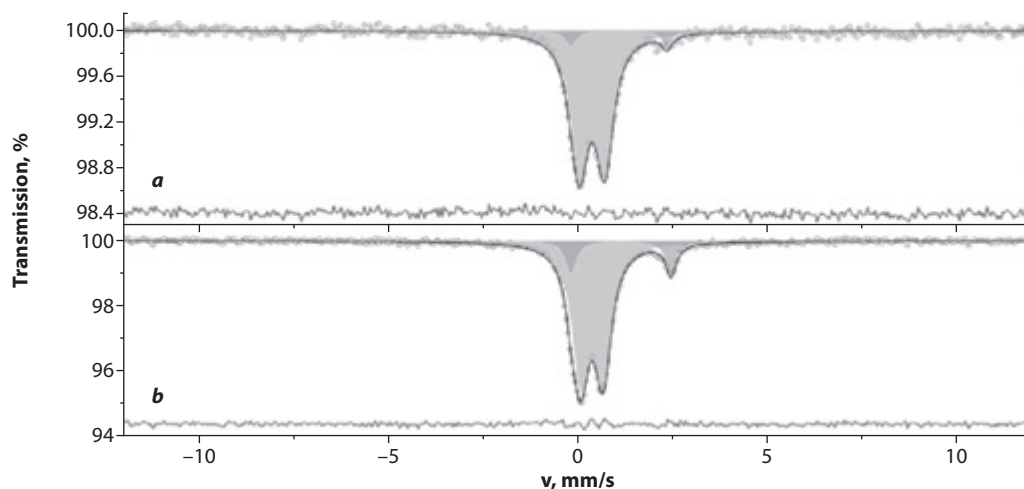


Рис. 1. Мессбауэровская спектроскопия образцов хемозема (a) и выделенной охры (b), измеренных при комнатной температуре



При комнатной температуре спектр состоит из двух парамагнитных дублетов *A* и *B*. Сверхтонкие параметры данных спектров приведены в таблице 1. Величина изомерного сдвига ( $\delta$ ) дублета *A* соответствует ионам  $\text{Fe}^{3+}$ , а дублета *B* –  $\text{Fe}^{2+}$ . Параметры дублетов *A* и *B* примерно совпадают с параметрами компонент мессбауэровского спектра иллита. Однако в образцах почв железо присутствует в виде наночастиц различных оксидов и гидроксидов.

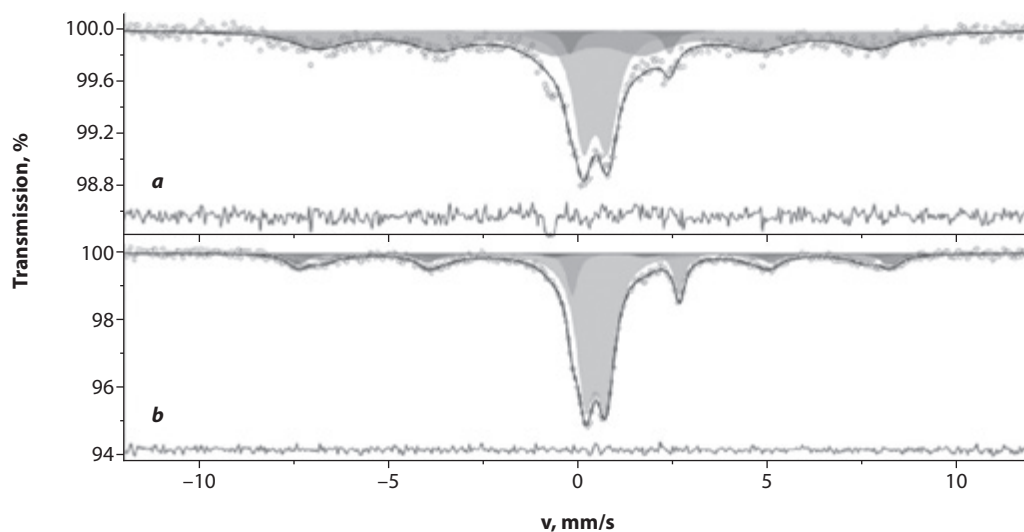
**Таблица 1.** Параметры мессбауэровской спектроскопии и фазы Fe в исследуемых образцах

T, K	Секстет	$\delta \pm 0.01$ , мм/с	$\Delta/\epsilon \pm 0.02$ , мм/с	$H \pm 1$ , kOe	$S \pm \%$	$G \pm 0.02$ , мм/с	$\chi^2$	Фазы Fe
Хемозем								
300	A	0,36	0,66		94	0,57	1,191	$\text{Fe}^{3+}$ иллит/ гётит
	B	1,07	2,52		6	0,34		$\text{Fe}^{2+}$ иллит
14	A	0,45	0,64		39	0,65	1,288	$\text{Fe}^{2+}$ иллит
	B	1,1	2,62		6	0,4		$\text{Fe}^{2+}$ иллит
	C	0,49	-0,05	454	55	1,79		$\text{Fe}^{3+}$ гётит
Охра								
300	A	0,36	0,59		86,5	0,54	1,194	$\text{Fe}^{3+}$ иллит/ гётит
	B	1,13	2,64		13,5	0,34		$\text{Fe}^{2+}$ иллит
14	A	0,46	0,54		59,7	0,58	1,046	$\text{Fe}^{3+}$ иллит
	B	1,26	2,82		11,5	0,34		$\text{Fe}^{2+}$ иллит
	C	0,49	-0,07	485	14	0,68		$\text{Fe}^{3+}$ гётит
	D	0,47	-0,07	444	14,9	1,06		$\text{Fe}^{3+}$ швертманит

Для устранения влияния суперпарамагнетизма на структуру мессбауэровских спектров были проведены измерения при низких температурах. На рисунке 2 приведены мессбауэровские спектры образцов, измеренные при температуре 14К.

При низкой температуре на спектрах кроме дублетов *A* и *B* возникают Зеемановские секстеты *C* и *D*. Параметры секстета *C* примерно совпадают с параметрами мессбауэровского спектра наночастиц гематита (табл. 1). Величина  $\delta$  секстета *D* соответствует ионам  $\text{Fe}^{3+}$  в октаэдрическом кислородном окружении. При этом величина сверхтонкого магнитного поля ниже, чем у секстета *C*, соответствующего гематиту. Вероятно, секстет *D* возникает от ионов  $\text{Fe}^{3+}$  в гётите ( $\alpha\text{-FeOOH}$ ) [Vandenbergh et al., 2013]. Следует отметить, что при понижении температуры площадь дублета *A* значительно понижается, а площадь дублета *B* остается неизменной в пределах погрешности. Таким образом, при комнатной температуре дублет *A* соответствует ионам  $\text{Fe}^{3+}$  в иллите, а также ионам  $\text{Fe}^{3+}$  в суперпарамагнитных гётите

и ферригидрите. Величины площадей компонент примерно равны концентрации ионов Fe в соответствующих фазах.



**Рис. 2.** Мессбауэровская спектроскопия образцов хемозема (а) и выделенной охры (b), измеренных при температуре 14 К

Мессбауэровской анализ охры при температуре 14 К выявил 3 фазы. Фаза А:  $\text{Fe}^{3+}$  в составе иллита с долей железа 60 % от валового, фаза В:  $\text{Fe}^{2+}$  в составе иллита, содержащая 11 % Fe и фаза С:  $\text{Fe}^{3+}$  в составе гетита, содержащая 14 % Fe и фаза Е, содержащая 15 % Fe. Эта фаза отличается низким магнитным полем  $H = 444$  кЭ, и все мессбауэровские показатели фазы Е близки к трем разным Fe-минералам: слабоупорядоченному гетиту, ферригидриту и швертманиту.

Таким образом, по данным мессбауэровской спектроскопии, в высокозагрязненной гидроморфной техногенно преобразованной почве и содержащейся в ней охре в виде новообразований выявлены как обычные минералы (иллит, гетит, гематит), так и такие редкие минералы, как швертманит, являющиеся фазами-носителями тяжелых металлов.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-34-60041.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 235 с.
2. Coussy S., Grangeon S., Bataillard P., Khodja H., Maubec N., Faure P., Schwartz C., Dagois R. Evolution of iron minerals in a 100 years-old Technosol. Consequences on Zn mobility // Geoderma. 2017. Vol. 290. P. 19–32.

3. *Hu N., Li Z., Huang P., Cheng Tao C.* Distribution and mobility of metals in agricultural soils near a copper smelter in South China // *Environmental Geochemistry and Health*. 2006. Vol. 28. P. 19–26.
4. *Leguedois S., Sere G., Auclerc A., Cortet J., Huot H., Ouvrard S., Watteau F., Schwartz C., Morel J.L.* Modelling pedogenesis of Technosols // *Geoderma*. 2016. Vol. 262. P. 199–212.
5. *Matsnev M.E., Rusakov V.S.* SpectrRelax: An Application for Mössbauer Spectra Modeling and Fitting // *AIP Conference Proceedings*. 2012. Vol. 1489. P. 178–185.
6. *Minasny B., McBratney A.B., Salvador-Blanes S.* Quantitative models for pedogenesis – a review // *Geoderma*. 2008. Vol. 144 (1–2). P. 140–157.
7. *Root R.A., Hayes S.M., Hammond C.M., Maier R.M., Chorover J.* Toxic metal(loid) speciation during weathering of iron sulfide mine tailings under semi-arid climate // *Applied Geochemistry*. 2015. Vol. 62. P. 131–149.
8. *Vandenbergh R.E., De Grave E.* Chapter 3. Application of Mössbauer Spectroscopy in Earth Sciences. In: *Mössbauer Spectroscopy. Tutorial Book* / eds. Y. Yoshida, G. Langouche. Berlin: Springer, 2013. P. 91–185.

## РАЦИОНАЛЬНАЯ ПЕРЕРАБОТКА БИОМАССЫ ЗАРАСТАЮЩИХ ВОДОЕМОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ АКТИВНЫХ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*А.П. Будник, Т.А. Ластовина*

---

*Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия  
budnik@ssc-ras.ru*

В контексте изменения климата с установлением продолжительных засушливых периодов на Юге России наблюдается маловодье. Понижение уровня пресноводных источников негативно отражается на наполняемости питаемых ими водоемов. Сокращение объема и ослабление водопереноса ведут к застойным процессам, развитию эвтрофикации и постепенному зарастанию (эвтрофии) и цветению водоемов.

Комплексный, масштабный и продолжительный характер наблюдаемого явления требует принятия ряда мер по минимизации негативных последствий. Кроме того, новая реальность открывает ряд возможностей для разработки инновационных решений, а также обобщения опыта частных случаев, имевших место в прошлом. В связи с этим следует отметить, что на Юге России (как и в ряде других регионов) имелись успешные примеры использования механизированных способов борьбы с зарастанием водоемов. Эти примеры собраны и проанализированы авторами данной работы.

Увеличение растительной массы в водоемах позволяет рассматривать ее как ценный биологический ресурс, подлежащий не утилизации, а переработке в полезный материал. В рамках разрабатываемого авторами научного направления этот биоресурс может быть использован для получения активных углеродных материалов. С помощью пиролиза можно получить эффективные адсорбенты, а при дополнительном обогащении рядом комплексных соединений, можно синтезировать каталитически активные материалы для применения в электрохимических источниках тока.

Таким образом, в работе предложена концепция рационального использования негативных последствий засушливого периода на Юге России с учетом передового опыта переработки биомассы эвтрофицированных водоемов для формирования технологической цепочки развития материальной базы альтернативной энергетики и получения адсорбентов для очистки воды.

*Работа выполнена в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН № гр. проекта 121100500084-2.*

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СООБЩЕСТВ МАКРООБРАСТАНИЯ НА СТАЛЬНЫХ ПЛАСТИНАХ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД В УСТЬЕ РЕКИ ДОН

*Н.И. Булышева*

*Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия  
bulysheva@ssc-ras.ru*

Изучение особенностей формирования сообществ обрастания не только вызывает интерес как одна из важнейших фундаментальных задач, но и имеет высокое прикладное значение. Биообрастание напрямую связано с длительностью эксплуатации гидротехнических сооружений и судов, а также часто определяет себестоимость доставки грузов [Кульчин и др., 2015]. По данным [Swain, 2010], обрастание толщиной в 20–30 мм приводит к потере скорости на 4 узла и значительному перерасходу топлива и, соответственно, увеличивает эксплуатационные затраты. С учетом того, что на морские перевозки приходится около 75 % мировой торговли, речь может идти о колоссальных экономических потерях [Кульчин и др., 2015], поэтому актуальность изучения сообществ обрастания не вызывает сомнения. Важными экономическими зонами являются устья рек, где пересекаются речные и морские водные пути, располагается портовая инфраструктура. Эти области характеризуются специфическими гидролого-гидрохимическими условиями, что оказывает влияние на водное население, в том числе и сообщества обрастания.

19 декабря 2018 г. в устьевой области реки Дон были начаты натурные испытания, проводимые совместно ЮНЦ РАН и ВИАМ. Одним из направлений исследований было изучение влияния биологического фактора на экспериментальные пластины, изготовленные из углеродистых сталей марок 30ХГСА и Ст3. Эксперименты проводились на полигонах ЮНЦ РАН – Береговой научно-экспедиционной базе (БНЭБ) «Кагальник» (Станция 1), расположенной в протоке Свиное Гирло, – и на ГМП «Донской» (Станция 2), расположенном в рукаве Старый Дон (рис. 1). На глубине 2 м были установлены серии экспериментальных пластин площадью 15 × 15 см, расстояние между пластинами было не менее 10 см. Для изучения этапов формирования сообществ обрастания часть пластин извлекалась из воды по истечению 1–3–6–9–12–24–31 месяца экспонирования при полном погружении. Завершение ряда экспериментов приходилось на зимний или ранневесенний периоды (через 1, 3, 12 и 24 месяца от начала исследований).





Рис. 1. Карта-схема расположения станций

Гидролого-гидрохимические условия в зоне проведения натурального эксперимента определяются взаимодействием речных и морских факторов. В период исследований, воды на Станции 1 относились преимущественно к сульфатному классу кальциевой группы (помимо случаев повышенного подземного питания, когда воды определялись как сульфатный класс натриевой группы). Воды на Станции 2 относились к гидрокарбонатному классу кальциевой группы [Матишов и др., 2019].

Отдельные результаты исследований сообществ макрообрастания в устьевой области реки Дон в зимний период были представлены ранее в ряде работ [Bulysheva et al., 2019; Матишов и др., 2019 и др.].

Анализ опубликованных данных показал, что наблюдаются некоторые отличия при формировании сообществ обрастания в холодный период года в устьевой области Дона от закономерностей, выявленных Е.М. Парталы [2013] в юго-западной части Таганрогского залива и Азовском море, где на субстрате, помещенном в воду в зимний, ранневесенний и позднесенний периоды формирование сообществ обрастания начиналось с бактерий и водорослей (преимущественно диатомовых), а макрообрастания отсутствовали.

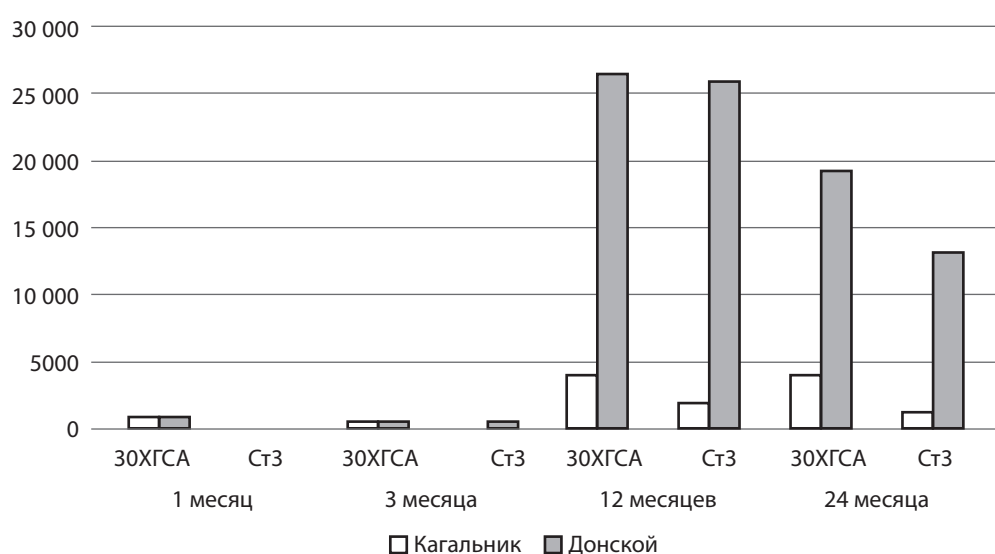
В ходе наших экспериментов организмы макрозообентоса были отмечены по истечении 1 месяца экспонирования (начало февраля 2019 г.) на образцах, изготовленных из стали марки 30ХГСА на обеих станциях (на Станции 1 – *Pontogammarus (Obesogammarus) crassus*, *Chironomus cf. plumosus*, плотность поселения – 44 экз/м<sup>2</sup>; на Станции 2 – *C. cf. plumosus*, 133 экз/м<sup>2</sup>) (рис. 2). Необходимо отметить, что на поверхности образцов 30ХГСА уже через месяц от начала эксперимента

были отмечены продукты коррозии, что увеличивало шероховатость образцов и, вероятно, способствовало прикреплению к экспериментальным пластинам организмов макрозообентоса.

По истечении трехмесячного срока экспозиции (середина марта 2019 г.) макробеспозвоночные на Станции 1 были отмечены также только на пластине 30ХГСА (*Ecnoplida*, *P. crassus*, *Dreissena polymorpha*, общая численность достигала 178 экз/м<sup>2</sup>), на Станции 2 – на пластинах из обоих типов сталей отмечено по 5 таксонов (*Ecnoplida*, *Tubifex tubifex*, *P. crassus*, *C. cf. plumosus*, *Hydrobia acuta*). На ГМП «Донской» численность на образцах 30ХГСА и Ст3 составляла по 133 экз/м<sup>2</sup> (рис. 2).

В декабре 2019 г. по истечении 12 месяцев экспозиции на экспериментальных пластинах сформировалось сообщество обрастания с доминированием *D. polymorpha*. На всех образцах помимо дрейссены были отмечены *Tubifex tubifex*, *P. crassus*, *C. cf. plumosus*. Численность макробеспозвоночных на образцах 30ХГСА на Станции 2 в 6,6 раз была выше, чем на Станции 1, на образцах Ст3 – в 11,8 (рис. 2). Наибольшая численность отмечена на образце 30ХГСА на Станции 2 (25 960 экз/м<sup>2</sup>).

Разница в показателях численности между станциями может быть объяснена как различием гидролого-гидрохимических условий между станциями, так и тем, что в период с 15 по 26 ноября 2019 г. в реке Дон и Таганрогском заливе Азовского моря был зафиксирован экстремальный сгон. Падение уровня реки Дон на некоторых участках превышало 2 м. Температура воздуха в эти дни опускалась до –11 °С. Экспериментальные установки оказались в зоне падения уровня воды (на Станции 1 пластины выступали из воды больше, чем на Станции 2) и подвергались воздействию отрицательных температур, что могло привести к гибели организмов-обрастателей.



**Рис. 2.** Динамика численности макробеспозвоночных на экспериментальных пластинах

По истечению 24 месяцев экспонирования на пластинах 30ХГСА и Ст3 на обеих станциях, как и на пластинах предыдущего срока учета, доминировали моллюски *D. polymorpha*. В декабре 2020 г., как и в декабре 2019 г., плотность поселения на экспериментальных пластинах на ГМП «Донской» была выше, чем на БНЭБ «Кагальник» на образцах 30ХГСА в 8,4 раза, на Ст3 – в 12,04. Наибольшая численность отмечена на образце 30ХГСА на Станции 2 (18 832 экз/м<sup>2</sup>).

Таким образом, на экспериментальных пластинах, изготовленных из углеродистых сталей, отмечены массовые виды, характерные для донных сообществ устьевой области реки Дон. Формирование сообществ обрастания начинается уже в течение первого месяца экспонирования в воде. Количественные показатели зависят от гидролого-гидрохимических условий акватории проведения эксперимента.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кульчин Ю.Н., Звягинцев А.Ю., Субботин Е.П., Масленников С.И., Бегун А.А. Перспективы и технико-экономические аспекты разработки новых методов контроля биообрастания на морском транспорте // Вестник ДВО РАН. 2015. № 6. С. 96–102.
2. Матишов Г.Г., Булышева Н.И., Клещенко А.В. Формирование сообществ макрообрастания на пластинах в зоне смешения речных и морских вод в зимний период // Климат-2019: Современные подходы к оценке воздействия внешних факторов на материалы и сложные технические системы: мат-лы IV Всерос. науч.-тех. конф., 2019. С. 233–243.
3. Парталы Е.М. Обрастание как индикатор изменений в экосистеме Азовского моря // Сборник научных трудов SWorld. 2013. Т. 49. № 4. С. 33–35.
4. Bulysheva N.I., Glushchenko G.Y., Kreneva K.V., Kleschenkov A.V., Varchenko E.A. Settling of the fouling organisms at the metals in the delta of the Don River and in the estuarine zone of the Sea of Azov in winter // 19<sup>th</sup> International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM-2019. Conference proceedings. 2019. P. 521–526
5. Swain G.W. The importance of ship hull coatings and maintenance as drivers for environmental sustainability // Proceeding of RNA Conference Ship Design Operation for Environmental Sustainability. London: Royal Institute of Naval Architects, 2010. P. 48–56.

## ВЛИЯНИЕ БИОЧАРА НА ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ И МИКРОАГРЕГАТНЫЙ СОСТАВ ЗАГРЯЗНЕННОЙ ЦИНКОМ ПОЧВЫ

*М.В. Бурачевская, И.В. Замулина, Т.В. Бауэр, И.П. Лобзенко,  
М.С. Волошина, А.В. Барахов, А.Г. Тимофеева*

*Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия  
marina.0911@mail.ru*

Вопросы о перспективах широкого применения биочара в качестве сорбента до сих пор остаются открытыми, что связано с существованием противоречивых данных о его влиянии на свойства почв. Обладая высокой пористостью (70–80 %) биочар может улучшить агрегатное состояние почвы, увеличить общую пористость [Sohi et al., 2010], повысить сопротивление почв к механическим нагрузкам [Рижия и др., 2015; Downie et al., 2012]. Помимо прямого воздействия на почвенные свойства, возможно и косвенное влияние за счет активизации микробиоты и вовлечения ее в биохимические процессы, протекающие в почвах. Структура почвы играет важную роль в ее процессах и экологических функциях [Abiven et al., 2009; Шеин, Карпачевский, 2007]. Поиск безопасных веществ, повышающих количество агрономически ценных агрегатов (от 0,25 до 10 мм), в условиях высокой антропогенной нагрузки является весьма актуальным и биочар здесь может выступать безопасной альтернативой.

Цель работы – изучить влияние биочара на физические свойства почвы (гранулометрический и микроагрегатный состав) при ее модельном загрязнении.

Для изучения влияния загрязнения почвы Zn и эффективности ремедиации загрязненных почв сорбентом проведен модельный опыт с черноземом обыкновенным карбонатным. Почва отобрана на территории Персиановской заповедной степи учхоза «Донское» (Ростовская обл., Октябрьский р-н), неподверженной техногенному воздействию. Цинк вносили в дозе 10 ОДК [ГН 2.1.7.2511-09], что соответствует высокой дозе загрязнения. Через 1 месяц инкубации загрязненной почвы вносили углеродистый сорбент. В качестве сорбента использован биочар из отходов сельского хозяйства (шелухи риса), полученного по авторской технологии, в дозе 2,5 % от массы почвы. Гранулометрический и микроагрегатный состав определяли также методом лазерной дифракции на лазерном дифракционном анализаторе размера частиц ANALYSETTE 22 NanoТес. Подготовка к гранулометрическому анализу осуществлялась на ультразвуковом диспергаторе зондового типа Digital

Sonifier S-250D в течение 5 мин. Энергия диспергации достигала 450 Дж/мл и обеспечивала наибольший выход илистой фракции и физической глины.

Подготовка образцов почв к микроагрегатному анализу методом ЛД производится путем встряхивания 2,5 % водной суспензии пробы в течение 10 минут с частотой 2500 мин<sup>-1</sup>. Результат анализа позволяет получить значения преимущественных диаметров и содержание фракций (объемные %) микроагрегатов [Юдина, 2018].

Микроагрегатный состав, характеризуя качественно новый структурный уровень организации твердой фазы почв, в значительной степени предопределяет характер макроструктуры и другие важные физические свойства [Королев, 2002]. Он позволяет косвенно характеризовать число коагуляционных контактов и силу сцепления частиц по отношению к воде как растворителю. При этом появляется возможность оценивать способность или неспособность изучаемой почвенной системы к самопроизвольному восстановлению структуры [Воронин, 2015]. Было установлено, что устойчивость агрегирующих связей микроструктуры чернозема по отношению к воде довольно высокая во всех вариантах опыта. Это выразилось в общих закономерностях распределения микроагрегатов по фракциям (табл. 1). В составе почвенной массы преобладают водопрочные частицы размером от 0,25 до 0,01 мм, содержание которых по всем вариантам опыта варьирует в пределах 71–78 %. Самой высокой микроагрегированностью отличается двухметровая толща черноземов, и выход при анализе свободного ила не превосходит 1–3 % [Стекольников, 2011]. Содержание ила во всех вариантах опыта не превышает 3,3 %, достигая максимальных значение в вариантах моно- и полиметального загрязнения.

В условиях модельного опыта оценить изменения микроагрегатного состава затруднительно. С одной стороны, внесение ТМ, оказывая влияние на органическое вещество, приводит к разрыву непрочных связей и образованию трещин и плоскостей ослабления; с другой – способствуют сближению элементарных почвенных частиц и усилению связей между ними [Minkina et al., 2018]. Упрочнению связей будет также способствовать коагуляция коллоидных частиц, уменьшение общего для системы объема двойного электрического слоя, увеличение концентрации растворенного в воде вещества после контакта раствора с почвой [Федотов и др., 2005]. Однако при поступлении влаги в почву во время полива, по мере ее поглощения и утолщения адсорбционных слоев вокруг частиц, интенсивность притяжения будет снижаться, что в свою очередь приводит к падению прочности агрегатов [Смагин, 2008]. Кроме того, микроструктура верхних горизонтов в большей степени определяется органогенной составляющей [Воронин, 2015].

Гранулометрический состав почв является одним из важнейших базовых свойств, определяющий многие другие физические и химические характеристики почвы, а также и сам процесс почвообразования [Шеин, Карпачевский, 2007]. Это консер-



вативное свойство, мало изменяющееся во времени, и основной путь его изменения *in situ* – выветривание. В настоящее время для анализа гранулометрического состава почв всё большее распространение получает метод лазерной дифракции, основанный на принципе флуктуации электромагнитных волн [Шинкарев и др., 2010]. Угол дифракции лазерного луча обратно пропорционален размеру частиц, а интенсивность дифракции – мера числа частиц с определенной площадью поперечного сечения, при этом состав гранулометрических фракций выражается не в массовых, а в объемных процентах. Данный метод не требует учета плотности частиц, принимаемых в седиментометрическом анализе за постоянную величину, что особенно важно при внесении «легких» сорбентов.

**Таблица 1.** Микроагрегатный и гранулометрический состав чернозема обыкновенного в условиях загрязнения Zn и внесения биочара

Вариант	% фракции					
	0,25–1,0 мм	0,05–0,25 мм	0,01–0,05 мм	0,005–0,01 мм	0,001–0,005 мм	< 0,001 мм
Микроагрегатный состав						
Контроль	3,00	19,40	51,70	11,00	12,90	2,00
Zn 10 ОДК	2,10	22,30	55,60	7,20	10,00	2,80
Zn 10 ОДК + 2,5 % биочара	3,50	22,90	48,10	11,50	12,10	1,90
Гранулометрический состав						
Контроль	2,4	24,2	37,5	13,1	17,4	5,4
Zn 10 ОДК	1,4	21,6	40,6	13,4	15,7	7,3
Zn 10 ОДК + 2,5 % биочара	5,5	22,7	37,5	13,3	16,3	4,7

Анализ гранулометрического состава методом лазерной дифракции показал невысокое содержание илистой фракции (не более 7 %). Это особенность данного метода анализа, которая неоднократно обсуждалась [Шинкарев и др., 2010; Eshel et al., 2004]. Содержание физической глины варьирует в пределах 30,6–42,5 %.

Распределение гранулометрических фракций изменяется по вариантам опыта (табл. 1). Если в процессе образования естественных ненарушенных почв происходит сортировка частиц по форме и крупности и это свойство достаточно устойчиво, то на гранулометрический состав вариантов опыта оказало влияние воздействие

загрязняющего вещества и внесение углеродистых сорбентов. Основные различия распределения гранулометрических фракций приходится на фракции мелкого песка (0,05–0,25мм) и крупной пыли (0,01–0,05мм) (табл. 1).

Таким образом, оценивая микроагрегатный состав, можно сделать вывод о стабильности состояния почвы в условиях модельного опыта. За счет введения в почвенную систему новых твердофазных компонентов (ТМ и биочары), обладающих различными размерами, происходит перераспределение фракционного состава, в основном за счет мелкого песка и крупной пыли.

*Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 22-76-10054) в Южном федеральном университете.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронин А.Я. Влияние иссушения на формирование структурных элементов серых лесных почв // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2015. Вып. 78. С. 99–115.
2. ГН 2.1.7.2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 10 с.
3. Королев В.А. Изменение физических свойств черноземов обыкновенных при длительном сельскохозяйственном использовании // Почвоведение. 2002. № 6. С. 697–704.
4. Рижия Е.Я. В и др. Влияние биоугля на свойства образцов дерновооподзолистой супесчаной почвы с разной степенью окультуренности (лабораторный эксперимент) // Почвоведение. 2015. № 2. С. 211–220.
5. Смагин А.В. Экспериментальная оценка энергетических показателей молекулярных взаимодействий в почвах // Коллоидный журнал. 2008. Т. 70. № 4. С. 515–519.
6. Стекольников К.Е. Карбонатно-кальциевый режим и гумусовое состояние черноземов лесостепи ЦЧЗ: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Воронеж, 2011. 47 с.
7. Федотов Г.И. и др. Влияние взаимодействия между почвенными коллоидными частицами на нерастворяющийся объем // Почвоведение. 2005. № 7. С. 810–814.
8. Шейн Е.В., Карпачевский Л.О. Теории и методы физики почв: коллективная монография. М.: Гриф и Ко, 2007. 616 с.
9. Шинкарев А.А. и др. Сравнение методов седиментометрии и лазерной дифракции в анализе гранулометрического состава глинистой фракции почв // Ученые записки Казанского университета. Сер.: Естественные науки. 2010. Т. 52. Кн. 2. С. 251–260.

10. Юдина А.В. Лазерная дифрактометрия в почвоведении: методические аспекты и диагностическое значение: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2018. 24 с.
11. Abiven S. *et al.* The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability – A literature analysis // *Soil Biology and Biochemistry*. 2009. Vol. 41. No. 1. P. 1–12.
12. Downie A. *et al.* Physical properties of biochar // *Biochar for environmental management*. Routledge, 2012. P. 45–64.
13. Eshel G. *et al.* Critical evaluation of the use of laser diffraction for particle-size distribution analysis // *Soil Science Society of America Journal*. 2004. Vol. 68. P. 736–743.
14. Minkina T.M. *et al.* Chemical contamination in upper horizon of Haplic Chernozem as a transformation factor of its physicochemical properties // *Journal of Soils and Sediments*. 2018. Vol. 18. No. 6. P. 2418–2430.
15. Sohi S.P. *et al.* A review of biochar and its use and function in soil // *Advances in Agronomy*. 2010. Vol. 105. P. 47–82.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА г. СЕВАСТОПОЛЯ ВЗВЕШЕННЫМИ ЧАСТИЦАМИ И САЖЕЙ

*А.В. Вареник<sup>1</sup>, Д.В. Тарасевич<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> *Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь, Россия*

<sup>2</sup> *Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия*  
*alla.varenik@mhi-ras.ru*

Загрязнение атмосферного воздуха – одна из глобальных проблем современности. В последние десятилетия ученые обнаружили, что изменение климата также может быть вызвано загрязнением воздуха. Показатели, которые обычно используются для характеристики загрязнения воздуха взвешенными частицами и имеют большое значение для здоровья человека, включают массовую концентрацию частиц диаметром менее 10 мкм (PM10) и менее 2,5 мкм (PM2.5). Взвешенные частицы диаметром от 0,1 до 1 мкм могут находиться в атмосферном воздухе в течение многих недель и, соответственно, подвергаться трансграничному переносу. Микрочастицы могут быть как естественного (перенос пыли, эрозия почвы), так и антропогенного происхождения [Brines et al., 2015; Vu et al., 2015].

В Европе и США исследования распределения взвешенных частиц в атмосферном воздухе проводятся с конца прошлого века, и в настоящее время их активное развитие наблюдается в азиатских странах, что обусловлено высокими темпами экономического развития этого региона в мире [Karimian et al., 2016; Li et al., 2017]. Отдельный пример – Китай. В этой стране любой прогноз погоды всегда сопровождается дополнительной информацией о текущем значении индекса PM 2.5.

В Российской Федерации около половины населения страны проживает в городах, где превышены нормы загрязнения воздуха [Малышев, 2006]. Однако система мониторинга PM 10 и PM 2.5 в России еще не совершенна – в настоящее время автоматизированный мониторинг PM 10 и PM 2.5 организован только в крупных городах, таких как Москва, Санкт-Петербург, Сочи, Казань и некоторых других. По сравнению с другими странами сеть недостаточно развита и информативна (<http://aqicn.org/city/beijing/> – Мировой индекс качества воздуха). Еще меньше данных имеется о составе PM 10 и PM 2.5, хотя известно, что эти частицы имеют разветвленную поверхность и являются отличными адсорбентами различных загрязняющих веществ, таких как микроэлементы и радиоактивные изотопы, сложные органические вещества и т.д.

Определение сажи природного и антропогенного происхождения особенно актуально. Почти в каждом процессе сжигания углеродсодержащего топлива выделяется сажа. В результате повсеместного распространения источников выбросов измеренные концентрации сажи наблюдаются как в отдаленных, так и в городских районах. Наибольшая концентрация сажи наблюдается в городских и пригородных районах. Однако значительные количества сажи обнаруживаются в отдаленных районах, таких как Арктика, из-за длительного пребывания частиц сажи в атмосфере [Weinbruch et al., 2018; Wolff, 1985; Mölders, Edwin, 2018]. Частицы сажи являются вторым по значимости фактором глобального потепления после углекислого газа [Jacobson, 2001; Ramanathan, Carmichael, 2008].

Осадки способствуют осаждению микрочастиц из воздуха на подстилающую поверхность. В составе осадков можно определить содержание кремния как показателя переноса пыли из отдаленных регионов; фосфора как показателя, например, мелких частиц, которые появляются при переносе пыли, перевалке зерна или при производстве минеральных удобрений; окисленного азота как индикатора работы котлов и двигателей различных видов транспорта.

Целью настоящего исследования было изучение уровней концентрации PM 2.5 и PM10 и углеродсодержащего аэрозоля (сажи) в атмосфере города Севастополя.

### *1. Биогенные элементы в атмосферных осадках*

Для оценки поступления биогенных элементов с атмосферными осадками в г. Севастополе были проанализированы пробы влажных и суммарных атмосферных выпадений на содержание неорганического азота, фосфатов и кремния. Пробы отбирались в два осадкосборника: только для влажных осадков, который открывался с началом выпадения осадков и закрывался сразу после их прекращения, и постоянно открытый осадкосборник для оценки влияния попадания пыли на концентрацию исследуемых элементов в осадках. Затем отобранные пробы были проанализированы фотометрически в Морском гидрофизическом институте РАН (г. Севастополь). В результате был получен массив данных о концентрациях биогенных элементов в пробах для каждого из осадкосборников. Были определены случаи многократного превышения содержания биогенных элементов в осадках, отобранных в открытом осадкосборнике, над концентрациями в осадкосборнике для влажных атмосферных выпадений.

### *2. PM 2.5 и PM 10*

Пробы воздуха для определения концентрации PM10 и PM2.5 отбирали с помощью пылемера «Атмас» (Россия). Пылемер оснащен импактором со сменными насадками для фракционного разделения взвешенных аэрозольных частиц (PM 10, PM 2.5).

Этот прибор может быть использован для санитарно-гигиенического и технологического контроля воздушной среды помещений, а также для работы в полевых условиях. Пылемер непосредственно измеряет массовую концентрацию.



Особенности пылемера «Атмас»:

- четыре режима измерения;
- автоматическое предупреждение о необходимости очистки датчика;
- память на 2000 измерений.

### 3. Углеродсодержащий аэрозоль (сажа) в атмосферном воздухе

Метод основан на улавливании частиц сажи на фильтре и дальнейшем фотометрическом определении их массовой концентрации в суспензии. Для определения единичной концентрации углеродсодержащего аэрозоля (сажи) воздух прокачивали через фильтр, закрепленный в фильтродержателе, с расходом 20–40 дм<sup>3</sup>/мин в течение 30 мин. Отбор проб производился с наветренной стороны на высоте 1,5 м от поверхности земли. При низких разовых концентрациях углеродсодержащего аэрозоля (сажи) в атмосферном воздухе допускается определение среднесуточных концентраций путем отбора не менее четырех разовых проб на фильтр в течение дня. После отбора проб фильтр извлекали из держателя фильтра, складывали пыльной стороной внутрь, помещали в пластиковый пакет и доставляли в лабораторию для анализа. Фильтры с отобранными пробами сушили в эксикаторе над безводным хлоридом кальция в течение двух часов. Высушенный фильтр помещали пинцетом вдоль стенки пробирки. Затем в пробирку добавляли 5 см<sup>3</sup> диметилсульфоксида непосредственно на фильтрующий материал, при этом фильтрующий материал постепенно растворяется, а частицы аэрозоля переходят во взвешенное состояние. Для обработки пробы ультразвуком пробирку с суспензией закрепляли на штативе и помещали в ультразвуковую ванну, заполненную дистиллированной водой, затем обрабатывали ультразвуком в течение 60 минут.

В октябре – ноябре 2021 г. были определены повышенные концентрации биогенных элементов в атмосферных осадках. 24 октября наблюдался юго-западный перенос пылевых воздушных масс. Концентрации всех биогенных элементов в пробах из открытого осадкосборника были повышены и составили для силикатов 11,46 ммоль/л, фосфатов – 5,44 ммоль/л и неорганического азота – 297 ммоль/л. Превышение концентраций над средневзвешенными величинами для этого типа осадкосборника составило 6,5; 3,2 и 3,7 раза для силикатов, фосфатов и неорганического азота. Среднесуточные концентрации PM 2.5 и PM 10 за 23–24 октября составили 0,019 и 0,037 мг/м<sup>3</sup> соответственно. Согласно данным веб-сайта <https://www.ventusky.com>, также был зафиксирован перенос пылевого аэрозоля над Чёрным морем.

Наши исследования показали, что в случае переноса пыли из пустынь Центральной Азии, Сахары и Сирии среднесуточные концентрации частиц PM 10 и PM 2.5 в атмосферном воздухе Севастополя могут достигать и даже превышать соответствующие предельно допустимые концентрации. Значения среднесуточных концентраций микрочастиц за весь период наблюдений, по сравнению с принятыми

в России нормами, превысили значения ПДК в 7 случаях для РМ 2.5 и в 3 случаях для РМ 10. Среднегодовые концентрации взвешенных частиц составляют около половины ПДК – 0,013 мг/м<sup>3</sup> для частиц РМ 2.5 и 0,019 мг/м<sup>3</sup> для частиц РМ 10 в соответствии с российскими стандартами. Оценка внутригодовых изменений концентрации мелких частиц в воздухе Севастополя показала увеличение их концентрации в холодный период года.

Было отобрано и проанализировано более 300 суточных проб воздуха на содержание сажи. Концентрация сажи в пробах воздуха, собранных на метеостанции, не превышала 0,01 мг/м<sup>3</sup>. В то же время с июня наблюдается небольшое снижение концентрации, а с ноября 2021 г. – увеличение, что, вероятно, связано со временем начала и окончания отопительного сезона в городе. Учитывая, что метеорологическая станция, где были собраны пробы воздуха и осадков, расположена недалеко от моря, ее можно рассматривать как точку для оценки фонового уровня загрязнения воздуха. Планируется сравнить результаты, полученные в ходе отбора проб на этой метеостанции, с результатами анализа проб, отобранных в более загрязненных районах города, например вблизи автомагистралей, существующих строительных площадок и т.д.

Наши предварительные данные показали, что концентрация сажи в пробах воздуха, собранных вблизи автомобильной дороги (с интенсивностью движения около 400–500 автомобилей в час), превышает концентрацию на фоновой станции в 30–50 раз.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малышев В.П. Основные угрозы и опасности для жителей крупных городов // Проблемы анализа риска. 2006. Vol. 3. № 4. P. 338–345.
2. Brines M., Dall'Osto M., Beddows D.C.S., Harrison R.M., Gómez-Moreno F., Núñez L., Artíñano B., Costabile F., Gobbi G.P., Salimi F., Morawska L., Sioutas C., and Querol X. Traffic and nucleation events as main sources of ultrafine particles in high-insolation developed world cities // *Atmos. Chem. Phys.* 15. 2015. P. 5929–5945. URL: <https://doi.org/10.5194/acp-15-5929-2015>.
3. Jacobson M.Z. Strong radiative heating due to the mixing state of black carbon in atmospheric aerosols // *Nature*. Vol. 409. 2001. P. 695–697. URL: <https://doi.org/10.1038/35055518>.
4. Karimian H., Li Q., Li C., Jin L., Fan J., Li Y. An improved method for monitoring fine particulate matter mass concentrations via satellite remote sensing // *Aerosol and Air Quality Research*. Vol. 4. 2016. P. 1081–1092.
5. Li X., Ma Y., Wang Y., Liu N., Hong Y. Temporal and spatial analyses of particulate matter (PM10 and PM2.5) and its relationship with meteorological parameters over an urban city in northeast China // *Atmospheric Research*. No. 198. 2017. P. 185–193.

6. *Mölders N. and Edwin S.* Review of Black Carbon in the Arctic-Origin, Measurement Methods, and Observations // *Open Journal of Air Pollution*. 2018. No. 7. P. 181–213. DOI: 10.4236/ojap.2018.72010.
7. *Ramanathan V. and Carmichael G.* Global and regional climate changes due to black carbon // *Nat. Geosci.* 2008. No. 1. P. 221–227. URL: <https://doi.org/10.1038/ngeo156>.
8. *Vu T.V., Delgado-Saborit J.M., Harrison R.M.* Particle number size distributions from seven major sources and implications for source apportionment studies // *Atmos. Environ.* 2015. Vol. 122. P. 114–132.
9. *Weinbruch S., Benker N., Kandler K., Schtze K., Kling K., Berlinger B., Thomassen Y., Drotikova T., and Kallenborn R.* Source identification of individual soot agglomerates in Arctic air by transmission electron microscopy // *Atmospheric Environment*. 2018. Vol. 172. P. 47–54.
10. *Wolff G.T.* Characteristics and consequences of soot in the atmosphere. *Environment International*. 1985. Vol. 11. Iss. 2–4. P. 259–269. URL: [https://doi.org/10.1016/0160-4120\(85\)90018-2](https://doi.org/10.1016/0160-4120(85)90018-2).

## ТЕНДЕНЦИИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ОСАДКОВ НАД СЕВЕРНЫМ КАВКАЗОМ И КРЫМСКИМ ПОЛУОСТРОВОМ ЗА ПЕРИОД 1961–2018 гг.

***Е.В. Вышкваркова***

---

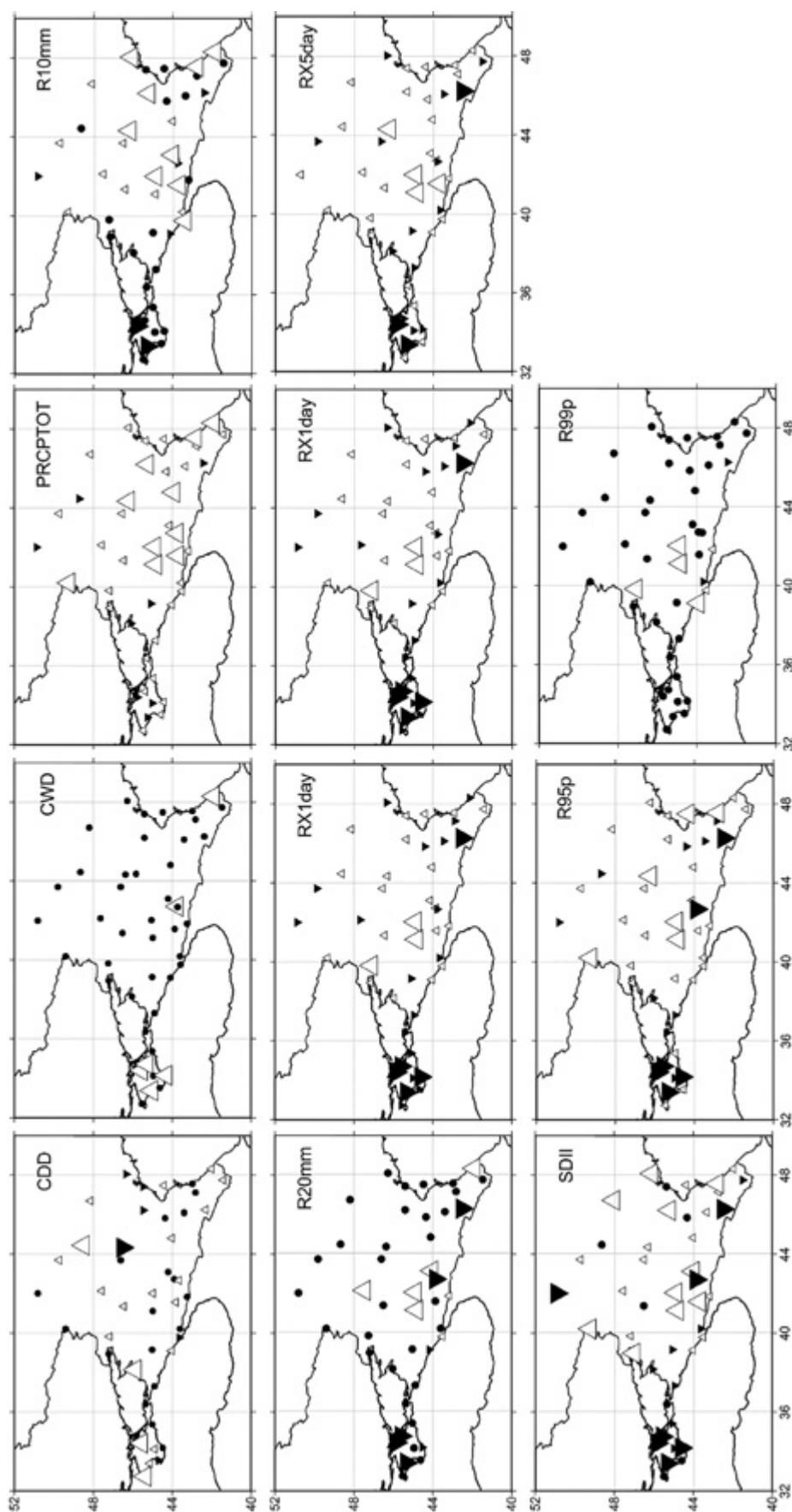
*Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия  
Институт природно-технических систем, г. Севастополь, Россия  
aveiro\_7@mail.ru*

На фоне глобального тренда изменения температуры воздуха участились случаи экстремальных явлений, связанных с осадками в средних широтах Северного полушария [IPCC, 2014]. Изменения частоты и интенсивности экстремальных осадков вызывают большой интерес во всем мире из-за их огромного потенциального влияния на эффективность деятельности во многих отраслях экономики и жизни человека [Zhang et al., 2017].

С использованием ежедневных данных осадков с 45 метеорологических станций Северного Кавказа и Крымского полуострова за период 1961–2018 гг. были рассчитаны индексы экстремальных осадков. Данные взяты со специализированного массива для климатических исследований ВНИИГМИ – МЦД (<http://aisori-m.meteo.ru>). В работе рассчитаны 10 индексов экстремальных осадков, предложенных группой экспертов по обнаружению изменений климата и индексам (ETCCDI) (<http://www.clivar.org/organization/etcddi>): RX1day, RX5day, PRCPTOT, R95p, R99p, SDII, R10 mm, R20 mm, CDD и CWD. Расчет индексов и контроль качества исходных данных проведен с использованием ПО RClimDex. Величины тренда рассчитаны с использованием непараметрического критерия Сена. Статистическая значимость трендов оценивалась по критерию Манна – Кендалла ( $p < 0,05$ ). Коэффициент корреляции Пирсона использовался для анализа взаимосвязи между индексами экстремальных осадков и высотой над уровнем моря. Все тесты и расчеты проводились в XLSTAT 2014.5.03.

Анализ показал, что все индексы (кроме CDD) имеют максимальные значения на Черноморском побережье Кавказа, а наименьшие значения характерны для Каспийского побережья и Прикаспийской низменности, что связано с особенностями атмосферной циркуляции над этим регионом и сложной орографией.

Распределение трендов индексов экстремальных осадков по территории отличается сильной пространственной неоднородностью и в основном статистически



**Рис. 1.** Пространственное распределение трендов индексов экстремальных осадков по территории Северного Кавказа и Крымского полуострова за период 1961–2018 гг.  
 Маленькие (большие) белые (черные) треугольники соответствуют статистически незначимым (значимым) положительным (отрицательным) трендам.  
 Черные круги – отсутствие тренда



незначимы. Для Крымского полуострова выявлены статистически значимые тенденции снижения фиксированных пороговых показателей (индексы R10mm, R20mm) и показателей интенсивности (индекс SDII). В то же время на Ставропольской возвышенности отмечены статистически значимые тенденции роста этих показателей, как и индекса PRCPTOT (рис. 1). Для Крымского полуострова выявлены статистически значимые отрицательные тренды индексов экстремальных осадков (кроме продолжительности сухого и влажного периодов и количества осадков).

Исследуемый регион характеризуется сложным рельефом. Северный Кавказ состоит из северных склонов гор Большого Кавказа и Предкавказья. На территории Крымского полуострова расположены Крымские горы. Высота над уровнем моря станций колеблется от –24 м (Прикаспийская низменность) до более 2000 м (Кавказский хребет). Расчет коэффициентов корреляции между индексами экстремальных осадков и высотой над уровнем моря показал положительную и статистически значимую связь (за исключением последовательных засушливых дней, индекс CDD) между этими переменными (табл. 1).

**Таблица 1.** Коэффициенты корреляции между индексами экстремальных осадков и высотой над уровнем моря

	CDD	CWD	PRCPTOT	R10	R20	RX1day	RX5day	SDII	R95p	R99p
Высота над уровнем моря	-0,41	0,51	0,43	0,43	0,35	0,32	0,39	0,31	0,43	0,44

Исследование дает более детальное представление о пространственно-временном распределении трендов экстремальных осадков над территорией Северного Кавказа и Крымского полуострова. Работа требует дальнейшего изучения различных периодов года (а не только сезонов), например периодов вегетации различных культур, поскольку Предкавказье является сельскохозяйственным районом. Из-за сложной орографии часть изучаемой территории подвержена наводнениям, в то время как на других участках возможны засухи и связанные с ними проблемы (потеря урожая, разлив водоемов и др.).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Core Writing Team, R.K. Pachauri, L.A. Meyer (Eds.). Switzerland, Geneva, 2014. 151 p.
2. Zhang H., Wang Y., Park T.W., Deng Y. Quantifying the relationship between extreme air pollution events and extreme weather events // Atmospheric Research. 2017. Vol. 188. P. 64–79. DOI: 10.1016/j.atmosres.2016.11.010.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИТОПЛАНКТОНА АЗОВСКОГО МОРЯ В ОКТЯБРЕ 2020 г. И В АПРЕЛЕ 2021 г.

*Г.Ю. Глущенко*

*Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия  
gluschenko\_gala@mail.ru*

В начале XX в. на основании физико-химической характеристики водной массы и ряда биологических особенностей Н.М. Книпович [1932] определял Азовское море как занимающее промежуточное положение между морскими и пресными водоемами, солевой баланс которого складывался под влиянием поступления вод с речным стоком и притока из Чёрного моря. В современный период (после зарегулирования р. Дон при создании Цимлянского вдхр.) в результате антропогенной деятельности и климатических изменений выделяют следующие периоды осолонения моря: с 1952 по 1977 гг. и с 2007 г. и продолжающийся по настоящее время [Экосистемные исследования ... 2012].

В последние годы облик Азовского моря характеризуется значительным увеличением солености, за счет достоверного снижения среднегодового объема стока р. Дон на 35,6 % по сравнению с 1998–2006 гг., что, как известно, вызывает быстрые и глубокие деформации самых различных абиотических и биотических компонентов моря [Косенко и др., 2017]. Так, начиная еще с 1950-х гг., в связи с преобладанием маловодных лет, отмечали перегруппировку в альгопланктоне: в море уменьшилась доля в суммарной биомассе и численности цианопрокариоты (цианобактерии). При слишком низком стоке р. Дон то же наблюдалось с зелеными водорослями и многими видами цианобактерий в Таганрогском заливе, кроме восточного, наиболее опресненного его района. Вместе с тем в некоторых районах увеличивалось количество динофлагеллят и расширялся их ареал. Появлялись черноморские формы, некоторые из них развивались в значительных количествах [Пицък, 1955]. При повышении стока и понижении солености наблюдали обратную картину: биомасса фитопланктона вновь возрастала, особенно начиная с 2000 г., а основу сообщества составляли диатомовые, зеленые водоросли и цианопрокариоты, олигогалобные и эвгалобные формы пресноводного и солоноватоводного происхождения [Макаревич, 2007; Студеникина и др., 2012]. При этом исследователи отмечали для некоторых представителей планктонной флоры исключительно высокую соленостную устойчивость для типичных морских полигалобов, которые вегетировали не только в открытой части моря, но и в Таган-

рогском заливе и образовывали высокие значения биомассы при любой солености азовоморских вод [Студеникина и др., 1999]. Также возростала встречаемость динофлагеллят в море, периодически дающих вспышки численности [Макаревич, 2007].

Исследования, проводимые после 2007 г., свидетельствуют о схожести современных изменений с периодом осолонения сразу после зарегулирования р. Дон: изменение пространственной структуры фитопланктона в сторону сужения ареалов пресноводных и пресноводно-солонатоводных видов, расширение ареалов морских представителей, смещение зоны максимального развития микроводорослей в заливе снова на восток, ближе к устью р. Дон, и рост средневегетационной биомассы фитопланктона в заливе при значительном ее снижении в собственно море [Сафронова, 2014; Студеникина и др., 2012]. Начиная с 2010 г., при усилившемся процессе притока в азовоморскую экосистему океанических форм, все чаще доминирующий комплекс фитопланктона представляют полигалобные виды динофитовых и диатомовых водорослей, в т.ч. не встречающиеся в планктоне в годы распреснения или ранее [Ермакова и др., 2020; Сафронова, 2014; Студеникина и др., 2012].

Цель данной работы – исследовать современное состояние фитопланктона Азовского моря (в пределах российского сектора). Материалом для исследования послужили данные, полученные во время экспедиций по Азовскому морю в октябре 2020 г. и в апреле 2021 г. Обработка проб и учет фитопланктона производили по общепринятым методикам [Методика ... 1975] с использованием оборудования ЦКП ЮНЦ РАН «Объединенный центр научно-технологического оборудования ЮНЦ РАН». К доминирующим относили виды, составляющие  $\geq 10\%$  суммарной биомассы фитопланктона.

Полученные в октябре результаты показали сохранение описанной выше тенденции развития фитопланктона: наибольшие значения суммарной биомассы (10,3–14,7 мг/л) и численности (20–40 млн кл./л) фитопланктона были зафиксированы в восточном и центральном районах Таганрогского залива, а наименьшие – в открытой центральной части моря (1,7–4,6 мг/л и 0,5–2 млн кл./л). На исследованной акватории были отмечены мозаичность и неравномерность в распределении отдельных систематических групп микроводорослей и их количественных показателей. Так, в восточной части залива основу биомассы составляли диатомовые водоросли (за счет развития *Coscinodiscopsis cf. jonesiana* (Greville) Sar & Sunesen) – 65 %, и цианобактерии (*Pseudanabaena limnetica* (Lemmerm.) Komárek) – 27 % от общего показателя. Численно преобладали цианобактерии (59 %) и зеленые микроводоросли (23 %). В центральной части залива диатомовые водоросли и цианопрокариоты стали занимать субдоминирующее положение (26 и 11 % соответственно), т.к. здесь преобладали морские представители динофитовых водорослей (доминант *Prorocentrum micans* Ehr.) – 59 %. Из диатомовых водорослей интенсивно вегетировали осенний эвригаллинный доминант *C. jonesiana* и *Thalassiosira* sp., а также черноморские виды *Pseudosolenia calcar-avis* (Schultze) Sundström, *Pseudonitzschia cf. complex seriata* (Cl.)

Peragallo. В открытой части моря высокий уровень количественного развития фитопланктона определяли морские диатомовые – от 29 до 81 % за счет указанных диатомей и *Coscinodiscus cf. apiculatus* Ehr. и динофитовые водоросли – 18–60 % от суммарного показателя, основу которого складывали виды *Pr. micans*, *Cochlodinium cf. geminatum* (Schütt) Schütt. Следует отметить, что динофлагеллята *C. geminatum* является морским, океаническим видом, который распространен в Атлантическом, Тихом океанах, Средиземном и Чёрном морях [Крахмальний, 2011]. Во время исследования в октябре 2020 г. (и частично в апреле 2021 г.) данный вид был отмечен только в открытой части Азовского моря. Его количественные показатели уменьшались по направлению от Керченского пролива к центральной части моря: значения биомассы изменялась от 1,1 мг/л до 0,02 мг/л, численности – от 70,3 тыс.кл./л до 1,4 тыс.кл./л соответственно.

Всего за время исследования в осенний период в фитопланктоне Азовского моря был выявлен 101 вид эукариотических водорослей и цианобактерий, относящихся к 8 отделам. Среди них наибольшее видовое разнообразие принадлежало отделам Bacillariophyta (40), Dinophyta (24), Chlorophyta (13), Cyanobacteria (10) и Cryptophyta (9).

Весеннее сообщество микроводорослей было представлено 162 видами эукариотических водорослей и цианобактерий из 8 отделов. Наибольшее видовое разнообразие выявлено в тех же отделах: Bacillariophyta (55), Chlorophyta (43), Dinophyta (28), Cyanobacteria (19) и Cryptophyta (8). Максимальные значения количественных показателей фитопланктона были отмечены в восточной и центральной частях Таганрогского залива. Основу биомассы здесь составляли диатомовые (64–85 %), динофитовые (20–10 %) и зеленые водоросли (16–4 %). Представители этих же отделов формировали основу и видового обилия фитопланктонного сообщества, которое было представлено видами как пресноводного, так и морского генезиса. Доминирующими видами в указанных районах залива были диатомея *Chaetoceros cf. rigidus* Ost. и динофлагеллята *Kolkwitzziella acuta* (Apstein) Elbr. Им субдоминировал *Monoraphidium contortum* (Thuret) Komárk.-Legn. (Chlorophyta). Представители зеленых водорослей дальних указанных районов не распространялись. Также только для данной акватории было отмечено появление в составе фитопланктона цианопрокариот – в основном это были *Aphanizomenon cf. flos-aquae* Ralfs ex Born. & Flah., *Planktolyngbya limnetica* (Lemmerm.) Komárk.-Legn. & Cronberg, *Snowella lacustris* (Chod.) Komár. & Hind. и др. Но их развитие было незначительным и не превышало 0,5 % и 1 % от общей биомассы и численности. Суммарный показатель фитопланктона в восточной и центральной частях залива составил 17,3 и 4,4 мг/л и 71 и 13 млн кл./л соответственно.

Начиная с западного района залива по направлению к Керченскому проливу отмечали существенные изменения в распределении количественных показателей и соотношении отделов фитопланктона по сравнению с опресненной частью

Таганрогского залива. Интенсивность развития микроводорослей значительно уменьшилась до 0,1–0,7 мгл/л и 0,1–10 млн кл./л. Почти в два раза сократилась доля от общей биомассы диатомовых водорослей (до 48–12 %) за счет увеличения таковой динофитовых и криптофитовых водорослей в центральной части (до 39–45 % и 9–43 % соответственно) и в предпроливной зоне Азовского моря (до 85–94 % и 3–8 %).

В зависимости от районов отмечали различия среди руководящих видов: в западной части залива доминировали диатомеи *S. costatum* и *Thalassiosira* sp. и динофлагелляты *Heterocapsa rotundata* (Lohm.) Hansen и *Oblea rotunda* (Lebour) Balech ex Sournia; в собственно море – динофитовые водоросли *Cochlodinium* sp., *Protoperdinium pellucidum* Bergh, *Scrippsiella trochoidea* (Stein) Loeblich, *H. rotundata* и криптофитовые *Cryptomonas* cf. *erosa* Ehr., *Teleaulax amphioxeia* (Conrad) Hill; по мере продвижения к проливу из динофлагеллят доминировали *Sc. trochoidea*, *Gymnodinium* sp. и *Neoceratium furca* (Ehr.) Gómez et al., из диатомовых – *Pseudosolenia calcar-avis* и *Proboscia* cf. *alata* (Brightwell) Sundström.

Исследования развития фитопланктона, проведенные в осенний и весенний периоды на акватории Азовского моря, показали сохранение тенденций, обусловленных периодом пониженной водности. Основу планктонного альгоценоза по-прежнему составляют характерные для данных сезонных сукцессий диатомовые и динофитовые водоросли в собственно море, и добавляются к ним зеленые водоросли и цианобактерии в центральной и восточной частях Таганрогского залива.

Рассматривая распределение количественных характеристик фитоценоза на исследуемой акватории, можно отметить сохранение тенденции снижения величин количественных показателей фитопланктона от восточной части залива на запад, к открытой части моря. Такая закономерность устойчива во времени, сохранялась в течение исследованных сезонов и характерна для маловодных лет, когда роль стока в продуцировании фитопланктона очевидна в устьевых зонах [Студеникина и др., 2012]. Также сохраняется тенденция проникновения на акваторию новых морских видов. Наряду с другими представителями черноморской флоры, которые в последние десятилетия являются уже постоянным компонентом фитопланктона Азовского моря, активно вегетировал морской, ранее не характерный для данного водоема представитель динофлагеллят *Cochlodinium* cf. *geminatum*. Отмеченный вид обладает аллелопатическими свойствами, благодаря которым он может подавлять рост конкурентов из фитопланктона и стимулировать рост собственной популяции, формируя таким образом массовые цветения [Yan et al., 2019]. Пока трудно сказать, является ли данный вид в условиях Азовского моря токсичным или нет, однако представители этого рода считаются потенциально токсичными динофлагеллятами и их цветение представляет серьезную угрозу для рыболовства и экономики во всем мире [Yan et al., 2019].



Развитие *C. geminatum* в условиях Азовского моря – явление новое и требует мониторинга с дальнейшим изучением последствий развития отмеченной динофлагелляты.

Работа выполнена в рамках ГЗ НИР ЮНЦ РАН № 122011900153-9.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермакова Я.С., Павленко Л.Ф., Барабашин Т.О., Боровков А.Б., Новикова Т.М. Состав углеводов в липидных фракциях массовых видов фитопланктона Азовского и Черного морей // *Океанология*. 2020. Т. 60. № 4. С. 556–563.
2. Книпович Н.М. Гидрологические исследования в Азовском море // *Тр. Азово-Черномор. науч.-промысл. экспед.* 1932. Вып. 5. С. 3–97.
3. Косенко Ю.В., Барабашин Т.О., Баскакова Т.Е. Динамика гидрохимических характеристик Азовского моря в современный период осолонения // *Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки*. 2017. № 3–1. С. 76–82.
4. Крахмальный А.Ф. Динофитовые водоросли Украины. Киев: Альтерпрес, 2011. 444 с.
5. Макаревич П.Р. Планктонные альгоценозы эстуарных экосистем: Баренцево, Карское и Азовское моря. М.: Наука, 2007. 224 с.
6. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 240 с.
7. Пицыйк Г.К. Фитопланктон Азовского моря в условиях зарегулирования стока р. Дона // *Тр. АзЧерНИРО*. 1955. Вып. 16. С. 279–310.
8. Сафронова Л.М. Основные тенденции развития фитопланктона Азовского моря в условиях современного осолонения // *Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна*. Ростов н/Д.: АзНИИРХ, 2014. С. 216–228.
9. Студеникина Е.И., Алдакимова А.Я., Губина Г.С. Фитопланктон Азовского моря в условиях антропогенных воздействий. Ростов н/Д.: Эверест, 1999. 175 с.
10. Студеникина Е.И., Мирзоян З.А., Сафронова Л.М., Фроленко Л.Н., Мартынюк М.Л., Марушко Е.А., Толоконникова Л.И. Характеристика биологических сообществ Азовского моря по результатам исследований 2010–2011 гг. // *Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна*. Ростов н/Д.: АзНИИРХ, 2012. С. 253–271.
11. Экосистемные исследования среды и биоты Азовского бассейна / отв. ред. Д.Г. Матишов. Ростов н/Д.: ЮНЦ РАН, 2012. 272 с.
12. Yan J., Liu J., Cai Y., Duan Sh., Tang Y., Xu N. Allelopathic effects and mechanisms of *Cochlodinium geminatum* isolated from the Pearl River Estuary // *Journal of Applied Phycology*. 2019. Vol. 31. No. 5. P. 2957–2967.

## ДЕГРАДАЦИЯ ПОПУЛЯЦИИ И МАССОВАЯ СМЕРТНОСТЬ РАКОВ-БАЛЯНУСОВ *Semibalanus balanoides* В ПРИМЫКАЮЩЕЙ К ПОРТУ АКВАТОРИИ КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА

*А.В. Гудимов*

---

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия  
*alexgud@mail.ru*

Влияние судоходства и портовых операций на окружающую среду известно и особенно тщательно исследуется в странах Европы. Однако гибель морской фауны и флоры в портовых районах не всегда обусловлена антропогенным воздействием.

Начало деградации краевой популяции усоногих раков-балянусов *Semibalanus balanoides* были отмечены на эстуарной литорали кута Кольского залива в 2007 г. Смертность балянусов постепенно нарастала, начиная с 2007 г. и экспоненциально после 2015 г., когда этому процессу оказались подвержены и популяции мидий *Mytilus edulis*.

Было установлено, что значительное уменьшение численности, а затем и случаи массовой смертности *S. balanoides* обусловлены, в первую очередь, повторяющимися раз в 3–4 года (до 2015 г.), а затем и чаще, аномальным половодьем рек Тулома и Кола вследствие изменений климата в Арктике.

В 2020 г. состояние популяций эпифауны на литорали Кольского залива исследовалось с 25 мая по 11 октября. Поскольку за последние 15 лет популяция балянусов на участке от Туломского моста до м. Еловый деградировала и граница распространения балянусов сместилась в сторону моря, было проведено обследование новых участков литорали от м. Еловый до Нового моста и выше, в сторону моря (до разреза напротив Авторынка). В итоге были выполнены не только постоянные 6 разрезов в куте залива, но еще и новые 5 разрезов на новых участках литорали.

На всем протяжении обследованной литорали обнаружены заморные явления – черный слой подстилающего (подповерхностного) слоя донного грунта (1–2 см от поверхности грунта) с запахом сероводорода на всех горизонтах литорали – и массовая смертность балянусов и мидий. Наличие замора и черного слоя грунта вызваны, очевидно, тотальной гибелью бактерий морского генеза из-за длительного опреснения литорали и грунтов, что привело к созданию анаэробных условий в подстилающем слое грунта.

Балянусы отсутствовали в тех биотопах (каменисто-валунных грунтах), где они встречались ранее в большом количестве. Оставшиеся на камнях балянусы легко

опадали при прикосновении. Взрослые мидии (более 3 см длины), многочисленные прежде в руслах литоральных ручьев, погибли на 90 % численности локальных популяций. Тысячами мертвых створок они остались на тех же местах, где и жили. Створки цельные, не разломаны, не тронуты хищниками, в некоторых раковинах еще остались гниющие остатки мягких тканей.

Наиболее подробные исследования были выполнены с 25 мая по 7 июня в куте Кольского залива (Кольская узость) по регулярному обследованию донных сообществ литорали и многолетнему мониторингу эстуарной популяции баянусов *S. balanoides*.

Особенностью данной краевой популяции является ее высокая чувствительность к изменениям экологических факторов, что позволяет использовать численность баянусов этого биотопа в качестве краткосрочного биоиндикатора экологического состояния среды, включая раннюю индикацию последствий изменения климата.

Данный период экспедиции был выбран как время максимального речного стока – половодья. В течение предыдущих 16 лет мониторинг популяции баянусов не попадал на дни пика половодья во многом из-за смещения и непредсказуемости данного гидрологического явления на реках Тулома и Кола и отсутствия доступной оперативной информации о нем.

По первым результатам экспедиции установлено, что в период половодья происходит максимальное по длительности опреснение среднего и нижнего отдела литорали исследованного западного берега эстуария р. Тулома по всему участку (около 1300 м) как в часы отлива, так и большую часть прилива.

Причем установленное ранее наличие постепенного среднегодового осолонения всей эстуарной литорали (с 2003 по 2019 г.) в этот период половодья было совершенно незаметным – оно было нивелировано весеннее-летним пресным стоком. Повышенная соленость (10 ‰) отмечена только в самом верхнем отделе среднего горизонта на разрезе 6 (у м. Еловый), наиболее удаленного от Туломского моста и устья реки. На остальных разрезах (р. 2–5) соленость в литоральных ручьях упала до 1–2 ‰, а на урзе была менее 1 ‰.

При этом из-за высокого уровня воды во время паводка нижний горизонт и часть среднего находились непрерывно в практически пресной воде (около 1 ‰) даже в период сизигийного отлива (0,5–0,6 м).

Не возникает сомнений, что в течение 2 недель такого сильного опреснения массовая гибель взрослых баянусов и мидий неизбежна.

На литорали губы Дальняя Зеленецкая, служащей референтной (контрольной) зоной, никаких заметных изменений в популяциях баянусов не произошло, поселения баянусов на участке от причала до лаборатории альгологии (биостанции ММБИ) стабильны.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что влияние климата на морскую экосистему проявляется, прежде всего, в эстуарных районах, к которым относится и Кольский залив.

## ГЕОХИМИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА НА БЕЛОЕ МОРЕ ВОДАМИ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ В ПЕРИОД СОВРЕМЕННОГО ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА

*А.О. Даниленко<sup>1</sup>, А.Г. Георгиади<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Гидрохимический институт, г. Ростов-на-Дону, Россия*

<sup>2</sup>*Институт географии РАН, г. Москва, Россия  
a.danilenko@gidrohim.com; georgiadi@igras.ru*

Современная фаза увеличения приземной температуры воздуха в бассейнах арктических рек началась в 1970–1980-е гг. XX в. [Шикломанов, Георгиевский, 2009] и повлекла за собой изменение стока воды. А поскольку водность часто является основным фактором, влияющим на содержание растворенных химических веществ, эти изменения могли существенно повлиять на гидрохимический режим арктических рек и на вынос минеральных и органических веществ в моря Северного Ледовитого океана.

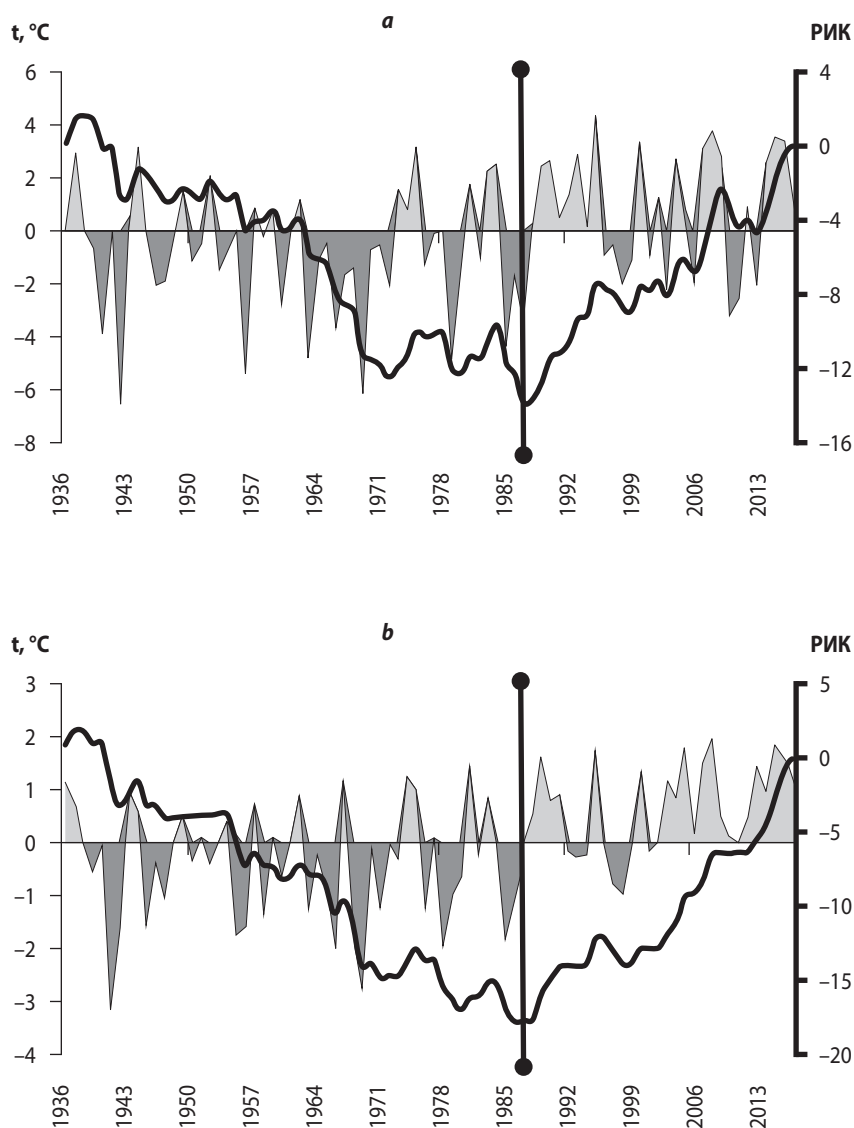
Наиболее сильных изменений следует ожидать от рек со сравнительно высокими значениями модулей химического стока. Так, в отличие от других арктических рек, модуль ионного стока Северной Двины составляет около 40 т/км<sup>2</sup> в год, что связано как с её значительной водоносностью и отсутствием в бассейне вечной мерзлоты, так и с тем, что сам бассейн в значительной мере сложен легковывщелачиваемыми породами (гипс, известняк) [Даценко и др., 2016].

Целью данной работы стала количественная оценка влияния современного потепления климата на годовой сток главных ионов, органического вещества (ОВ) и биогенных соединений в замыкающем створе р. Северная Двина и стока воды в период гидрохимических наблюдений 1947–2017 гг. Для этого были выделены периоды относительно теплого и относительно холодного климата и проанализированы систематические данные о средних суточных и годовых расходах воды, минерализации и содержании органического вещества, косвенно оцениваемого по химическому потреблению кислорода (ХПК) на его окисление и, в качестве реперов, – концентраций гидрокарбонатов и кремния. Реперные вещества помогают учесть вклад в происходящие изменения антропогенных воздействий, так как их концентрации практически не подвержены влиянию хозяйственной деятельности [Максимова, 2012].

Для оценки изменений водного и химического стока Северной Двины в период теплого климата относительно предшествующего холодного использованы режим-

ные гидрологические и гидрохимические данные Государственной наблюдательной сети Росгидромета, за период с 1947 г. (начало наблюдений за химическим составом воды) по 2017 г. в створе у с. Усть-Пинега. Створ расположен на входе в устьевую область в 137 км от морского края дельты ниже впадения р. Пинега и замыкает 97,5 % площади водосбора реки (348 000 км<sup>2</sup>).

Метод определения границы начала современного потепления климата основан на использовании разностно-интегральных кривых [Георгиади и др., 2011], которые позволили выявить годы смены длительных периодов пониженных/повышенных значений среднегодовой и среднезимней температуры воздуха (рис. 1). Анализ разностно-интегральных кривых показывает, что начало интенсивного потепления в этом регионе можно отнести к 1988 г.



**Рис. 1.** Многолетние изменения среднегодовой (а) и средней зимней (b) осредненной по бассейну р. Северной Двины температуры воздуха, выраженные в координатах интегрально-разностных кривых



Метод расчета химического стока зависел от поведения концентрации растворенного вещества относительно изменения водности. Так, для главных ионов и органического вещества в условиях ограниченности данных по химическому составу, их неоднородности по частоте и срокам отборов использованы корреляционные связи между среднесуточным расходом воды ( $Q$ ) и измеренными значениями концентраций ( $C$ ). Полученные связи использовались для расчета среднесуточных значений концентраций, а затем и величин суточного стока, которые затем суммировались в месячные, сезонные и годовые величины. В случае отсутствия корреляции между  $C$  и  $Q$  годовой сток вычислен с использованием фактических значений концентраций (среднесезонная концентрация, умноженная на объем водного стока за этот же период).

Полученные многолетние ряды годовых значений ионного стока были сгруппированы по климатическим периодам: период относительно холодного климата (ПХК) с 1947 по 1988 г. и период относительно теплого климата (ПТК) с 1989 по 2017 г. Статистические оценки получали с использованием программ Statistica 13.0 и MS Excel 365. Совокупности значений ионного стока сравнивали между собой с использованием параметрического  $t$ -критерия Стьюдента для независимых выборок, так как в полученных группах наблюдалось симметричное распределение значений относительно выборочного среднего.

При незначительном антропогенном влиянии ключевой причиной изменчивости ионного стока являются флуктуации водности, что подтверждается тесными, статистически значимыми связями концентраций с расходами речной воды (табл. 1). Связь гидрохимического режима с водным выражается в синхронном изменении кривых расхода минерализации и окисляемости (для минерализации зависимость обратная, для окисляемости – прямая). Так, в замыкающем створе р. Северная Двина характерно нарастание минерализации в межпаводковый период и быстрое падение в весенний период за счет смешения более минерализованных грунтовых вод с менее минерализованными, стекающими с поверхности почв во время снеготаяния. Динамика содержания органического вещества, напротив, характеризуется минимальными величинами в зимнее время и дальнейшим повышением во время половодья и паводков, в результате которых в реку смывается значительное количество органических веществ [Алекин, 1953]. Если внутригодовую динамику концентраций главных ионов хорошо описывают степенные функции, то содержание органического вещества лучше аппроксимируют логарифмические зависимости  $C = f(Q)$ . Ошибка аппроксимации вычисленных степенных функций колеблется в пределах 15 %, логарифмических – от 20 % для органического вещества до 60 % для кремния. Хотя обогащение природных вод кремнием, как и главными ионами, происходит в результате процесса химического выветривания кремнийсодержащих пород, в отличие от главных ионов кремний относится к слабым водным мигрантам, что искажает влияние водного

стока на его концентрации и проявляется в отсутствии статистически значимых корреляций.

**Таблица 1.** Статистические характеристики зависимостей концентраций растворенных веществ от расхода воды в замыкающем створе р. Северная Двина

Растворенное вещество	Уравнение связи $C = f(Q)$	Индекс детерминации, $R^2$	Ошибка аппроксимации, $A$ , %
Минерализация	$C = 15112,0 \times Q^{-0,558}$	0,89	15,1
Гидрокарбонат-ион	$C = 7839,3 \times Q^{-0,562}$	0,89	14,2
Органическое вещество (по ХПК)	$C = 9,29 \times \ln Q^{-35,92}$	0,48	20,6
Кремний	$C = -0,64 \times \ln Q^{+7,71}$	0,19	59,3

Результаты оценки влияния климатических изменений на водный сток Северной Двины показывают, что в период относительно теплого климата он увеличился, хотя эти изменения выражены слабо и статистически значимы при довольно низком уровне доверительной вероятности (табл. 2). Вслед за изменениями водного стока изменился и сток растворенных химических веществ.

**Таблица 2.** Изменение водного и химического стока р. Северная Двина в период относительно теплого климата по сравнению с периодом относительно холодного климата

Климатический период	$W_{cp} \pm \sigma$ , км <sup>3</sup> в год	$G_{cp} \pm \sigma$ , млн т в год			
		Min	$HCO_3^{2-}$	ОВ	Si
Холодный	$98,24 \pm 15,36$	$15,989 \pm 1,104$	$7,661 \pm 0,571$	$4,336 \pm 0,857$	0,294
Теплый	$103,92 \pm 14,64$	$16,490 \pm 1,052$	$7,785 \pm 0,665$	$4,644 \pm 0,824$	0,258
$\Delta$ , в % к ПХК	+5,6 ( $p = 0,146^*$ )	+3,1 ( $p = 0,061$ )	+1,6 ( $p = 0,408$ )	+7,1 ( $p = 0,160$ )	-12,2 ( $p < 0,001$ )

*Примечание.* Уровень доверительной вероятности отмечен символом « $p$ ».

Сток главных ионов (по минерализации) в целом вырос заметнее, чем сток гидрокарбонатов, что свидетельствует о некоторой трансформации ионного состава в сторону увеличения доли других главных ионов. Для Северной Двины это катионы кальция и сульфаты, поступающие в результате денудации гипсовых пород,

обильно представленных в бассейне. Сток гидрокарбонатов, напротив, независимо от климатических изменений на протяжении длительного промежутка времени остается практически неизменным.

В современный период признаком потепления климата стали увеличение стока органического вещества в Белое море и снижение стока кремния. Требуется более глубокого изучения внутригодовая динамика геохимической нагрузки органическим веществом, поступающим с водами реки Северная Двина, на Белое море. В реках органическое вещество имеет преимущественно аллохтонную природу, так что наиболее очевидной причиной изменения его стока представляется увеличение доли атмосферных осадков и, как следствие, смыв его с поверхности водосбора. Для арктических рек увеличение стока органического вещества прогнозируется повсеместно, однако в основном оно вызвано вытаяванием этого вещества из многолетнемерзлотных пород [Holmes et al., 2012]. В случае Северной Двины такой механизм вряд ли актуален, так как её бассейн расположен вне зоны вечной мерзлоты.

Уменьшение стока кремния в современный период, по данным предварительного анализа многолетней динамики его среднемесячных концентраций, может быть вызвано их снижением в период наибольшего расхода воды – в июне и особенно мае. Именно в период половодья формируется пик химического стока независимо от характера связи «расход – концентрация». Статистически значимое снижение среднемноголетних месячных концентраций кремния составило 13,8 и 18,8 % относительно базового периода более холодного климата. Однако обращает на себя внимание и другой сопутствующий факт: в ноябре, напротив, наблюдается увеличение среднемноголетних месячных концентраций кремния, в связи с чем можно предполагать существенное влияние «живого вещества» на внутригодовую динамику концентраций кремния и, как следствие, его вынос водами Северной Двины. Показано [Змётная, Новикова, 2015], что в водах дельты Северной Двины в состав доминирующего комплекса видов входят диатомовые водоросли, которые используют диоксид кремния для построения «панциря», в связи с этим в начале вегетационного периода концентрации кремния снижаются пропорционально росту их биомассы, а в конце – наоборот.

Таким образом, в период современного потепления климата наблюдается незначительное увеличение водного и химического стока (за исключением стока кремния) р. Северная Двина. Динамическое постоянство геохимической нагрузки главными ионами на Белое море определяется преимущественно обратным характером связи между расходом воды и концентрацией растворенных химических веществ. Сток органических веществ и потенциально биогенных соединений ввиду прямого характера зависимости  $C = f(Q)$  либо её отсутствия «реагирует» на современные изменения гидрологического режима заметнее, чем сток главных ионов.

*Исследования проведены в рамках проекта РФФИ № 18-05-60240.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алекин О.А.* Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1953. 296 с.
2. *Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милюкова И.П., Кислов А.В., Анисимов О.А., Барбанова Е.А., Кашутина Е.А., Бородин О.О.* Сценарная оценка вероятных изменений речного стока в бассейнах крупнейших рек России. Ч. 1: Бассейн реки Лены. М.: Макс Пресс, 2011. 179 с.
3. *Даценко Ю.С., Ефимова Л.Е., Заславская М.Б., Пахомова О.М.* Ионный сток в арктические моря России // Российские полярные исследования. 2016. № 1 (23). С. 12–15.
4. *Змётная М.И., Новикова Ю.В.* Современное состояние фитопланктонного сообщества и качество поверхностных вод дельты р. Северной Двины // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия «Естественные науки». 2015. № 4. С. 44–55.
5. *Максимова М.П.* Воздействие техногенеза на гидросферу. Методика оценки антропогенного химического речного стока в моря // Вестник МГОУ. Серия «Естественные науки». 2012. № 2. С. 89–96.
6. *Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю.* Влияние изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы рек России // Гидрологические последствия изменений климата: труды Британско-Российской конференции. Барнаул: Пять плюс, 2009. С. 143–151.
7. *Holmes R.M., Coe M.T., Fiske G.J., Gurtovaya T., McClelland J.W., Shiklomanov A.I., Spencer R.G.M., Tank S.E., Zhulidov A.V.* Climatic Change and Global Warming of Inland Waters: Impacts and Mitigation for Ecosystems and Societies. Ch. 1. Climate Change Impacts on the Hydrology and Biogeochemistry of Arctic Rivers / ed. by Goldman C.R., Kumagai M., Robarts R.D. Wiley, Somerset, 2012. P. 3–26.

**КОМПЛЕКСНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ  
ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАКАЗНИКА «ЦИМЛЯНСКИЙ»  
НА ПРЕДМЕТ УСТОЙЧИВОСТИ  
ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ**

***А.И. Жумбей***

---

*Южный федеральный университет,  
Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского,  
г. Ростов-на-Дону, Россия  
zhumbyay@sfedu.ru*

В настоящей работе изучен растительный и почвенный покров государственного природного заказника «Цимлянский» в контексте проявления процессов деградации ландшафта в условиях субаридного климата. Проведены полевые обследования: заложены почвенные разрезы, отобраны образцы почв из выделенных генетических горизонтов; проведено геоботаническое описание на ключевых участках. На камеральном этапе методами дистанционного зондирования проведена оценка пространственного распределения растительных сообществ по территории заказника: песчаных степей, остепненных лугов, двух типов колковых лесов (с преобладанием сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и березы повислой (*Betula pendula* Roth.)), искусственных насаждений *P. sylvestris*, байрачных лесов и зарослей тростника. На основе данных радарной топографической съемки (SRTM) построена цифровая модель высот и карта поверхностного стока для определения зон выноса и накопления атмосферной влаги. По данным спутниковой съемки Landsat 8 методом обратно-взвешенных расстояний рассчитана глубина залегания грунтовых вод на основе цифровой модели высот и точек выхода воды на поверхность. Методом синтеза каналов среднего инфракрасного, ближнего инфракрасного и красного каналов (SWIR-NIR-RED) проведено дешифрирование в зоне наименьшего увлажнения и определены границы сезонно появляющихся незакрепленных и слабозакрепленных песков [Шихов и др., 2020].

Почвенный покров заказника представлен песчаными примитивными почвами, сформированными в различных локальных условиях водного режима, растительного покрова и уровня грунтовых вод. Незакрепленные пески появляются в засушливый период года, что приводит их в движение посредством ветров.



Целью исследования является диагностирование процессов деградации ландшафта государственного природного заказника «Цимлянский». В соответствии с целью были поставлены следующие задачи:

- изучить состав почвенного покрова территории заказника;
- провести анализ растительного покрова по составу сообществ;
- оценить распределение поверхностного стока территории заказника;
- отследить годичную динамику закрепленности песков.

Почвы на территории заказника являются интразональными ввиду нехарактерной для сухостепной зоны природы формирования на песках [Вальков, Жаркова, 2008]. Почвенный покров заказника представлен небольшим спектром примитивных песчаных почв. Почвы лесных колков отличаются промывным типом водного режима и постоянным присутствием грунтовых вод на глубине от 0,8 до 2 м. Лугово-песчаные почвы также расположены на участках с близким расположением грунтовых вод, а в условиях выпотного водного режима и преобладания травянистой растительности отличаются наибольшим содержанием гумуса. Котловины выдувания заняты почвами, сформированными на переотложенных песках, некогда покрывшими более ранние примитивные почвы [Маланьин, 1970]. Почвы песчаных степей наименее дифференцированы по профилю, их гумусовый горизонт подвержен периодическому разрушению в засушливый период года, на некоторых участках в этот период пески лишаются защитного растительного покрова и становятся подверженными ветровому переносу, о чем говорит отсутствие почвенного профиля.

Растительный покров заказника ввиду малой обеспеченности атмосферными осадками и одновременно неспособностью песка задерживать влагу по мере продвижения от берегов водохранилища к четвертой надпойменной террасе представлен меньшим количеством видов. Проективное покрытие травянистой растительностью на возвышенных участках в период максимального увлажнения (май – июнь) достигает 60–70 %, но в засушливый период года (август – сентябрь) падает до 20–30 %. В понижениях мезорельефа и на второй террасе такого снижения не наблюдается. Поверхностный сток распределяется в соответствии с рельефом и физическими особенностями песков – верхние участки не задерживают большую часть осадков, которые скатываются на вторую террасу и там, при высоком уровне грунтовых вод (0,8–2 м) либо насыщают поверхностный слой почв, либо занимают микропонижения с образованием пересыхающих озер. Травянистые растительные сообщества представлены преимущественно псаммофитами.

Рельеф на территории заказника представлен второй, третьей и небольшим участком четвертой надпойменными террасами реки Дон, на которых имеется две ярко выраженные гряды бугристых песков. Котловины и бугры слагают наиболее высокие участки территории (40 м и выше) и заняты преимущественно степной травянистой растительностью, иногда ксерофитными кустарниками. На второй над-

пойменной террасе присутствуют песчаные котловины, занятые сосново-березовыми и березово-сосновыми и колковыми лесами. Первая надпойменная терраса полностью скрыта под водой Цимлянского водохранилища. Исследования удалось провести, в частности, благодаря тому, что заказник имеет статус ООПТ, при котором хозяйственная деятельность на его территории запрещена. Анализ показал наличие устоявшегося баланса почвенно-растительных условий на территории государственного природного заказника «Цимлянский». Нарушение целостности закрепляющей поверхность песков растительности приводит к их подвижности в засушливый период, из-за чего заносятся другие почвы, прекращается развитие растительных сообществ.

Исследование участков с открытыми песками, проведенное на основе методов ДЗЗ, показал циклический характер появления оголенных песков в течение года. Данное наблюдение указывает на систематическое формирование условий для ветрового переноса незакрепленных песков с территории третьей и четвертой надпойменных террас в засушливые периоды. В совокупности с примерным возрастом деревьев в лесных колках, который составляет в среднем 30–40 лет, крайне важным является фактор защищенности песков от развеивания, ведь формирование современных естественных лесов на территории заказника стало возможным после введения строгих ограничений на хозяйственную деятельность в начале 1980-х гг. и высадки искусственных насаждений *P. sylvestris* L.

Содержание элементов питания в почвах заказника достаточно для произрастания древесной и растительной флоры, что является следствием длительного периода почвообразования в условиях непрерывного почвообразования на протяжении периода с конца 1970-х гг. по настоящее время.

Поддержание данной экосистемы в устойчивом состоянии требует искусственного обновления древесных насаждений, которые на сегодняшний день частично или полностью прекратили свое существование. Рядовая посадка *P. sylvestris* L. по границам наименее обеспеченных влагой участков заказника против направления преобладающих ветров позволит создать полосы с повышенным задержанием влаги, а также по мере роста деревьев защитные полосы смогут эффективно замедлять скорость ветровых потоков. Также применение рядовых посадок деревьев на пути основных линий поверхностного стока позволит частично задержать атмосферную влагу. Естественным образом расселение *P. sylvestris* L. впоследствии может охватить котловины третьей и четвертой надпойменных террас.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке проекта Министерства науки и высшего образования РФ по поддержке молодежной лаборатории «Агробиотехнологии для повышения плодородия почв и качества сельскохозяйственной продукции» в рамках программы развития межрегионального научно-образовательного центра Юга России (№ ЛабНОЦ-21-01АБ).*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Маланьин А.Н.* Почвы и типы лесных колков на песчаных террасах среднего и нижнего Дона: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1970.
2. *Вальков В.Ф., Жаркова М.Г.* Песчаные почвы Юга России // Научная мысль Кавказа. 2008. № 3 (55). С. 48–52.
3. *Шихов А.Н., Герасимов А.П., Пономарчук А.И., Перминова Е.С.* Тематическое дешифрирование и интерпретация космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения. Пермь: ПГНИУ, 2020. 191 с.

**БЕРЕГОВАЯ ЗОНА:  
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ  
(к вопросу о терминологическом статусе)**

***В.В. Ионов***

---

*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия  
victor@VI3787.spb.edu*

В Объявлении прошлой конференции «Опасные явления – III» были сформулированы основные ее темы. В названии конференции и списке направлений (секций) обсуждаемый объект исследований обозначался по-разному: в названии – прибрежная зона; в третьей секции – *береговые* процессы, в шестой – экосистемы *побережий*, в девятой – *береговая* инфраструктура и в тринадцатой – *прибрежные* регионы. Разнообразие определений одного и того же географического объекта побуждает к терминологическим пояснениям.

Тем не менее термины, определяющие понятие береговой зоны, уже используются в научной среде. Это, в первую очередь, термины, сформулированные по запросам отечественного ВМФ морским наукам:

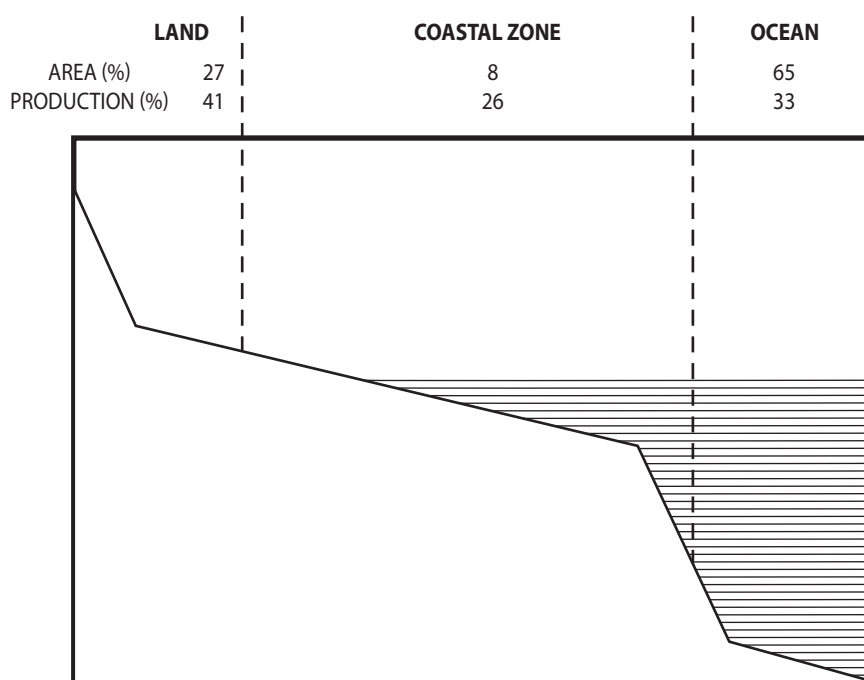
- «При описании конфигурации и рельефа морских берегов и процесса их формирования следует говорить о сравнительно широкой полосе взаимодействия суши и моря, БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ. Она делится на две части: собственно, берег и прибрежье, т.е. часть дна на взморье» [Егоров и др., 1962].
- «БЕРЕГ – зона взаимодействия между сушей и водным бассейном или водотоком (рекой, временным русловым потоком). Главными факторами формирования берегов служат волны, прибойный поток и твердый сток рек, в наиболее яркой форме проявляющийся в *береговой зоне моря ...*» (здесь и далее курсив автора. – *В.И.*) [Атлас океанов, 1980].
- «ЗОНА БЕРЕГОВАЯ – зона взаимодействия *водного объекта* и суши, включающая *берег* и *береговой подводный склон*» [Справочник ... 1984].
- «ЗОНА ПРИБРЕЖНАЯ... – водное пространство океанов и морей, лежащее вдоль берега. Ширина прибрежной зоны – 30–50 миль» [Справочник ... 1984].

Приведенные определения призваны продемонстрировать, что терминологический аппарат, относящийся к понятию «береговая зона», существуют давно

и нацелен на описание не только океанографических особенностей, но также геологических и геоморфологических причин существования географического объекта.

Однако с годами даже в справочной литературе утрачивается строгость формулировок, и появляется двойственность определений (*береговая / прибрежная зона*).

*Береговая зона* как область природного взаимодействия суши и моря [Land-Ocean Interactions ... 1993].



**Рис. 1.** Оценки относительной площади и биологической продукции (в процентах от общемирового объема) для суши, береговой зоны и открытого океана

Представление о природном (помимо антропогенного) преобладающем значении *береговой зоны* для жизни на Земле дает сравнение процентных соотношений площадей и величин биологической продукции различных частей поверхности планеты: 1,5; 3,2; 2,0. Береговая зона – важная часть природной среды, которая обеспечивает мировое производство необходимыми человечеству ресурсами. В то же время результаты взаимодействия человека и природы, при осуществлении хозяйственной деятельности, по своим последствиям уже сравнимы с результатами неблагоприятных природных процессов. Поэтому важно всеобъемлющее определение *береговой зоны*.

Согласно формуле специальности ВАК 25.00.36, задачей геоэкологии является изучение изменений жизнеобеспечивающих ресурсов геосферных оболочек под влиянием природных и антропогенных факторов, их охрана, рациональное использование и контроль с целью сохранения продуктивной природной среды.



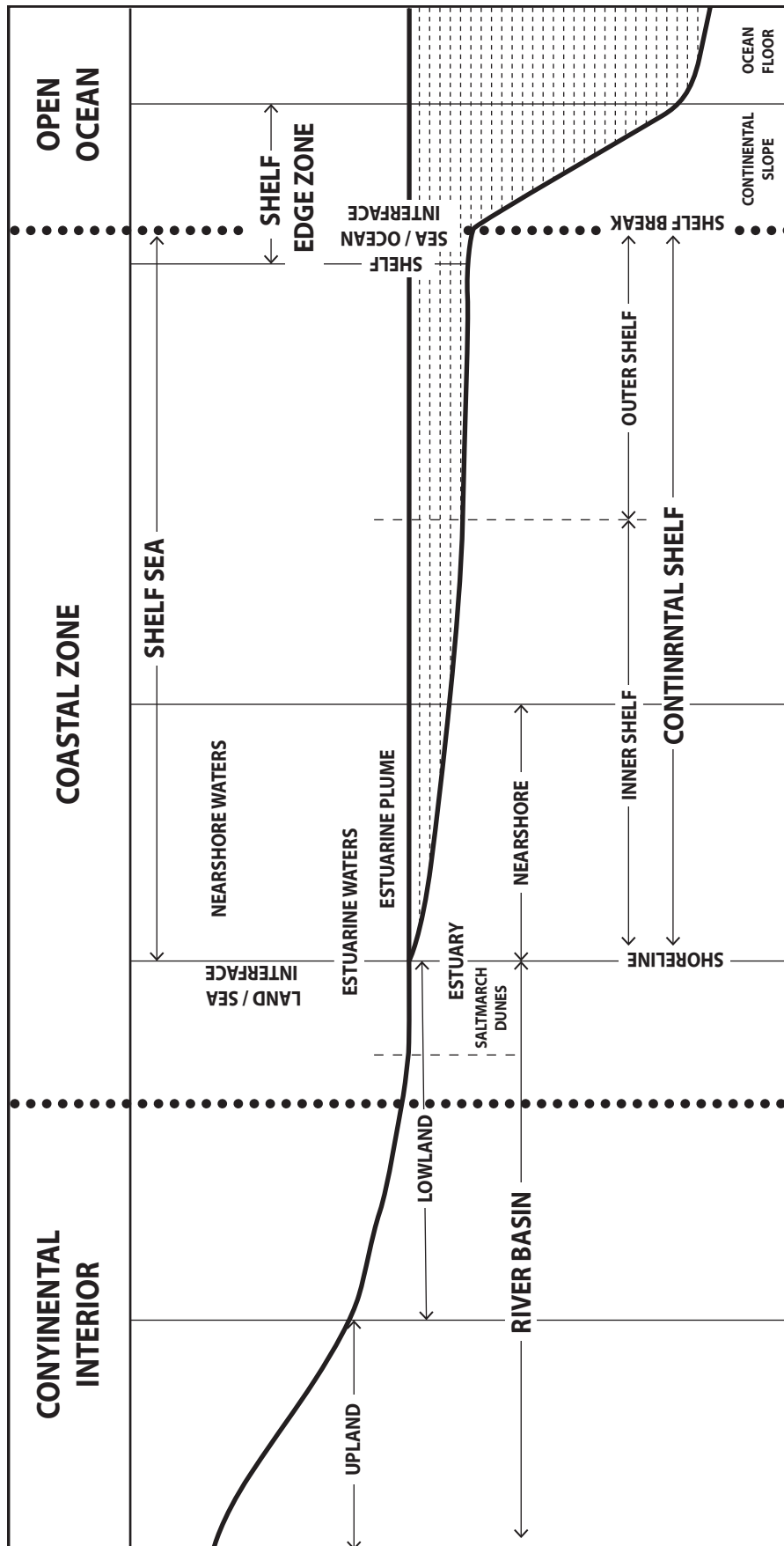


Рис. 2. Определение береговой зоны, континентального шельфа и других особенностей границы между сушей и океаном. Относительный размер этих компонентов демонстрирует значительную географическую изменчивость

А.Г. Исаченко считает, что геоэкологию можно определить как раздел географической науки, предметом которого является изучение географической среды с экологической точки зрения, в целях решения экологических проблем человечества по обеспечению производства необходимыми ресурсами (сырьевыми, энергетическими) [Исаченко, 2003]. Опираясь на это определение и учитывая сказанное выше, считаем, что физико-географический объект «береговая зона» равным образом является и объектом геоэкологии.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас океанов: в 7 т. Т. 4: Термины. Понятия. Справочные таблицы / отв. ред. С.Г. Горшков. М.: ГУНиО МО СССР, 1980. 156 с.
2. Егоров Н.И., Безуглый И.М., Снежинский В.А. Берега и дно океанов и морей // Морская гидрометеорология / ред. В.А. Снежинский. Курс кораблевождения. Т. VI. Л.: Управление Гидрографической службы ВМФ, 1962. 524 с.
3. Исаченко А.Г. Введение в экологическую географию: учеб. пособие. СПб.: Изд-во С.-Петербургского ун-та, 2003. 192 с.
4. Справочник гидрографа по терминологии / вед. ред. Е.И. Кузнецов. Л.: ГУНиО МО СССР, 1984. С. 128.
5. Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone (LOICZ). Science Plan / P.M Holligan, H. de Boois (eds.). IGBP Report No. 25. Stockolm, 1993. 50 p.

## К ИЗУЧЕНИЮ ФАУНЫ ПАРАЗИТОВ ЛЕЩА (*Abramis brama* L., 1758) В АЗОВО-ДОНСКОМ БАССЕЙНЕ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

*А.В. Казарникова, Ю.В. Степанова*

Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия  
*kazarnikova@ssc-ras.ru, yuliast21@mail.ru*

Для населения Ростовской области лещ *Abramis brama* L., 1758 является одним из важнейших в промысловом значении видом. Это полупроходной вид, выдерживающий соленость до 11 ‰, но предпочитающий зоны слабого осолонения (2–6 ‰) [Чередников и др., 2020]. Несмотря на высокую экологическую пластичность, к настоящему времени существенная часть запаса была утрачена в силу преобразования экосистемы и промысловой активности, в т.ч. нелегальной [Куцын, 2016].

Азово-Черноморское течение является одним из ключевых факторов воздействия на соленость в Азовском бассейне. С 2009 по 2015 г. средний показатель солености для Азовского моря увеличился с 11 до 12,8 ‰ [Балыкин и др., 2019]. Наряду с этим, причины увеличения солености кроются во внутривековой цикличности климата (30, 60 лет), уменьшении стока после перекрытия долины Дона Цимлянской плотиной в 1952 г. и учащении лет с аномально низким стоком [Матишов, 2016]. Все это не могло не оказать влияния на кормовую базу, запасы и уловы леща.

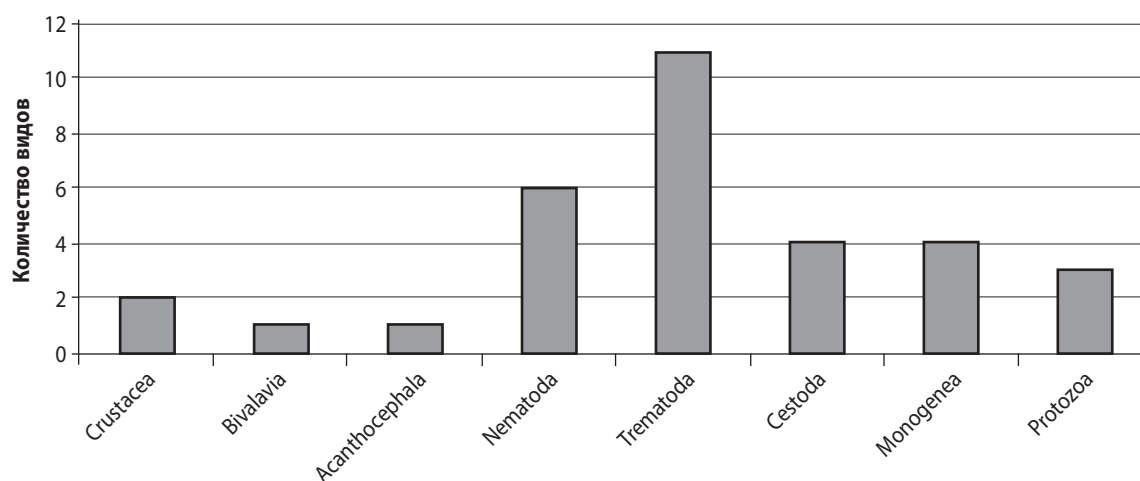
Эпизоотологическая ситуация в Азовском бассейне во многом зависит от гидролого-гидрохимических факторов, которые могут влиять как на видовое разнообразие паразитов, так и на их численность.

Целью настоящего исследования было проведение анализа изменений в фауне паразитов леща в дельте реки Дон и восточной части Таганрогского залива в современных условиях.

Материалом для данной работы послужили данные комплексного ихтиологического и паразитологического мониторинга, проводимого в восточной части Таганрогского залива и дельте р. Дон (береговая научно-экспедиционная база ЮНЦ РАН «Кагальник») в 2019–2021 гг., а также данные, опубликованные в литературе.

Методом клинического осмотра и полного паразитологического вскрытия обследовано 291 экз. леща. Вскрытие рыб, сбор, фиксацию и дальнейшую обработку паразитов производили по общепринятым методикам [Быховская-Павловская, 1985]. Видовую принадлежность обнаруженных паразитов определяли с использованием «Определителя паразитов пресноводных рыб фауны СССР» [1984, 1985, 1987].

Изучение фауны паразитов леща ведется с середины прошлого столетия. Согласно проведенным исследованиям, в водоемах Азовского бассейна у данного вида было отмечено 32 вида паразитов [Гаевская, 2013; Казарникова, 2021]. Наибольшее видовое разнообразие было зарегистрировано для нематод и трематод (рис. 1).



**Рис. 1.** Таксономический состав паразитов леща дельты р. Дон, Таганрогского залива и Азовского моря

В общей сложности в районе исследований у леща выявлено 19 видов паразитических организмов, из которых 78 % принадлежит к пресноводной фауне (табл. 1).

Проведенные исследования показывают, что паразитарные сообщества леща, были представлены как широко распространенными, так и характерными для карповых рыб видами паразитов, имеющими прямой (37 %) и сложный (63 %) цикл развития.

**Таблица 1.** Паразитофауна леща в водоемах Азово-Донского бассейна в современный период

Вид паразита	Экологическая группа	Локализация	Информационный источник
1	2	3	4
<b>кл. Мухозоа</b>			
<i>Mухobolus muelleri</i>	Э	жабры	Наши данные; [Гаевская, 2013]
<b>кл. Oligohymenophorea</b>			
<i>Trichodina</i> sp.	–	жабры	Наши данные
<b>кл. Monogenea</b>			
<i>Dactylogyrus crucifer</i> *	Э	жабры	[Бортников и др., 2017]
<i>Dactylogyrus spyrna</i> *	П	жабры	[Казарникова, 2021]
<i>Dactylogyrus wunderi</i> *	Э	жабры	Наши данные; [Казарникова, 2021]

Продолжение табл. 1

1	2	3	4
<b>кл. Trematoda</b>			
<i>Vucephalus polymorphus</i> , <i>Vucephalus polymorphus met.</i>	П	мускулатура туловища	[Бортников и др., 2017]
<i>Paracoenogonimus ovatus</i>	П	мускулатура спины, жабры, стекловидное тело	[Гаевская, 2013; Казарникова, 2021]
<i>Diplostomum spathaceum met.</i>	П	хрусталик глаза	Наши данные; [Гаевская, 2013]
<i>Diplostomum sp. met.</i>	–	хрусталик глаза	Наши данные; [Стрижакова и др., 2015; Бортников и др., 2017; Казарникова, 2021]
<i>Tylodelphis clavata met.</i>	П	стекловидное тело глаза	[Бортников и др., 2017]
<b>кл. Cestoda</b>			
<i>Caryophyllaeus fimbriceps*</i>	П	кишечник	[Бортников, 2017; Бортников и др., 2017]
<i>Caryophyllaeus laticeps*</i>	П	кишечник	[Бортников, 2017; Бортников и др., 2017; Казарникова, 2021]
<i>Ligula intestinalis</i>	П	полость тела	[Петришко, 2018; Казарникова, 2021]
<i>Digramma interrupta</i>	П	полость тела	[Казарникова, 2021]
<b>кл. Nematoda</b>			
<i>Eustrongylides excisus</i> J.	Э	серозные покровы тела, ткани внутренних органов	[Казарникова, 2021]
<i>Contracaecum</i> sp. 1.	–	кишечник	Наши данные; [Гаевская, 2013]
<b>кл. Bivalvia</b>			
<i>Unionidae</i> gen. sp.	П	жабры	Наши данные; [Казарникова, 2021]
<b>кл. Copepoda</b>			
<i>Caligus lacustris</i>	П	жабры	Наши данные
<i>Ergasilus</i> sp.	–	жабры	Наши данные; [Гаевская, 2013]

Примечания: П – пресноводный, Э – эвригалинный;

\* – виды, паразитирующие у карповых рыб.



Наибольшее видовое разнообразие (5 и 4 вида) было отмечено для трематод (*Bucephalus polymorphus*, *Diplostomum* sp., *D. spathaceum*, *Paracoenogonimus ovatus*, *Tylodelphis clavata*) и цестод (*Caryophyllaeus laticeps*, *C. fimbriceps*, *Ligula intestinalis*, *Digamma interrupta*). Моногенеи были представлены 3 видами (*Dactylogyrus crucifer*, *D. spyrna*, *D. wunderi*). Немногочисленными (1–2 вида) были представители простейших (*Myxobolus muelleri*, *Trichodina* sp.), нематод (*Contracaecum* sp., *Eustrongylides excisus*), моллюсков (*Unionidae* gen. sp.) и ракообразных (*Caligus lacustris*, *Ergasilus* sp.).

К условно-патогенным видам паразитов, нередко вызывающим заболевания рыб в условиях аквакультуры, относятся по 1 виду трематод (*Diplostomum spathaceum*) и моллюсков (*Unionidae* gen. sp.), 4 вида цестод (*Caryophyllaeus laticeps*, *C. fimbriceps*, *Ligula intestinalis*, *Digamma interrupta*). Это важно учитывать при анализе эпизоотической ситуации в дельте р. Дон, так как здесь находятся рыболовные хозяйства, объектами выращивания которых являются проходные и полупроходные рыбы.

Потенциально опасными для человека и животных являются трематода *Paracoenogonimus ovatus*, и нематода *Eustrongylides excisus*.

Пути циркуляции зарегистрированных видов гельминтов в биоценозах экосистем Азовского бассейна разнообразны и могут быть разбиты на следующие типы:

1. Развитие без промежуточных хозяев: *Dactylogyrus crucifer*, *D. spyrna*, *D. wunderi*;
2. Развитие с одним промежуточным хозяином (промежуточные хозяева – олигохеты): *C. laticeps*, *C. fimbriceps*;
3. Развитие с двумя промежуточными хозяевами (первые промежуточные хозяева – моллюски, вторые – рыбы-бентофаги, дефинитивные – хищные рыбы): *B. polymorphus*;
4. Развитие с двумя промежуточными хозяевами (первые промежуточные хозяева – моллюски, вторые – рыбы, дефинитивные – рыбоядные птицы): *Diplostomum* sp., *D. spathaceum*, *P. ovatus*, *T. clavata*;
5. Развитие с двумя промежуточными хозяевами (первые промежуточные хозяева – низшие ракообразные, вторые – рыбы, дефинитивные – рыбоядные птицы): *L. intestinalis*, *D. interrupta*;
6. Развитие с двумя промежуточными хозяевами (первые промежуточные хозяева – олигохеты, вторые – рыбы, дефинитивные – рыбоядные птицы): *E. excisus*.

Изменение солености Азовского моря, которое затронуло Таганрогский залив и дельту реки Дон, привело к неоднородности запасов зообентоса и излюбленной пище леща – ракообразных, червей, личинок насекомых и моллюсков. В условиях продолжающегося осолонения можно предположить уменьшение зараженности леща пресноводными видами паразитов и увеличение – эвригалинными. Меняющиеся условия среды не могут не оказать влияние на взаимоотношения в системе «паразит – хозяин», что особенно важно для объектов аквакультуры в водоемах Азовского бассейна.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балыкин П.А., Куцын Д.Н., Орлов А.М. Изменения солености и видового состава ихтиофауны в Азовском море // *Океанология*. 2019. Т. 59. № 3. С. 396–404.
2. Бортников Е.С. Цестоды промысловых рыб в бассейне Нижнего Дона // *Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса: мат-лы V науч.-практ. конф. молодых ученых с международным участием*. М.: Изд-во ВНИРО, 2017. С. 46–48.
3. Бортников Е.С., Стрижакова Т.В., Шевкоплясова Н.Н. Состояние паразитофауны основных промысловых рыб Азовского и Черного морей в 2016 г. // *Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование: мат-лы VIII Всерос. науч.-практ. конф., посвященной 75-летию рыбохозяйственного образования на Камчатке (12–14 апреля 2017 г.)*. Часть I. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2017. С. 46–49.
4. Быховская-Павловская И.Е. *Паразиты рыб: руководство по изучению*. Л.: Наука, 1985. 123 с.
5. Гаевская А.В. *Паразиты и болезни рыб Чёрного и Азовского морей: II – полупроходные и пресноводные рыбы*. Севастополь: Экокси-Гидрофизика, 2013. 354 с.
6. Казарникова А.В. Анализ эпизоотического состояния рыб дельты Дона и Восточной части Таганрогского залива в современных условиях // *Наука Юга России*. 2021. Т. 17. № 1. С. 97–108.
7. Куцын Д.Н. Структура популяций и рост леща *Abramis brama* (L., 1758) и плотвы *Rutilus rutilus* (L., 1758) Азовского моря в условиях антропогенного преобразования гидрологического режима: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Мурманск, 2016. 26 с.
8. Матишов Г.Г. Климат, водные ресурсы и реконструкция гидротехнических сооружений с учетом интересов населения, рыболовства и сельского хозяйства, судоходства и энергетики. Доклад на расширенном заседании Президиума Южного научного центра РАН (г. Ростов-на-Дону, 25 мая 2016 г.). Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2016. 64 с.
9. *Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР*. Т. 1. Паразитические простейшие. Л.: Наука, 1984. 428 с.
10. *Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР*. Т. 2. Паразитические многоклеточные (первая часть). Л.: Наука, 1985. 425 с.
11. *Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР*. Т. 3. Паразитические многоклеточные (вторая часть). Л.: Наука, 1987. 583 с.
12. Петришко В.Ю., Фирсова Г.Д., Миронова А.А. Динамика инвазированности промысловых рыб в водоемах Ростовской области в 2012–2016 годах // *Ветеринарная патология*. 2018. № 2 (64). С. 11–16.
13. Стрижакова Т.В., Дахно Л.Г., Шевкоплясова Н.Н. Влияние диплостомид на рост молоди леща в выростных водоемах донских НВХ (на примере Кулешовского

- рыбоводного хозяйства) // Актуальные проблемы аквакультуры в современный период: мат-лы Междунар. науч. конф. (г. Ростов-на-Дону, 28 сент. – 2 окт. 2015 г.). Ростов н/Д.: Изд-во ФГБНУ «АзНИИРХ», 2015. С. 171–173.
14. *Чередников С.Ю., Власенко Е.С., Жердев Н.А., Кузнецова И.Д., Лукьянов С.В.* Лимитирующие факторы абиотической среды и биологические особенности важнейших промысловых мигрантов Азовского моря // *Водные биоресурсы и среда обитания*. 2020. Т. 3. № 1, С. 27–41.

## ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕССА СОРБЦИИ ИОНОВ МЕДИ ШТАММОМ *Bacillus atrophaeus*

**С.В. Козьменко, В.В. Зинченко, А.В. Горовицов,  
С.Н. Сушкова, Т.М. Минкина**

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия  
kozmenko@sfedu.ru

Усиление антропогенного влияния на окружающую среду приводит к трансформации экосистем и изменениям в естественных комплексах почвенной биоты. Так попадание в почву высоких концентраций тяжелых металлов (ТМ), которые являются отходами многих видов промышленных производств, автотранспорта и пр., приводит к загрязнению и деградации почв, уменьшает биоразнообразие за счет гибели микроорганизмов, растений и животных [Шамшиев, 2021]. Попадая в почвы сельскохозяйственного назначения, ТМ накапливаются в вегетативных частях культурных растений, после чего с пищей попадают в организм человека, вызывая тяжелые отравления. На повышение концентрации ТМ в почвах наиболее быстро реагируют микробные сообщества. Бактерии имеют различные механизмы, которые позволяют им связывать ионы ТМ, тем самым снижая их токсичность [Пищик и др., 2016]. Это свойство микроорганизмов обуславливает их устойчивость к ТМ, а также возможность разработки технологий ремедиации почв с использованием металлоустойчивых штаммов. Наиболее перспективными для этих целей являются бактерии рода *Bacillus*.

В данном исследовании использованы штаммы *Bacillus atrophaeus*, которые были выделены из хемоземов высохшего о. Атаманское, характеризующихся высоким содержанием тяжелых металлов. Штамм был идентифицирован до вида с помощью секвенирования гена 16S рНК, а также при помощи масс-спектрометрии MALDI-TOF на приборе Bruker Daltonics Biotyper [Gorovtsov et al., 2019].

Для оценки влияния рН среды на сорбционные свойства штамма *Bacillus atrophaeus* готовился ряд цитратно-фосфатных буферных растворов со значением рН от 3 до 8, с шагом 1 и содержанием меди 10 мМоль/л, медь добавлялась в форме  $\text{CuSO}_4$ . Данный диапазон был выбран исходя из диапазона кислотности почв Ростовской области.

Для приготовления суспензии производилось предварительное накопление суточной культуры на мясо-пептонном агаре, после чего готовилась суспензия

бактерий в стерильной воде. Клетки осаждалась при помощи центрифуги (10 000 g, 5 мин.), супернатант удалялся и измерялась масса осадка, после чего вносился буфер с соответствующим рН в соотношении 1 : 10, и смесь барботировалась. Инкубация производилась при температуре 30° С в течение 16 ч. Центрифугирование повторяли, аликвоту супернатанта разбавляли в соотношении 1 : 100 деионизированной водой и определяли содержание меди при помощи атомно-абсорбционного спектрометра «Квант 2мт». Количество связанной меди рассчитывалось как разница между содержанием металла в контрольном образце и опытном образце с внесением биомассы бактерий.

Для получения данных о влиянии равновесной концентрации на эффективность сорбции был приготовлен ряд буферов с концентрациями меди 0,02; 0,05; 0,08; 0,1; 0,3; 0,5; 1 мМоль/л. Опыт проводился по методике аналогичной для оценки сорбционных свойств исследуемого штамма при разных показателях рН среды.

Результаты проведенных исследований по влиянию рН среды на сорбцию меди у *B. atrophaeus* представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** Влияние рН на адсорбцию меди *B. atrophaeus*

рН	Количество адсорбированного металла в ммоль/г
	<i>Bacillus atrophaeus</i>
3	0,022 ± 0,005
4	0,046 ± 0,002
5	0,023 ± 0,005
6	0,029 ± 0,000
7	0,043 ± 0,008
8	0,012 ± 0,003

Наибольшими значениями сорбции ионов меди для *B. atrophaeus* без статистически достоверных отличий являются рН 4 и 7. Хотя экспериментальные данные отличаются от литературных, так в работах других авторов, таких как Moon E.M., Peacock C.L. [2011] и Oves M., Khan M.S., Zaidi A. [2013], наибольшие значения адсорбции ионов меди на поверхности микроорганизмов фиксируются при рН среды 6, нами было принято как оптимальное значение рН 4. При данном значении рН соли меди лучше растворяются в буферном растворе. Кроме того, схожий рН имеют техногенно-загрязненные почвы, что позволяет экстраполировать данные эксперимента на этот тип объектов. В дальнейшем это поможет при разработке технологий биоремедиации.

Для объяснения процесса адсорбции используют изотермы, которые отражают распределение молекул адсорбата между жидкой и твердой фазой при достижении системой равновесного состояния [Nghah, Fatinathan, 2010]. Результаты влияния



разных равновесных концентраций Cu (II) на сорбционные свойства исследуемых штаммов микроорганизмов представлены в таблице 2.

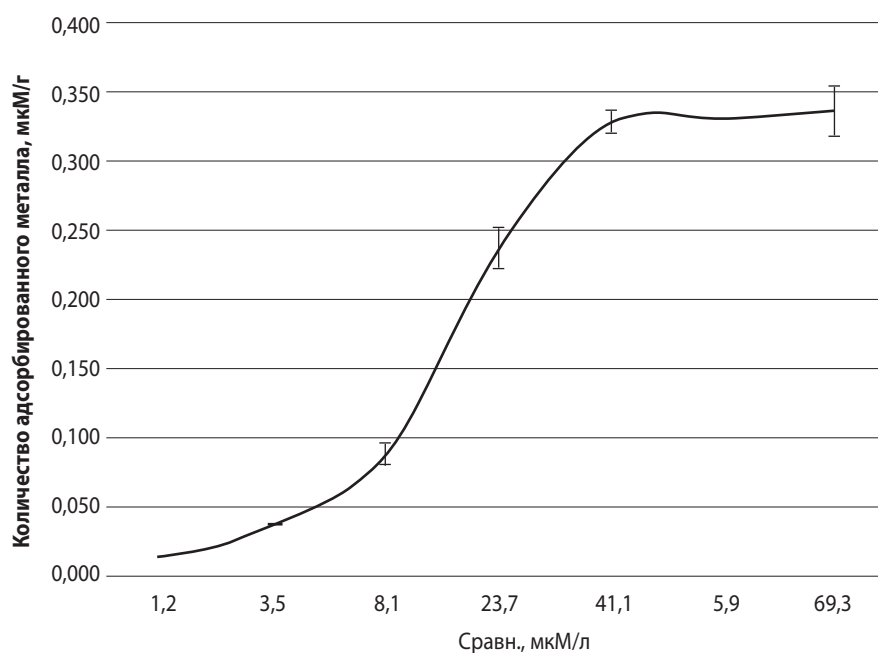
**Таблица 2.** Влияния равновесных концентраций Cu (II) на сорбционные свойства *Bacillus atrophaeus*, мкмоль/г

Сравн., мкМ/л	<i>Bacillus atrophaeus</i>
1,2	0,012 ± 0,001
3,5	0,037 ± 0,001
8,1	0,089 ± 0,008
23,7	0,237 ± 0,014
41,1	0,330 ± 0,008
5,9	0,334 ± 0,0001
69,3	0,338 ± 0,02

В данном исследовании было применено уравнение изотермы Ленгмюра.

$$C_{ад} = C_{\infty} K_l C_p / (1 + K_l C_p),$$

где  $C_{ад}$  – количество поглощенных катионов,  $C_{\infty}$  – величина максимальной адсорбции металла, мМ·кг<sup>-1</sup> почвы;  $K_l$  – константа Ленгмюра, л·мМ<sup>-1</sup>,  $C_p$  – концентрация металла в равновесном растворе, мМ·л<sup>-1</sup>.



**Рис. 1.** Изотерма адсорбции Cu (II) на *Bacillus atrophaeus*

Согласно расчету уравнения Ленгмюра, теоретический максимум адсорбированного металла составляет  $C_{\infty} = (0,4 \pm 0,1)$  мкмоль/г. Теоретические значения адсорбции, рассчитанные с помощью уравнения Ленгмюра, близки к экспериментальным. Данные уравнения количественно демонстрируют сродство биосорбента с ионами металлов и максимально возможное количество поглощенного металла.

Константа Ленгмюра для данного штамма составляет  $K_L = 113,24 \pm 5,66$ , что свидетельствует о высоком сродстве биосорбента с ионами металлов.

Таким образом, с увеличением рН среды количество поглощенной меди растет до значения рН 4, после чего сорбция металла снижается. Такая тенденция связана со снижением растворимости солей меди в растворе с увеличением рН среды. Исходя из полученных данных о кинетике процесса сорбции, можно сделать вывод о высоком сродстве биосорбента с ионами металла, что говорит о перспективности дальнейшего изучения *Bacillus atrophaeus* и его возможном использовании в технологиях ремедиации почв, загрязненных тяжелыми металлами.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № Грант РФФ 19-74-10046-П в Южном федеральном университете.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пищик В.Н. и др. Механизмы адаптации растений и микроорганизмов в растительно-микробных системах к тяжелым металлам // Микробиология. 2016. Т. 85. № 3. С. 231–247.
2. Шамшиев А.Б. Негативные последствия загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами и их влияние на живой организм // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2021. № 1. С. 49–54.
3. Gorovtsov A., Vishnu R., Minkina T., Mandzhieva S., Sushkova S., Kornienko I., Grigoryeva T., Chokheli V., Aleshukina I., Zinchenko V., Fedorenko E., Movsesyan H. The role of biochar-microbe interaction in alleviating heavy metal toxicity in *Hordeum vulgare* L. grown in highly polluted soils // Applied Geochemistry. 2019. Vol. 104. P. 93–101.
4. Moon E.M., Peacock C.L. Adsorption of Cu (II) to *Bacillus subtilis*: a pH-dependent EXAFS and thermodynamic modelling study // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2011. Vol. 75. No. 21. P. 6705–6719.
5. Oves M., Khan M.S., Zaidi A. Biosorption of heavy metals by *Bacillus thuringiensis* strain OSM29 originating from industrial effluent contaminated north Indian soil // Saudi journal of biological sciences. 2013. Vol. 20. No. 2. P. 121–129.

## СОЧЕТАННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЙМЕННЫХ И ПРИБРЕЖНЫХ ПОЧВ ЮГА РОССИИ – ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ

*Е.Ю. Константинова, Т.М. Минкина, С.С. Манджиева, Д.Г. Невидомская,  
Т.В. Бауэр, М.В. Бурачевская, И.В. Замулина, С.Н. Сушкова*

---

*Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия  
konstantliza@gmail.com*

Район Нижнего Дона и прилегающее побережье Таганрогского залива считается одним из наиболее экономически развитых и антропогенно преобразованных регионов Юга России. Данная территория характеризуется высокой плотностью населения, интенсивным сельским хозяйством и развитым промышленным сектором [Matishov et al., 2015]. Одно из основных последствий техногенеза в пределах рассматриваемой территории связано с деградацией почвенного покрова, вызванной химическим загрязнением [Minkina et al., 2021; Konstantinova et al., 2021]. Кроме того, загрязнение почвы может отрицательно сказаться на здоровье населения, проживающего на данной территории либо вовлеченного в сельское (в том числе подсобное) хозяйство, рекреационную деятельность и сферу услуг.

Ранее было показано, что почвы Нижнего Дона и побережья Таганрогского залива значительно загрязнены тяжелыми металлами и металлоидами (ТМ) [Minkina et al., 2021; Konstantinova et al., 2021] и полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ) [Dudnikova et al., 2022]. В вышеупомянутых исследованиях обсуждаются уровни и потоки поллютантов в почвах, а также их источники и пространственное распределение. В то же время экологические риски и риски для здоровья человека, создаваемые сочетанным загрязнением почв ТМ и ПАУ района исследования, ранее не оценивались.

Экспедиционные исследования проводились в Ростовской области и Краснодарском крае летом 2020 г. Отобрано 86 поверхностных проб почв (0–20 см), характеризующих элювиальные, транссупераквальные и супераквальные ландшафты системы Нижний Дон – Таганрогский залив (рис. 1). В районе исследований преобладают аллювиальные луговые и луговые почвы. На южном побережье залива распространены солончаки соровые. В автоморфных условиях формируются черноземы обыкновенные, неполноразвитые степные, дерново-намытые почвы. Реакция среды

в почвах варьирует от нейтральной до сильнощелочной (рН 7,2–8,9). Преобладают легкоглинистые, тяжело-, средне-, легкосуглинистые разновидности, встречаются почвы супесчаного состава.

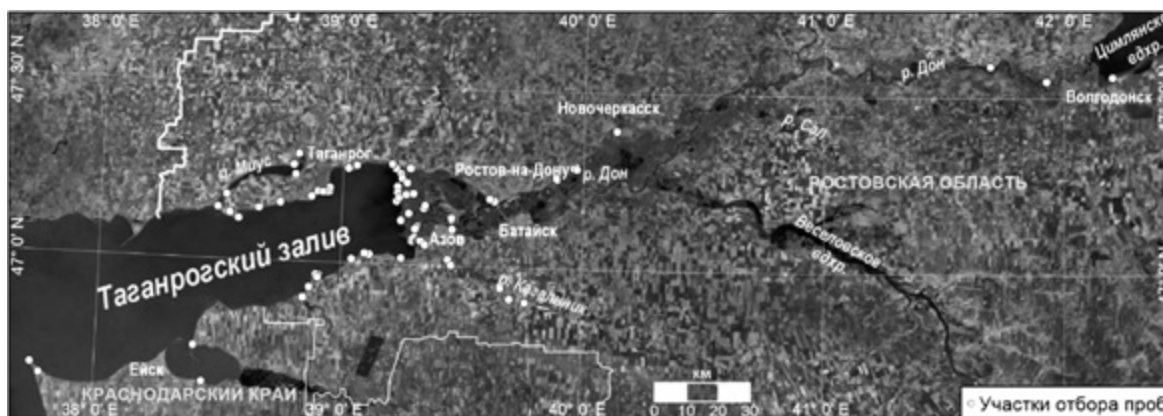


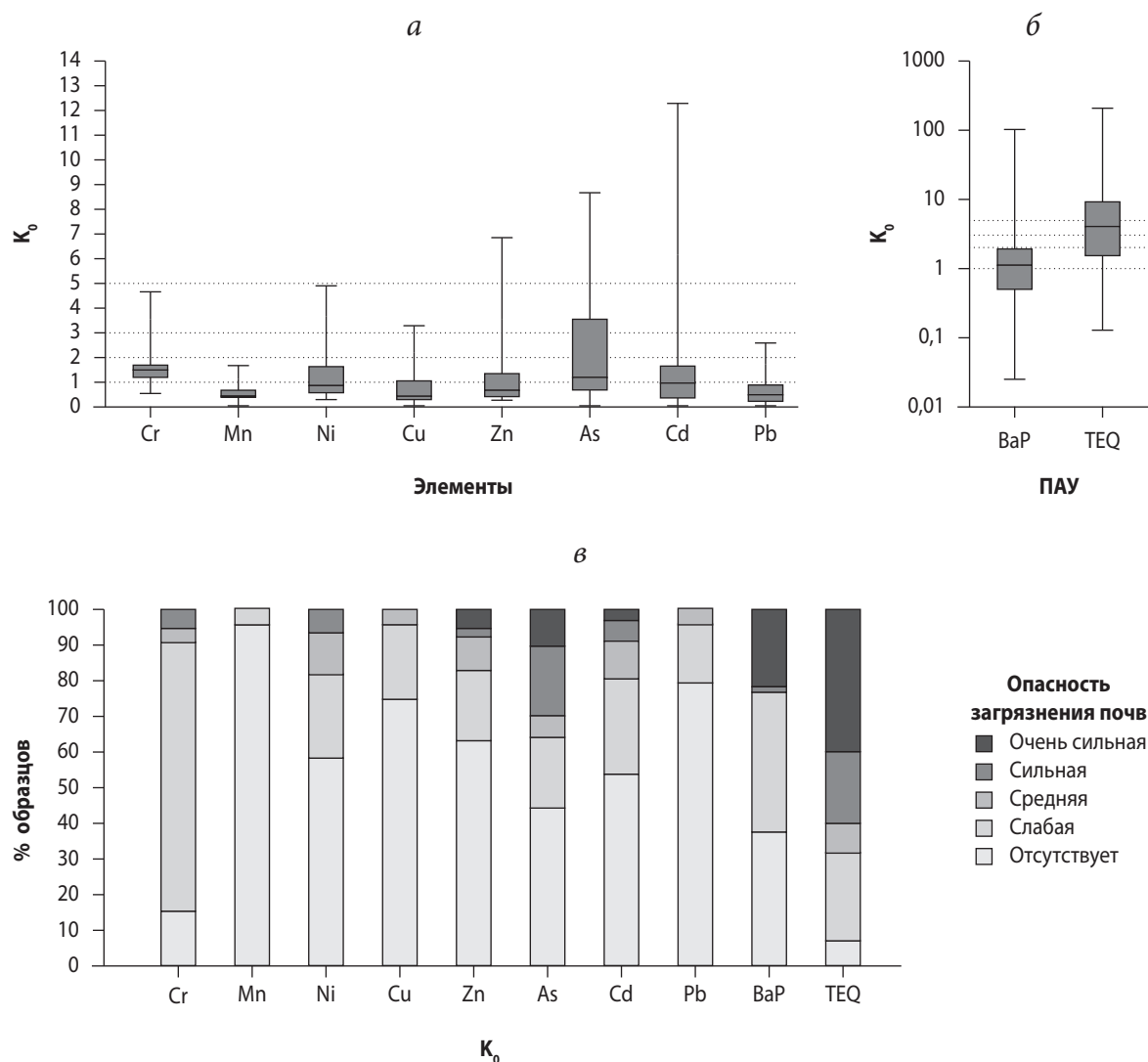
Рис. 1. Схема расположения участков отбора почвенных проб

Валовое содержание ТМ (Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb) в почвах определено рентгенфлуоресцентным методом на спектрокане “МАКС-GV”. Содержание ПАУ в почвах определено высокоэффективной жидкостной хроматографией с флуориметрическим детектированием на приборе “Infinity 1260” Agilent и системе “Infinity 1260” Agilent с масс-спектрометрическим детектором ABSCIEX QTrap 3200. Экстракция ПАУ из почв выполнена методом омыления. Определены содержания 15 приоритетных ПАУ: нафталина (NAP), аценафтилена (ACY), аценафтена (ACE), флуорена (FLU), фенантрена (PHE), антрацена (ANT), флуорантена (FLT), пирена (PYR), бенз(а)антрацена (BaA), хризена (CHR), бенз(б)флуорантена (BbF), бенз(к)флуорантена (BkF), бенз(а)пирена (BaP), бенз(г,х,и)перилена (BghiP), дибенз(а,х)антрацена (DBA).

Экологическая опасность загрязнения почв оценивалась на основе коэффициента опасности ( $K_o$ ) путем сравнения содержаний ( $C_i$ ) с предельно и ориентировочно допустимыми концентрациями (ПДК и ОДК) ТМ и BaP в почвах [СанПиН 1.2.3685-21, 2021]:  $K_o = C_i / \text{ПДК}$ . Для валового Cr использовано нормативное значение элемента в сельскохозяйственных почвах, принятое в Канаде [ССМЕ, 1999]. Учитывая, что ПАУ попадают в окружающую среду в виде смеси, экологическая опасность оценивалась по их общему содержанию в почвах, выраженному как количество токсического эквивалента бенз(а)пирена (TEQ), представляющего собой сумму концентраций токсических эквивалентов BaP (TEF) отдельных ПАУ [Nisbet, Lago, 1992]:  $\text{TEQ} = \sum(\text{TEF} \times C_i)$ .

Показано, что медианные значения  $K_o$  возрастают в ряду: Cu (0,4) < Pb = Mn (0,5) < Zn (0,6) < Ni (0,8) < Cd (0,9) < BaP (1,1) < As (1,1) < Cr (1,5) (рис. 2а). Среди всех поллютантов Mn представляет наименьший риск загрязнения почвы.

Только в 4,7 % образцов отмечено слабое загрязнение, остальные 95,3 % не загрязнены (рис. 2в). Уровень опасности Pb более существенен: 16,3 % проб характеризуются слабым и 4,7 % средним загрязнением. Опасность загрязнения от слабой до сильной отмечена для Cu, Ni и Cr (в 25,6, 41,9 и 84,5 % проб соответственно). Наиболее опасными поллютантами являются Zn, As, Cd и BaP, содержание которых в отдельных образцах превышает нормативы в 6,8; 8,7; 12,2 и 100,7 раза соответственно (рис. 2а, б). Песчаные почвы, для которых установлены более жесткие ОДК, более чувствительны к загрязнению, чем почвы с более тяжелой текстурой. Соответственно, наиболее высокие значения  $K_0$  характерны для легких почв, особенно в импактных зонах антропогенных источников. Сильное и очень сильное загрязнение отмечается в 8,1 % проб по Zn, 9,3 % по Cd, 22,1 % по BaP и 30,2 % по As (рис. 2в).



**Рис. 2.** Вариабельность коэффициентов опасности ( $K_0$ ): (а) элементов, (б) бенз(а)пирена (BaP) и количества токсического эквивалента ПАУ (TEQ); (в) распределение почв по степени опасности загрязнения

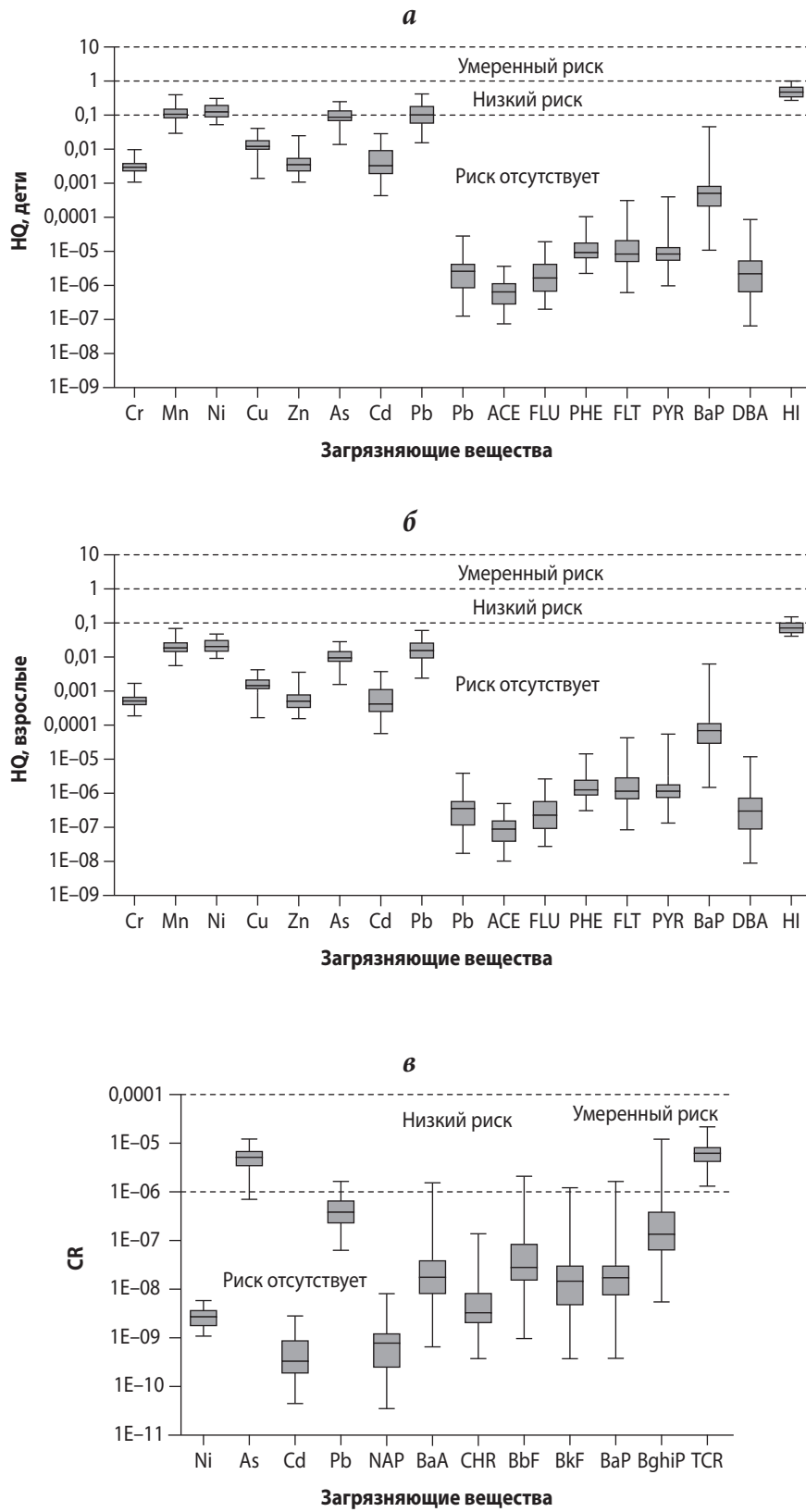


Суммарное загрязнение почв ПАУ оценивалось путем сравнения TEQ с ПДК ВаР. Значения  $K_0$  в почвах варьировали от 0,1 до 208,6 при медиане 4,0 (рис. 2б). Показано, что 24,4 % почв классифицируются как слабо загрязненные, 8,1 % – умеренно, 20,9 % – сильно и 39,5 % – очень сильно загрязненные. Только 7,0 % образцов не загрязнены ПАУ (рис. 2в).

Оценка рисков для здоровья населения проводилась согласно Р 2.1.10.1920–04 [Руководство ... 2004]. В рамках модели оценки риска рассматриваются три основных пути экспозиции веществ: пероральный (ing), ингаляционный (inh) и накожный (derm). При оценке неканцерогенных рисков выделяется группа детей до 6 лет, поскольку они могут испытывать более высокую нагрузку воздействия, чем взрослые. Индекс опасности (HQ) является мерой потенциальной токсичности загрязнителя при определенном пути воздействия и оценивается путем сравнения фактического уровня воздействия с референтной дозой (RfD). Риск воздействия канцерогена (CR) оценивается с учетом увеличения вероятности развития рака у человека с возрастом, а именно канцерогенного потенциала (SF). Комплексная оценка неканцерогенных и канцерогенных эффектов смеси веществ с учетом всех путей поступления проводится на основе суммарных индексов опасности (HI) и канцерогенных рисков (TCR). Среднесуточные и пожизненные экспозиции рассчитаны с применением стандартных параметров [Руководство ... 2004; US EPA, 2017]. Используются значения RfD и SF, рекомендуемые зарубежными организациями [ATSDR, 2022; ОЕННА, 2022; US EPA, 2022].

Все изученные ТМ вызывают общетоксические эффекты, как и большинство приоритетных ПАУ. Медианные значения HQ с учетом всех путей поступления, независимо от возраста реципиентов, возрастают в ряду: ANT < ACE < FLU < DBA < NAP < FLT < PYR < PHE < BaP < Cr ≈ Cd < Zn < Cu < As < Pb < Mn < Ni. В среднем риски Mn, Ni, As и Pb соответствуют низкому уровню для детей (рис. 3а). Индивидуальное воздействие поллютантов не представляет опасности для взрослых (рис. 3б). Наибольшие риски неканцерогенного воздействия ТМ и ПАУ характерны для трансдермального пути, меньше при пероральном и незначимы при ингаляционном поступлении. Значения HQ для детей при пероральном поступлении варьируют в пределах 0,05–0,22, накожном – 0,2–0,76, ингаляционном – 0,01–0,07. В случае воздействия на взрослых, низкие риски общетоксического воздействия проявляются только при накожном поступлении (в 7,0 % случаев). Суммарный риск неканцерогенного воздействия ТМ и ПАУ выше для детей, чем для взрослых (рис. 3а, б). Значение HI для детей колеблется от 0,28 до 1,0 (медиана: 0,47). Низкий суммарный общетоксический риск для детей отмечен в большинстве образцов (98,8 %), и только в 1,2 % – умеренный риск.

Для взрослых HI варьируется от 0,04 до 0,15 (медиана: 0,07). Суммарный уровень поллютантов не представляет опасности для взрослых в большинстве образцов (79,1 %), только в 20,9 % образцов отмечен низкий риск.



**Рис. 3.** Варьирование индивидуальных (HQ) и суммарных (HI) неканцерогенных рисков для детей (а) и для взрослых (б) и канцерогенных рисков (CR и TCR)

Канцерогенные риски обусловлены воздействием только некоторых из изученных ТМ и ПАУ (рис. 3в). По увеличению медианных значений CR с учетом всех путей, загрязняющие вещества образуют ряд: Cd < NAP < Ni < CHR < BkF < BaA < BaP < BbF < BghiP < Pб < As. Значения CR мышьяка превышают предел  $1 \times 10^{-6}$  в 97,7 % образцов, что соответствует низкому риску. В большинстве образцов индивидуальное воздействие остальных канцерогенов не вызывает значимого риска. Риски канцерогенных эффектов от перорального и трансдермального поступления сопоставимы (медианы CR составляют  $2,5 \times 10^{-6}$  и  $3,7 \times 10^{-6}$ ), риски при ингаляционном воздействии на несколько порядков ниже ( $1,1 \times 10^{-8}$ ). Общий канцерогенный риск колеблется от  $1,4 \times 10^{-6}$  до  $2,5 \times 10^{-5}$  со средним значением  $6,2 \times 10^{-6}$ , что соответствует низкому уровню.

*Исследование выполнено в лаборатории «Здоровье почв» Южного федерального университета при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, соглашение № 075-15-2022-1122 и Совета по грантам Президента РФ, МК-4654.2022.1.5.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Роспотребнадзор. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 143 с.
2. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. 2021.
3. ATSDR. Minimal risk levels (MRLs) list. June 2022. URL: [https://www.atsdr.cdc.gov/mrls/pdfs/ATSDR %20MRLs %20- %20June %202022 %20- %20H.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/mrls/pdfs/ATSDR%20MRLs%20-%20June%202022%20-%20H.pdf).
4. CCME. Canadian soil quality guidelines for the protection of environmental and human health: Chromium (total 1997) (VI 1999) // Canadian environmental quality guidelines. Winnipeg: Canadian Council of Ministers of the Environment, 1999.
5. Dudnikova T., Minkina T., Sushkova S., Barbashev A., Antonenko E., Bakoeva G., Shuvaev E., Mandzhieva S., Litvinov Yu., Chaplygin V., Deryabkina I. Features of the polycyclic aromatic hydrocarbon's spatial distribution in the soils of the Don River delta // Environmental Geochemistry and Health. 2022. DOI: 10.1007/s10653-022-01281-1.
6. Konstantinova E., Minkina T., Nevidomskaya D., Mandzhieva S., Bauer T., Zamulina I., Voloshina M., Lobzenko I., Maksimov A., Sushkova S. Potentially toxic elements in surface soils of the Lower Don floodplain and the Taganrog Bay coast: sources, spatial distribution and pollution assessment // Environmental Geochemistry and Health. 2021. DOI: 10.1007/s10653-021-01019-5.

7. *Matishov G.G., Ivlieva O.V., Bespalova L.A., Kropyanko L.V.* Ecological and geographical analysis of the sea coast of the Rostov region // *Doklady Earth Sciences*. 2015. Vol. 460. P. 53–57.
8. *Minkina T., Fedorenko G., Nevidomskaya D., Konstantinova E., Pol'shina T., Fedorenko A., Chaplygin V., Mandzhieva S., Dudnikova T., Hassan T.* The Morphological and functional organization of cattails *Typha laxmannii* Lepech. and *Typha australis* Schum. and Thonn. under soil pollution by potentially toxic elements // *Water*. 2021. Vol. 13. P. 227.
9. *Nisbet I.C.T., LaGoy P.K.* Toxic equivalency factors (TEFs) for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) // *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 1992. Vol. 16. P. 290–300.
10. OEHHA. Chemical database. 2022. URL: <https://oehha.ca.gov/chemicals>.
11. US EPA. Integrated Risk Information System (IRIS). 2022. URL: [https://cfpub.epa.gov/ncea/iris\\_drafts/AtoZ.cfm](https://cfpub.epa.gov/ncea/iris_drafts/AtoZ.cfm).
12. US EPA. Update for Chapter 5 of the Exposure Factors Handbook. Soil and Dust Ingestion. Washington, DC: National Center for Environmental assessment, 2017.

## МЕТЕОИНДИКАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕРСКОГО РУДНОГО РАЙОНА (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

**В.В. Кульнев<sup>1</sup>, Б.И. Кочуров<sup>2</sup>, А.Н. Кизеев<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Центрально-Черноземное межрегиональное управление  
Федеральной службы по надзору в сфере природопользования, г. Воронеж, Россия

<sup>2</sup>Институт географии РАН, г. Москва, Россия

<sup>3</sup>Северо-Западный научный центр гигиены и охраны общественного здоровья  
Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей  
и благополучия человека, г. Санкт-Петербург, Россия  
*kulneff.vadim@yandex.ru; b.i.kochurov@igras.ru; a.kizeev@s-znc.ru*

Мурманская область относится к высокоиндустриальным регионам России. Сочетание предприятий металлургического производства, ядерной энергетики, интенсивного недропользования являются объектами негативного техногенного воздействия. Низкий саморегулирующий потенциал природной среды усиливает канцерогенное воздействие техногенных выбросов в компоненты природной среды региона [Доклад о состоянии ... 2021].

Кандалакшский алюминиевый завод эксплуатируется с 1951 г. и является единственным в мире предприятием, производящим алюминий за Полярным кругом. Загрязнение атмосферы влияет на территорию города Кандалакша и окружающие таежные ландшафты [Кизеев и др., 2015].

Исследованиям качества атмосферного воздуха техногенно-нагруженных территорий посвящены работы отечественных и зарубежных специалистов. Так, в работах А.Н. Насонова и соавторов описано применение фрактального анализа при лихеноиндикации техногенного воздействия, моделирование динамики и прогноза экологических состояний воздушной среды селитебных территорий [Насонов и др., 2019а, б в]; применение фрактального анализа для оценки экологического состояния внутриконтинентальных орогенов [Кульнев, Кизеев, 2021].

В исследовании китайских специалистов [Fanxin et al, 2021] показано, что в пилотных районах с высоким уровнем экологического развития основными элементами являются развивающиеся отрасли экономики, поскольку они обеспечивают более высокий уровень экономического производства без ухудшения состояния атмосферного воздуха, связанного с традиционными отраслями промышленности, такими как, например, металлургия.



Результатом исследования ученых из Эквадора является модель, интегрирующая и объясняющая социально-экологические городские отношения латиноамериканского города с учетом трех подходов высокого уровня: лесного хозяйства, географии и психологии. Модель дала количественную оценку социально-экологическим отношениям, возникающим в результате сочетания различных факторов городских социально-экологических систем, предложив преимущества этого метода для получения знаний, необходимых для планирования и управления латиноамериканскими городами [Bonilla-Bedoya et al., 2020].

Авторы научной работы из Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова для выявления состояния геоэкологической обстановки в центральной части Мурманской области провели исследования снежного покрова и воды. Гидрохимический анализ проб снега и воды, отобранных на ключевых участках, показал, что в настоящее время в районе исследования наблюдается значительное загрязнение природной среды тяжелыми металлами, особенно в районе Мончегорска. Также прослеживается площадное загрязнение аэротехногенными поллютантами на расстоянии на 80 км и более на северо-запад от источника загрязнения (комбината «Североникель»). Другим районом с неблагоприятной геоэкологической обстановкой, согласно проведенным исследованиям, является Кировско-Апатитский район в зоне влияния горнодобывающего и горно-обогачительного производства [Воробьевская и др., 2020].

Научная статья специалистов из Института проблем промышленной экологии Севера посвящена исследованию оценки последствий долговременного аэротехногенного загрязнения водоемов как в импактных зонах промышленных предприятий, так и в фоновых районах [Кашулин и др., 2011].

Целью настоящего исследования является сравнительная метеоиндикационная оценка пространственно-временной динамики состояния еловых и сосновых лесов, расположенных на различном удалении от Кандалакшского алюминиевого завода, в границах Терского рудного района, вкуче со сноухимической съемкой.

Терский рудный район расположен на территории Терского и Ловозерского муниципальных районов Мурманской области. С юга и востока его граница совпадает с береговой линией Белого моря. С запада граница с Кандалакшским рудным районом проходит от устья р. Умба на север до оз. Пончозеро, далее на северо-восток через оз. Мунозеро до границы с Имандра-Варзугским рудным районом почти до верховьев р. Томинга. На юго-востоке граница проходит вдоль зоны Имандра-Варзуга до оз. Бабьего, затем на северо-запад до оз. Сигозеро, а от него на северо-восток вдоль Понойского блока до границы с Мурманским рудным районом (верховья р. Даниловка). Ориентировочная площадь составляет 19,5 тыс. км<sup>2</sup> [Пожиленко и др., 2002].

Геолого-структурное строение района весьма сложное. Кристаллические толщи юга Кольского полуострова большинством исследователей считались архейскими и

были объединены в Терский блок. Терский район сложен преимущественно породами архейского и нижнепротерозойского возраста. На юге и юго-востоке развиты отложения рифейского возраста [Пожиленко и др., 2002].

На территории Терского террейна известны крупные проявления мусковита и керамических пегматитов (Стрельнинское поле), декоративных красных песчаников в районе мыса Корабль. В районе Стрельнинского гранитного массива известно проявление молибденита – Многолюдинское. На Турьем полуострове известны карбонатиты с апатитовой и редкометалльной минерализацией. На р. Кице выявлено небольшое одноименное проявление барита. Но все названные объекты практического значения сегодня не имеют. Единственное эксплуатируемое месторождение Терского рудного района – Кузреченское месторождение облицовочных гранитов [Пожиленко и др., 2002].

Совместными источниками негативного воздействия на депонирующие среды (природные воды, почвы) в пределах горнодобывающих районов являются карьеры и хвостохранилища [Кульнев, 2011а, Кульнев, Базарский, 2011б, Экологические проблемы ... 1996].

В процессе эксплуатации объектов негативного воздействия на Кандалакшском алюминиевом заводе посредством источников загрязнения атмосферы (ИЗА) происходят выбросы атмосферных загрязнителей. В составе этих выбросов доминирующее положение имеют оксид углерода (II), сернистый ангидрид, пыль и бенз(а)пирен [Стайкова, Окладникова, 2011]. К настоящему времени накоплены данные о возможном экологическом эффекте при загрязнении природной среды названными компонентами, но остается практически неизученным вопрос о закономерностях их поступления в таежные экосистемы воздушным путем [Экологические проблемы ... 1996].

С целью решения указанной природоохранной задачи нами был осуществлен анализ сведений о химическом составе метеорных осадков, собранных в летний и зимний период на открытых и лесных ключевых участках в период с 2015 по 2019 г. Следует отметить, что сбор атмосферных осадков в виде дождя и снега в точках наблюдения, расположенных в пределах лесных массивов, осуществлялся на открытых пространствах, и под кронами деревьев с помощью специальных приемников осадков. Это было сделано для определения влияния крон деревьев на изменение химического состава метеорных осадков и, следовательно, вычисления доли участия древесных растений в очищении атмосферного воздуха. Сбор атмосферных осадков в течение вегетационного периода (июнь – сентябрь) производился ежемесячно, тогда как сноухимическая съемка проводилась однократно – в начале апреля – в период максимального накопления снежных масс. Отбор проб снега осуществлялся с помощью отборного стакана на глубину снежного покрова. При отборе проб снега старались исключить возможность загрязнения пробы почвенными частицами и растительными остатками [Кульнев и др., 2021].

Точки наблюдения были заложены по розе ветров, согласно которой на исследуемой территории преобладают ветры северо-восточного направления на различном удалении от ИЗА. В данной работе приведены сведения о метеоиндикационных исследованиях, осуществленных на территориях, атмосферный перенос на территорию которых обеспечивается редкими северо-западными ветрами.

1. Первая ключевая площадка была заложена на расстоянии пяти километров в восточном от промышленной площадки и характеризует «теневую» зону ИЗА Кандалакшского алюминиевого завода.
2. Вторая ключевая площадка была определена на расстоянии в двадцати километров в юго-юго-восточном направлении от поселка Лувеньга Кандалакшского муниципального района Мурманской области.
3. Третья ключевая площадка (фоновая) была разбита на территории государственного природного заказника регионального значения «Колвицкий» и расположена на расстоянии около семидесяти километров в северо-восточном направлении, в границах Терского рудного района.

В ходе пятилетнего периода исследований было проведено определение химического состава дождевых и талых снежных вод, а именно: в соответствии с утвержденными методиками были проанализированы пробы на содержание бенз(а)пирена, соединений серы и алюминия, а также определялся водородный показатель.

Показано, что атмосферные осадки, собранные под кронами деревьев на второй ключевой площадке имеют значение водородного показателя около 3,9, что характеризует среду как кислую. В то же время метеорные осадки, собранные на открытых пространствах, имеют слабокислую реакцию ( $\text{pH} = 4,4$ ). Данный факт обусловлен тем, что крона деревьев является своеобразным накопителем элементов, которые при выпадении осадков смываются с поверхности хвои. Отмечено, что в зимний период данный процесс выражен, но не так явно, как в теплое время года, что связано с характером атмосферных осадков.

При пространственном анализе влияния алюминиевого комбината показано, что степень кислотности атмосферных осадков снижается по мере удаления от источника негативного воздействия. Также установлено, что относительно высокое содержание алюминия в атмосферных осадках под кроной в «теневой» зоне завода обусловлен разрушением кутикулы хвои и вымыванием вышеуказанных элементов из растительных тканей. На фоновой ключевой площадке данное явление не установлено. В ходе исследования показано, что по мере удаления от источника негативного воздействия снижалось содержание загрязняющих веществ. Минимальными значениями концентрации исследуемых экотоксикантов характеризовались пробы, отобранные на территории Терского рудного района.

Временной анализ показал, что общая тенденция сокращения выбросов загрязняющих веществ сохраняется.

Таким образом, для решения геоэкологических проблем необходимо разрабатывать современную экологическую политику региона с учетом новейших мировых экологических стандартов, а также усовершенствовать систему экологического мониторинга и структуру природопользования.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьевская Е.Л., Седова Н.Б., Слипечук 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. URL: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-1-064-070>.
2. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2020 году. Мурманск, 2021. 177 с.
3. Каишулин Н.А., Даувальтер В.А., Сандимиров С.С. и др. Влияние цветной металлургии на состояние субарктических пресноводных экосистем // Цветные металлы. 2011. № 11. С. 71–75.
4. Кизеев А.Н., Жиров В.К., Ушамова С.Ф., Коклянов Е.Б., Никанов А.Н., Кульнев В.В., Базарский О.В. Экогеосистемы горнодобывающего класса Северо-Запада Восточно-Европейской платформы (Мурманская область) // Экологическая геология крупных горнодобывающих районов Северной Евразии (теория и практика) / под ред. проф. И.И. Косиновой. Воронеж: Воронежская обл. тип., 2015. С. 282–326
5. Кульнев В.В. Геоэкологические модели депонирующих сред территории горнодобывающих предприятий: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Воронеж: Воен. авиацион. инженер. ун-т, 2011а. 20 с.
6. Кульнев В.В., Кизеев А.Н. Анализ геоэкологической ситуации в зоне влияния комбината «Печенганикель» ОАО «Кольская ГМК» // Территориальная организация общества и управление в регионах: мат-лы XIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Воронеж, 2021. С. 82–86.
7. Кульнев В.В., Кизеев А.Н., Насонов А.Н., Цветков И.В. Применение фрактального анализа для оценки экологического состояния внутриконтинентальных орогенов (на примере Хибинского горного массива) // Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов: тез. докл. VIII Междунар. симпозиума (г. Бишкек, 28 июня – 02 июля 2021 г.) / Научная станция Российской академии наук в г. Бишкеке. Бишкек, 2021. С. 304–308.
8. Кульнев В.В., Базарский О.В. Комплексная методика геоэкологической оценки территории горнодобывающих предприятий // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2011б. № 2. С. 142–147.

9. *Насонов А.Н., Кульнев В.В., Графкина М.В.* Моделирование динамики и прогноза экологических состояний воздушной среды селитебных территорий // *Экология и развитие общества*. 2019б. № 2 (29). С. 56–63.
10. *Насонов А.Н., Кульнев В.В., Цветков И.В.* Применение фрактального анализа при лишеноиндикации техногенного воздействия от линейного источника загрязнения атмосферы // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле*. 2019а. Т. 19. № 4. С. 233–240. URL: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2019-19-4-233-240>.
11. *Насонов А.Н., Цветков И.В., Кизеев А.Н., Кульнев В.В., Мартынов Д.Ю., Сметанин В.И.* Применение фрактального анализа в лишеноиндикации загрязнения атмосферного воздуха техногенно-нагруженных территорий // *Экология и промышленность России*. 2019в. Т. 23. № 3. С. 34–38. URL: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-3-34-38>.
12. *Пожиленко В.И., Гавриленко Б.В., Жиров Д.В., Жабин С.В.* Геология рудных районов Мурманской области. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2002. 359 с.
13. *Стайкова Т.Б., Окладникова Е.Н.* Анализ выбросов загрязняющих веществ в атмосферу ОАО «Красноярский алюминиевый завод» («РУСАЛ», Красноярск) // *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*. 2011. Т. 1. № 7. С. 260–262.
14. Экологические проблемы севера Европейской территории России: мат-лы Всерос. совещания / под. ред. Т.И. Моисеенко, В.А. Даувалятера. Апатиты: ИППЭС КНЦ РАН. Апатиты, 1996. 179 с.
15. *Fanxin M., Jinling G., Zhanqiang G., Jason C.K.L., Gengyuan Liu, Ning Wang.* Urban ecological transition: The practice of ecological civilization construction in China // *Science of The Total Environment*. Vol. 755. Part 2. 2021. P. 142633. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142633>.
16. *Bonilla-Bedoya S., Estrella A., Santos F., Herrera M.A.* Forests and urban green areas as tools to address the challenges of sustainability in Latin American urban socio-ecological systems // *Applied Geography*. Vol. 125. 2020. P. 102343. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102343>.



## УЧЕТ ДЕГАЗАЦИИ МЕТАНА И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ МЕТАНОТРОФИИ В ЛЕДОВОМ СУДОХОДСТВЕ

*П.В. Люшвин<sup>1</sup>, М.О. Буянова<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Независимый исследователь, г. Москва, Россия*

<sup>2</sup>*Высшая школа экономики, г. Москва, Россия*

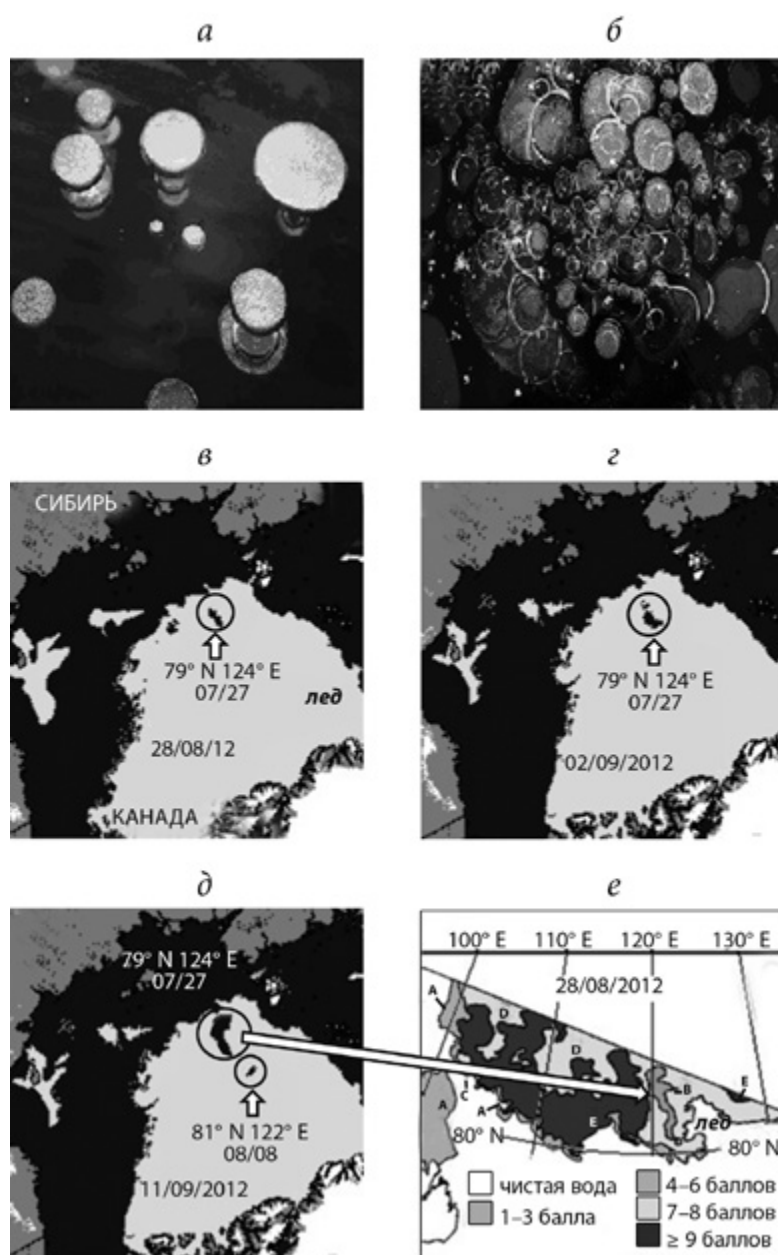
*lushvin@mail.ru; moubianova@mail.ru*

При плавании во льдах не принято учитывать геологические и микробиологические процессы, хотя именно они в настоящее время определяют основные отклонения состояния среды от климата. Современное состояние Земли характеризуется активизацией сейсмодегазации метана, востребованного для жизнедеятельности метанотрофных микроорганизмов, структурно и функционально специализирующихся на его использовании в качестве источника углерода и части энергии, выделяющейся при биохимическом окислении метана.

Выбор транспортных водных маршрутов зависит от глубин, гидрометеорологических и гидробиологических условий. Настоящая работа посвящена ледовым маршрутам. Их особенность – толщина и сплоченность льда, дрейф. Фоновую оценку этих параметров ранее брали из морских атласов, оперативную – из карт погоды. В условиях глобальных изменений климата перечисленные подходы часто не работают [Фролов и др., 2011]. Причина – в игнорировании жизнедеятельности микроорганизмов, структурно и функционально специализирующихся на использовании метана в качестве источника углерода и части энергии, выделяющейся при таком биохимическом окислении метана [Люшвин, 2016; Lyushvin, Buyanova, 2021]. Ситуация с игнорированием бактериального окисления метана изначально сложилась в гидрометеорологии [Максимов и др., 1970; Океанологические таблицы, 1975], изучением скоплений метана занимаются морские геологи [Гальченко, 2001; Леин, Иванов, 2011; Океанология, 1979]. Образование в акваториях обширных заприпайных полыней порой обусловлено активизацией дегазации (в основном сейсмогенной) и последующей метанотрофией. Бактериальное окисление метана превращает монолитный лед в пористый. При торошении на поверхности льда оказываются темные продукты метанотрофии и взмученный детрит. Альbedo поверхности льда уменьшается, способствуя его таянию и образованию разводий. Преобразование их в полыньи обусловлено продуктами метанотрофии и сейсмогенным мелким детритом, что, гравитационно медленно осаждаюсь из

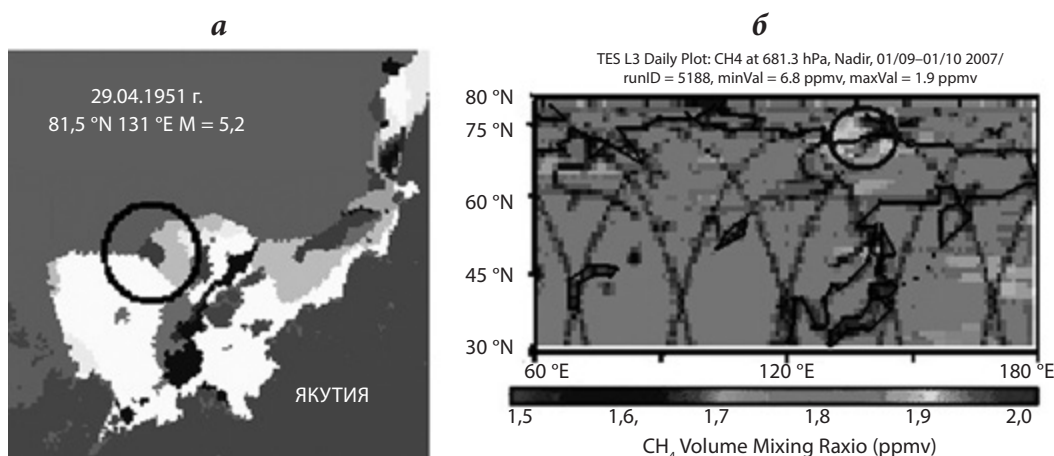
холодного фотического слоя, утончая его, способствует дополнительному инсоляционному прогреву на 2–3 °С. Зафиксировано это повсеместно – от Охотского моря до Арктики и Южного океана. В Арктике активизация сейсмогенной метанотрофии привела к сокращению в разы площади многолетних льдов.

*Сейсмогенное образование полыней.* Образование над очагами землетрясений через 20–30 дней масштабных стабильных полыней. Так было после единственного за 40 лет августовского землетрясения на Аляскинском шельфе в 1988 г., после июльского и августовского землетрясений 2012 г. в море Лаптевых (80° N) (рис. 1 в – е).



**Рис. 1.** Застывшие пузырьки болотного газа во льду (а, б). Сейсмогенные полыньи в ледяном покрове Арктики (в – е)

Сейсмогенные полыньи вдали от заприпайных полыней наблюдались и ранее, например 13.06.1951, у очага землетрясения 29.04.1951 с магнитудой 5,2 (рис. 2а). Метана в регионе столько, что даже в условиях вечной мерзлоты январские землетрясения (06.01.2007, 73,7° N, 125,5° E, M = 3,2; 08.01.2007 71,1° N, 142,6° E, M = 2,2) сопровождаются массовыми поступлениями метана в нижнюю тропосферу (рис. 2б).



**Рис. 2.** Полынья (в круге) у очага землетрясения на карте льда 13.06.1951 (а).  
Содержание  $\text{CH}_4$  в тропосфере 9–10.01.2007  
(в эллипсе – вспышка  $\text{CH}_4$  у якутской литорали) (б)

Аномалии сейсмогенно-метанотрофно-детритного генезиса наблюдаются и в Южном океане (рис. 3). Аналогичны ситуации на юго-востоке Охотского моря, где активизация сейсмодегазации приводит к очищению моря от льда в конце мая – начале июня. В сейсмоспокойные периоды лед задерживается до конца июня.

*Сокращение толщины льда в Арктике.* Площадь многолетнего льда в 1980–2015 гг. определялась площадью льда, сохранившегося с прошлого лета (рис. 4). На рубеже 1970–1980-х гг. в Арктике фрагментарные ледовые и тепловые аномалии не совпадали. Утолщение льда на 30–50 см произошло на фоне потепления арктического воздуха на 1–2 °C (как в полярной атмосфере в целом, так и регионально, на м. Барроу и в п. Тикси) (рис. 5–6). Похолодание 1982–1987 гг. не привело к ожидаемому утолщению льда. Всё дело в сейсмическом спокойствии 1977–1981 гг., когда метанотрофные микроорганизмы активно не буравили лед. Временное утолщение льда  $\approx 10\%$  в 2004–2006 гг. также было следствием стагнации сейсмической активности 2002–2006 гг.

Можно ли использовать метанотрофию в хозяйственных целях? Метан, при взрыве высвободившийся из донных осадков, превратит монолитный лед в пористый. Гидробионтов в Арктике зимой не много, поэтому ущерб от их точечной гибели компенсируется уменьшением расхода топлива, шумов и пр., развитием фито- и зоопланктона.

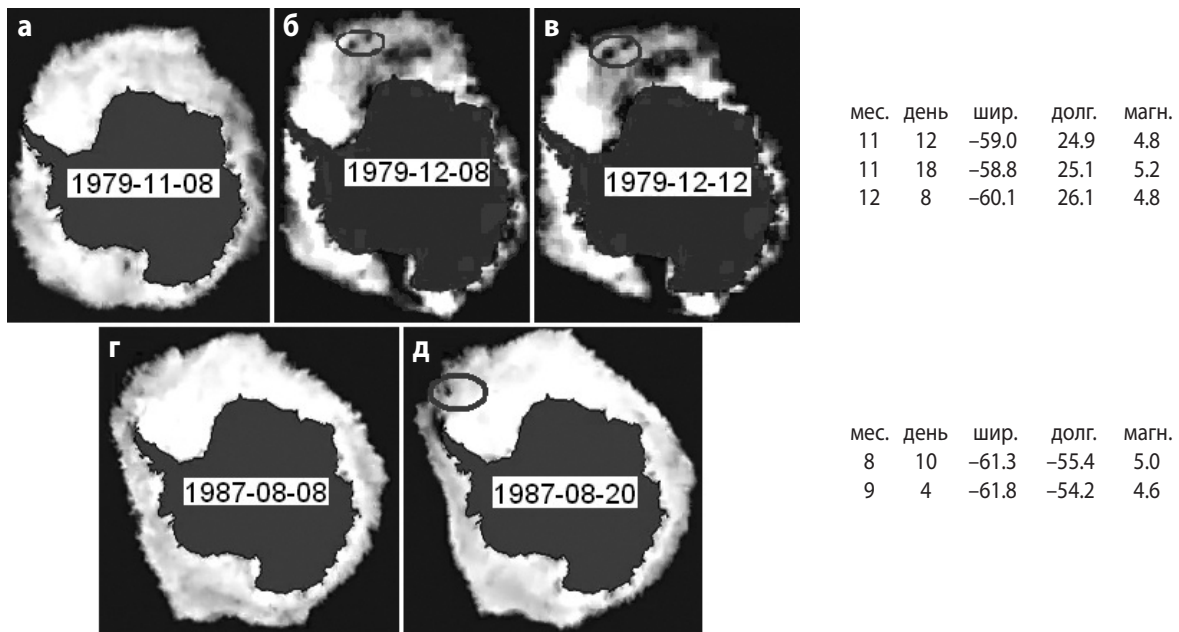


Рис. 3. Сейсмогенные полыньи в Антарктике, сроки и координаты землетрясений

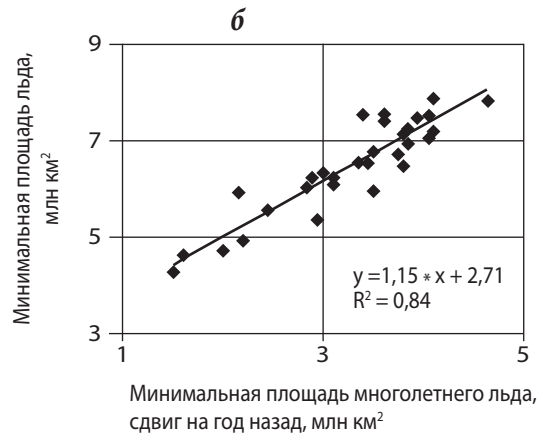
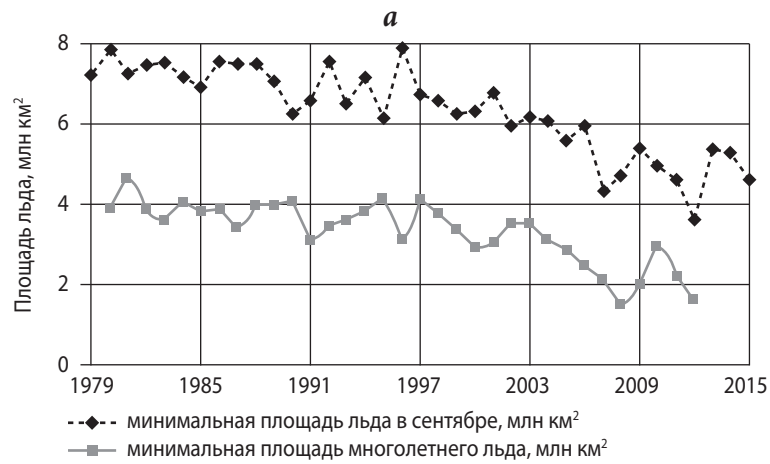
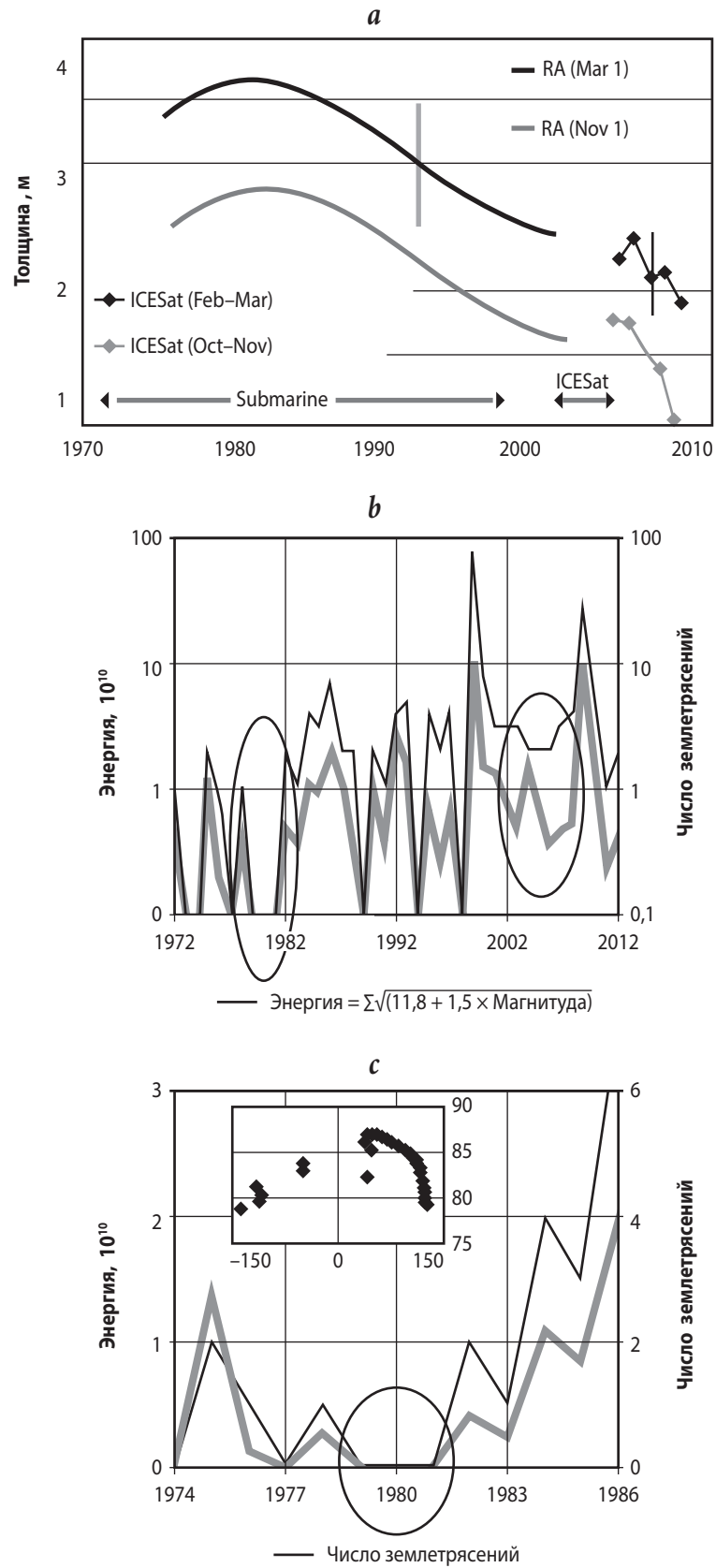
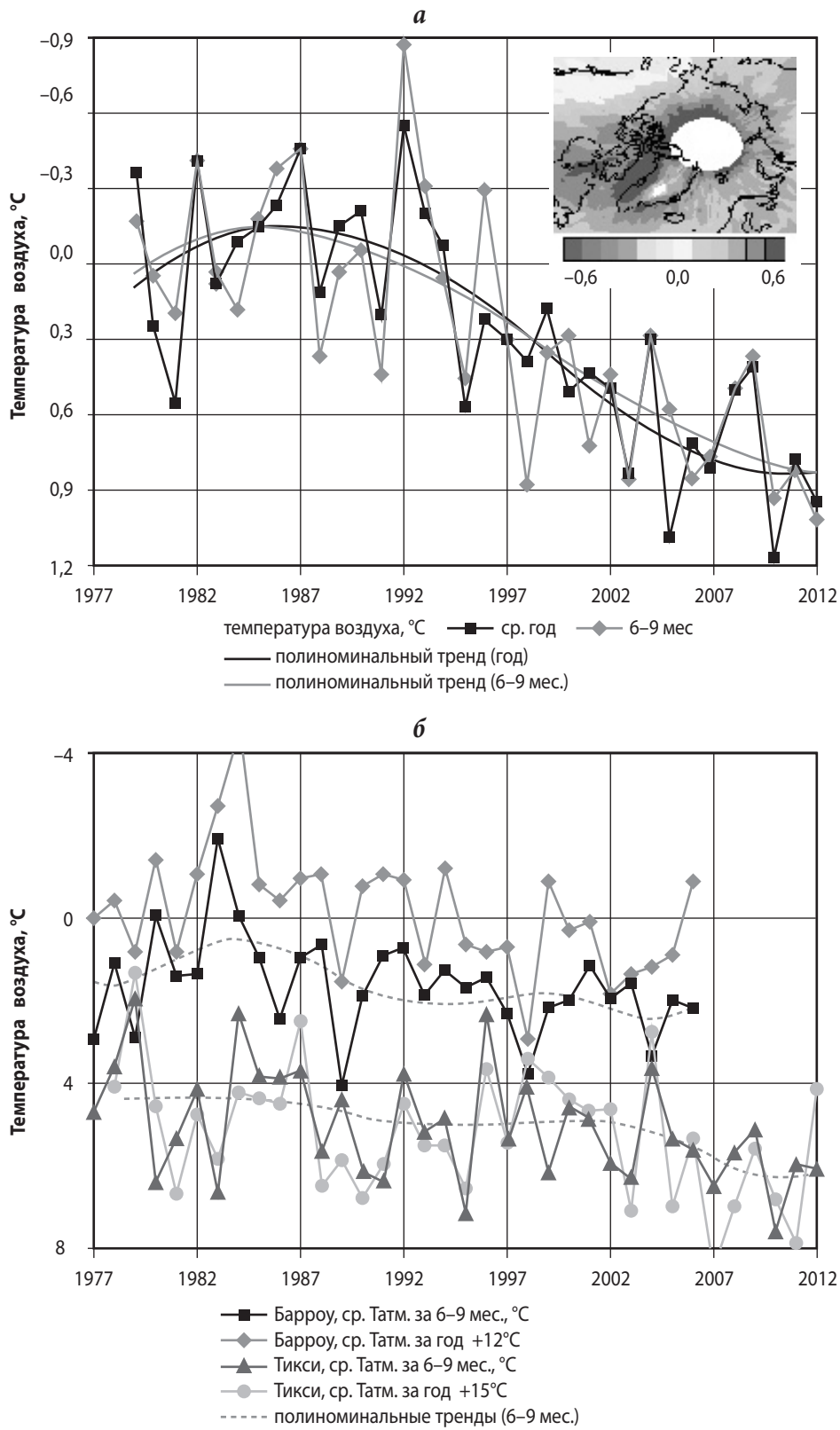


Рис. 4. Временной ход минимальной площади всего льда и многолетнего в сентябре (а). Сопоставление площадей этих льдов с годовым сдвигом (б)



**Рис. 5.** Толщина весеннего и осеннего льда (а). Энергия и число учтенных землетрясений в 1972–2012 (б) и 1974–1986. На врезке – эпицентры землетрясений за 1972–2012 (в)





**Рис. 6.** Аномалии температуры ( $t$ , °C) в нижней тропосфере в полярных широтах за год и за 6-9 мес. На врезке – тренд  $t$ , °C (а). Средняя  $t$  (°C) за год и за 6-9 мес. (м. Барроу и п. Тикси) (б)

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гальченко В.Ф. Метанотрофные бактерии. М.: ГЕОС, 2001. 500 с.
2. Леин А.Ю., Иванов М.В. Биохимический цикл метана в океане. М.: Наука, 2009. 576 с.
3. Люшвин П.В. Заклепки на науках о Земле. Результат возведения парадигм в статус аксиом в геофизике и гидробиологии. М.: [издание автора], 2016. 147 с. URL: [http://nadisa.org/download/lyushvin\\_book.pdf](http://nadisa.org/download/lyushvin_book.pdf).
4. Максимов И.В., Саруханян Э.И., Смирнов Н.П. Океан и космос. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 216 с.
5. Океанологические таблицы. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 477 с.
6. Океанология. Химия океана. Т. 1. М.: Наука, 1979. 518 с.
7. Фролов И.Е., Ашик И.М., Баскаков Г.А., Кирилов С.А. Российские морские исследования Арктики – прошлое и настоящее // Проблемы Арктики и Антарктики. 2011. № 4 (90). С. 1–11.
8. Lyushvin P.V., Buyanova M.O. Development of Ice Cover in Water Areas during Methane // International Journal of Geosciences. 2021. Vol. 12. № 9. P. 927–940. URL: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=112301>.

## МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В ПОРТУ ТЕМРЮК (2006–2020 гг.)

*И.Ю. Матасова, В.Ф. Теубова, А.С. Готанян, Е.Е. Сеничкина*

---

*Филиал ФГБОУ ВО КубГУ – Новороссийский учебный НИМБЦ,  
г. Новороссийск, Россия  
biozentr@yandex.ru*

Морской порт Темрюк расположен в Темрюкском заливе Азовского моря, в 3 км от устья реки Кубань. Это активно развивающийся порт с перспективой увеличения мощности более, чем в 2 раза за счет развития существующих терминалов и строительства новых. Основные источники поступления загрязняющих веществ в акваторию порта Темрюк могут быть связаны как с технологическими процессами портовой деятельности, так и с поступлением терригенного стока и обменных процессов с водами Азовского моря [Дьяченко, Матасова, 2018; Дьяченко и др., 2017].

Сведения о динамике гидрохимических показателей в порту Темрюк в течение последних 10–15 лет малочисленны. Регулярную информацию по некоторым гидрохимическим показателям (температура, соленость, водородный показатель, растворенный кислород, биогенные вещества, хлорорганические пестициды, нефтепродукты) в подходном канале порта Темрюк (одна постоянная станция) можно получить из ежегодников Государственного океанографического института (ГОИН).

В работе проанализированы изменения гидрохимических показателей в 2006–2020 гг. у причалов № 19, 22 и 23 порта Темрюк. Отбор проб проводили 3–4 раза в год: в марте, июне, сентябре и ноябре-декабре. Общее количество отобранных проб – 148. В морской воде по стандартным методикам определяли показатели: растворенный кислород, перманганатная окисляемость, фосфаты, ион аммония, нитриты, нитраты, нефтепродукты, БПК<sub>5</sub>, Cu, Zn, Pb, Cd, Fe<sub>общ</sub>, фенолы. Статистическую обработку данных (с критическим уровнем значимости 5 %) проводили с помощью пакета программ Statistica 12.0.

Гидролого-гидрохимическая обстановка в порту складывается в результате совместного влияния вод Азовского моря, Черного моря и стока р. Кубань. Исследования показали, что по растворенному кислороду, биогенным веществам и содержанию Cd морская вода в порту Темрюк в период исследования соответствовала рыбохозяйственным нормативам (табл. 1).

**Таблица 1.** Некоторые гидрохимические показатели в порту Темрюк (2006–2020 гг.)

Показатель	Нормативный документ на метод анализа	Диапазон значений, мг/л	Среднее с ошибкой среднего	Случаи превышения ПДК
Растворенный кислород	РД 52.10.736-2010	6.00–13.84	9.33 ± 0.15	0
Окисляемость перманганатная	ПНД Ф 14.1:2:4.154-99	1.04–10.60	3.17 ± 0.10	–
Фосфаты	РД 52.10.738-2010	<0.005–0.220	0.027 ± 0.003	0
Ион аммония	ПНД Ф 14.1:2:3.1-95	<0.05–0.530	0.129 ± 0.008	0
Нитриты	РД 52.10.740-2010	<0.002–0.083	0.020 ± 0.002	0
Нитраты	РД 52.10.745-2020	<0.02–0.900	0.123 ± 0.014	0
Нефтепродукты	ПНД Ф 14.1:2:4.128-98	<0.005–0.190	0.027 ± 0.003	17(11 %)
БПК <sub>5</sub>	ПНД Ф 1:2:3:4.123-97	0.74–6.25	2.77 ± 0.09	104 (80 %)
Cu	ПНД Ф 14.1:2:4.222-2006	<0.0006–0.0080	0.0013 ± 0.0001	5 (3 %)
Zn		<0.0005–0.0950	0.0064 ± 0.0009	1 (1 %)
Pb		<0.0002–0.0800	0.0019 ± 0.0006	2 (1 %)
Cd		<0.0002–0.0028	0.0001 ± 0.0000	0
Fe <sub>общ</sub>	ПНД Ф 14.1:2:3.2-95	<0.05–0.1150	0.0260 ± 0.0020	20 (13 %)
Фенол	ПНД Ф 14.1:2:4.182-02	<0.0005–0.0031	0.0009 ± 0.0001	42 (28 %)
Взвешенные вещества	ПНД Ф 14.1:2:4.254-09	1.0–34.5	11.7 ± 0.5	77 (52 %)
ИЗВ по годам	МР 1988	0.9–1.3	1.06 ± 0.03	–

По остальным нормируемым показателям зафиксированы случаи превышения ПДК – единичные по Cu, Zn и Pb; около двух десятков (неустойчивое загрязнение) – по нефтепродуктам и Fe<sub>общ</sub>; в трети проб (устойчивое) – по фенолам и в более 50 % проб (характерное) – по БПК<sub>5</sub>. Уровень загрязненности по степени кратности превышения ПДК – в большинстве случаев низкий (в 1–2 раза) и иногда – средний (в 2–10 раз).

Индекс загрязненности вод (ИЗВ), рассчитанный по растворенному кислороду, и показателям, имеющим самые высокие значения кратности ПДК (БПК<sub>5</sub>, взвешенные вещества, фенолы, иногда Fe<sub>общ</sub> и нефтепродукты), изменялся в диапазоне от 0,87 (2009 г.) до 1,35 (2006 г.), составляя в среднем 1,06, что соответствует III классу

качества вод – умеренно загрязненным водам. Полученные нами значения ИЗВ отличаются от данных ГОИН (ИЗВ = 0,46 ÷ 0,69, II класс качества вод – чистые), поскольку ими для расчета использовались другие показатели: нефтепродукты и, чаще всего, аммонийный азот, нитриты или фосфаты, редко, превышающие ПДК.

Для анализа многолетних изменений качества воды в исследуемой акватории был проведен корреляционный анализ по поиску взаимосвязей между контролируемыми показателями и периодом исследования. Большинство из них имеет статистически достоверный тренд на снижение или увеличение концентрации.

Самые высокие положительные коэффициенты корреляции выявлены для азотсодержащих биогенных соединений ( $r = 0.45 \div 0.52$ ), для фосфатов – чуть ниже ( $r = 0.34$ ). На рисунке 1а представлены линии тренда для биогенных веществ, свидетельствующие об усилении процессов эвтрофикации акватории.

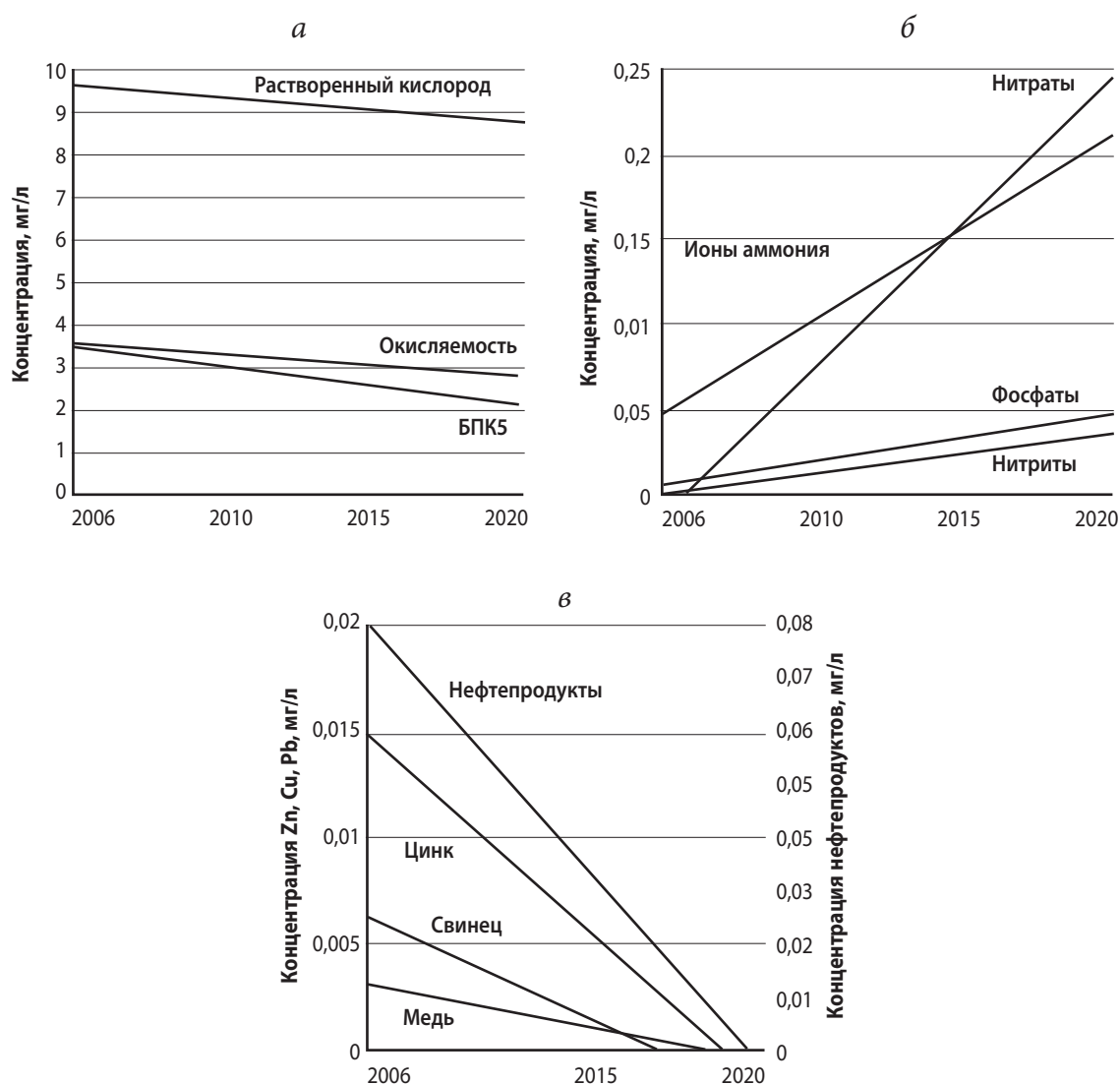


Рис. 1. Тренды изменения концентраций гидрохимических показателей в акватории порта Темрюк в период 2006–2020 гг.



Положительная статистически значимая взаимосвязь выявлена также для железа общего ( $r = 0,25$ ) и взвешенных веществ ( $r = 0,16$ ). Вероятно, увеличение количества взвешенных веществ может быть связано как с увеличением концентрации коллоидов железа в морской воде, так и со статистически значимым ростом численности фитопланктона в исследуемый период [Матасова, Теюбова, 2021].

Высокая отрицательная связь ( $r = -0,35 \div -0,62$ ) отмечена между периодом исследования и тяжелыми металлами – халькофилами, она убывает в ряду  $Cu > Zn > Pb$  и продемонстрирована в виде линий тренда на рисунке 16. Также выявлен незначительный тренд на снижение в морской воде нефтепродуктов ( $r = -0,17$ ), эта же закономерность отмечена и для донных отложений [Аглетдинов, Матасова, 2021; Matasova et al, 2021].

Менее тесная взаимосвязь с периодом исследований ( $r = -0,16 \div -0,34$ ) определена для растворенного кислорода ( $r = -0,16$ ), перманганатной окисляемости ( $r = -0,18$ ) и БПК<sub>5</sub> ( $r = -0,34$ ) (рис. 1в). Снижение концентрации растворенного кислорода может быть обусловлено усилением процессов эвтрофикации акватории. Перманганатная окисляемость и БПК<sub>5</sub> – показатели содержания органического вещества в морской воде, основные источники которого – крупные реки и фитопланктон [Агатова и др., 2018]. В связи с этим их снижение может быть обусловлено уменьшением объема стока р. Кубань (косвенно это подтверждается растущей в течение 15 лет, по данным ГОИН, соленостью морской воды в порту Темрюк) и уменьшением биомассы фитопланктона [Матасова, Теюбова, 2021].

Связи с периодом наблюдения не обнаружено для Cd и фенола.

В целом в порту Темрюк в период исследования отмечен тренд к уменьшению загрязнения морской воды такими приоритетными загрязнителями, как тяжелые металлы (Cu, Zn, Pb) и нефтепродукты, о чем так же свидетельствует тенденция к снижению ИЗВ ( $r = -0,47$ ). При этом выявлен рост концентрации биогенов, приводящий к усилению процессов эвтрофикации акватории.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агатова А.И., Лапина Н.М., Торгунова Н.И. Особенности распределения органического вещества в водах Черного моря // Система Черного моря. М.: Научный мир, 2018. С. 146–170. DOI 10.29006/978-5-91522-473-4.2018.146.
2. Аглетдинов Р.Р., Матасова И.Ю. Оценка современного состояния донных отложений порта Темрюк // Океанологические исследования. 2021. Т. 49. № 1. С. 53–67. DOI 10.29006/1564-2291.JOR-2021.49(1).4.
3. Дьяченко В.В., Дьяченко Л.Г., Малыхин Ю.А. и др. Результаты деятельности комиссии по геохимии ландшафта и техносферной безопасности КРОРГО // Вестник Краснодарского регионального отделения РГО / Краснодарское региональное

отделение Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество». Краснодар, 2017. С. 214–225.

4. *Дьяченко В.В., Матасова И.Ю.* Геохимический мониторинг почв Краснодарского края // Современное ландшафтно-экологическое состояние и проблемы оптимизации природной среды регионов: мат-лы XIII Междунар. ландшафтной конф.: в 2 т. (г. Воронеж, 14–17 мая 2018 г.). Воронеж: Истоки, 2018. С. 319–320.
5. *Матасова И.Ю., Теубова В.Ф.* Многолетняя динамика гидрохимических показателей и количественных характеристик фитопланктона в порту Темрюк (2006–2020 гг.) // Изучение водных и наземных экосистем: история и современность: тез. докл. Междунар. науч. конф., посвященной 150-летию СБС – ИнБЮМ им. А.О. Ковалевского и 45-летию НИС «Профессор Водяницкий» (г. Севастополь, 13–18 сент. 2021 г.). Севастополь: Ин-т биол. южн. морей им. А.О. Ковалевского РАН, 2021. С. 528–529.
6. *Matasova I.Yu., Teyubova V.F., Tsepordei O.V.* Accumulation of oil products and heavy metals in bottom sediments at Temryuk harbor (the Sea of Azov, 2006–2020) // IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 2021. Vol. 867. P. 012043.

## ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ БАКТЕРИАЛЬНОГО ПРЕПАРАТА И БИОЧАРА НА РАЗЛОЖЕНИЕ ПОЖНИВНЫХ ОСТАТКОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПО ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО

*Н.С. Минин, Т.В. Минникова, С.И. Колесников*

*Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии  
им. Д.И. Ивановского, г. Ростов-на-Дону, Россия  
minin@sfedu.ru; loko261008@yandex.ru; kolesnikov@sfedu.ru*

В статье рассматривается влияние бактериального препарата Ф1 на процессы разложения пожнивных остатков озимой пшеницы, самостоятельно и в комплексе с биочаром. Эффективность разложения пожнивных остатков озимой пшеницы в черноземе обыкновенном оценивали по активности каталазы и дегидрогеназы.

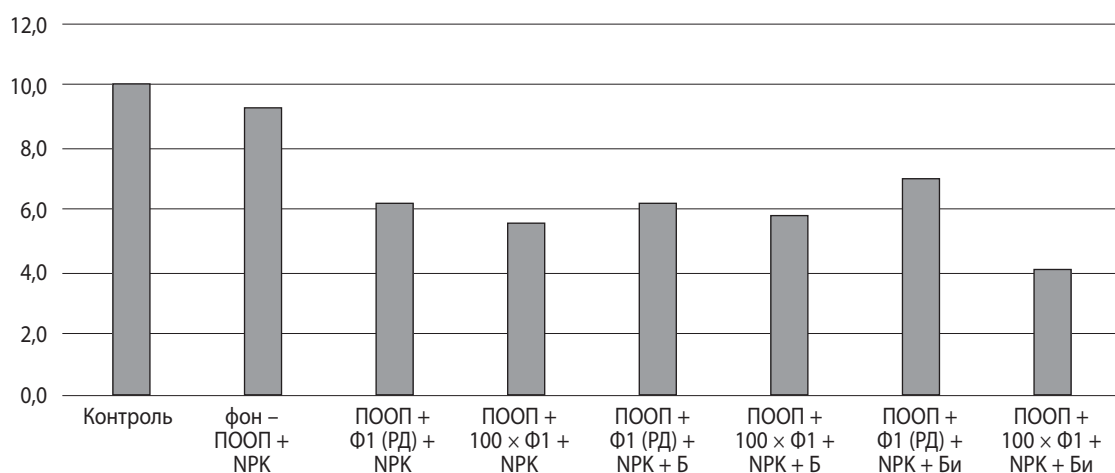
Обострение экологических и экономических проблем сельского хозяйства за последнее время требует совершенствования применяемых технологий земледелия в сторону их биологизации и ресурсосбережения. В настоящее время создано большое разнообразие биологически активных веществ как природного, так и синтетического происхождения [Акименко и др., 2015]. В условиях значительного увеличения численности населения и ресурсов производство этих сельскохозяйственных культур столкнулось с огромным давлением. Однако современные технологии показали значительное повышение урожайности сельскохозяйственных культур за счет оптимального использования земельных ресурсов, удобрений, гербицидов, пестицидов и генетически улучшенных сортов [Kumar et al., 2020]. Для решения этого вопроса необходимо использование новых направлений биологизации земледелия при возделывании сельскохозяйственных культур. Вклад растений в ферментный пул почвы осуществляется как прямым путем в результате выделения экзоферментов корневой системой в процессе метаболизма и пожнивными остатками в процессе разложения, так и косвенным, проявляясь через регуляцию продуцирования ферментов микроорганизмами [Calderon et al., 2016]. Культуры могут оказывать как ингибирующее воздействие на ферментативную активность почв (яровая пшеница), так и стимулирующее (просо, кукуруза, бобовые). Ферментативная активность – это чувствительный индикатор состояния и степени изменения почв в условиях различных систем ее обработки и выращивания сельскохозяйственных культур [Минникова и др., 2018]. При разных технологиях обработки

почв интенсивность выделения растениями разных видов корневых экссудатов и соответственно выработка почвенной микробиотой ферментов изменяется неоднозначно [Минникова и др., 2020].

Цель исследования – оценить воздействие бактериального препарата Ф1 и биочара на разложение пожнивных остатков озимой пшеницы по ферментативной активности чернозема обыкновенного.

Объектом исследования выбран чернозем обыкновенный карбонатный (Апах, 0-25). Место отбора – Ботанический сад Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону. Чернозем обыкновенный характеризуется содержанием органического углерода – 4,5–6,5 %, карбонатов – 0,3–0,5 %, ЕКО – 40–45 мг-экв / 100 г почвы [Казеев и др., 2016]. Микробиологический препарат на основе консорциума штаммов аэробных спорообразующих бактерий р. *Bacillus*, проявляющих антагонистическую активность в отношении фитопатогенных грибов. Общая рекомендуемая доза препарата в вегетационном сосуде составляет 20 мл на 1 га почвы. Анализировали рекомендуемую (Ф1) и в 100 раз больше от рекомендуемой (Ф1 × 100). Исследовали концентрацию биочара 1 % от массы почвы. Биочар измельчали в порошок с помощью ступки с пестиком и хранили для использования. После биочар смешивали с Ф1 и Ф1 × 100 в требуемых количествах для приготовления инокулированного биочара, перед внесением в почву. Инокуляция биочара бактериями, стимулирующими рост растений, является эффективным методом улучшения качества почвы и поддержания урожайности сельскохозяйственных культур [Akhtar et al., 2015].

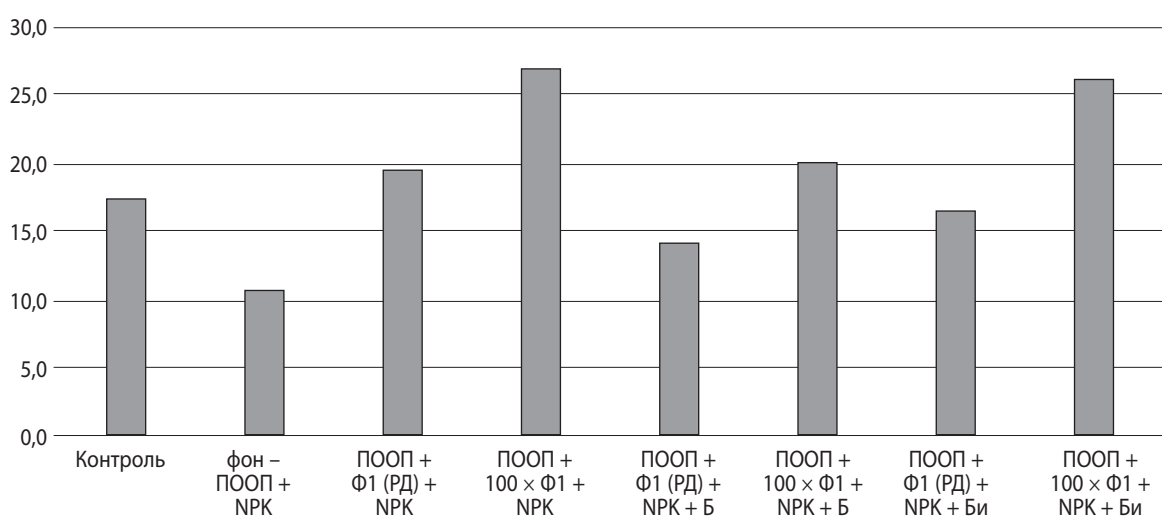
На рисунке 1 отображены изменения активности каталазы, где активность этого фермента в почве с фоном в виде пожнивных остатков озимой пшеницы и комплексного азотно-фосфорно-калийного удобрения (NPK) снижена на 7 % по сравнению с контролем. При добавлении бактериального препарата Ф1 активность каталазы ингибирована на 38 % по сравнению с контролем.



**Рис. 1.** Изменение активности каталазы чернозема обыкновенного при добавлении биочара и Ф1

При увеличении рекомендуемой дозы Ф1 в 100 раз активность каталазы была ингибирована на 44 % по сравнению с контролем. При добавлении бактериального препарата Ф1 и биочара активность каталазы была ингибирована на 39 % по сравнению с контролем. При добавлении Ф1 × 100 и биочара активность каталазы была ингибирована на 41 % по сравнению с контролем. При добавлении Ф1 и инокулированного биочара активность каталазы была ингибирована на 30 % по сравнению с контролем. При увеличении Ф1 × 100 с инокулированным биочаром активность каталазы была ингибирована на 59 % по сравнению с контролем.

На рисунке 2 отображены изменения активности дегидрогеназ, в почве с фоном снижена на 38 % по сравнению с контролем (17,6 мг ТФФ/10 г/24 часа).



**Рис. 2.** Изменение активности дегидрогеназ чернозема обыкновенного при добавлении биочара и Ф1

При добавлении бактериального препарата Ф1 активность дегидрогеназ была ингибирована на 10 % по сравнению с контролем. При увеличении рекомендуемой дозы Ф1 в 100 раз активность дегидрогеназ была ингибирована на 34 % по сравнению с контролем. При добавлении бактериального препарата Ф1 и биочара активность дегидрогеназ снизилась на 18 % по сравнению с контролем. При добавлении Ф1 × 100 и биочара, активность дегидрогеназ была ингибирована на 12 % по сравнению с контролем. При добавлении Ф1 и инокулированного биочара активность дегидрогеназ снизилась на 5 % по сравнению с контролем. При увеличении Ф1 × 100 с инокулированным биочаром активность дегидрогеназ была ингибирована на 33 % по сравнению с контролем.

В результате исследования было установлено, что добавление в почву таких биостимуляторов, как биочар и бактериальный препарат Ф1 в различных комбинациях, снижает активность каталазы в процессе разложения пожнивных остатков озимой пшеницы. При помощи внесения Ф1, Ф1 × 100, Ф1 × 100 и биочара и Ф1, Ф1 × 100



и добавления инокулированного биочара вызвали стимуляцию ферментативной активности дегидрогеназ на 10, 34, 12 и 33 %, по сравнению с контролем.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента МК-175.2022.5 и проекта Министерства науки и высшего образования РФ по поддержке молодежной лаборатории «Агробиотехнологии для повышения плодородия почв и качества сельскохозяйственной продукции» в рамках программы развития межрегионального научно-образовательного центра Юга России (ЛабНОЦ-21-01АБ).*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акименко Ю.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Изменение биохимических свойств чернозема обыкновенного при загрязнении биоцидами // *Агрохимия*. 2015. № 3. С. 81–87.
2. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. // *Методы био-диагностики наземных экосистем*. Ростов н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2016. 356 с.
3. Минникова Т.В., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В., Колесников С.И. Оценка зависимостей между гидротермическими показателями и ферментативной активностью черноземов Ростовской области при использовании различных агротехнологий // *Агрофизика*. 2018. № 1. С. 9–17.
4. Минникова Т.В., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Влияние сельскохозяйственных культур на ферментативную активность черноземов ростовской области при использовании различных агротехнологий // *Агрохимия*. 2020. № 10. С. 20–27.
5. Akhtar S.S., Andersen M.N., Naveed M., Zahir Z.A., Liu F.L. Interactive effect of biochar and plant growth-promoting bacterial endophytes on ameliorating salinity stress in maize // *Funct. Plant. Biol.* 2015. No. 42. P. 770–781.
6. Calderon F.J., Nielsen D., Acosta-Martinez V., Vigil M.F., Lyon D. Cover crop and irrigation effects on soil microbial communities and enzymes in semiarid agroecosystems of the central great plains of North America // *Pedosphere*. 2016. No. 26. P. 192–205.
7. Kumar V., Kumar P., Khan A. Optimization of PGPR and silicon fertilization using response surface methodology for enhanced growth, yield and biochemical parameters of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under saline stress // *Biocatal. Agric. Biotechnol.* 2020. No. 23. Article 101463.

## ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОЧВ ЮГА РОССИИ ПРИ НЕФТЯНОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ ПО БИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

*Т.В. Минникова, С.И. Колесников*

*Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия  
loko261008@yandex.ru*

Загрязнение почв нефтью оказывает влияние на ее экологическое состояние. Применение ремедиантов различной природы способствует разложению нефти и восстановлению экологического состояния почв.

Целью исследования было оценить степень восстановления почв Юга России при нефтяном загрязнении по биологическим показателям. Самым эффективным ремедиантом для восстановления экологического состояния после нефтезагрязнения бурой лесной почвы является биочар, чернозема обыкновенного супесчаного – гумат натрия, чернозема обыкновенного тяжелосуглинистого – биочар и гумат натрия. По степени восстановления экологического состояния после внесения ремедиантов наиболее эффективно восстановление происходит в черноземе супесчаном, а наименее – черноземе обыкновенном. Результаты исследования могут быть использованы при мониторинге и биодиагностике состояния нефтезагрязненных почв Юга России.

Глобальное использование нефтяных углеводородов для производства энергии и сырья в различных целях увеличилось из-за обширного выброса самых разнообразных загрязняющих веществ в окружающую среду, влияющих на почву, поверхностные и грунтовые воды [Ossaia et al., 2020]. Однако очистка почв и компонентов экосистем от загрязнений, вызванных нефтяными углеводородами, представляет собой огромную и кропотливую работу. Он включает в себя несколько методов обработки на месте: биологические, химические, физико-химические, термические и тепловые, электрические и электромагнитные, акустические и ультразвуковые. Процесс разложения нефтяных углеводородов в почве зависит от ее агрохимических и агрофизических свойств, в том числе от состава, влажности и содержания элементов питания (азот, фосфор, калий) [Macaulay, Rees, 2014; Chagas-Spinelli et al., 2012]. Однако в большинстве этих методов отсутствует возможность массового применения из-за дороговизны и угрозы вторичного загрязнения нефтяными углеводородами. Поэтому приоритетом является использование альтернативных

технологий восстановления почвы, которые усиливают деградацию нефтяных углеводородов в почве [Mahdia et al., 2022; Varjani et al., 2021; Zahed et al., 2021;]. При загрязнении почвы нефтяными углеводородами, происходит изменение ее водопроницаемости и кислородопроницаемости с ингибированием активности почвенных ферментов, изменяют микробиологические показатели и замедляют рост и развитие растений [Kolesnikov et al. 2011; Minnikova et al., 2021, Zhang et al., 2019; Yuan et al., 2019]. Для биостимуляции почвы при загрязнении НУ часто используют неорганические азотсодержащие удобрения, такие как мочевины и нитроаммофос. Внесение таких удобрений обусловлено нарушением баланса в почве между углеродом (источник загрязнения нефтяными углеводородами) и азотом [Minnikova et al., 2018; 2019; 2021; 2022].

Объектами исследования выбраны 3 почвы, различающиеся по своим физическим и химическим свойствам. Первый объект исследования – это чернозем обыкновенный тяжелосуглинистый (Chernozem Haplic согласно WRB (2022)). Место отбора – пашня (А<sub>пах</sub> 0–10) Ботанического сада Южного федерального университета (47°14'17.54"N; 39°38'33.22"E) (Ботанический сад ЮФУ расположен в центре г. Ростова-на-Дону). Черноземы Юга России – это наиболее плодородные почвы России. Учитывая огромную антропогенную нагрузку, приходящуюся на эти почвы, их восстановление и сохранение особенно актуально. Вторым объектом исследования был чернозем обыкновенный супесчаный (Haplic Arenosols) (47°46'015"N; 40°51'700"E). Образцы почв отбирали в степной зоне с разнотравно-злаковой растительностью, в Усть-Донецком районе Ростовской области. Третий объект для исследования – бурая лесная тяжелосуглинистая почва (Haplic Cambisols) (44°10'649"N; 40°9'469"E). Образцы почв отбирали в грабово-буковом лесу в окрестностях п. Никель (респ. Адыгея).

Изучаемые типы почв различаются по своим физико-химическим и биологическим свойствам, что определяет их разную устойчивость к загрязняющим веществам различной природы, как тяжелые металлы, нефть и другие загрязняющие вещества [Кузина и др., 2021; Kolesnikov et al., 2019; Minnikova et al., 2021].

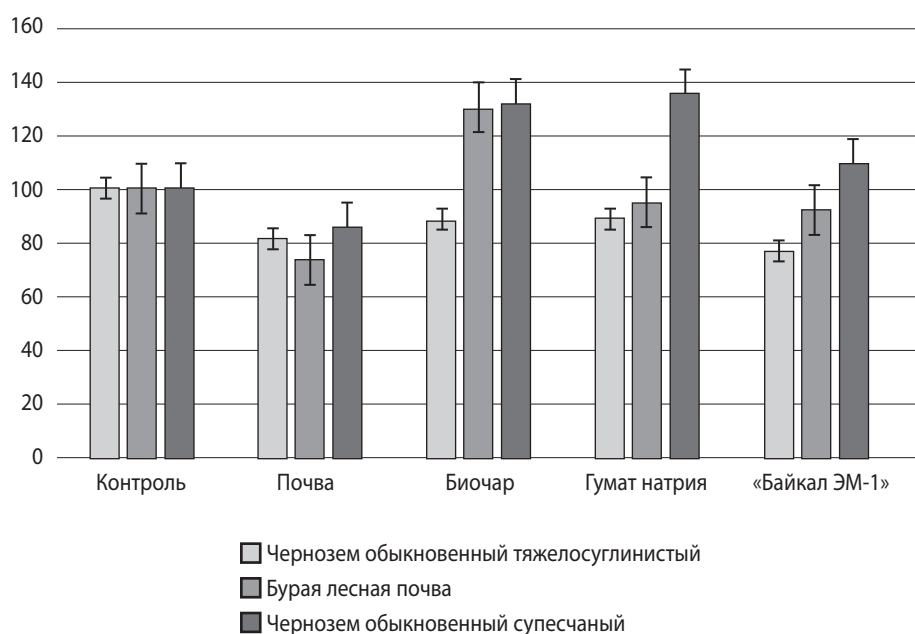
Для моделирования загрязнения почв нефтью воздушно-сухую почву взвешивали по 200 г и помещали в пластиковые контейнеры в 3-кратной биологической повторяемости. В увлажненную почву (40 % от полевой влажности) вносили нефть, тщательно перемешивали и вносили ремедианты. Биочар тщательно измельчали в ступке до размера фракций 0,2–0,5 см и перемешивали с загрязненной почвой. Из гумата натрия и «Байкал ЭМ-1» готовили процентные растворы, которыми увлажняли почву до внесения нефти. Инкубацию вегетационных сосудов проводили в течение 30 суток при поддержании температуры и влажности почвы. По истечении периода экспозиции проводили оценку экологического состояния почвы. Для оценки экологического состояния почв определяли остаточное содержание нефти в почве экстракцией четыреххлористым углеродом. Экологическое

состояние почв оценивали по следующим биологическим показателям: активности каталазы, дегидрогеназ, уреазы, фосфатазы, инвертазы, численности почвенных бактерий, скорости прорастания, длине корня и побегов, эмиссии  $\text{CO}_2$ .

Для оценки состояния почвы по показателям биологической активности почвы используют интегральный показатель биологического состояния (ИПБС) почвы [Kolesnikov et al., 2019]. Для ИПБС почвы максимальное значение каждого показателя (100 %) выбирали из массива данных по каждому биологическому показателю.

Статистическую обработку данных проводили с помощью пакета Statistica 12.0 и Python 3.6.5 Matplotlib.

Интегральный показатель биологического состояния (ИПБС) каждого из изученных типов почв до и после загрязнения нефтью и внесения ремедиантов представлен на рисунке 1. Установлено, что внесение биоремедиантов в чистую почву без нефти оказывает стимулирующее воздействие на большинство биологических показателей.



**Рис. 1.** Изменение интегрального показателя биологического состояния почв Юга России при загрязнении нефтью после внесения биоремедиантов

Это доказывает безопасность веществ для чистой плодородной почвы. Нефть вызвала снижение ИПБС в черноземе обыкновенном, бурой лесной почве и черноземе супесчаном на 19, 27 и 14 % относительно контроля. После внесения биочара стимуляция выше уровня контроля установлена в бурой лесной почве и черноземе супесчаном на 30 и 31 % соответственно.

Воздействие ремедиантов на ИПБС почв представлено в виде рядов (в % относительно контроля) для каждого изученного типа почв.

- Чернозем обыкновенный тяжелосуглинистый:  
биочар = гумат натрия > «Байкал ЭМ-1»
- Бурая лесная кислая почва: биочар > гумат натрия > «Байкал ЭМ-1»
- Чернозем обыкновенный супесчаный: гумат натрия > биочар > «Байкал ЭМ-1»

Согласно построенным рядам, наибольшие стимулирующие биологические показатели изученных почв имеет биочар, а наименее – «Байкал ЭМ-1». При этом степень воздействия по типам почв различается.

Ряд восстановления биологических свойств почвы после внесения ремедиантов: *чернозем обыкновенный супесчаный > бурая лесная почва > чернозем обыкновенный.*

Низкая скорость восстановления чернозема обыкновенного вероятно связана с его физико-химическими свойствами: гранулометрическим составом, содержанием органического вещества, реакцией почвенной среды. Ранее было установлено, что физические свойства почв определяют скорость и степень восстановления почвы при различных антропогенных воздействиях [Korneykova et al., 2021]. Такие супесчаные легкого гранулометрического состава почвы, как чернозем супесчаный, содержат больше песка (до 70 %), чем глины (до 15 %). При этом суглинистые почвы, такие как бурая лесная и чернозем обыкновенный тяжелосуглинистый, содержат не менее 35 % илистой фракции. Очевидно, что процесс восстановления структуры почвы, нарушенной загрязнением нефтью, зависит от гранулометрического состава.

В результате ремедиации нефтяного загрязнения чернозема обыкновенного и супесчаного, бурой лесной почвы гуматом натрия, биочаром и «Байкал ЭМ-1» было установлено, что эффективность воздействия на биологические свойства почв и остаточное содержание нефти по типам почв различается. Самым эффективным ремедиантом для восстановления экологического состояния после нефтезагрязнения бурой лесной почвы является биочар, чернозема обыкновенного супесчаного – гумат натрия, чернозема обыкновенного тяжелосуглинистого – биочар и гумат натрия. По степени восстановления экологического состояния после внесения ремедиантов наиболее эффективно восстановление происходит в *черноземе супесчаном, а наименее – в черноземе обыкновенном.*

Результаты исследования могут быть использованы при мониторинге и биодиагностике состояния нефтезагрязненных почв Юга России.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузина А.А., Колесников С.И., Минникова Т.В., Гайворонский В.Г., Неведомая Е.Н., Тер-Мисакянц Т.А., Казеев К.Ш. Экологически безопасные концентрации нефти в почвах черноморского побережья Кавказа // Экология и промышленность



- России. 2021. Т. 25. № 11. С. 61–65. URL: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-11-61-65>.
2. *Chagas-Spinelli A.C.O., Kato M.T., de Lima E.S., Gavazza S.* Bioremediation of a tropical clay soil contaminated with diesel oil // *J. Environ. Manag.* 2012. Vol. 113. P. 510–516. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.05.027>.
  3. *Kolesnikov S.I., Kazeev K.S., Akimenko Y.V.* Development of regional standards for pollutants in the soil using biological parameters // *Environ. Monit. Assess.* 2019. Vol. 191. P. 544. URL: <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7718-3>.
  4. *Kolesnikov S.I., Aznauryan D.K., Kazeev K.S., Denisova T.V.* Study of the possibility of using urea and phosphogypsum as ameliorants in oil-contaminated soils in a model experiment // *Agrochemistry.* 2011. No. 9. P. 77–81.
  5. *Korneykova M.V., Myazin V.A., Fokina N.V., Chaporgina A.A.* Bioremediation of Soil of The Kola Peninsula (Murmansk Region) Contaminated with Diesel Fuel // *Geo., Env. Sust.*, 2021. Vol. 14. No. 1. P. 171–176. URL: <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2019-170>.
  6. *Macaulay B.M., Rees D.* Bioremediation of oil spills: A review of challenges for research advancement // *Annu. Environ. Sci.* 2014. Vol. 8. No. 2. P. 73653954.
  7. *Mahdia S., Razika K., Nadjji M.-M., Abdellah I.* Decontamination of soil polluted by hydrocarbons // *Materials Today: Proceedings.* 2022. Vol. 49. No. 4. P. 1013–1016. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.118>.
  8. *Minnikova T., Kolesnikov S., Ruseva A., Kazeev K., Minkina T., Mandzhieva S., Sushkova S.* Influence of the biochar on petroleum hydrocarbon degradation intensity and ecological condition of Haplic Chernozem // *Eurasian Journal of Soil Science.* 2022. Vol. 11. No. 2. P. 157–166. URL: <https://doi.org/10.18393/ejss.1037798>.
  9. *Minnikova T., Kolesnikov S., Minkina T., Mandzhieva S.* Assessment of Ecological Condition of Haplic Chernozem Calcic Contaminated with Petroleum Hydrocarbons during Application of Bioremediation Agents of Various Natures // *Land.* 2021. Vol. 10. No. 169. URL: <https://doi.org/10.3390/land10020169>.
  10. *Minnikova T.V., Denisova T.V., Kolesnikov S.I., Akimenko Y.V.* Assessment of agroecological indicators of oil-contaminated chernozem of Rostov region during remediation with urea and potassium humate // *Russ. Agric Sci.* 2018. No. 1. P. 44–48. URL: <https://doi.org/10.3103/S1068367418020118>.
  11. *Minnikova T.V., Kolesnikov S.I., Denisova T.V.* Effect of nitrogen and humic fertilizers on the biochemical state of oil-contaminated chernozem // *South of Russia: ecology, development.* 2019. Vol. 14. No. 2. P. 189–201. URL: <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2019-2-189-201>.
  12. *Ossai I.C., Ahmed A., Hassan A., Hamid F.S.* (Remediation of soil and water contaminated with petroleum hydrocarbon: A review // *Environmental Technology and Innovation* 2020. No. 17. P. 100526. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100526>
  13. *Varjani S., Pandey A., Upasani V.N.* (Petroleum sludge polluted soil remediation: Integrated approach involving novel bacterial consortium and nutrient application //

- Sci Total Environ. 2021. No. 763. P. 142934. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142934>.
14. *Yuan P., Wang J., Pan Y., Shen B., Wu C.* (Review of biochar for the management of contaminated soil: Preparation, application and prospect // Sci Total Environ. 2019. No. 6591. P. 473–490. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.400>
15. *Zahed M.A., Salehi S., Madadi R., Hejabi F.* () Biochar as a sustainable product for remediation of petroleum contaminated soil // Current Research in Green and Sustainable Chemistry. 2021. No. 4. P. 100055. URL: <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100055>
16. *Zhang C., Zeng G., Huang D., Lai C., Wang R.* (Biochar for environmental management: Mitigating greenhouse gas emissions, contaminant treatment, and potential negative impacts // Chem. Eng. J. 2019. No. 3731. P. 902–922. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.05.139>.

## ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЫМА ОТ ПОЖАРОВ НА ЗДОРОВЬЕ ПОЧВ С ПОМОЩЬЮ БИОИНДИКАТОРОВ

**М.С. Нижельский, В.В. Вилкова, В.Д. Приходько, К.Ш. Казеев**

---

Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии  
им. Д.И. Ивановского, г. Ростов-на-Дону, Россия  
nizhelskiy@sfedu.ru

Пожары рассматривают как мощный и активно действующий экологический фактор современного почвообразования [Тарасов и др., 2008], оказывающий сложное и многоплановое влияние на формирование наземных экосистем. Почва как неотъемлемая их часть также подвергается сложному и разностороннему пирогенному воздействию, приводящему к заметным изменениям физических, химических и биологических свойств [Kazeev et al., 2020]. Степень этих изменений и отклонения от естественных почвообразовательных процессов обычно определяются видом и интенсивностью пожара [Рыскалиева и др., 2017]. Помимо непосредственно огня, на состояние почв может повлиять и дым от сгорания различных материалов. В связи с чем необходимо проводить мониторинг постпирогенных почв. На сегодняшний день применяют различные подходы к оценке состояния почвенного покрова, с применением различных показателей. Стоит отметить, что биоиндикация является часто используемым подходом [Nizhelskiy et al., 2022; Vilкова et al., 2022]. Тем не менее применение данного метода при оценке почв после воздействия дыма от пожаров является малоизученным. В связи с чем целью данного исследования было изучение воздействия газообразных продуктов горения на почвенную биоту (дождевые черви).

В исследовании были использованы черви *Eisenia fetida*, широко используемые для биоиндикации. Газовой камерой для организмов был полипропиленовый контейнер, объемом 50 литров. Эксперимент проведен с помощью дымогенератора "Merkel Standart" (Helicon, Россия), воздушным компрессором для подачи воздуха в газовую камеру для обработки червей дымом производительностью 17,5 л/мин, а продуктами горения были сосновые опилки. Время воздействия дыма на червей составляло 5, 10 и 30 минут. После, подверженные дыму *Eisenia fetida* сравнивали с контрольными вариантами.

При проведении опыта дождевых червей помещали в контейнеры, объемом 200 мл, во влажную почву, слоем 0,6 см и массой 40 г. В каждый из контейнеров

помещали по 10 дождевых червей в трехкратной повторности. Также выполнили тест без субстрата (скрининговый тест) согласно ГОСТ 33036–2014 [Межгосударственный стандарт ГОСТ 33036-2014]. Подсчет после опыта произведен сразу по окончании эксперимента, а также спустя 24 часа.

Почва для исследований – чернозем обыкновенный – широка распространена на юге России и является одной из наиболее продуктивных почв мира подходом [Вальков и др., 2008].

Результаты модельного эксперимента по фумигации дождевых червей представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** Летальность (%) дождевых червей *Eisenia fetida* после фумигации дымом от сосновых опилок

Вариант	Контроль	5 мин.	10 мин.	30 мин.
Дождевые черви (скрининговый тест)	0	0	53	80
Дождевые черви (в почве)	0	0	40	47,3

Результаты по влиянию продуктов горения на дождевых червей в почве свидетельствуют о среднем уровне токсичности газообразных продуктов горения на почву, так как согласно ГОСТ 33036-2014 [Межгосударственный стандарт ГОСТ 33036-2014], высоким уровнем считается смертность тест-объектов более 50 %. Низкая смертность червей в эксперименте с почвой связана с тем, что почва выполняет роль защитного барьера для дыма, препятствуя проникновению газообразных продуктов горения к червям. Однако в случае со скрининговым тестом (без почвы) летальный исход после 30 минут фумигации был более 80 % (высокая степень токсичности).

*Исследования проведены при финансовой поддержке ведущей научной школы Российской Федерации (НШ-449.2022.5) и при поддержке Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет-2030», СП-12-22-9).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Почвы Юга России. Ростов н/Д.: Эверест, 2008. 276 с.
2. Межгосударственный стандарт ГОСТ 33036-2014. Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Опре-

- деление острой токсичности для дождевых червей = Test methods for chemicals of environmental hazard. Acute toxicity tests for earthworms от 20 ноября 2014 г. No. 1695-ст.: дата введения 08.01.2015. М.: Стандартиформ, 2019. 6 с.
3. Рыскалиева Б. Ж., Хабиров И.К., Габбасова И.М. Влияние пожаров на свойства почвы // Фундаментальные и прикладные основы сохранения плодородия почвы и получения экологически безопасной продукции растениеводства. Ульяновск, 2017. С. 318–324.
  4. Тарасов П.А., Иванов В.А., Иванова Г.А. Особенности температурного режима почв в сосняках средней тайги, пройденных низовыми пожарами // Хвойные бореальной зоны. 2008. № 3–4. С. 300–304.
  5. Kazeev K.Sh., Odabashian M.Yu., Trushkov A.V., and Kolesnikov S.I. Assessment of the Influence of Pyrogenic Factors on the Biological Properties of Chernozems // Eurasian Soil Science. 2020. Vol. 53. No. 11. P. 1610–1619.
  6. Nizhelskiy M.S., Kazeev K.Sh., Vilкова V.V., Kolesnikov S.I. Inhibition of enzymatic activity of ordinary chernozem by gaseous products of plant matter combustion // Eurasian Soil Science. 2022. Vol. 55. No. 6. P. 802–809.
  7. Vilкова V.V., Kazeev K.Sh., Shkhatsev A.K., and Kolesnikov S.I. Reaction of the enzymatic activity of soils of xerophytic forests on the Black Sea coast in the Caucasus to the pyrogenic impact // Arid Ecosystems. 2022. Vol. 12. No. 1. P. 93–98.



## МАЛАКОФАУНА ТАГАНРОГСКОГО ЗАЛИВА АЗОВСКОГО МОРЯ В 2016–2021 гг.

*А.А. Оганесян*

---

*Южный федеральный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия  
avetis1975@gmail.com*

Моллюски играют важную роль в экосистеме Азовского моря: составляют значительную часть биомассы в сообществах макрозообентоса; используются в биоиндикации и биомониторинге [Лебедева и др., 2011; Панасюк и др, 2012; 2016]; служат пищевым ресурсом для рыб и человека; формируют сообщества обрастания [Черкашина, 2016]; являются естественными фильтраторами, поэтому существует необходимость изучения фауны и экологии моллюсков любого водоема [Шкорбатов, 1990].

Таганрогский залив – важная часть Азовского моря, как с промысловой, так и с биологической точки зрения. Периоды осолонения и опреснения значительно влияют на бентосные сообщества залива. Опреснение ведет к повышению видового разнообразия, доминированию аборигенных видов, осолонение – к обеднению таксономического состава, элиминации аборигенных видов и экспансии морских видов.

В настоящее время происходит повышение солености Таганрогского залива в результате зарегулирования стока реки Дон, что ведёт к изменениям в его бентофауне, в частности в фауне моллюсков. Поэтому изучение современной малакофауны Таганрогского залива и закономерностей её распределения под влиянием океанографических факторов представляет собой интерес и является целью данной работы.

Были проанализированы пробы, отобранные в ходе экспедиционных исследований ЮНЦ РАН на НИС «Профессор Панов», НИС «Денеб» и маломерных судах в 2016, 2020 и 2021 гг. С целью сравнения результатов использовались фондовые данные ЮНЦ РАН, полученные в 2003, 2013, 2014, 2015, 2017, 2018, 2019 гг. Карта-схема отбора проб за все периоды показана на рисунке 1.

Материал отбирался с помощью модифицированного дночерпателя Петерсена площадью захвата 0,0034 м<sup>2</sup>, затем промывался через бентосный мешок с ячейкой 500 мкм и фиксируются в герметично закрывающемся пластиковом контейнере 4 %-ным раствором формальдегида. Дальнейший анализ проб происходил в лабораторных условиях с использованием МБС-9 [Воробьёв, 1949; Абакумов, 1983].



**Рис. 1.** Станции отбора проб бентоса: ромбом обозначен 2003 г., звездочкой – 2013 г., квадратом – 2014 г., галочкой – 2015 г., крестиком – 2016 г., маленьким сплошным кругом – 2017 г., кавычками – 2018 г., флажком – 2019 г., окружностью – 2020 г., большим сплошным кругом – 2021 г.

Для определения моллюсков использовался третий том «Определителя фауны Чёрного и Азовского морей» [1972] под редакцией Ф.Д. Мордухай-Болтовского, шестой том «Определителя пресноводных беспозвоночных» [2004], а также каталог моллюсков России и сопредельных стран [Кантор, Сысоев, 2005]. Остальные организмы определялись по первому и второму тому «Определителя фауны Чёрного и Азовского морей» [1968; 1969], а также по определителю М.И. Киселёвой [2004].

Фауна Азовского моря представлена 3 основными фаунистическими комплексами: реликтовым солонатоводным понто-каспийским; азово-черноморским морского происхождения; средиземноморско-атлантическим. Реликтовая солонатоводная фауна в наиболее полной степени представлена в Таганрогском заливе, особенно в кутовой его части, где представители этого фаунистического комплекса (*Monodacna colorata*, *Dreissena polymorpha*) вносят весомый вклад в формирование показателей зообентоса (табл. 1).

**Таблица 1.** Таксономический состав малакофауны Таганрогского залива по годам

Вид	Годы									
	2003	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
<i>1</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Anadara kagoshimensis</i> (Tokunaga, 1906)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Cerastoderma glaucum</i> (Bruguière, 1789)	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Dreissena polymorpha</i> (Pallas, 1771)	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+
<i>Hydrobia acuta</i> (Draparnaud, 1805)	+	-	-	-	+	-	-	-	+	+
<i>Laevicaspia lincta</i> (Milaschewitsch, 1908)	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-
<i>Monodacna colorata</i> (Eichwald, 1829)	+	-	+	-	+	+	+	+	-	-
<i>Mya arenaria</i> (Linnaeus, 1758)	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Mytilus galloprovincialis</i> (Lamarck, 1819)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Pseudanodonta complanata</i> (Rossmässler, 1835)	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Adacna vitrea</i> (Eichwald, 1829)	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Из таблицы 1 видно, что количество обнаруженных таксонов моллюсков на станциях колеблется от 0 до 6. В период проведения исследований видовой состав моллюсков на обследованной акватории был обеден и не включал большей части видов, описанных в литературе для Таганрогского залива. Всего было отмечено 10 видов моллюсков. Из них 40 % составляют двустворчатые, характерные для открытой части Азовского моря.

Динамика плотности населения и биомассы моллюсков на одну станцию в период с 2013 по 2021 г. приведены на рисунках 2 и 3.

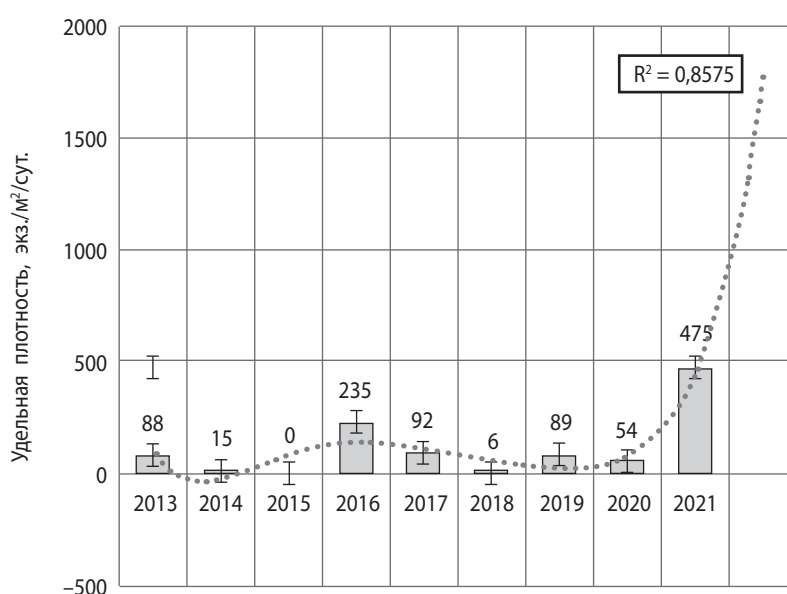


Рис. 2. Изменение удельной плотности населения моллюсков с 2013 по 2021 г.

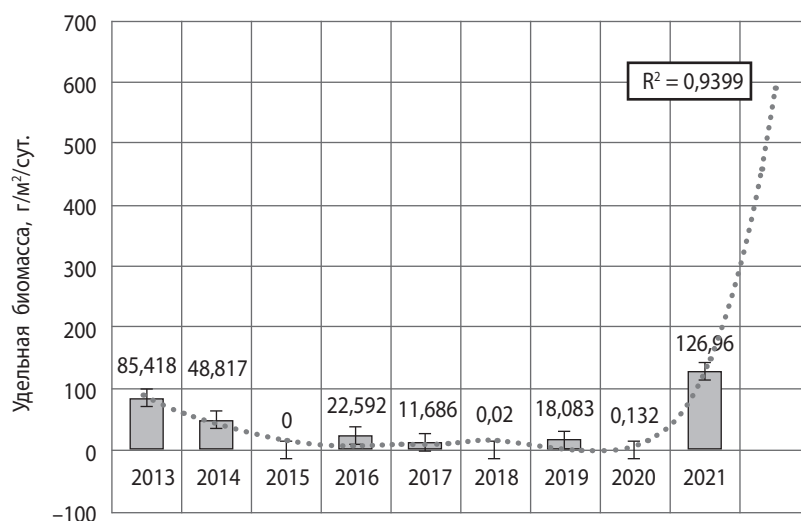


Рис. 3. Изменение удельной биомассы моллюсков с 2013 по 2021 г.

На рисунке 2 видна тенденция к повышению удельной плотности населения моллюсков в заливе в 2013–2016 гг., а в 2016–2020 гг. – к понижению, с 2020 г. зафиксирован резкий скачок численности. Тенденция к повышению плотности в последующие годы при тех же или более высоких значениях солёности вероятна с довольно большой достоверностью.

Из рисунка 3 видно, что удельная биомасса моллюсков имеет тенденцию к уменьшению в 2013–2018 гг., а в 2018–2021 гг. – к повышению. Как и в случае с удельной плотностью при сохранении текущих показателей солёности прогнозируется дальнейшее увеличение удельной биомассы моллюсков в заливе.

По результатам анализа проб 2016–2021 гг. составлена карта распределения сообществ с участием моллюсков, представленная на рисунке 4.



Рис. 4. Распределение сообществ моллюсков с 2016 по 2021 г.

На карте меньший размер метки соответствует меньшим количественным характеристикам моллюсков на данной области.

В период с 2016 по 2021 г. видовое разнообразие зафиксировано больше в восточных частях залива как за счет вытеснения ближе к дельте Дона аборигенных видов (*Monodacna colorata*, *Dreissena polymorpha*) чужеродными, так и за счет экспансии эвригалинных видов (*Cerastoderma glaucum*) в северную часть Таганрогского залива. Максимальные плотность населения и биомасса отмечались в западной части (что было характерно и для периодов осолонения в прошлом) из-за развития здесь морских форм, часто имеющих толстую раковину и во взрослом возрасте не поедаемых бентофагами (*Anadara kagoshimensis*, *Mya arenaria*, *Mytilus galloprovincialis*).

Таким образом, распределение моллюсков по акватории залива неравномерно. Сообщества с доминированием моллюсков встречаются чаще в западной его части. Для данного участка акватории характерны сообщества *Anadara kagoshimensis* – *Mya arenaria*, *Anadara kagoshimensis* – *Mytilus galloprovincialis*, *Hydrobia acuta* – *Amphibalanus improvisus*. В восточной части залива преимущественно присутствуют сообщества с доминированием полихеты *Alitta succinea*, личинок *Chironomus* cf. *plumosus*, в центральной – *Alitta succinea* и *Streblospio gynobranchiata*. На большинстве станций моллюски являются второстепенными по численности организмами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абакумов В.А. и др. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л.: Гидрометеиздат, 1983. Т. 121. 239 с.
2. Воробьев В.П. Бентос Азовского моря // Труды АзЧерНИР. 1949. Вып. 13. 195 с.
3. Кантор Ю.И., Сысоев А. В. Каталог моллюсков России и сопредельных стран. М.: Тов. научных изданий КМК, 2005. 627 с.
4. Киселева М.И. Многощетинковые черви (Polychaeta) Черного и Азовского морей. Апатиты: КНЦ РАН, 2004. 409 с.
5. Лебедева Н.В., Панасюк Н.В. *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) в биоиндикации загрязнения вод в бассейне Азовского моря // Доклады Академии наук. 2011. Т. 436. № 4. С. 569–573.
6. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий / под общ. ред. С.Я. Цалолыхина. Т. 6: Моллюски, Полихеты, Немертины. СПб.: Наука, 2004. 528 с.
7. Определитель фауны Чёрного и Азовского морей / под общ. ред. Ф.Д. Мордухай-Болтовского. К.: Наукова думка, 1968. Т. 1. 436 с.
8. Определитель фауны Чёрного и Азовского морей / под общ. ред. Ф.Д. Мордухай-Болтовского. К.: Наукова думка, 1969. Т. 2. 536 с.

9. Определитель фауны Чёрного и Азовского морей / под общ. ред. Ф.Д. Мордухай-Болтовского. К.: Наукова думка, 1972. Т. 3. 340 с.
10. Панасюк Н.В. Двустворчатые моллюски в биомониторинге Азово-Черноморского бассейна // Современные рыбохозяйственные и экологические проблемы Азово-Черноморского региона: мат-лы VII Междунар. конф. Т. I. 2012. С. 132–136.
11. Панасюк Н.В., Алешина Е.Г. Накопление тяжелых металлов в моллюсках рода *Pseudanodonta* из Таганрогского залива и дельты Дона // Вода: химия и экология. 2016. № 2. С. 53–58.
12. Черкашина К.Д. Экологически безопасная защита от морских обрастаний // Экологическая политика: проблемы и перспективы: мат-лы IV Межвуз. студ. науч.-практ. конф. (г. Пермь, ПГНИУ, 26 мая 2016 г.) / отв. ред. В.В. Ельшина; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2016. С. 73.
13. Шкорбатов Г.Л., Старобогатов Я.И. Методы изучения двустворчатых моллюсков. Л.: Зоол. институт АН СССР, 1990. 209 с.



**НАБЛЮДЕНИЯ ЗА МОРСКИМИ МЛЕКОПИТАЮЩИМИ  
В ПЕРИОД ТРАЛЕНИЙ  
В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ  
В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2022 г.**

***Е.П. Олейников***

Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия  
*euginol@mail.ru*

Летом 2022 г. при проведении ихтиологического мониторинга (изучение видового состава) с использованием разноглубинного трала в северо-восточной части Черного моря, также был отмечен видовой и количественный состав морских млекопитающих *Cetacea* Brisson, 1762, привлеченных рыболовецкой деятельностью.

Подотряд *Odontoceti* Flower, 1867 (зубатые киты) в Черном море представлен одним представителем семейства Морские свиньи *Phocoenidae* Gray, 1825 – *Phocoena phocoena relictata* Abel, 1905 и двумя представителями семейства Дельфиновые *Delphinidae* Gray, 1821 – белобочкой (*Delphinus delphis ponticus* Varabash, 1935) и афалиной (*Tursiops truncatus ponticus* Varabash-Nikiforov, 1940).

Проведение ихтиологических работ часто представляет интерес для птиц и морских млекопитающих, которые оказываются рядом с судном [Бушуев, 2021]. Несмотря на возможные риски для животных, они нередко привлекаются рыболовными судами с целью питания. Визуальные наблюдения при проведении тралений осуществлялись с 24 по 29 июня 2022 г. в дневное время суток одним наблюдателем с высоты (от моря до уровня глаз) 6,2 м. Всего было сделано 15 тралений (рис. 1) длительностью по полчаса каждое. Наблюдателем фиксировались координаты, погодные условия, количественный и видовой состав, а также особенности поведения животных. Работы проводились вдоль кавказского побережья Чёрного моря от Кизилташского лимана (окрестности станицы Старотитаровской) до траверса Адлера.

На 15 тралениях отмечено 6 встреч с морскими млекопитающими. Всего на тралениях отмечено 55 животных. Из них 40 (72,7 %) – *Delphinus delphis* и 15 (27,3 %) – *Tursiops truncatus*. *Phocoena phocoena* на тралениях отмечено не было, для этих дельфинов нехарактерно привлечение к судам. Из 6 встреч два раза *Delphinidae* образовывали смешанные группы: на станции 37 обнаружена смешанная группа – 3 белобочки и 1 афалина, а на станции 29–11 белобочек и 8 афалин.



Рис. 1. Схема расположения экспедиционных станций

*Работа выполнена в рамках проекта РГО «География Нижнего Дона и Цимлянского водохранилища: трансформация в условиях маловодья и засоления» (договор № 40/2022-И).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бушуев С.Г. Взаимодействие дельфинов с траловыми промысловыми судами в северо-западной части Черного моря // Морские млекопитающие Голарктики: XI Междунар. конф. (онлайн). (1–5 марта 2021) / РОО «Совет по морским млекопитающим», 2021. С. 28.

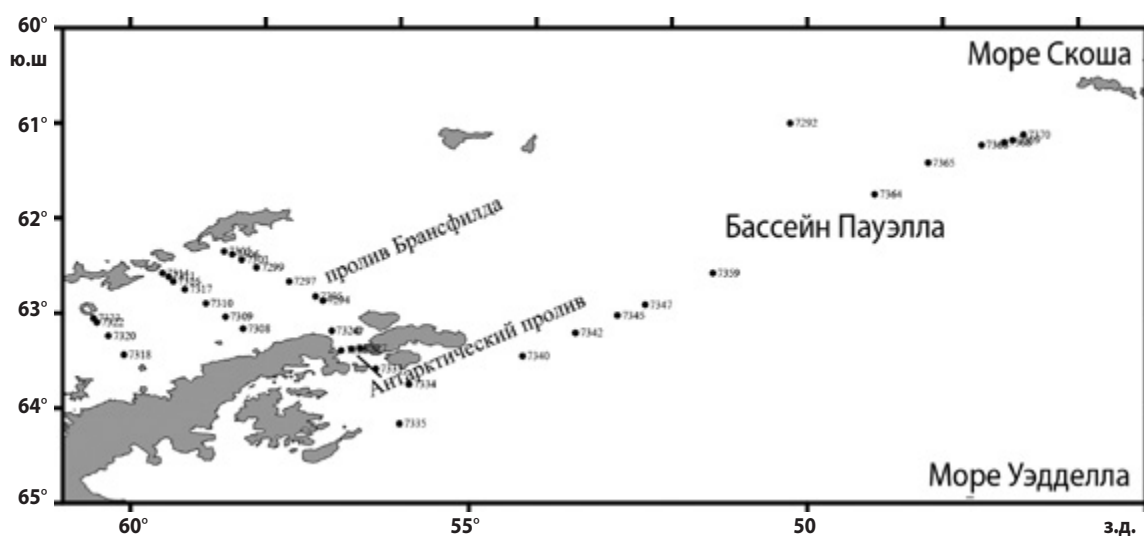
## ДИНАМИКА КИСЛОРОДА И ПАРЦИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ВОД В АТЛАНТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЮЖНОГО ОКЕАНА (по данным 2021–2022 гг.)

*Н.А. Орехова, А.В. Масевич, С.К. Коновалов*

*Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь, Россия  
natalia.orekhova@mhi-ras.ru*

Растворенные в морской воде кислород и углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ) представляют научный интерес с точки зрения изучения влияния изменения климата и увеличения уровня антропогенной нагрузки на биогеохимические циклы в Мировом океане. Изменения климата связывают с изменением содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере, а воды Мирового океана поглощают до 25 % выделяемого в атмосферу антропогенного  $\text{CO}_2$  [Wu et al., 2022].

В работе рассмотрены динамика равновесного парциального давления углекислого газа ( $p\text{CO}_2$ ) и содержания кислорода в поверхностном слое вод по данным 87 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш». Район исследования включал проливы Брансфилда и Антарктический, бассейн Пауэлла, море Уэдделла (рис. 1).



Таким образом, характеристики верхнего слоя вод исследуемого района определялись влиянием морей Беллинсгаузена, Уэдделла и Скоша, а также водами Южной ветви Антарктического циркумполярного течения (АЦТ) [Кречик и др., 2021; Артамонов и др., 2022].

Для изучения динамики кислорода и  $p\text{CO}_2$  отбор проб выполнялся из поверхностного слоя вод на глубине 0–3 м. В пробах воды определяли стандартные гидрологические характеристики: температуру, соленость, плотность – с помощью STD зонда, определение кислорода выполнялось методом Винклера [Carpenter, 1965]. Определение  $p\text{CO}_2$  в поверхностном слое вод и придном слое атмосферы проводилось прямым методом инфракрасной спектроскопии [Хоружий, 2009].

Сопоставляя данные по распределению  $p\text{CO}_2$  и насыщению вод кислородом, выделены районы по типу трансформации водных масс и продукционно-деструкционных процессов.

Термохалинные характеристики вод в значительной степени определяют и гидрохимические характеристики, одними из которых являются содержание растворенных кислорода и углекислого газа. В частности, температура и соленость влияют на растворимость этих газов, а динамика водных масс – вертикальный и горизонтальный перенос.

Помимо физических факторов, динамика этих компонентов определяется и биогеохимическими процессами, основными из которых являются фотосинтез и минерализация органического вещества (уравнение 1), которые биологически связывают продукцию/исчерпание кислорода и  $\text{CO}_2$  [Wu et al., 2022]:



Потребление кислорода на окисление органического вещества приводит к его исчерпанию и продукции  $\text{CO}_2$  (реакция слева направо). При значительном избытке органического вещества возможно развитие дефицита кислорода и подкисления вод.

В свою очередь продукция кислорода является результатом фотосинтеза (реакция справа налево). Обычно фотосинтез ускоряется в условиях дополнительного поступления биогенных элементов при достаточной освещенности. Несмотря на то что рассматриваемый район характеризуется значительными концентрациями биогенных элементов, значительная первичная продукция здесь не характерна [Carrillo et al., 2004].

Равновесное парциальное давление углекислого газа ( $p\text{CO}_2$ ) является величиной, пропорциональной концентрации углекислого газа;  $p\text{CO}_2$  в поверхностном слое вод, в котором происходит обмен  $\text{CO}_2$  с атмосферой, также определяется сезонными изменениями температуры и биогеохимическими процессами.

В северо-западной части моря Уэдделла происходит интенсивный вынос льда в форме дробленого льда и айсбергов, которые обеспечивают низкие величи-

ны температуры воды вплоть до отрицательных значений [Кречик и др., 2021; Артамонов и др., 2022]. Таяние льда сопровождается поступлением дополнительного количества реакционного железа, являющегося в рассматриваемом регионе лимитирующим первичную продукцию фактором [Романова и др., 2022]. Вероятно, это и обуславливает наблюдаемое здесь максимальное содержание хлорофилла *a*.

Термохалинные характеристики вод моря Скоша подвержены пространственно-временной динамике и в значительной степени определяются влиянием вод моря Уэдделла в юго-восточной части, а ближе к Южным Оркнейским островам – водами Южной ветви АЦТ [Артамонов и др., 2022].

На разрезе от 56° з.д. на северо-восток к Оркнейским островам (рис. 1) температура поверхностного слоя вод увеличивалась от (~ -0,6 °С на 56° з.д. в районе максимального содержания хлорофилла *a* (по спутниковым данным) до  $\geq +1$  °С в районе Оркнейских островов. Холодные и соленые воды моря Уэдделла на 56° з.д. определяют максимальные концентрации кислорода (до 106 % нас.) и минимальные значения  $p\text{CO}_2$  (~300 мкатм). Это указывает на преобладание процесса фотосинтеза. В центральной части бассейна Пауэлла (ст. 7359, 7364, 7365, рис. 1) наблюдается обратная картина: максимальное, близкое к атмосферному,  $p\text{CO}_2$  (~420 мкатм) и минимальное содержание кислорода (около 96–97 % нас.). Это может свидетельствовать о трансформации вод и смены преобладающего процесса – фотосинтеза на окисление органического вещества.

Помимо движения на северо-восток, воды моря Уэдделла через Антарктический пролив поступают в пролив Брансфилда, распространяясь вдоль северо-восточного побережья Антарктического полуострова.

В поверхностном слое вод Антарктического пролива отмечены минимальные значения температуры, по мере перемещения водных масс к проливу Брансфилда отмечается снижение степени насыщения поверхностного слоя вод кислородом (до (~97 % нас.) и увеличения величин  $p\text{CO}_2$  с 353 мкатм (ст. 7333) до 428 мкатм (ст. 7324). Это может указывать на смещение продукционно-деструкционных процессов в сторону окисления органического вещества.

Поверхностные воды пролива Брансфилда характеризовались наибольшей изменчивостью гидрохимических характеристик, что обусловлено сложной структурой течений и включения различного типа вод [Кречик и др., 2021; Артамонов и др., 2022]. В целом для данного района было характерно максимальное содержание  $p\text{CO}_2$  в поверхностном слое вод всего исследованного полигона, при этом воды были недонасыщены кислородом.

Распределение температуры и солености в проливе Брансфилда неоднородно и отражает путь распространения вод из морей Уэдделла и Беллинсгаузена, а также их перемешивания между собой и с водой шельфовых районов Южных Шетландских островов и Антарктического полуострова [Кречик и др., 2021]. Это приводит



к формированию в проливе двух основных водных масс: теплой и относительно пресной в районе Южных Шетландских островов (1,12 °С и 34,35 ‰ соответственно) и холодной и соленой (-0,06 °С и 34,44 ‰ соответственно), простирающейся вдоль Антарктического полуострова.

В районе влияния теплой и относительно пресной воды в районе Южных Шетландских островов насыщение вод кислородом изменялось в пределах 91–102 % (среднее значение 98 % нас.), при этом  $p\text{CO}_2$  поверхностного слоя вод изменялось в диапазоне 419–465 мкатм (среднее 433 мкатм), что выше атмосферного  $p\text{CO}_2$  (425 мкатм, по нашим данным прямых измерений) и указывает на дополнительный источник  $\text{CO}_2$  помимо процессов с участием органического вещества. В водной массе, простирающейся вдоль Антарктического полуострова, отмечено недонасыщение вод кислородом было (91–97 % нас.) и пересыщение углекислым газом – диапазон изменения  $p\text{CO}_2$  также составил 419–465 мкатм (среднее 433 мкатм), что может указывать на активно протекающий здесь процесс деструкции органического вещества. При этом минимальные температуры поверхностного слоя вод (-0,19... -0,32 °С) отмечены в районе, расположенном рядом с Антарктическим проливом (ст. 7294, 7295, 7308, 7309, рис. 1). Эти воды характеризовались узким диапазоном изменения солености (34,52–34,55 ‰), минимальным содержанием кислорода (340–347 мкМ, или (~95 % нас.) и высокими значениями  $p\text{CO}_2$  (426–441 мкатм), что также соответствует пересыщению вод углекислым газом по сравнению с атмосферой, что вероятно обусловлено деструкцией органического вещества.

*Работа выполнена в рамках тем госзадания ФГБУН ФИЦ МГИ FNNN-2021-0004 «Океанологические процессы» и FNNN-2022-0001 «Антарктика».*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артамонов Ю.В. и др. Климатическая структура динамических и температурных фронтов в море Скоша и прилегающих акваториях // Морской гидрофизический журнал. 2022. Т. 38. № 2. С. 127–150. DOI:10.22449/0233-7584-2022-2-127-150
2. Кречик В.А. и др. Особенности циркуляции вод в центральной части пролива Брансфилда в январе 2020 г. // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2021. Т. 496. № 1. С. 101–105. DOI: 10.31857/S2686739721010114.
3. Романова Н.Д. и др. Количественные и продукционные характеристики фитопланктона северной части моря Уэдделла в летний период // Океанология. 2022. Т. 62. № 2. С. 220–234. DOI: 10.31857/S0030157422020149.
4. Хоружий Д.С. Опыт прямого определения парциального давления углекислого газа ( $p\text{CO}_2$ ) и концентрации растворенного неорганического углерода ( $\text{TCO}_2$ )



в прибрежных водах Черного моря летом 2009 г. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2009. № 20. С. 195–203.

5. *Carpenter J.H.* The Chesapeake Bay institute technique for the Winkler dissolved oxygen method // *Limnol. Oceanogr.* 1965. No. 10. P. 141–143
6. *Carrillo C.J. et al.* Processes regulating oxygen and carbon dioxide in surface waters west of the Antarctic Peninsula // *Mar. Chem.* 2004. No. 84. P. 161–179.
7. *Wu Y. et al.* Integrated analysis of carbon dioxide and oxygen concentrations as a quality control of ocean float data // *Communications Earth & Environment.* 2022. Vol. 3. No. 92. URL: <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00421-w>

## СОДЕРЖАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПАСТБИЩНЫХ РАСТЕНИЯХ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ

*М.С. Перепечкина<sup>1</sup>, Т.С. Еришова<sup>1</sup>, В.Ф. Зайцев<sup>1</sup>, Е.А. Помогаева<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия*

<sup>2</sup>*Астраханская городская ветеринарная станция, Астрахань, Россия*

*mari.perepechkina.05@bk.ru; ershova\_ts@mail.ru;*

*viacheslav-zaitsev@yandex.ru; kate13-20@mail.ru*

Астраханская область является одним из самых уникальных регионов России. В сельском хозяйстве развиты такие отрасли как культивация зерновых и злаковых культур, особенно распространено овощеводство. Поэтому земли сельскохозяйственного назначения являются одним из значимых в России. Интересом изучения подобных территорий является наличие в некоторой близости источников воздействия на окружающую среду, например военный полигон [Новиков, 2014] или агропромышленный комплекс [Панова, 1991].

В связи с ростом техногенного давления на объекты окружающей среды исследования растений на предмет поглощения ими различных поллютантов представляют собой большую значимость. Тяжелые металлы вызывают у растений большое количество разнообразных изменений. Например, в высоких концентрациях они вызывают хлороз листьев, тормозя в целом процесс фотосинтеза.

Таким образом, накапливаясь в органах растений, тяжелые металлы способны по пищевым цепям поступать в организм человека и оказывать негативное воздействие [Титов, Таланова, 2007; Агаджанян, Скальный, 2001].

Цель исследования – выявить особенности накопления тяжелых металлов в пастбищных растениях Астраханской области.

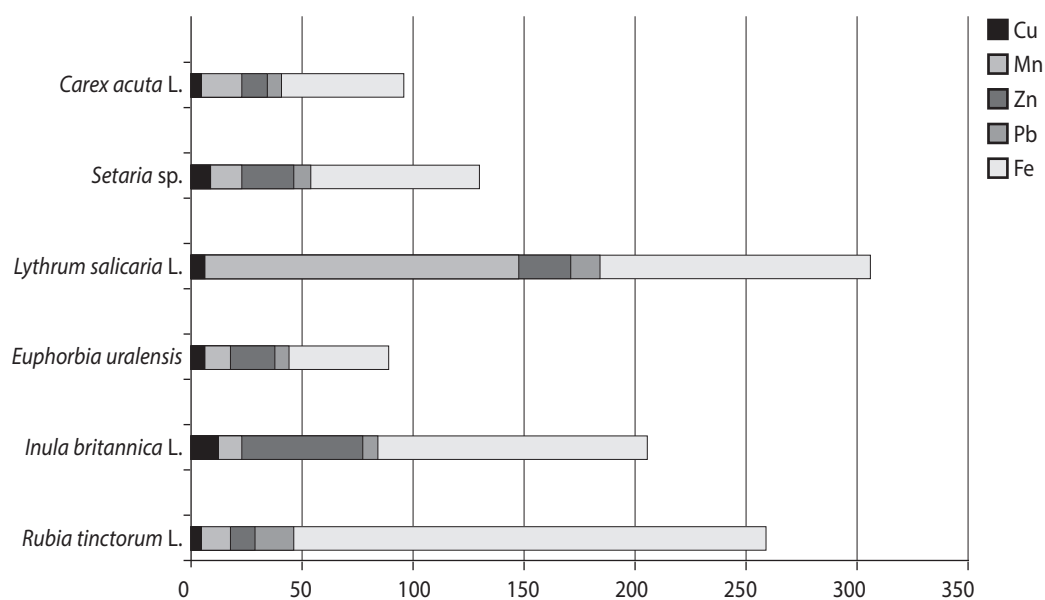
Объектом исследования являлись следующие виды травянистых растений: дербенник иволистный (*Lythrum salicaria* L.), щетинник (*Setaria* sp.), марена красильная (*Rubia tinctorum* L.), девясил британский (*Inula britannica* L.), осока острая (*Carex acuta* L.), молочай уральский (*Euphorbia uralensis* Fisch. ex Link). Отбор проб производился на сельскохозяйственных угодьях Харабалинского района.

Сбор и подготовка материала к химическому анализу проводились в соответствии с общепринятыми методическими указаниями (ГОСТ ISO 11464-2015 и ГОСТ Р 58588-2019). В ходе работы были отобраны надземные части растений –

листья и стебли. В исследуемых образцах определяли Cu, Mn, Zn, Pb, Fe – методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии на атомно-абсорбционном спектрофотометре Hitachi 180-50 (ГОСТ 30178-96–2010). Анализ выполнялся в лаборатории «Мониторинг окружающей среды» ФГБОУ ВО «АГТУ».

Статистическая обработка полученных в ходе исследования данных проводилась с использованием программы Microsoft Excel.

Разные виды исследованных растений обладают специфичной избирательной способностью к накоплению химических элементов как в листьях, так и в стеблях. Так, например, в листьях осоки острой, щетинника и молочая уральского преимущественно концентрируются такие химические элементы как Fe, Zn, Mn. В листьях дербенника иволистного и марены красильной – Fe, Zn, Mn, Pb. В девясиле британском – Fe, Zn, Mn, Cu (рис. 1).

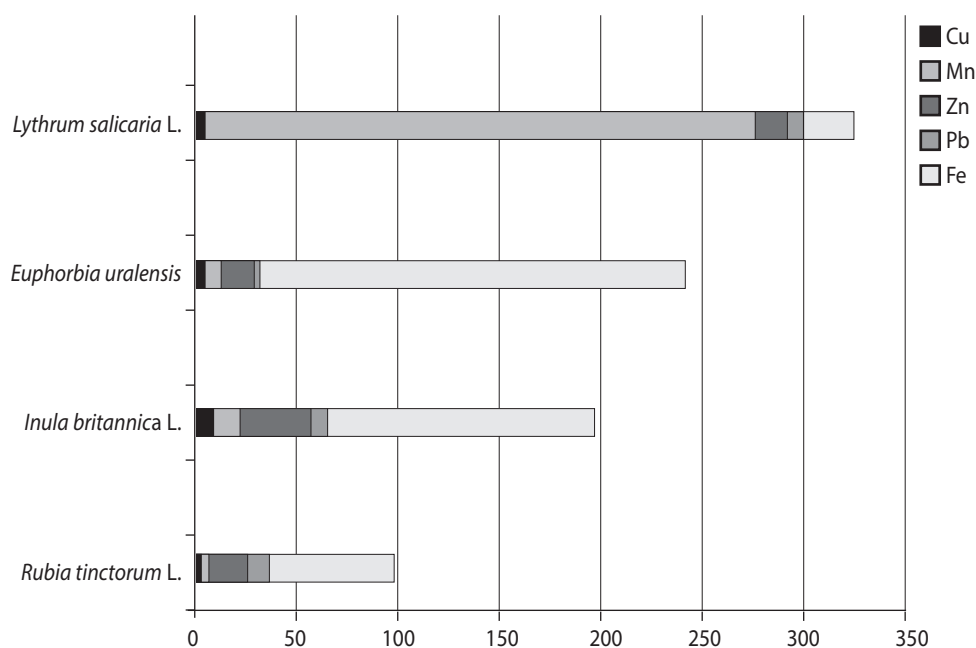


**Рис. 1.** Концентрация химических элементов в листьях растений, мг/кг сухого вещества

Наибольшим содержанием химических элементов в листьях отличался *Lythrum salicaria*, а наименьшим – *Euphorbia uralensis* и *Carex acuta*. Стоит отметить, что листья *Lythrum salicaria* являются концентратором Mn ((141,60 ± 1,21) мг/кг сухого вещества), *Rubia tinctorum* – Fe ((211,75 ± 2,01) мг/кг сухого вещества).

Листья всех исследованных видов в большей мере аккумулируют железо, цинк и марганец. Во всех стеблях растений в наибольших концентрациях аккумулируются железо, исключение составляет *Lythrum salicaria* (рис. 2). Меньше всего в надземной части изученных растений накапливается медь и свинец.

Наибольшим содержанием химических элементов в стеблях отличался дербенник иволистный, а наименьшим – марена красильная.



**Рис. 2.** Концентрация химических элементов в стеблях растений, мг/кг сухого вещества

В ходе исследования была обнаружена закономерность: почти во всех видах растений данные химические элементы аккумулируются в листьях в большем количестве, чем в стеблях. Так, например, в листьях марены красильной железа и марганца в 3 раза больше, чем в стеблях; а свинца и цинка в 2 раза больше. Листья девясила британского содержат железа, марганца и свинца в 1,2 раза больше, чем в стеблях, Исключением является молочай уральский, где железо в стеблях в 4 раза больше, чем в листьях. Также как и у дербенника иволистного марганец превышает концентрацию в стеблях в 2 раза, по сравнению с его концентрацией в листьях.

В надземных частях всех исследованных видов растений наибольшие концентрации имеют Fe, Zn, Mn. Такие элементы как Cu и Pb во всех образцах имеют небольшую концентрацию.

Таким образом, было установлено, что накопление микроэлементов в образцах изученных растений снижается от железа к меди, что характеризует следующий убывающий ряд: Fe > Mn > Zn > Pb > Cu.

Девясил британский как вид многоцелевого хозяйственного использования, обладая лекарственными свойствами, применяется в медицине. Широкое применение этого вида растения делает актуальным исследование на определение экологической чистоты его сырья, в частности выявление содержания в нем тяжелых металлов, в условиях техногенного загрязнения. Сравнивая полученные результаты с данными других авторов [Тамахина, Локьяева, 2016], исследовавших особенности накопления тяжелых металлов девясила британского в районах Кабардино-Балкарской Республики. Установлено, что в надземной части *Inula britannica* концентрации

Cu и Zn в наших образцах выше в 2 и 2,3 раза соответственно, а накопление Pb – в 17 раз, чем у *Inula britannica* в Кабардино-Балкарской Республике.

В результате проведенных исследований выявлены особенности накопления химических элементов в различных видах пастбищных растений. Так, листья марены красильной (*Rubia tinctorum* L.) являются аккумулятором железа и свинца, листья девясила британского (*Inula britannica* L.) – цинка. Тогда как в стеблях молочая уральского (*Euphorbia uralensis* Fisch. ex Link) отмечена аккумуляция железа, а в дербеннике иволистном (*Lythrum salicaria* L.) – марганца.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агаджанян Н.А., Скальный А. В. Химические элементы в среде обитания и экологический портрет человека. М.: КМК, 2001. 83 с.
2. Новиков И.А. Влияние повседневной деятельности войск на окружающую среду // Экология и защита окружающей среды: сб. тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. (г. Минск, 19–20 марта 2014 г.). Минск, 2014. С. 366–371.
3. Панова А.А. Влияние минеральных и органических удобрений на содержание тяжелых металлов в почве // Агрoхимия. 1991. № 3. С. 62–69.
4. Тамахина А.Я., Локьяева Ж.Р. Особенности накопления тяжелых металлов девясилом британским (*Inula britannica* L.) в районах с различной степенью техногенного загрязнения // Вестник КрасГАУ. № 4. 2016. С. 3–9.
5. Титов А.Ф., Таланова В.В., Казнина Н.М., Лайдинен Г.Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам / Институт биологии КарНЦ РАН. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 172 с.

## ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НАНОФОРМАМИ СОЕДИНЕНИЙ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА АКТИВНОСТЬ НИТРИФИКАЦИИ В ПОЙМЕННЫХ ПОЧВАХ

*Е.П. Пуликова, Н.П. Черникова, С.А. Антоненко, А.В. Горовцов,  
Т.М. Минкина, Т.В. Бауэр, И.Г. Дерябкина*

*Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия  
epulikova@sfedu.ru*

В последнее время наночастицы тяжелых металлов (НЧ ТМ) получили широкое распространение в сельском хозяйстве, так как физическое состояние НЧ может обеспечить контролируемое высвобождение металла в почвенный раствор с течением времени. Медь и цинк являются необходимыми микроэлементами для сельскохозяйственных культур и почвенных микроорганизмов. Внесение Cu и Zn в форме НЧ предотвращает дефицит этих микроэлементов; однако передозировка металлических НЧ может привести к негативным последствиям [Sun et al., 2021]. Поскольку азот является ключевым органометаллическим элементом, нарушение процессов его трансформации в почве приводит к серьезным проблемам как на уровне организмов, так и целых экосистем [Умаров и др., 2007]. В более ранних исследованиях указывается разнообразный эффект НЧ Cu и Zn на микробные сообщества [Rajput et al., 2018]. Эффекты НЧ значительно варьируют в зависимости от почвы, продолжительности и дозировки воздействия, поэтому целью нашего исследования является изучение влияния внесения НЧ на основе Zn и Cu на процессы нитрификации в луговых и аллювиальных почвах.

Для изучения влияния НЧ ТМ на процессы цикла азота в почвах природного ландшафта, представленного интразональными аллювиальной песчаной и луговой тяжелосуглинистой почвами, расположенными в пойме р. Северский Донец был заложен модельный опыт. Физико-химические свойства используемых почв представлены в таблице 1.

Эксперимент проводился в вегетационных сосудах с закрытой дренажной системой, содержащих 2 кг почвы, очищенной от растительных остатков и просеянной через сито 3 мм. В почвы вносили Cu и Zn как отдельно, так и совместно в форме НЧ оксидов металлов в 3-кратной повторности. Количество вносимых поллютантов составило: 660 мг/кг (5 ОДК) и 1320 мг/кг (10 ОДК) Cu; 1100 мг/кг (5 ОДК) и 2200 мг/кг (10 ОДК) Zn (ГН 2.1.7.2511-09). Для загрязнения почв использовали эта-



лонные соединения НЧ ZnO и CuO с размерами частиц 30–50 нм (производитель Alfa Aesar). Инкубационный период ТМ в аллювиальной и луговой почвах составил 12 месяцев при поддержании влажности в сосудах на уровне 60 % от полной полевой влагоемкости, после чего был произведен отбор образцов для анализов.

**Таблица 1.** Физические и химические свойства почв гидроморфного ряда, слой 0–20 см

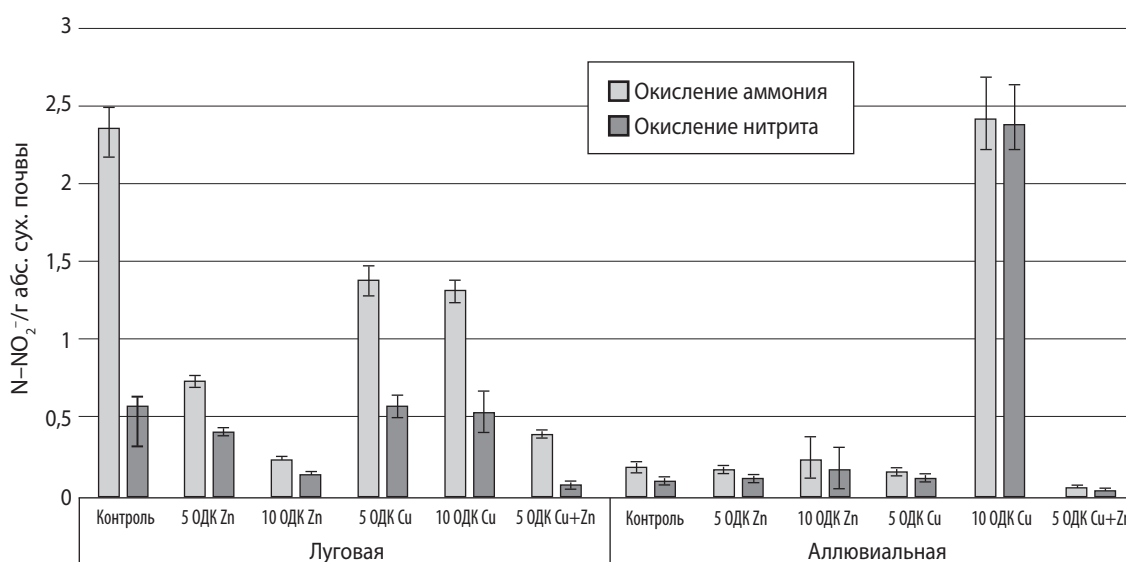
Почва	рН водн.	C <sub>орг</sub>	CaCO <sub>3</sub>	Физ. глина (<0,01 мм)	Ил (<0,001 мм)	Обменные Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup>	ЕКО	Cu	Zn
Луговая	7,5	4,3	0,6	55,8	32,0	38,1	40,1	37	110
Аллювиальная	7,5	0,9	0,1	2,8	1,6	6,6	8,2	15	85

Активность окисления аммония и нитрита была определена посредством инкубации почвенных образцов с добавлением сульфата аммония в присутствии и при отсутствии хлората (ингибитор второй фазы нитрификации) [Sauve et al., 1999] с последующим добавлением реактива Грисса и фотокolorиметрией при 540 нм. Концентрации нитрита в почве определялись в соответствии с ПНД Ф 16.1:2.2.2:3.51-08. Для анализа данных использовали пакет программ STATISTICA 8. Для определения факторов, влияющих на процессы нитрификации, был применен многофакторный и однофакторный дисперсионные анализы ANOVA.

На рисунке 1 видно, что наибольшая активность нитрификации первой фазы в луговой почве была обнаружена в контрольном варианте (незагрязненная почва) (2,37 мкг N–NO<sub>2</sub>/г абс. сух. почвы). При добавлении НЧ ТМ происходит статистически достоверное снижение активности окисления аммония (до 0,25 мкг N–NO<sub>2</sub>/г абс. сух. почвы в почве с загрязнением НЧ Zn в дозе 10 ОДК). Достоверного снижения активности второй фазы не наблюдалось, так как окисление аммония более чувствительный процесс относительно процесса окисления нитрита [Lee et al., 1997]. Наибольшая активность второй фазы нитрификации отмечается в почвах, загрязненных НЧ Cu в дозе 5 ОДК, и составляет 0,59 мкг N–NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/г абс. сух. почвы. Более сильное подавление активности второй фазы нитрификации происходит при сочетанном загрязнении НЧ ZnO и CuO в концентрации, превышающей ОДК в 5 раз (снижение на 83 % от значений в контрольной почве). Кроме того, стоит отметить, что при увеличении концентрации ТМ-активности окисления аммония и нитрита становятся ниже, особенно при добавлении ZnO. При загрязнении НЧ Zn в других исследованиях также происходило ингибирование

скорости нитрификации, вызванное именно НЧ, а не высвобождением ионов Zn [Wu et al., 2018].

Активность нитрификации в незагрязненной аллювиальной почве была в 12 раз ниже, чем в незагрязненной луговой почве, что связано с физико-химическими свойствами типов почв, определяющих микробиологическую активность. При добавлении 10 ОДК НЧ CuO произошло значительное увеличение активности нитрификации, в то время как сочетанное загрязнение обоими ТМ привело к статистически достоверному снижению активности окисления как аммония, так и нитрита. В исследовании [Samarajeewa et al., 2021] также было обнаружено, что при внесении более низких концентраций CuO наблюдались стимулирующие нитрификацию эффекты, что объясняется потребностью в Cu ферментов аммиачной монооксигеназы. Также стоит отметить, что с добавлением НЧ уменьшается соотношение активностей первой и второй фаз в луговой и аллювиальной почвах, что связано с большей чувствительностью первой фазы к ТМ.



**Рис. 1.** Нитрифицирующие активности в луговых и аллювиальных почвах, загрязненных наночастицами

Таким образом, можно сделать вывод, что наиболее чувствительным к наночастицам ТМ показателем является активность первой фазы нитрификации, причем особенно сильное ингибирование процессов наблюдается при добавлении НЧ ZnO и при сочетанном загрязнении обоими поллютантами. Кроме того, стоит отметить разницу снижения активностей в почвах луговых и аллювиальных. Несмотря на то, что в луговых почвах изначально активность нитрификации была выше, НЧ сильнее ингибировали процессы именно в этом типе почв.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-05-50097.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГН 2.1.7.2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 10 с.
2. ПНД Ф 16.1:2:2.2:3.51-08. Методика выполнения измерений массовой доли нитритного азота в почвах, грунтах, донных отложениях, илах, отходах производства и потребления фотометрическим методом с реактивом Грисса. М., 2008.
3. Умаров М., Кураков А.В., Степанов А.Л. Микробная трансформация азота в почве. М.: ГЕОС, 1990. 138 с.
4. Хазиев Ф. Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.
5. Lee Y.W., Ong S.K., Sato C. Effects of heavy metals on nitrifying bacteria // *Water Science and Technology*. 1997. Vol. 36. No. 12. P. 69–74.
6. Rajput V.D., Minkina T., Fedorenko A., Tsitsuashvili V., Mandzhieva S., Sushkova S., Azarov A. Metal oxide nanoparticles: Applications and effects on soil ecosystems // *Soil contamination: sources, assessment and remediation*. 2018. P. 81–106.
7. Samarajeewa A.D., Velicogna J.R., Schwertfeger D.M., Princz J.I., Subasinghe R.M., Scroggins R.P., Beaudette L.A. Ecotoxicological effects of copper oxide nanoparticles (nCuO) on the soil microbial community in a biosolids-amended soil // *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 763. P. 143037.
8. Sauv e S., Dumestre A., McBride M., Gillett J.W., Berthelin J., Hendershot W. Nitrification potential in field-collected soils contaminated with Pb or Cu // *Applied Soil Ecology*. 1999. Vol. 12. No. 1. P. 29–39.
9. Sun W., Dou F., Li C., Ma X., Ma L.Q. Impacts of metallic nanoparticles and transformed products on soil health // *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 2021. Vol. 51. No. 10. P. 973–1002.
10. Wu Q., Huang K., Sun H., Ren H., Zhang X.X., Ye L. Comparison of the impacts of zinc ions and zinc nanoparticles on nitrifying microbial community // *Journal of hazardous materials*. 2018. Vol. 343. P. 166–175.

**ОЦЕНКА АКТИВНОСТИ ДЕГИДРОГЕНАЗ  
ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО ПОСЛЕ РЕМЕДИАЦИИ  
НИТРОАММОФОСКОЙ И «БАЙКАЛ ЭМ-1»  
ПРИ МАЗУТНОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ**

*С.Ю. Ревина, Т.В. Минникова, А.С. Русева, С.И. Колесников*

---

*Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия  
soffy.soff@mail.ru*

Мазут является наиболее распространенным жидким топливом для сжигания в промышленных и энергетических котлах и представляет собой тип нефтяных углеводородов, основными характеристиками которых являются низкая летучесть, высокая вязкость и низкая подвижность, что затрудняет обработку мазута по сравнению с другими нефтяными углеводородами, такими как бензин и дизельное топливо [Tsai et al., 2009; Забродин и др., 2013].

При загрязнении почв нефтепродуктами изменяется численность микроорганизмов основных физиологических групп, ухудшаются агрофизические и агрохимические свойства почвы, снижается активность окислительно-восстановительных и гидролитических ферментов [Гамзаева, Шепелев, 2018].

Биоремедиация представляет собой процесс обработки загрязненной территории, осуществляемый путем изменения условий окружающей среды для стимулирования роста микроорганизмов либо за счет естественной деятельности микроорганизмов, что приводит к деградации целевых загрязнителей [Чачина, Чачина, 2019].

Целью работы являлось изучение активности дегидрогеназ после ремедиации загрязненного мазутом чернозема обыкновенного ремедиантами различной природы.

Объектом исследования выбран чернозем обыкновенный (Ботанический сад, Ростов-на-Дону, пашня). Для моделирования процесса загрязнения почвы использовали мазут производства ОАО «Неклиновскнефтепродукт», (Ростовская область, Неклиновский район, село Покровское). Мазут вносили во влажную почву в количестве 5 % от массы почвы и тщательно перемешивали. Срок экспозиции составил 30 суток. Контролем служила чистая почва без мазута.

Нитроаммофоска – это комплексное минеральное удобрение, содержащее азот, калий и фосфор в соотношении 15 : 15 : 15.

«Байкал ЭМ-1» – это микробиологический препарат, который обогащает почву полезными микроорганизмами, улучшает структуру почвы и ускоряет процесс минерализации органического вещества [Костенко, 2009; Курчевский, Виноградов, 2013].

Каждый ремедиант вносили в почву в трех дозах: в дозе, рекомендуемой производителем (Д), а также в 2 раза меньшей (Д0,5) и в 2 раза большей рекомендуемой (Д2). В качестве рекомендуемой дозы на 200г почвы вносили нитроаммофоску – 0,75 г (в пересчете на азот) и 0,5 % раствор «Байкал ЭМ-1».

Активность дегидрогеназ определяли по А.Ш. Галстяну (1978) по восстановлению солей тетразолия хлористого в трифенилформазаны (ТФФ). Активность ферментов выражали в мг ТФФ в 10 граммах почвы за 24 часа.

При изучении активности дегидрогеназ установлено, что стимулированию фермента относительно контроля способствовало внесение «Байкал ЭМ-1» в дозе Д0,5 – на 19 %, в дозе Д2 – на 9 % (рис. 1). Также эффективным оказалось применение нитроаммофоски всех доз – активность дегидрогеназ оказалась выше контрольных значений, в среднем, на 32 %.

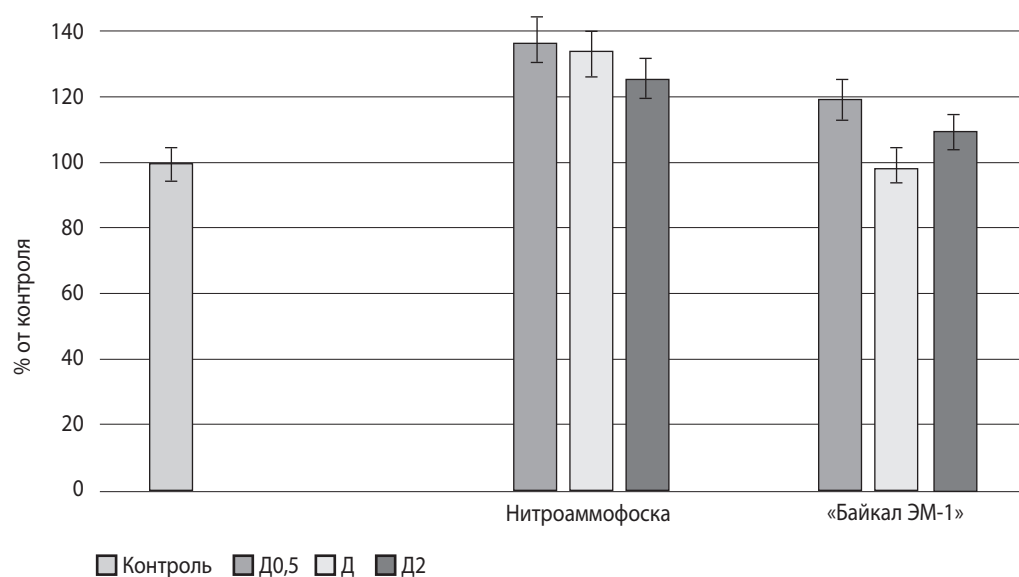
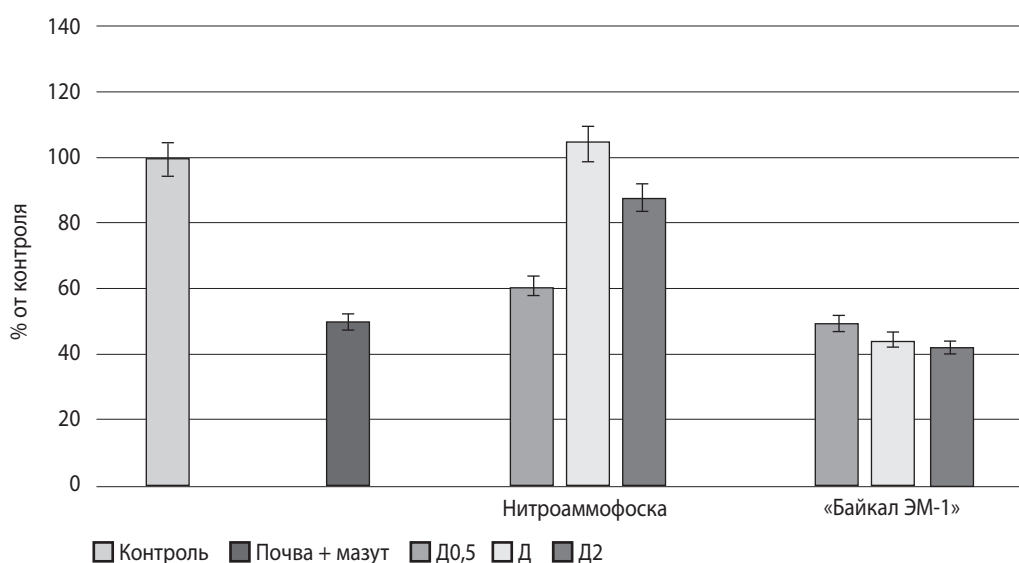


Рис. 1. Активность дегидрогеназ при внесении ремедиантов, % от контроля

Исследование показало, что при внесении мазута в почву происходило ингибирование дегидрогеназ: показатель ферментативной активности оказался на 49 % ниже контроля (рис. 2).

При этом достоверное повышение активности дегидрогеназ в сравнении с загрязненной почвой установили в случае применения нитроаммофоски во всех дозах. Наиболее эффективным оказалось внесение в загрязненную почву нитроаммофоски в рекомендуемой дозе: в сравнении с контролем значительных различий не выявлено, при этом относительно загрязненной почвы наблюдалось стимулирование фермента на 53 %.



**Рис. 2.** Активность дегидрогеназ после ремедиации загрязнения, % от контроля

Использование «Байкал ЭМ-1» всех доз оказалось неэффективным при ремедиации чернозема обыкновенного, загрязненного мазутом.

При оценке активности дегидрогеназ наибольшая активность фермента в загрязненной почве установлена при внесении нитроаммофоски в рекомендуемой дозе: стимулирование показателя на 53 % относительно загрязненной мазутом почвы. «Байкал ЭМ-1» всех доз при использовании его в загрязненной мазутом почве не доказал эффективности на активность дегидрогеназ.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента МК-175.2022.5 и проекта Министерства науки и высшего образования РФ по поддержке молодежной лаборатории «Агробиотехнологии для повышения плодородия почв и качества сельскохозяйственной продукции» в рамках программы развития межрегионального научно-образовательного центра Юга России (ЛабНОЦ-21-01АБ).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гамзаева Р.С., Шепелев А.С. Эффективность применения нефтеструктуров на загрязненных нефтепродуктами почвах при выращивании сельскохозяйственных культур // Вестник Студенческого научного общества. 2018. Т. 9. № 1. С. 20–23.
2. Забродин А.Г., Алибеков С.Я., Маряшев А.В., Сальманов Р.С., Филимонов С.С. Анализ физико-механических свойств мазута и устройство для его эффективной подготовки и сжигания // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 5. С. 226–230.



3. *Костенко Т.А., Костенко В.А.* Биологические препараты. Сельское хозяйство. Экология: Практика применения. М., 2008. 29 с.
4. *Курчевский С.М., Виноградов Д.В.* Изменение основных свойств дерново-подзолистой супесчаной почвы под действием органоминеральных удобрений и бактериального препарата «Байкал ЭМ-1» // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2013. № 4. С. 113–116.
5. *Чачина С.Б., Чачина Е.П.* Биоремедиация почв, загрязненных мазутом при комплексном применении вермикультуры *E. Fetida* и биопрепаратов «Байкал», «Восток», «Тамир» // Безопасность городской среды: мат-лы VI Междунар. науч.-практ. конф. (г. Омск, 21–23 нояб. 2018 г.) / под общ. ред. Е.Ю. Тюменцевой. Омск: Омский гос. тех. ун-т, 2019. С. 187–193.
6. *Tsai T.T., Kao C.M., Surampalli R.Y., & Chien H.Y.* Enhanced Bioremediation of Fuel-Oil Contaminated Soils: Laboratory Feasibility Study // Journal of Environmental Engineering. 2009. Vol. 135. No. 9. P. 845–853.

## ОБ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКЕ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РЕК В ПРЕДЕЛАХ ТЕХНОГЕННО-НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

***В.Н. Решетняк, В.Е. Закруткин***

*Институт наук о Земле Южного федерального университета,  
г. Ростов-на-Дону, Россия  
vnresh3@gmail.com*

В последние годы при изучении степени загрязненности рек и водоемов исследователями из разных стран всё чаще делается акцент на рассмотрении особенностей химического состава донных отложений, поскольку, с одной стороны, они являются депонирующей средой, где часто накапливаются значительные количества загрязняющих веществ, в том числе тяжелых металлов, с другой – при определенных условиях донные осадки выступают как источник вторичного загрязнения речных вод.

В отечественной и зарубежной литературе описано немало количество подходов к оценке уровня загрязненности донных отложений водных объектов, которые условно можно разделить на две группы: оценка по отдельным элементам (коэффициент концентрации  $K_c$ , фактор обогащения  $E_p$ , индекс геоаккумуляции  $I_{geo}$ , нормативы USEPA, коэффициент донной аккумуляции и др.) и оценка по интегральным показателям. Последняя имеет ряд очевидных преимуществ.

В работах российских ученых для оценки уровня загрязненности донных отложений наиболее широко применяется суммарный показатель загрязнения  $Z_c$  (СПЗ) [Саэт и др., 1990, Янин, 2002]. Суммарный показатель загрязнения представляет собой сумму коэффициентов концентрации элементов, входящих в геохимическую ассоциацию.

В основе зарубежных подходов к оценке уровня загрязненности донных отложений лежит расчет факторов загрязнения, по сути, идентичных коэффициентам концентрации (степень загрязнения Хокансона, модифицированный показатель степени загрязнения, индекс суммарного загрязнения PLI).

Получаемый с помощью такой оценки результат характеризует лишь уровень аномальности содержаний по набору элементов, но не степень загрязненности донных отложений, которая предполагает оценку их опасности для водных экосистем и человека. По этой причине в ряде работ при оценке состояния донных отложений вводятся коэффициенты, учитывающие токсичное действие на живые организмы

[Даувальтер, 2005; Nakanson, 1980], и показатели токсического воздействия (показатель санитарно-токсикологической опасности,  $Z_{CT}$ ) [Янин, 2002].

При этом очень редки попытки исследователей привлечь к оценке факторы, влияющие на содержание и распределение тяжелых металлов в системе «вода – донные отложения» и, тем самым учесть опасность вторичного загрязнения водной толщи.

С нашей точки зрения, система интегральной оценки уровня загрязнённости донных отложений должна основываться на следующих принципах.

**1. Работа с однородным материалом – пелитовой фракцией (< 0,01 мм) донных отложений.** Известно, что речные осадки в целом характеризуются различным гранулометрическим составом, который существенно влияет на распределение в них химических элементов. При этом стоит отметить, что содержание многих металлов в различных гранулометрических фракциях возрастает с уменьшением размера фракции, что обусловлено увеличением удельной площади поверхности частиц [Папина, 2001]. Поэтому пелитовая фракция будет наиболее корректно и информативно отражать уровень загрязнения донных отложений.

**2. Использование в качестве геохимического фона кларков глин и глинистых сланцев.** Использование же региональных фоновых содержаний элементов при оценке загрязнённости донных отложений в районах, подверженных длительному техногенному воздействию, либо затруднено, либо вовсе невозможно.

**3. Учет класса опасности элемента.** Оценка уровня загрязнённости донных отложений без учета степени токсичности элементов представляет собой лишь выявление геохимических аномалий, но не их опасность для пресноводных экосистем. Классы опасности элементов, как и ПДК, для донных отложений рек не разработаны, поэтому целесообразно использовать классы опасности элементов для водной среды.

**4. Учет потенциального риска вторичного загрязнения воды.** Одним из наиболее вероятных условий, способствующих вторичному загрязнению водной толщи, является взмучивание осадков и переход элементов из раствора иловых вод и мелких частиц пелитовой размерности [Янин, 2015]. Важно подчеркнуть, что именно пелитовая фракция, как отмечено выше, является основным носителем загрязняющих веществ, в том числе тяжелых металлов. При этом в ряде исследований [Ouwumi et al., 2014; Chen et al., 2021] продемонстрировано, что содержание многих металлов находится в тесной положительной взаимосвязи с количеством тонкодисперсной фракции.

При разработке интегрального показателя важным является определение типоморфного набора элементов донных осадков – геохимической ассоциации, представляющей собой совокупность элементов, для которых  $K_C > 1,5$ . Значение  $K_C < 1,5$  характеризует природные вариации содержаний элементов. Чем больше значение коэффициента концентрации элемента, тем выше уровень его аномальности в донных отложениях рек.

Исходя из приведенных выше принципов, нами предлагается следующая формула для расчета интегрального показателя загрязнённости донных отложений ( $ИПЗ_{до}$ ):

$$ИПЗ_{до} = \log_{10}(PF) \cdot \sum_{i=1}^n \frac{(K_T \cdot K_C)}{n},$$

где  $K_T$  – коэффициент, зависящий от класса опасности элемента;  $K_C$  – коэффициент концентрации элемента, представляющий собой отношение содержания элемента в пробе к его фоновому (кларковому) содержанию;  $n$  – число исследуемых элементов, для которых  $K_C > 1,5$ ;  $PF$  – выход пелитовой фракции, %.

Для учета класса опасности элемента (то есть его токсичности) были присвоены следующие коэффициенты:  $K_T = 1,5$  для элементов 1-го класса опасности;  $K_T = 1,2$  – 2-го;  $K_T = 1,0$  – 3-го и  $K_T = 0,5$  – 4-го класса опасности соответственно.

При использовании интегрального показателя загрязнённости донных отложений нами была разработана оценочная шкала, основанная на результатах оценки степени загрязнённости донных отложений по показателям СПЗ, степени загрязнения Хокансона и речных вод по УКИЗВ [Закруткин и др., 2016; Zakrutkin et al., 2020].

Степень загрязнённости донных отложений определялась в соответствии с величиной  $ИПЗ_{до}$  по следующей оценочной шкале:  $< 3,5$  – слабая степень;  $3,5-7,0$  – умеренная степень;  $7,0-14,0$  – высокая степень; более  $14,0$  – экстремально высокая степень загрязнённости.

Апробация предложенного подхода на примере природно-техногенной биогеохимической провинции Восточного Донбасса показала высокую сопоставимость результатов оценки уровней загрязнённости донных отложений и речных вод.

Таким образом, учет класса опасности типоморфных элементов и содержания пелитовой фракции в пробе является принципиальным отличием разработанного интегрального показателя загрязнённости донных отложений ( $ИПЗ_{до}$ ) от общепринятых подходов. Результаты, получаемые при расчете данного показателя, отражают не только уровень накопления загрязняющих веществ в речных осадках, но и опасность вторичного загрязнения водной толщи материалом донных отложений.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-27-00305).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Даувальтер В.А.* Оценка экологического состояния поверхностных вод по результатам исследований химического состава донных отложений: учеб. пос. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2005. 88 с.
2. *Закруткин В.Е., Скляренко Г.Ю., Бакаева Е.Н., Решетняк О.С., Гибков Е.В., Фоменко Н.Е.* Поверхностные и подземные воды в пределах техногенно-нарушенных геосистем Восточного Донбасса: формирование химического состава и оценка качества: монография. Ростов н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2016. 172 с.
3. *Папина Т.С.* Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в ряду: вода – взвешенное вещество – донные отложения речных экосистем: аналит. обзор / ГПНТБ СО РАН; ИВЭП СО РАН. Новосибирск, 2001. 58 с.
4. *Саев Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П.* Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
5. *Янин Е.П.* Техногенные илы как вторичный источник загрязнения речных вод // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2015. № 9. С. 17–25.
6. *Янин Е.П.* Техногенные геохимические ассоциации в донных отложениях малых рек (состав, особенности, методы оценки). М.: ИМГРЭ, 2002. 52 с.
7. *Chen Y., Liu M., Zhang X., Bu X., Chen J., Wu X.* Metals in Yellow River estuary sediments during the 2018 water-sediment regulation scheme period // Marine Pollution Bulletin. 2021. Vol. 166. May 2021. P. 112177.
8. *Hakanson L.* Ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimentological approach // Water Res. 1980. Vol. 14. P. 975–1001.
9. *Oyewumi O., Schreiber M.E., Ciparis S.* The impact of poultry litter application on sediment chemistry of the Broadkill River estuary system, Delaware // Environ. Monit. Assess. 2014. No. 186. P. 97–115.
10. *Zakrutkin V.E., Reshetnyak V.N., Reshetnyak O.S.* Assessment of the heavy metal pollution level of the river sediments in the East Donbass (Rostov Region, Russia) // Water and Ecology. 2020. Vol. 3. No. 83. P. 32–40.

## ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СТОКА СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛОВ НА УСТЬЕВЫХ УЧАСТКАХ РЕК ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ

*О.С. Решетняк*

---

*Гидрохимический институт, г. Ростов-на-Дону, Россия  
o.reshetnyak@gidrohim.com*

Влияние химического стока рек России на прибрежные акватории арктических морей значительно. Поступление различных веществ (в том числе загрязняющих) с речным стоком – один из важнейших факторов формирования гидрохимического режима низовий рек и их устьевых областей. Химический сток рек формируется, прежде всего, под влиянием таких факторов, как характер местного и регионального, трансграничного распространения загрязняющих веществ, сорбция их речным льдом из атмосферы и самой реки в течение ледостава, биоаккумуляция многих загрязняющих веществ и вовлечение их в пищевые цепи биоценозов и др. [Брызгалов и др., 2015; Никаноров и др., 2010].

Водный и химический сток крупных рек европейской части Арктической зоны России формируется на огромных водосборных площадях и большая часть растворенных веществ (в том числе и металлов) транспортируется вниз по течению на устьевые участки [Брызгалов и др., 2015]. Исходными данными для выявления тенденций изменчивости химического стока являются многолетние данные за период 2010–2020 гг. по объемам стока соединений металлов, поступающих на замыкающие створы рек Северная Двина у с. Усть-Пинега, Мезень у д. Малонисогорская и Печора в районе г. Нарьян-Мара (с. Оксина). Данные обобщены и представлены в таблице 1.

Как правило, определяющим фактором в изменчивости химического стока является водный сток, и, соответственно, чем он больше, тем большее количество растворенных веществ может быть вынесено рекой [Решетняк, 2021]. Водный сток рек в большей мере определяется природно-климатическими условиями. Однако в последние десятилетия в условиях возрастающего антропогенного воздействия естественный процесс формирования водного и химического стока нарушается.



Существенные различия в объемах химического стока соединений металлов с водосборов рек Северная Двина, Мезень и Печора связаны преимущественно с различиями в водном стоке. По увеличению водного стока исследуемые реки можно расположить в следующей последовательности: Мезень, Северная Двина, Печора. По всем компонентам наименьшие значения химического стока характерны для замыкающего створа реки Мезень, а наибольшие – реки Печора (табл. 1).

**Таблица 1.** Химический сток соединений металлов с водосборов рек европейской части Арктической зоны (по: [Сайт Гидрохимического института, 2022])

Годы	Водный сток, км <sup>3</sup>	Объем химического стока, т					
		Cu	Zn	Ni	Pb	Mn	Al
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
р. Северная Двина – с. Усть-Пинега							
2010	95	150	1160	345	17,7	2790	1780
2011	82,3	202	1650	275	18	2490	4950
2012	91,9	278	2140	274	9,86	3360	5940
2013	97,4	518	2970	61,5	35,9	2470	7110
2014	(105)*	559	2090	67,4	44,5	3100	6940
2015	84,2	332	986	50,9	37,7	2080	5820
2016	93,3	247	607	45,1	57,3	2130	4360
2017	(105)	151	602	105	21,1	2640	7960
2018	(105)	95,9	326	–	–	1379	4195
2019	(105)	128,6	425,9	18,2	10,1	5306	5293
2020	(105)	67,7	130,3	121,5	2,46	2310	4708
<b>среднее</b>	<b>97,2</b>	<b>248,1</b>	<b>1189,7</b>	<b>136,4</b>	<b>25,5</b>	<b>2732,3</b>	<b>5368,7</b>
р. Мезень – д. Малонисогорская							
2010	17,7	34,3	393	59,3	25	–	588
2011	16,7	53	307	50,9	11	524	1320
2012	22,9	44,4	552	65,3	38,2	939	1670
2013	20,4	109	579	20	55,5	1000	1380
2014	18,8	125	470	6,49	44,7	590	944
2015	14,6	71,9	431	14,3	14,3	636	835
2016	14,6	67,7	174	13,9	25,5	697	405
2017	27,2	64,2	644	19,4	11,4	2380	2790
2018	22,4	27,9	270	7,55	3,87	1157	2010
2019	28,8	61,9	221,5	16,5	5,474	1192,7	2071,2
2020	24,4	34,3	121,6	9,77	6,03	1091,7	1692,5
<b>среднее</b>	<b>20,8</b>	<b>63,1</b>	<b>378,5</b>	<b>25,8</b>	<b>21,9</b>	<b>1020,7</b>	<b>1427,8</b>

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
р. Печора – г. Нарьян-Мар							
2010	146	566	2340	674	410	6060	4320
2011	150	540	4640	382	157	6420	5910
2012	138	331	2880	413	265	12380	14200
2013	118	603	3420	219	314	9520	11530
2014	163	732	2870	197	171	8640	12000
2015	174	916	5470	173	152	9710	13020
2016	126	619	1840	214	146	6040	4510
2017	155	648	1860	246	151	16040	15620
2018	150	727	2703	152	91,2	9898	21050
2019	190	1194,7	3397	207	269	11755	10500
2020	170	406,8	3383	208,4	24,0	6647	8852
<i>среднее</i>	<i>152,7</i>	<i>662,1</i>	<i>3163,9</i>	<i>280,5</i>	<i>195,5</i>	<i>9373,5</i>	<i>11046,5</i>

*Примечание.* В скобках приведено среднемноголетнее значение водного стока; темно-серым цветом выделено наименьшее значение, светло-серым – наибольшее значение химического стока.

Однако сравнивать реки можно только по удельной характеристике – модулю химического стока (отношению объема стока соединений металла к площади водосбора, т/км<sup>2</sup>). По среднемноголетним значениям модуля химического стока наименьшую нагрузку испытывает устье Северной Двины, для замыкающего створа которой характерны наименьшие значения по всем изучаемым металлам. Для устьев участка реки Мезень характерны средние значения модуля стока металлов и для устья Печора – наибольшие. Так, например, среднее значение модуля стока соединений меди за исследуемый период на устьевом участке р. Северная Двина (с. Усть-Пинега) составило 0,0008 т/км<sup>2</sup>, р. Мезень (д. Малонисогорская) – 0,0012 т/км<sup>2</sup> и р. Печора (г. Нарьян-Мар) – 0,0021 т/км<sup>2</sup>. Такое сравнение позволяет косвенно оценивать нагрузку на устье реки по притоку соединений металлов.

Сопряженный анализ кривых изменения водного стока и объемов химического стока металлов позволил выделить следующие закономерности:

- для устьевых участков рек Северная Двина и Печора нет совпадения кривых изменчивости водного и химического стока для большинства металлов (рис. 1а, б) из-за высокого антропогенного воздействия;
- для р. Мезень отмечается синхронное изменение водного и химического стока для соединений цинка, марганца и алюминия (рис. 1в, г), что указывает на преобладание природных факторов в формировании химического стока данных металлов.

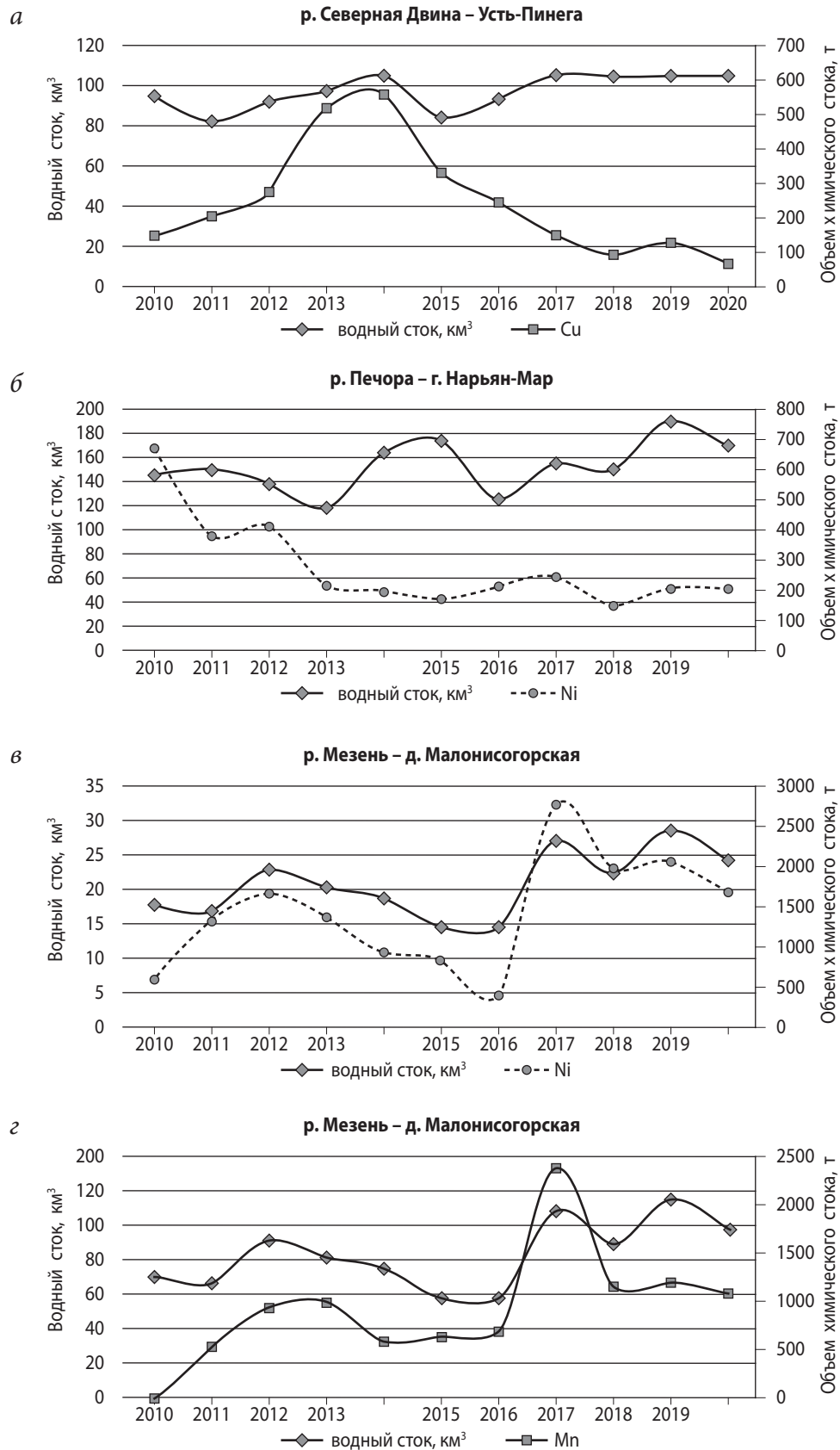


Рис. 1. Изменчивость водного и химического стока соединений металлов с водосборов рек европейской части Арктической зоны России

Анализ временной динамики объемов стока соединений металлов позволил выделить следующие тенденции:

- увеличение объемов стока соединений меди и цинка до 2013–2014 гг., соединений свинца и алюминия до 2016–2017 гг. с последующим их снижением; плавное снижение стока соединений марганца и никеля до 2018 г. с резким ростом в последние годы – на замыкающем створе р. Северная Двина;
- увеличение объемов стока соединений свинца (до 2013 г.), меди (до 2014 г.) и марганца (до 2017 г.) с последующим их снижением; снижение стока соединений никеля; чередование фаз снижения и роста стока соединений алюминия и цинка в зависимости от водности реки – на замыкающем створе р. Мезень;
- увеличение объемов стока соединений алюминия (до 2018 г.) и меди (до 2019 г.) с последующим их снижением; снижение стока соединений никеля и свинца (за исключением пика в 2019 г.); значительные колебания объемов химического стока соединений марганца и цинка без четкого тренда – на замыкающем створе р. Печора.

Таким образом, выявлены разнонаправленные тенденции изменения стока соединений металлов с водосборов рек Северная Двина, Мезень и Печора в прибрежные акватории Белого и Баренцева морей. Резкие колебания химического стока соединений металлов, чаще всего, связаны с изменением их среднегодовых концентраций и не коррелируют с изменениями водности реки, что указывает на преобладание антропогенных источников поступления металлов в речные воды.

Как известно, устьевые участки рек являются своеобразным геохимическим барьером, на котором происходит замедление скоростей течения, смешение речных и морских вод, трансформация и основная потеря веществ (до 80 % и более), выносимых речным потоком [Брызгалов и др., 2015; Никаноров и др., 2010]. Поэтому данные о поступлении соединений металлов на замыкающие створы исследуемых рек не могут являться прямой оценкой их выноса в прибрежные акватории морей. Полученные данные могут быть использованы для оценки изменчивости антропогенной нагрузки (по объемам химического стока), качества воды на устьевых участках рек и влияния речного стока на гидрохимический режим прибрежных морских акваторий.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60165 (химический сток реки Печора) и в рамках госзадания Плана НИТР Росгидромета, тема 4.2 «Развитие и модернизация технологий мониторинга поверхностных вод суши по гидрохимическим и гидробиологическим показателям».*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Брызгалов В.А., Никаноров А.М., Косменко Л.С., Решетняк О.С.* Устьевые экосистемы крупных рек России: антропогенная нагрузка и экологическое состояние. Ростов н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2015. 164 с.
2. *Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Косменко Л.С., Решетняк О.С.* Роль химического речного стока в антропогенной трансформации состояния водной среды Енисейской устьевой области // *Водные ресурсы*. № 4. 2010. С. 434–444.
3. *Решетняк О.С.* Многолетняя изменчивость ионного стока крупных рек Арктической зоны России // *Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Сер.: Естественные науки*. 2021. № 3. С. 80–86.
4. Сайт Гидрохимического института. URL: <https://gidrohim.com/node/44>

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕДИЦИОННОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ОЗЕРА ПЕЛЁНКИНО И НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ КАГАЛЬНИК (АЗОВСКИЙ РАЙОН РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

*О.С. Решетняк<sup>1, 2</sup>, Г.Е. Ковалева<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

<sup>2</sup>Гидрохимический институт, г. Ростов-на-Дону, Россия

*olgare1@mail.ru*

**Река Кагальник** протекает в Ростовской области России, впадает в Азовское море. Длина 162 км, площадь бассейна 5040 км<sup>2</sup>, уклон 1,62 м/км. Это типичная равнинная степная река относится к категории малых. Питание в основном снеговое. При нагонных ветрах с моря происходит затопление поймы. Река Кагальник протекает по Кубано-Приазовской низменности и впадает в Таганрогский залив у села Кагальник.

В нижнем течении Кагальник распадается на два русла: основное (новое) – идет южнее, а старое – севернее, образуя многочисленные мелкие озера и ерики. Ниже пос. Платоно-Петровка русла сливаются в одно, потом на расстоянии 4,5 км до устья, вновь разделяются на два – Сухой Кагальник и Мокрый Кагальник. Рукава Кагальника текут в сильно заболоченной и заросшей камышом пойме. Мокрый Кагальник является более старым руслом, а Сухой – более молодым и находится в стадии высыхания [Информационный сайт о реках России].

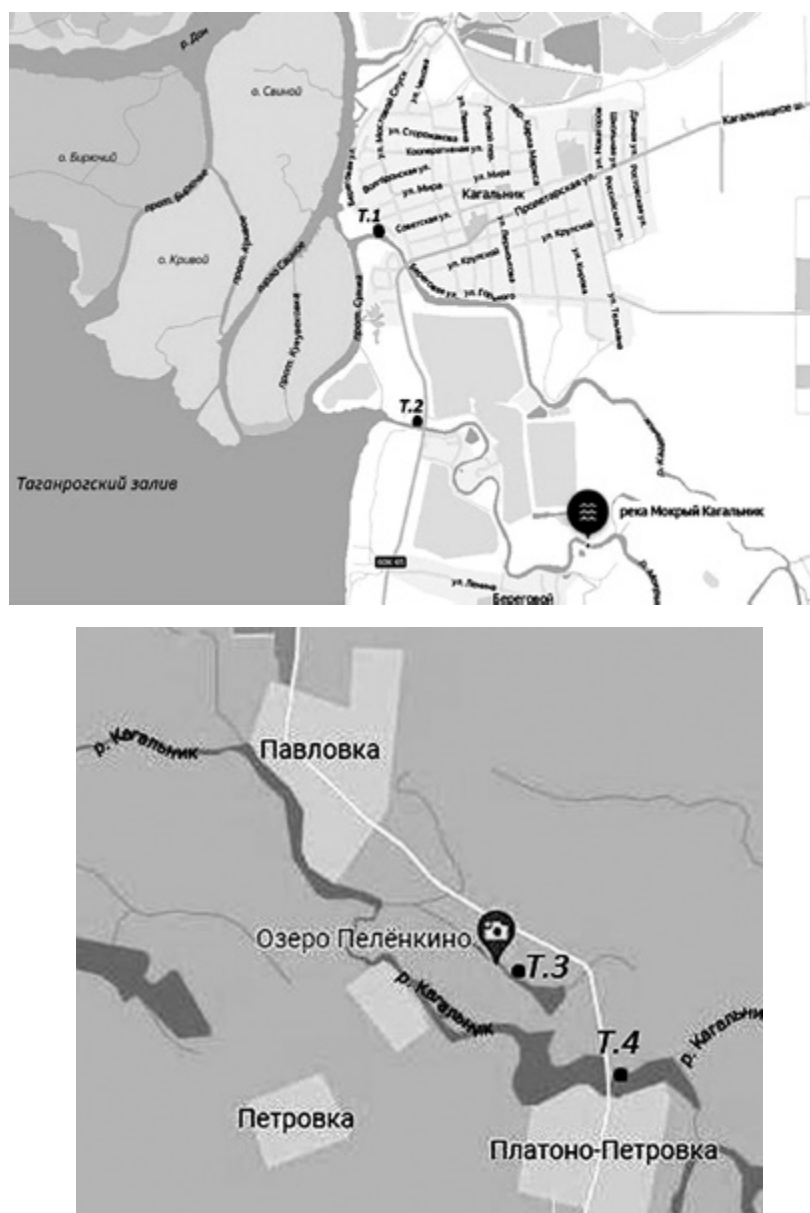
**Озеро Пелёнкино** (небольшое соленое озеро площадью около 2 гектаров), расположено в долине р. Кагальник (в нижнем течении): «Само озеро находится среди обширной низкой террасы в расстоянии около 1,5 километра от р. Кагальника. Оно представляет углублённый ерик долины р. Кагальника. В сухую погоду русло ерика пересыхает и делает озеро изолированным... Дно озера покрыто нежным илом чёрного цвета с сероводородным запахом. Ил этот имеет внешние признаки, характерные для сернистого ила лечебных озёр, но он, как и рапа озера, мало осолонён... Вода (рапа) несколько опалесцирует, окрашена в слегка желтоватый цвет, постороннего запаха не имеет» [Кашинский, Лисицын, 1928]. Такое описание озера было сделано еще в 1928 г. сотрудниками Научно-исследовательского гидрохимического института.

В рамках совместных научных исследований сотрудниками Южного федерального университета и Гидрохимического института Росгидромета совместно со студентами ежегодно с 2020 г. проводится обследование озера Пелёнкино и нижнего участка реки Кагальник. В программу наблюдений входит визуальное обследование,



измерение естественного гамма-фона, отбор проб воды для определения физико-химических и гидрохимических показателей. Измерения гамма-фона выполнено с использованием радиометра СРП-68-01, химический анализ воды выполнен в день отбора проб с использованием экспресс-лаборатории для определения показателей качества воды «НКВ-2» (комплектная полевая лаборатория для анализа воды и почвенных вытяжек) (рис. 1).

*Точка 1* соответствует участку реки Кагальник (Сухой Кагальник) в месте впадения в протоку Сунжа (дельта р. Дон), *точка 2* – это место впадения рукава Мокрый Кагальник в Таганрогский залив, *точка 3* – это озеро Пелёнкино (старица реки Кагальник) и *точка 4* – участок реки Кагальник у пос. Платоно-Петровка (выше озера Пелёнкино и выше деления основного русла реки на рукава).



**Рис. 1.** Расположение мест отбора проб воды в нижнем течении реки Кагальник

Визуальные наблюдения показали отсутствие значительного загрязнения на участках реки и озера, единично встречается бытовой мусор. Из растительности преобладают камыш, тростник, подорожник, амброзия, молочай, типчак и др. Для оценки естественного гамма-фона (радиационного фона) проведено измерение мощности экспоненциальной дозы (МЭД) излучения и результаты представлены в таблице 1. В среднем радиационный фон воздуха составляет 9,3 мкР/ч, почвы – 9,2 мкР/ч, воды – 8,3 мкР/ч и. Средние значения МЭД по точкам несколько различаются: наименьшее значение характерно для точки 1 (6,2 мкР/ч) с более густой растительностью, а наибольшее – для озера Пеленкино (10,9 мкР/ч), донные отложения которого обогащены йодом [Кашинский, Лисицын, 1928] и другими микроэлементами, в том числе, вероятно, и их радиоактивными изотопами. Согласно СанПиН 2.6.1.2523-09 допустимое значение МЭД (гамма-фона) на открытой местности не должно превышать 0,2 мкЗв/ч (20 мкР/ч). Таким образом, радиационный фон исследуемой территории в бассейне Нижнего Кагальника находится в норме.

**Таблица 1.** Естественный радиационный фон в нижнем течении р. Кагальник и на берегу озера Пелёнкино (2020–2022 гг.)

Точка – участок водного объекта	Значения МЭД, мкР/ч			
	воздух	почва	вода	среднее в точке
Точка 1 – устье р. Сухой Кагальник	<u>6,0–7,0</u> 6,5	<u>6,0–7,5</u> 6,8	<u>5,0–5,5</u> 5,3	6,2
Точка 2 – устье р. Мокрый Кагальник	<u>8,5–10,5</u> 9,7	<u>8,0–10,0</u> 8,8	<u>7,0–9,5</u> 8,3	8,9
Точка 3 – оз. Пеленкино	<u>9,5–11,5</u> 10,9	<u>10,0–13,0</u> 11,8	<u>9,5–11,0</u> 10,2	10,9
Точка 4 – р. Кагальник (мост, пос. Платоно-Петровка)	<u>9,0–11,0</u> 10,0	<u>9,0–10,0</u> 9,3	<u>9,0–9,5</u> 9,3	9,6
Усредненное значение	9,3	9,2	8,3	–

Исследование проводилось в один и тот же период – летом (в середине июля) в 2020–2022 гг., была оценена изменчивость химического состава воды исследуемых участков в летний период (табл. 2). Вода реки Кагальник является солоноватой (примерная соленость от 1,5 до 3,1 ‰), по химическому составу относится к сульфатно-кальциевому типу, обладает очень высокой жесткостью. Биогенное загрязнение азотом нитратным на исследуемых участках реки не выявлено, повышенное содержание фосфатов зафиксировано в районе пос. Платоно-Петровка.

Минерализация воды в озере Пелёнкино по нашим примерным подсчетам составляет более 11 ‰, что характеризует ее как сильносолоноватые или слабосоленые воды. В химическом составе преобладают ионы магния (может быть натрия и калия), сульфаты и хлориды, жесткость воды аномально высокая и достигает значений 150 ммоль-экв/л (°Ж). Это вполне согласуется с полученными ранее результатами анализа «рапы» озера, полученными почти 100 лет назад. Так, по сухому остатку минерализация воды в озере была порядка 14,15 ‰, и в составе воды преобладали сульфаты (33,58 %), хлориды (20,82 %) и ионы натрия и калия (29,02 %) [Кашинский, Лисицын, 1928].

В целом по солености воды «рапа» Пелёнкина озера содержит весьма мало солей для соленых грязевых озер такого типа, расположенных на Юге европейской части России. Осенью соленость воды, определяемая по сухому остатку, может незначительно повышаться до 15,0 ‰. Для сравнения: «Наличие растущего в озере (у берегов) камыша и другие данные этого порядка указывают также на незначительное содержание солей в озере. Найденные при бурении дна озера корни камыша показывают, что оно и в прежние годы не отличалось большой солёностью» [Кашинский, Лисицын, 1928].

**Таблица 2.** Химический состав воды в нижнем течении р. Кагальник и озера Пелёнкино (2020–2022 гг.)

Показатель	Т. 1 р. Сухой Кагальник	Т. 2 р. Мокрый Кагальник	Т. 3 оз. Пеленкино	Т. 4 р. Кагальник (мост)	Единицы измерения
Нитраты	> 5,0	> 5,0	> 5,0	> 5,0	мг/дм <sup>3</sup>
Фосфаты	> 0,5	> 0,5	> 0,5	1,0	мг/дм <sup>3</sup>
Хлориды	151–160	160–639	5432–6745	710–1030	мг/дм <sup>3</sup>
Сульфаты	307–730	246–922	св. (1920–2304)	св. (1152–1367)	мг/дм <sup>3</sup>
Карбонаты	12,0–36,0	24,0–36,0	24,0–84,0	36,0–64,0	мг/дм <sup>3</sup>
Гидрокарбонаты	146–220	116–232	177–354	171–415	мг/дм <sup>3</sup>
Общая жесткость	11–12	12–22	св. 50–150	36–50	ммоль- экв/л (°Ж)
Ионы кальция	160–241	120	621	381	мг/дм <sup>3</sup>
Ионы магния	36,0	27,0	1428	372	мг/дм <sup>3</sup>

В 2022 г. пробы воды были проанализированы на определение содержания взвешенных веществ (гравиметрическим методом) и пигментов фитопланктона спектрофотометрическим и флуоресцентным методами [ГОСТ 17.1.4.02-90]. Результаты

измерений физико-химических параметров представлены в таблице 3, содержания пигментов фитопланктона – в таблице 4.

**Таблица 3.** Физико-химические показатели и концентрация взвешенных веществ (ВВ) в пробах воды р. Кагальник и озера Пелёнкино (12.07.2022)

Точка – участок водного объекта	pH	T (°C) воды	Eh (mV)	Концентрация ВВ (мг/дм <sup>3</sup> )
Точка 1 – устье р. Сухой Кагальник	7,89	25	-66,2	–
Точка 2 – устье р. Мокрый Кагальник	8,70	28	-115,1	45,5
Точка 3 – оз. Пеленкино	9,03	25	-133,3	–
Точка 4 – р. Кагальник (мост, пос. Платоно-Петровка)	8,37	25	-95,1	5,8

Как видно из данных, содержание взвешенных веществ и пигментов фитопланктона повышается в устьевой части реки Кагальник, что вполне ожидаемо. Также полученное высокое содержание пигментов фитопланктона (с высокой долей сине-зеленых водорослей) в воде озера Пелёнкино позволяет охарактеризовать его как гиперэвтрофное, с высоким уровнем эвтрофирования экосистемы.

**Таблица 4.** Содержание пигментов фитопланктона (мкг/дм<sup>3</sup>) в воде р. Кагальник и озера Пелёнкино, определенное разными методами (12.07.2022)

Показатель	Объект исследования			
	Т. 1 – устье р. Сухой Кагальник	Т. 2 – устье р. Мокрый Кагальник	Т. 3 – оз. Пеленкино	Т. 4 – р. Кагальник (мост, пос. Платоно-Петровка)
Спектрофотометрический метод				
Chla	–	79,37	–	18,89
Chlb	–	–	–	0,55
Chlc	–	77,92	–	21,24
Chl <sub>общ</sub>	–	157,28	–	40,69
Экспресс-флуоресцентный метод (содержание хлорофилла <i>a</i> (мкг/дм <sup>3</sup> ))				
C <sub>с-з</sub>	66,70	124,89	570,18	25,76
C <sub>диаг</sub>	–	–	–	2,75
C <sub>зел</sub>	1,51	3,03	2,49	–
C <sub>фл</sub>	68,22	127,91	572,67	28,51

Таким образом, результаты полевых экспедиционных исследований в нижнем течении реки Кагальник показали, что естественный гамма-фон находится в норме, значительного загрязнения исследуемых участков озера Пелёнкино и р. Кагальник не выявлено. Высокое содержание сульфатов и солей щелочно-земельных металлов, а также аномально высокая жесткость воды обусловлены региональными факторами формирования химического состава природных вод в степной зоне.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 17.1.4.02-90 Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла *a*. М.: Изд-во стандартов, 1990. 15 с.
2. Информационный сайт о реках России. URL: <http://vsereki.ru/>.
3. *Кашинский П., Лисицын К.* Пиленкино озеро и его обслуживающие Азовскую грязелечебницу материалы // Гидрохимические материалы. Т. 4. Новочеркасск: Тип. студен. об-ва потребителей «Знание», 1928. С. 10–32.

## АКТИВНОСТЬ ДЕГИДРОГЕНАЗ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННОЙ БУРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ ПОСЛЕ РЕМЕДИАЦИИ

*А.С. Русева, Т.В. Минникова, С.И. Колесников*

*Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии  
им. Д.И. Ивановского, г. Ростов-на-Дону, Россия  
ruseva.ann@yandex.ru*

Нефтезагрязнение на сегодняшний день стало одной из острых глобальных экологических проблем. Разливы нефти затрагивают большие площади суши, рек, озер и морей [Riveroll-Larios et al., 2015; Polyak et al., 2018]. Нефтяные углеводороды в значительной мере воздействуют на почву, приводят к подавлению активности биоты.

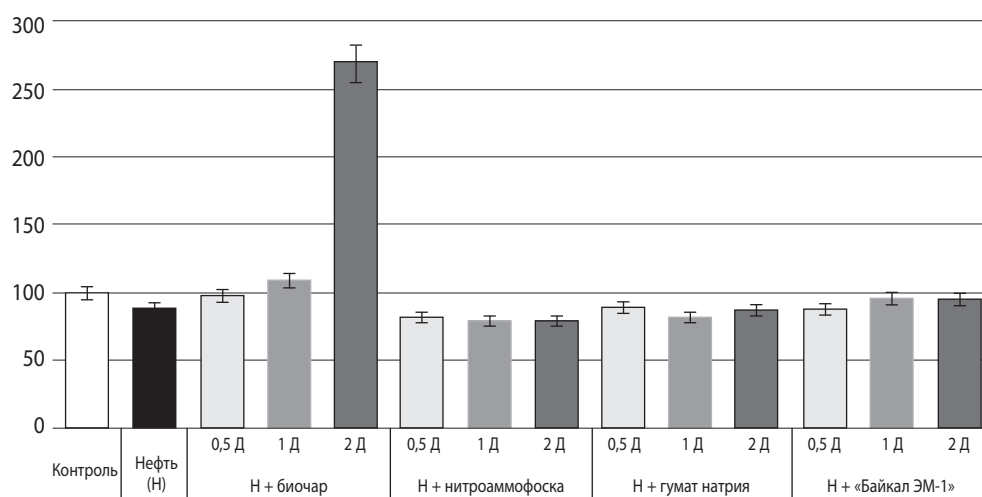
Активность почвенных ферментов высокочувствительна к изменениям в экосистемах и может выступать индикатором их здоровья и устойчивости в условиях антропогенной нагрузки. Известно, что изменение активности дегидрогеназ является своего рода критерием состояния почвы относительно ее самоочищающей способности от компонентов нефти [Плешакова и др., 2010; Казеев и др., 2016].

Цель работы – изучение активности дегидрогеназ при ремедиации нефтезагрязненной бурой лесной почвы.

В качестве объекта исследования выступала бурая лесная почва, которая была отобрана из верхнего слоя (0–10 см) в буковом лесу (Ангарский перевал, Республика Крым). Для моделирования загрязнения использовали нефть Новошахтинского НПЗ. Загрязнитель вносили в количестве, равном 5 % от массы почвы. Также добавляли следующие ремедианты: биочар, нитроаммофоску, гумат натрия и «Байкал ЭМ-1» в трех дозах: в дозе, рекомендуемой по данным производителей либо литературным данным (1 Д) и пропорционально в 2 раза меньшей (0,5 Д) и 2 раза большей от рекомендуемой (2 Д). В качестве рекомендуемой было внесено 10 % биочара (от массы почвы), 0,75 г нитроаммофоски (в пересчете на азот), 1 % раствор гумата натрия и 0,5 % раствор «Байкал ЭМ-1». После внесения нефти и ремедиантов почву инкубировали 30 суток с момента внесения вышеуказанных веществ в лабораторных сосудах при соблюдении оптимального температурного режима и режима увлажнения. Для изучения активности дегидрогеназ использовали метод А.Ш. Галстяна в модификации Ф.Х. Хазиева [Казеев и др., 2016].



Результаты наших исследований показали, что загрязнение бурой лесной почвы нефтью приводит к ингибированию дегидрогеназ на 12 % контроля (рис. 1).



**Рис. 1.** Изменение активности дегидрогеназ бурой лесной почвы после внесения нефти и ремедиантов, % от контроля

Внесение ремедиантов приводит к активации изучаемой группы ферментов в случае всех доз биочара, дозы 0,5 Д гумата натрия и доз 1 и 2 Д «Байкал ЭМ-1». Наиболее эффективным оказался биочар, который в дозах 1 и 2 Д достоверно повышает активность дегидрогеназ на 22 и 204 % относительно нефтезагрязненной почвы и на 8 и 169 % относительно контроля соответственно. При этом нитроаммофоска во всех дозах, 1 и 2 Д гумата натрия, а также 0,5 Д «Байкал ЭМ-1» способствуют незначительному ингибированию ферментов в нефтезагрязненной бурой лесной почве.

Наиболее высокие значения показателя при добавлении биочара в нефтезагрязненной почве можно объяснить тем, что ремедиант выступает сорбентом для удаления нефтяных углеводородов, одновременно влияя на количество и активность почвенных микроорганизмов и ферментов, а также на транспорт и биodeградацию загрязняющих веществ [Kamali et al., 2022; Minnikova et al., 2022].

Таким образом, нефть способствует ингибированию активности дегидрогеназ. Самым эффективным ремедиантом для стимуляции фермента является биочар во всех дозах, при этом его дозы 1 и 2 Д достоверно повышают показатель в нефтезагрязненной бурой лесной почве как относительно почвы с загрязнителем и без биочара, так и относительно контроля.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента МК-175.2022.5 и проекта Министерства науки и высшего образования РФ по поддержке молодежной лаборатории «Агробиотехнологии для повышения плодородия почв и качества сельскохозяйственной продукции» в рамках программы развития межрегионального научно-образовательного центра Юга России (ЛабНОЦ-21-01АБ).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В.* Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2016. 356 с.
2. *Плешакова Е.В., Кабанцева Е.Г., Черновол В.С.* Активность дегидрогеназ в нефтезагрязненных почвах как инструмент мониторинга технологий биоремедиации // Изв. Сарат. ун-та Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2010. С. 40–46.
3. *Kamali M., Sweygers N., Al-Salem S., Appels L., Aminabhavi T.M. and Dewil R.* Biochar for soil applications-sustainability aspects, challenges and future prospects // *Chemical Engineering Journal*. 2022. No. 428. P. 131189.
4. *Polyak Y.M., Bakina L.G., Chugunova M.V., Mayachkina N.V., Gerasimov A.O., Bure V.M.* Effect of remediation strategies on biological activity of oil-contaminated soil-A field study // *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2018. No. 126. P. 57–68.
5. *Minnikova T., Kolesnikov S., Ruseva A., Kazeev K., Minkina T., Mandzhieva S., Sushkova S.* Influence of the Biochar on Petroleum Hydrocarbon Degradation Intensity and Ecological Condition of Haplic Chernozem // *Eurasian Journal of Soil Science*. 2022. Vol. 11. No. 2. P. 157–166. URL: <https://doi.org/10.18393/ejss.1037798>.
6. *Riveroll-Larios J., Escalante-Espinosa E., Fócil-Monterrubio R.L., Díaz-Ramírez I.J.* Biological activity assessment in Mexican tropical soils with different hydrocarbon contamination histories // *Water Air Soil Pollut*. 2015. Vol. 226. No. 10. 353 p.

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СООБЩЕСТВ МАКРОЗООБЕНТОСА В ЗОНЕ СМЕШЕНИЯ МОРСКИХ И РЕЧНЫХ ВОД

*Е.А. Смирнова*

---

*Южный федеральный университет, Южный научный центр РАН,  
г. Ростов-на-Дону  
ekaterina-smirnova-2000@inbox.ru*

Благодаря своему географическому положению устьевое взморье Дона – один из самых интересных гидробиологических районов как в фаунистическом (зона смешения фаун, инвазионные ворота), так и в практическом отношении (место нагула промысловых видов рыб). Исследование донной фауны в системе Таганрогский залив – дельта Дона ведется с начала XX в., но и в наше время ее изучение достаточно актуально.

Изучаемая акватория подвержена влиянию сгонно-нагонных явлений, при которых происходит проникновение осолоненных вод Таганрогского залива на значительное расстояние в дельту Дона. Кроме того, в припортовых зонах Таганрога, Азова и Ростова-на-Дону возможен неконтролируемый сброс судовых балластных вод, что способствует проникновению чужеродных видов, ряд из которых может успешно натурализоваться.

Организмы макрозообентоса способны накапливать тяжелые металлы, радионуклиды и различные токсичные вещества. В большинстве своем, донные беспозвоночные – это животные с многолетним жизненным циклом, следовательно, являются интегральным показателем изменений, происходящих в водной среде Таганрогского залива и дельты Дона [Набоженко и др., 2006]. Многие донные беспозвоночные, обитающие в зоне смешения речных и морских вод, обладают широким спектром соленостных предпочтений (от эвригалинных морского происхождения до пресноводных) и могут приспосабливаться к условиям залива и дельты. Таким образом, система Таганрогский залив – дельта реки Дон является важным объектом для мониторинга и существенно влияет на биоразнообразие всего региона [Булышева и др., 2020].

По данным экспедиционных исследований ЮНЦ РАН, значения солености, превышающие 15 PSU в акватории моря (к западу от косы Долгой) с 2015 г. встречаются постоянно. Так, соленость дельты Дона в 2014 г. составляла 0,47 PSU, в 2020 г. – 0,64 PSU. В 2021 г. восточная часть залива характеризуется соленостью до 6–8 PSU, в центральной части достигается 10 PSU, в западной – 15 PSU.

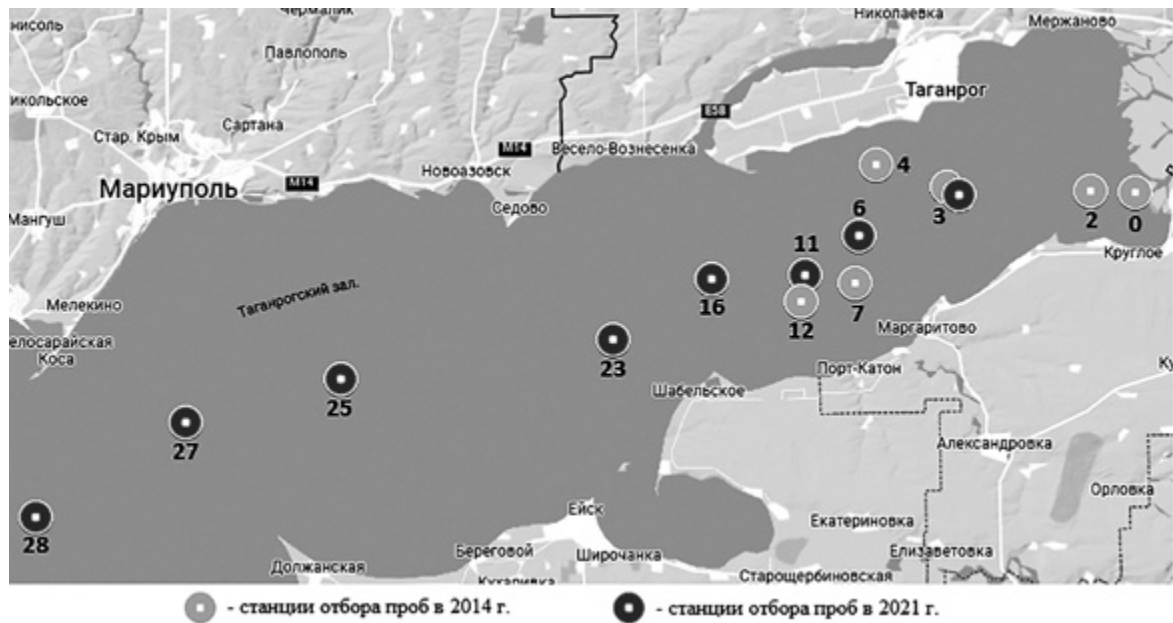


Рис. 1. Карта-схема отбора бентосных проб в Таганрогском заливе в 2014 и 2021 гг., Google Карты

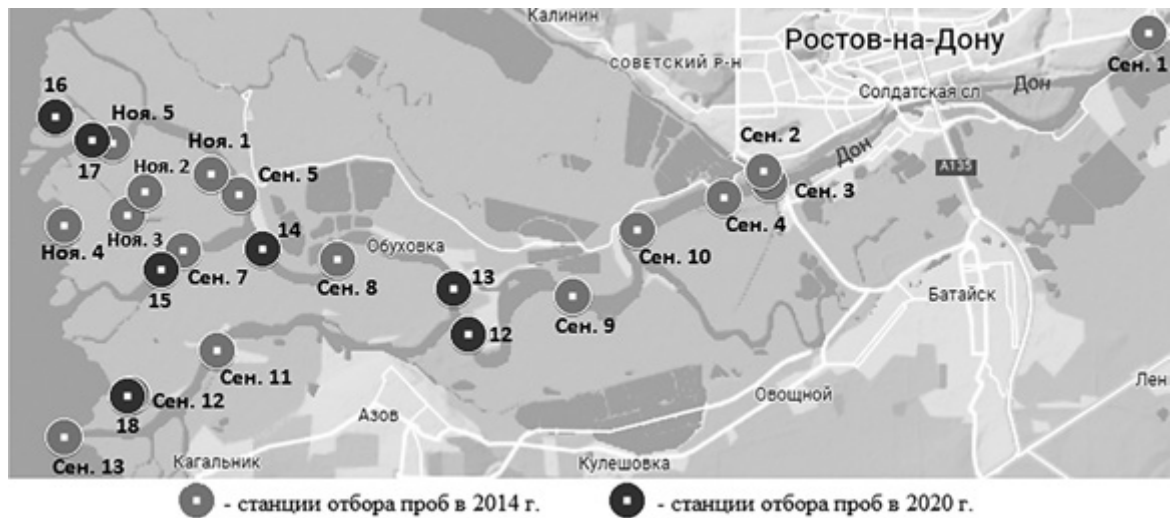


Рис. 2. Карта-схема отбора бентосных проб в дельте Дона в 2014 и 2020 гг., Google Карты

Целью исследования является изучение особенностей формирования сообществ макрозообентоса в зоне смешения морских и речных вод. Для реализации основной цели были изучены видовой состав, количественные характеристики донных беспозвоночных (численность и биомасса, пересчитанные на  $1 \text{ м}^2$ ), их распределение в зоне смешения речных и морских вод в системе Таганрогский залив – дельта Дона, а также была выявлена связь смены доминирующих групп с изменением показателей солености.

Исследование основано на материале, собранном Южным научным центром РАН (ЮНЦ РАН) в ходе комплексных экспедиционных исследований Таганрогского залива в 2021 г. и дельты Дона в 2014, 2020 гг. (рис. 1, 2). Всего было рассмотрено 38 бентосных проб. Применялись общепринятые гидробиологические методы отбора и обработки проб [Руководство ... 1983].

В результате проведенного исследования было отмечено 8 классов макрозообентоса: Oligochaeta, Polychaeta, Crustacea, Bivalvia, Gastropoda, Anthozoa, Insecta, Arachnida (табл. 1). Всего в Таганрогском заливе было обнаружено 19 видов организмов макрозообентоса и 3 таксона, не определенных до видового уровня: Tubificidae Vejdovsky, 1876; Gammaridae Leach, 1814; Actiniaria Hertwig, 1882. В дельте Дона всего было определено 16 видов донных животных и 22 таксона до надвидового ранга.

**Таблица 1.** Список обнаруженных организмов макрозообентоса в системе Таганрогский залив – дельта Дона в 2014, 2020 и 2021 гг.

№	Таксон	№	Таксон
1	<b>Nematoda</b>	<b>Crustacea</b>	
	<b>Oligochaeta</b>		
2	Oligochaeta Grube, 1850	18	<i>Amphibalanus improvisus</i> (Darwin, 1854)
3	Tubificidae Vejdovsky, 1876	19	<i>Corophium chelicorne</i> G.O. Sars, 1895
4	<i>Tubifex</i> sp. Lamarck, 1816	20	<i>Corophium volutator</i> (Pallas, 1766)
5	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> (Claparede, 1862)	21	<i>Iphinoe maeotica</i> Sowinskyi, 1893
6	<i>Lumbriculus</i> sp. Grube, 1844	22	<i>Pterocuma pectinata</i> (Sowinskyi, 1894)
7	<i>Branchiura</i> sp. Beddard, 1892	23	<i>Rhithropanopeus harrisi</i> (Gould, 1841)
8	<i>Branchiura sowerbyi</i> Beddard, 1892	24	Gammaridae 1 Leach, 1814
	<b>Polychaeta</b>	25	Gammaridae 2 Leach, 1814
9	Polychaeta Grube, 1850	26	<b>Arachnida</b> Hydrocarina
10	<i>Alitta succinea</i> (Frey et Leuckart, 1847)		<b>Bivalvia</b>
11	<i>Nephtys hombergii</i> Savigny in Lamarck, 1818	27	<i>Dreissena</i> sp. van Beneden, 1835
12	<i>Polydora cornuta</i> Bosc, 1802	28	<i>Dreissena polymorpha</i> Pallas, 1771
13	<i>Streblospio gynobranchiata</i> Rice & Levin, 1998	29	<i>Anadara kagoshimensis</i> (Tokunaga, 1906)
14	<i>Laonome</i> sp. Malmgren, 1866	30	<i>Anodonta</i> sp. Lamarck, 1799
15	<i>Hypania invalida</i> (Grube, 1960)	31	<i>Anodonta complanata</i> Rossmässler, 1835
16	<i>Hypaniola kowalewskii</i> (Grimm, 1877)	32	<i>Monodacna colorata</i> (Eichwald, 1829)
17	<i>Marenzelleria neglecta</i> Sikorski & Bisk, 2004	33	<i>Hypanis colorata</i> Eichwald, 1829

Окончание табл. 1

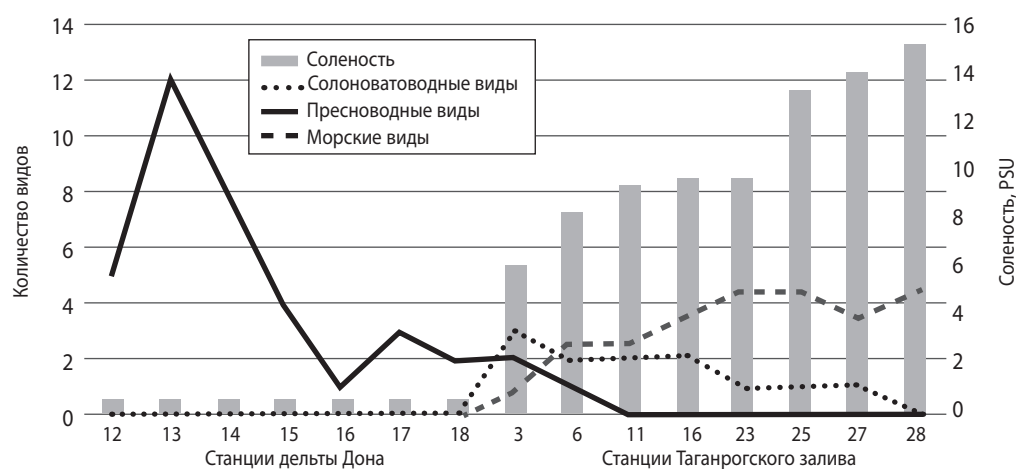
№	Таксон	№	Таксон
34	Unionidae Rafinesque, 1820	44	<i>Theodoxus fluviatilis</i> (Linnaeus, 1758)
35	<i>Unio</i> sp. Philipsson, 1788	45	<i>Caspia</i> sp. Dybowski, 1888
36	<i>Mya arenaria</i> Linnaeus, 1758	<b>Anthozoa</b>	
37	<i>Mytilus galloprovincialis</i> Lamarck, 1819	46	Actiniaria Hertwig, 1882
<b>Gastropoda</b>		<b>Insecta</b>	
38	<i>Viviparus</i> sp. Montfort, 1810	47	<i>Elophila</i> sp. Hübner, 1822
39	<i>Hydrobia acuta</i> (Draparnaud, 1805)	48	<i>Chironomus</i> cf. <i>plumosus</i> (Linnaeus, 1758)
40	<i>Turricaspia</i> sp. B. Dybowski & Grochmalicki, 1915	49	Ceratopogonidae Newman, 1834
41	<i>Lithoglyphus naticoides</i> (Pfeiffer, 1828)	50	<i>Notonecta</i> sp. Fabricius, 1798
42	<i>Theodoxus</i> sp. Montfort, 1810	51	<i>Paracorixa</i> sp. Stichel, 1955
43	<i>Theodoxus astrachanicus</i> Starobogatov in Starobogatov, Filchakov, Antonova & Pirogov, 1994		

В 2014 г. в Таганрогском заливе на 83 % исследуемых станций отмечены представители семейства Tubificidae, характеризующиеся наибольшей численностью и достигающие 5000 экз./м<sup>2</sup>. Наибольшей биомассой макрозообентоса характеризуется станция № 7 за счет присутствия моллюсков *Monodacna colorata* (Eichwald, 1829) – 220,5 г/м<sup>2</sup>. Для водотоков дельты Дона в 2014 г. основу макрозообентоса составляли пресноводные виды со значительной долей понто-каспийских реликтов. По всей дельте отмечены представители Chironomidae (Linnaeus, 1758) с частотой встречаемости 76 %. Наибольшие показатели биомассы характерны для друзовых сообществ, образованных моллюсками рода *Dreissena* van Beneden, 1835 и *M. colorata* на станциях № 2 и № 3.

В 2021 г. в Таганрогском заливе были обнаружены устойчивые к солености организмы макрозообентоса. Практически по всей акватории залива отмечены полихета *Alitta succinea* (Frey et Leuckart, 1847) (вселенец) и олигохеты Tubificidae с частотой встречаемости 87,5 %. В центральной части залива особый вклад в численность макрозообентоса вносят полихеты *Polydora cornuta* Bosc, 1802 (12529 экз. м<sup>2</sup>) и *Streblospio gynobranchiata* Rice & Levin, 1998 (11000 экз./м<sup>2</sup>). Наибольшая биомасса макрозообентоса отмечается в западной части залива за счет присутствия моллюсков-вселенцев *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906), *Mya arenaria* Linnaeus, 1758 и *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819. В 2020 г. в дельте Дона найдено 3 типа сообществ, с доминированием олигохет, личинок хирономид и дрейссены. Большой вклад в биомассу сообществ, которая достигает 870 г/м<sup>2</sup>, на станциях № 13 и № 14 внесли моллюски *Dreissena* sp., *Unio* sp. Philipsson, 1788, *Anodonta* sp. Lamarck, 1799, *Viviparus* sp. Montfort, 1810.



В исследуемой системе Таганрогский залив – дельта Дона были обнаружены пресноводные, солоноватоводные и морские организмы макрозообентоса. На рис. 3 наблюдается значительное уменьшение количества пресноводных организмов от станции, расположенной в р. Дон, до станции № 6 восточной части Таганрогского залива, т.к. соленость в водах заметно повышается. С увеличением солености до 8 PSU в восточной части залива начинают преобладать солоноватоводные беспозвоночные, однако их количество постепенно снижается при увеличении показателей солености. С увеличением солености в центральной и западной частях залива морских видов становится больше.



**Рис. 3.** Зависимость количества видов макрозообентоса от изменения градиента солености в системе Таганрогский залив – дельта Дона в 2020–2021 гг.

Таким образом, изменение халинной структуры, отмечаемое в системе дельта Дона – Таганрогский залив в период с 2014 по 2021 г. оказало существенное влияние на сообщества донных беспозвоночных собственно Таганрогского залива, в отличие от сообществ дельты Дона, которые несколько упростились, но не претерпели коренных перестроек.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булышева Н.И., Сёмин В.Л., Шохин И.В., Савикин А.И., Коваленко Е.П., Бирюкова С.В. Чужеродные виды зообентоса в экосистемах Нижнего Дона и Азовского моря на рубеже XX–XXI вв. // Труды Южного научного центра РАН. 2020. Т. 8. С. 256–273.
2. Набоженко М.В., Шохин И.В., Сарвилина С.В., Коваленко Е.П. Современное состояние макрозообентоса Азовского моря // Вестник Южного научного центра. 2006. Т. 2. № 2. С. 83–92.
3. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / [В.А. Абакумов, Н.П. Бубнова, Н.И. Холикова и др.]; под ред. [и с предисл.] В.А. Абакумова. Л.: Гидрометеиздат, 1983. С. 239.

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ ВОЗМОЖНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЛЖСКОГО ВОДОДЕЛИТЕЛЯ

*А.Ф. Сокольский<sup>1</sup>, Е.А. Сокольская<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Астраханский государственный архитектурно-строительный университет,  
г. Астрахань, Россия*

<sup>2</sup>*Астраханский государственный университет, г. Астрахань, Россия  
a.sokolsky@mail.ru; e.sokolskaya@mail.ru*

В настоящее время в дельте Волги показатели высоты, продолжительности и сроков половодья резко ухудшились, по сравнению с периодом до зарегулирования ее русла гидроэлектростанциями, особенно у городов Самары (Куйбышева) и Волгограда [Сокольский и др., 2020]. Последнее создает трудности как для рыбного и сельского хозяйства, так и для судоходства. С целью смягчения последствий гидростроительства на Волге был построен вододелитель. В настоящее время он не эксплуатируется. Однако это грандиозное гидротехническое сооружение может оказаться полезным при решении вопросов водного транспорта.

Напомним, что в 1958 г. институтом «Гидропроект им. С.Я. Жука» и «Гидропроект» было разработано проектное задание на строительство вододелителя, в котором предусматривалось обеспечить улучшение условий судоходства, осуществить мелиорацию нерестовых площадей, углубление устьевых рыбоходных путей и обводнение западных подступных ильменей. В основе идеи необходимости строительства этого сооружения было заложено в том числе и воспроизводство полупроходных рыб при расходах воды в вершине дельты 12 тыс. м<sup>3</sup>/с. Прогнозировалось, что в зарегулированных условиях маловодные периоды могут составлять 2/3 всего количества лет и наблюдаться в течение нескольких лет подряд, а расходы воды, сбрасываемые в нижний бьеф Волгоградского гидроузла в половодье в такие годы, будут снижаться до 12 тыс. м<sup>3</sup>/с, из которых на запад дельты по р. Волге пойдет 9 тыс. м<sup>3</sup>/с, а на восток, по рук. Бузан, – 3 тыс. м<sup>3</sup>/с. Сама дельта при таких расходах заливаться не будет, и нерест рыбы окажется неэффективным, он будет возможен не на заливаемых участках поймы (полях), а в постоянно существующих ериках и протоках.

Предполагалось, что вододелитель обеспечит устойчивое воспроизводство полупроходных рыб вне зависимости от водности лет путем стабильного и достаточного обводнения восточной части дельты реки Волги как менее населенной

и освоенной хозяйством. Западная часть дельты отводилась для судоходства, интенсивного орошаемого земледелия на обвалованных массивах и для воспроизводства рыбных запасов на рыбоводных осетровых заводах, прудах и нерестово-выростных хозяйствах. Принималось, что такое обводнение может дать больший эффект, чем нерест по всей площади дельты при неудовлетворительном ее заливании водой в маловодные годы. Прогнозировалось, а по факту так и получилось, что после зарегулирования стока только для  $\frac{1}{3}$  всего количества лет может быть обеспечен нормальный нерест рыб в дельте, а в случае работы водodelителя эффективность нереста возрастет вдвое. Обводняемая с помощью водodelителя площадь нерестилищ полупроходных рыб в восточной части дельты по расчетам должна была составлять ежегодно 3170 км<sup>2</sup>, а с учетом нижней зоны Волго-Ахтубинской поймы – 3760 км<sup>2</sup>, на западе дельты в зависимости от сбрасываемого объема – 120–148 км<sup>3</sup>.

Назначение водodelителя – создание в маловодные годы в вершине дельты р. Волги временного подпора, обеспечивающего в восточной части дельты и нижней зоне Волго-Ахтубинской поймы режим половодья, соответствующий оптимальным условиям заливания нерестовых площадей и сельскохозяйственных угодий. Строительство комплекса сооружений водodelителя было начато в 1963 г., а закончено – в 1976 г.

Комплекс водodelителя состоит из следующих сооружений: гидроузла на р. Волге, водodelительной дамбы с сооружениями, отмелиорированных нерестилищ на площади 215 тыс. га. Для сохранения естественного водообмена между западной и восточной частями дельты р. Волги на существующей дамбе расположены следующие сооружения: водопропускные трубы при пересечении с ериками Сухой Бузан и Тюней, гидроузлы на пересечении дамбы с протоками Рыча, Бушма и Быстрая. Мелиорация в восточной части дельты на площади 215 тыс. га, которая выполнена путем прочистки существующих ериков и прорытия новых мелиоративных каналов общей протяженностью 3120 км с 79 мостами и 177 переездами. Гидросооружение эксплуатировалось весной в 1977, 1978, 1982, 1983, 1988, 1989 гг. и осенью в 1986 г. За время эксплуатации водodelителя наибольшие объемы стока воды (3,19 и 2,68 км<sup>3</sup>) были дополнительно поданы в восточную часть дельты в 1977 и 1983 гг. При этом наблюдалось наибольшее приращение залитых площадей нерестилищ на востоке дельты – на 115 и 122 тыс. га соответственно. Потери запада дельты в обводнении нерестилищ за эти годы составляли 23 и 12 тыс. га. Общий прирост обводненных площадей нерестилищ по дельте и Волго-Ахтубинской пойме в 1977 и 1983 гг. составил 92 и 110 тыс. га.

Требования рыбохозяйственных организаций к водному режиму при работе водodelителя заключаются в создании в восточной части дельты р. Волги и нижней части Волго-Ахтубинской поймы гидрологических условий, приближенных к средневодным годам, необходимых для естественного воспроизводства полу-

проходных рыб. Беспрепятственный пропуск проходных рыб в верхний бьеф при объемах стока II квартала 75–85 км<sup>3</sup> в течение 20–30 суток обеспечивается в период подъема половодья открытыми судоходными и регуляционными затворами плотины.

Основные сельскохозяйственные требования к водному режиму дельты Волги состояли в обязательном обводнении сельскохозяйственных угодий с целью их влагозарядки и промывки. Условия влагозарядки, промывки, а также водообмена в зоне западных подстепных ильменей при объемах попуска II квартала 75, 80 и 85 км<sup>3</sup> обеспечиваются объемами сельхозпопуска соответственно 43,0; 50,1 и 56,0 км<sup>3</sup> в течение 25–32 суток с попусками 15–26 тыс. м<sup>3</sup>/с. При этом максимальные сбросы в нижний бьеф Волгоградского гидроузла осуществлялись в течение 5–7 суток. Требования водного транспорта к работе вододеливателя заключались в обеспечении гарантированных глубин в период навигации, для чего необходимо было обеспечить стояние горизонтов воды по Астраханскому посту на отметке не ниже – 25,70 м БС. Требования энергетики к режиму сбросов воды в нижний бьеф Волгоградского гидроузла ежегодно заключаются в том, чтобы обеспечивалось полное восстановление запасов воды в водохранилище только к концу половодья.

После зарегулирования стока р. Волги у Волгограда произошли серьезные изменения условий воспроизводства рыбных запасов. Нарушился естественный ход половодья: уменьшились его объем и высота, изменились сроки его начала, сократилась его общая продолжительность и время стояния высоких уровней, резко возросли скорость подъема и спада полых вод (рис. 1).

Эффективность размножения полупроходных рыб зависит от величины залитых нерестовых площадей. Современный нерестовый фонд полупроходных рыб составляет 525 тыс. га, в том числе: а) нижняя зона Волго-Ахтубинской поймы – 60 тыс. га; б) дельта – 465 тыс. га, из которых 70 тыс. га в пределах Казахстана (Денгизский район). В многоводные годы занимают все нерестовые площади дельты и поймы, в маловодные – менее 60 % нерестового фонда. В условиях зарегулированного стока р. Волги половодье дельты часто задерживается по отношению к прогреву воды в реке. В отдельные годы эта асинхронность составляет более 15–20 суток. Резко возросли скорости подъема полых вод, что приводит к наступлению ранней проточности пойменной системы и отрицательно влияет на эффективность размножения полупроходных рыб. Кроме того, ранняя проточность ведет к снижению первичной продукции фитопланктона, являющегося трофической основой экосистемы нерестилищ.

Решение проблем судоходства, рыбного и сельского хозяйства достаточно просто решить, если изменить внутригодовое распределение стока реки Волга (табл. 1). За многолетний период годовой сток реки Волги практически не изменился и составляет в среднем около 250 км<sup>3</sup>. В то же время внутригодовое распределение стока изменилось коренным образом. Если в бытовой (1935–1958 гг.)

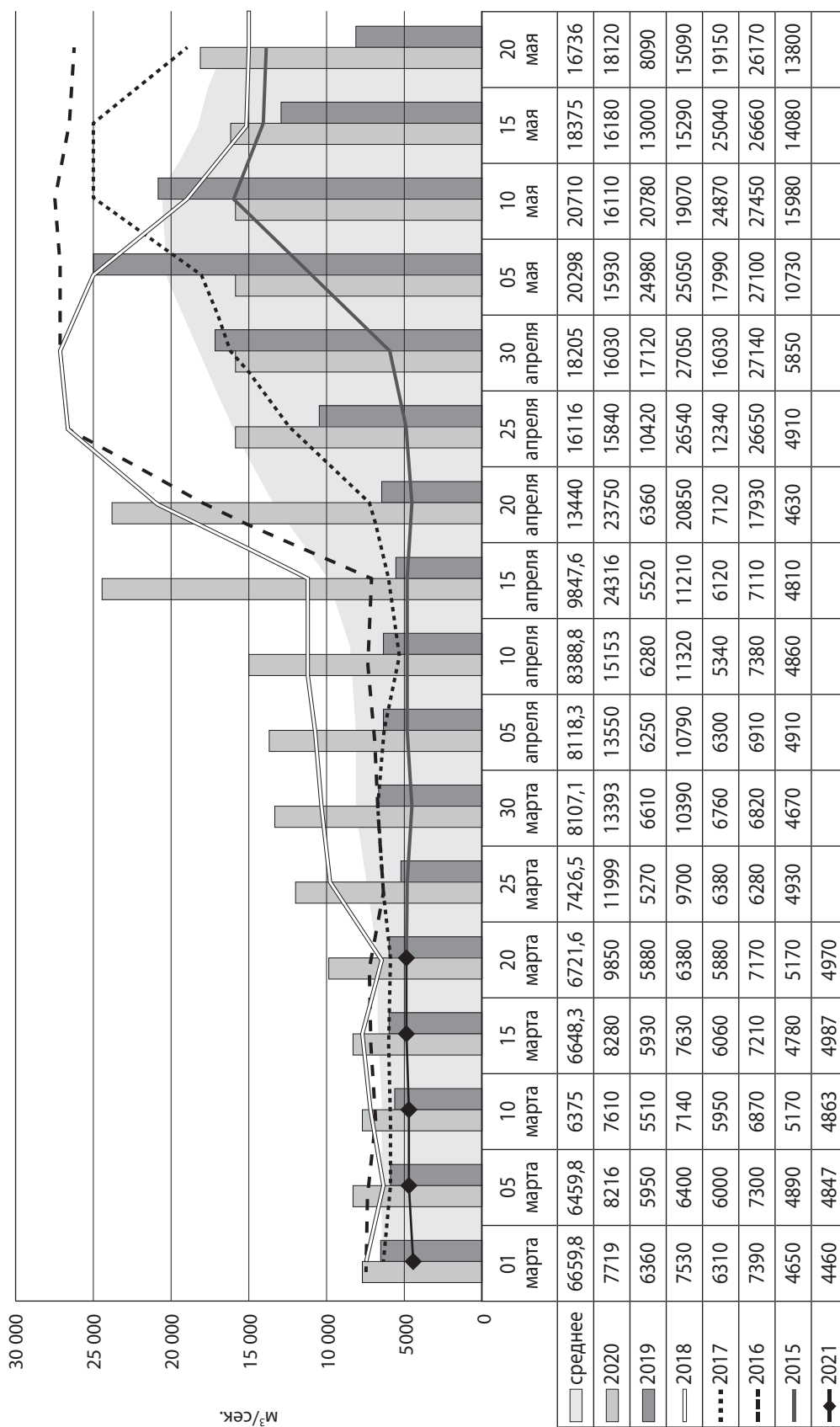


Рис. 1. Попуски воды с Волгоградской ГЭС за период 2019–2021 гг.

период на весну приходилось 60 % годового стока, то после строительства Волгоградского гидроузла только 30 %. А за осенне-зимний период сток возрос в два раза и составляет в среднем 60 % годового стока. Такой гидрограф полностью отвечает только требованиям гидроэнергетиков и не устраивает всех других водопользователей.

Следовательно, одним из важных вопросов совещания должен быть поиск решения проблемы переноса хотя бы 10 % стока в осенне-зимний период на весну. Что касается рыбного хозяйства, то нами предлагается следующий график попусков:

1. Ежесуточное увеличение сбросов по 2000 м<sup>3</sup>/сут., в течение 5 суток – с 10 по 14 апреля – объем до 17 000 м<sup>3</sup>/с обеспечивает выход воды из русла на нерестилища, что способствует началу нерестового периода.
2. С 15 по 24 апреля – ежесуточное увеличение объема 1000 м<sup>3</sup>/сут. до пиковых сбросов в 27 000 м<sup>3</sup>/с, плавное повышение уровня до максимальных отметок, полное заполнение нерестилищ, без риска понижения нерестовых температур из-за повышенного притока холодной воды.
3. С 24 апреля по 3 мая – 27 000 м<sup>3</sup>/с, стабильный сброс, максимальный уровень заполнения нерестилищ, возможно с небольшим повышением уровня воды, – оптимальный период по срокам и температурам для нереста и инкубации икры.
4. С 4 по 8 мая – ежесуточное понижение по 1000 м<sup>3</sup>/сут. до 22 000 м<sup>3</sup>/с, снижение сбросов, при которых происходит стабилизация и плавное понижение уровня, вылупившаяся личинка и созревающий малёк постепенно начинают ход в ильмени, адаптируясь к более низким температурам.
5. С 8 по 12 мая – 22 000 м<sup>3</sup>/с, стабильный уровень, при котором создаются самые благоприятные условия для массового движения молоди в открытые водоемы.
6. С 13 по 16 мая – понижение по 1000 м<sup>3</sup>/сут. до 18 000 м<sup>3</sup>/с, начало массового схода малька в ильмени и начало движения в ерики и протоки на пути к открытым водоемам.
7. С 16 по 20 мая – 18 000 м<sup>3</sup>/с, скатывание молоди в открытые водоемы.
8. С 20 по 25 мая – понижение по 2000 м<sup>3</sup>/сут., завершение половодья.

**Таблица 1.** Внутригодовое распределение стока реки Волги в бытовой (1935–1958 гг.) и зарегулированный (1960–20920 гг.) периоды, %

Годы	Сток, км <sup>3</sup>			
	за год	весна	лето	осень – зима
1935–1958	250	60	10	30
1960–2020	250	30	10	60

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сокольский А.Ф., Грачев А.А., Андросов В.П., Сокольская Е.А., Пакалов А.Ю. Оценка современного состояния и мероприятия по восстановлению и рациональному использованию Западных подстепных ильменей. Астрахань, 2020, 186 с.



## ИОННЫЙ СОСТАВ ВОД НИЖНЕГО ДОНА (ГИДРОКАРБОНАТЫ И КАЛЬЦИЙ): обзор

*В.В. Сорокина, Е.Г. Алешина, Т.Б. Филатова*

*Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия  
v.sorok@mail.ru*

Ионный состав поверхностных вод определяет их щелочность, которая является мерой буферной способности карбонатной системы в воде. Наличие в природных водах буферных систем является одним из важнейших условий существования жизни.

В настоящей работе, в рамках исследования геоэкологических аспектов цикла углерода и карбонатной системы в водном континууме Цимлянское водохранилище – Нижний Дон – Азовское море, основное внимание уделено временной динамике концентраций и стока гидрокарбонатного иона и иона кальция в водах низовья Дона.

Количество и состав веществ, транспортируемых реками к морю, интегрально отражает ландшафтные особенности водосбора, при этом интенсивная преобразующая деятельность человека влияет на состав речных вод, нарушая его стабильность.

В период сравнительно слабого антропогенного воздействия ионный сток Дона в нижнем течении в основном отражал геохимические условия верхних и средних частей водосбора, и речные воды, приходящие к устьевым створам, относились к гидрокарбонатному классу группы кальция II типа ( $\text{C}_{\text{II}}^{\text{Ca}}$ ). В их составе преобладали гидрокарбонатные ионы (54.3 %), ионы  $\text{Ca}^{2+}$  (16.1 %) и  $\text{SO}_4^{2-}$  (13.3 %). Относительное содержание ионов  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  было сравнительно невелико и в среднем составляло соответственно 6.6, 3.8 и 5.9 % [Бронфман, Хлебников, 1985 (по А.С. Якушева, 1972)].

В работе [Цурикова, Шульгина, 1964] авторы сопоставили солевые характеристики донских вод за близкие по водности периоды естественного (1944–1951 гг., 23.6 км<sup>3</sup>) и зарегулированного (1953–1959 гг., 23.7 км<sup>3</sup>) режимов и показали, что суммарное содержание главных солеобразующих ионов ( $\Sigma\text{и}$ ) не претерпело заметных изменений в соответствии с таблицей 1. Но, несмотря на это, коренным образом изменилось внутригодовое распределение и компонентный состав ионного стока Дона.

В первые годы существования Цимлянского водохранилища (создано в 1952 г.) интенсивно идущие в нем процессы фотосинтетической ассимиляции с сопутствующим потреблением карбонатов привели к заметному обеднению речных вод ионами  $\text{HCO}_3^-$  (на 10 %) и  $\text{Ca}^{2+}$  (на 22 %). Коэффициент гидрокарбонатности вод Дона уменьшился от 0.31–0.32 до 0.26–0.28 [Бронфман, Хлебников, 1985 (по В.И. Рогожкин, Н.М. Гусева, А.И. Шестопалова, 1973)]. В условиях снижения  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{Ca}^{2+}$  стабильность минерализации обеспечивалась увеличением концентрации ионов  $\text{Mg}^{2+}$  на 56 %,  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  – на 20 %,  $\text{Cl}^-$  – на 10 % за счет грунтовых вод и/или возросшим испарением речных вод [Бронфман, Хлебников, 1985].

**Таблица 1.** Ионно-солевой состав вод Нижнего Дона  
(в числителе – в мг/л, в знаменателе – в %)  
в условиях естественного и регулируемого стока

Период	Водный сток, км <sup>3</sup>	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\Sigma\text{и}$
1944–1951 гг. <sup>1</sup> (ст. Аксайская)	23.6	<u>66.6</u> 16	<u>11.8</u> 3	<u>36.6</u> 8	<u>184.0</u> 44	<u>40.8</u> 10	<u>78.7</u> 19	418.9
1952–1959 гг. <sup>1</sup> (ст. Аксайская)	22.8	<u>53.1</u> 13	<u>18.4</u> 4	<u>44.5</u> 11	<u>168.7</u> 40	<u>49.4</u> 12	<u>85.4</u> 20	419.5
1965–1975 гг. <sup>2</sup> (г. Ростов-на-Дону)	17.6	<u>78.5</u> 11	<u>28.9</u> 4	<u>100.7</u> 15	<u>183.0</u> 26	<u>120.9</u> 18	<u>179.8</u> 26	691.8
2016 г. апрель (г. Аксай) <sup>3</sup>	12.7	<u>99</u> 9	<u>52</u> 5	<u>173</u> 16	<u>230</u> 21	<u>172</u> 16	<u>360</u> 33	1086
2017 г. май – июнь (г. Аксай, г. Ростов-на-Дону, среднее) <sup>3</sup>	14.8	<u>84</u> 10	<u>46</u> 5	<u>127</u> 14	<u>229</u> 26	<u>124</u> 14	<u>279</u> 31	889
2018 г. апрель (г. Ростов-на-Дону) <sup>3</sup>	23.5	<u>80</u> 10	<u>35</u> 4	<u>120</u> 15	<u>238</u> 29	<u>105</u> 13	<u>231</u> 29	809

*Примечание.*

<sup>1</sup> По данным работы [Цурикова, Шульгина, 1964].

<sup>2</sup> По данным работы [Бронфман, Хлебников, 1985].

<sup>3</sup> Данные ЮНЦ РАН 2016–2018 гг.

<sup>4</sup> Водный сток в ст. Раздорской (Государственный водный кадастр).

В последующий сравнительно маловодный период (1965–1975 гг., 17.6 км<sup>3</sup>) общая минерализация речных вод ниже плотины Цимлянской ГЭС, по сравнению со створом г. Калача уменьшилась с 575 до 383 мг/л, т.е. более чем на 30 %, а содержание  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{HCO}_3^-$  – на 45 % [Бронфман, Хлебников, 1985].

На Нижнем Дону через дренажно-коллекторную сеть оросительных систем в реку осуществляется интенсивная разгрузка грунтовых вод. В период 1965–1975 гг. это привело к быстрому и неуклонному росту величины  $\Sigma\text{и}$  почти в два раза до

692 мг/л (табл. 1). Повышение общей минерализации вод произошло в основном за счет сульфатного иона (его доля в  $\Sigma$  возросла до 26 %) и ионов  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  (их доля возросла до 15 %). Относительное количество ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{HCO}_3^-$  сократилось до 11 % и 26 % соответственно. В работе [Бронфман, Хлебников, 1985] сделан вывод о четко выраженном метаморфизме солевого состава речных вод, осуществляющегося в направлении хлоридно-сульфатного класса группы Na ( $\text{C}^{\text{Ca}} \rightarrow \text{ClS}^{\text{Na}}$ ). Данная тенденция сохраняется и по сей день.

**Динамика концентраций гидрокарбонатного иона в водах Нижнего Дона.** Анализ доступных данных об ионном составе вод Дона в его нижнем течении во второй половине XX – начале XXI вв. показал, что наиболее распространенные значения концентрации гидрокарбонатов находятся в пределах 190–220 мг/л.

Можно выделить несколько достаточно крупных периодов, характеризующихся разными уровнями концентраций гидрокарбонатного иона в речной воде и тенденциями их изменений.

В предшествующих исследованиях [Цурикова, Шульгина, 1964; Бронфман, Хлебников, 1985] была определена основная тенденция – сокращение содержания гидрокарбонатного иона в воде нижнего течения Дона сразу после зарегулирования стока Цимлянским водохранилищем. В настоящей работе установлено, что эта тенденция изменилась в 1980-х гг., с середины этого периода она стала положительной вплоть до 1990 г. Следующий интервал времени (1991–2013 гг.) характеризуется отрицательной тенденцией, сменившейся в 2013 г. на обратную (до настоящего времени).

На протяжении второй половины XX – начала XXI вв. можно определить несколько периодов, характеризующихся разными уровнями средних концентрации гидрокарбонатов в водах Дона ниже Цимлянского водохранилища (ниже плотины Цимлянской ГЭС): 1955–1967 гг. (порядка 160 мг/л), 1968–1982 гг. (порядка 140 мг/л), 1983–2001 гг. (порядка 185 мг/л), 2001–2020 гг. (порядка 220 мг/л).

На протяжении всего рассматриваемого периода инструментальных наблюдений в большинстве случаев отмечена обратная зависимость концентраций гидрокарбонатного иона от расходов воды в реке Дон, но их взаимосвязь слабо выражена из-за влияния многих других факторов.

**Доля гидрокарбонатного иона и иона кальция в ионном стоке Нижнего Дона.** По сравнению с периодом сравнительно слабой активности антропогенных воздействий на ионный сток Дона, после зарегулирования стока реки (1952–1959 гг.) доля гидрокарбонатных ионов снизилась до 40 %, ионов кальция – до 13 %, а к началу 1970-х гг. до 26–30 % и 11 % соответственно (табл. 1–2). Одновременно с этим к концу 1970-х гг. увеличилась доля сульфатов (с 19 % до 26–27 %) и хлоридов (с 10 % (до зарегулирования Дона) до 16 %) в ионном стоке реки. Такое соотношение основных ионов наблюдалось до конца XX – начала XXI в. (с незначительными отклонениями в разные по водности годы). В современный маловодный период (2007–2018 гг.) мы

наблюдаем сохранение доли гидрокарбонатного иона в среднем на уровне 25–26 % (при колебаниях от 20 до 30 % в зависимости от местоположения в нижнем течении реки и водности года), сокращение доли иона кальция до 9–10 % и продолжающееся увеличение доли сульфат-ионов – до 29–33 % (табл. 1–2).

**Таблица 2.** Средний годовой ионный сток Дона в нижнем течении (в тыс. т), водный сток (в км<sup>3</sup>) и соотношение разных ионов в стоке (в % от общей минерализации)

Период	1935/36 и 1940/41 гг. <sup>1</sup>	1944–1951 гг. <sup>2</sup>	1952–1959 гг. <sup>2</sup>	1965–1975 гг. <sup>3</sup>	1971 г. <sup>4</sup>	1979 г. <sup>4</sup>	1983 г. <sup>4</sup>	1999 г. <sup>4</sup>	2016–2017 гг. <sup>5</sup>	2018 г. <sup>5</sup>
Ca <sup>2+</sup>	<b>1806</b>	<b>1575</b>	<b>1208</b>	<b>1382</b>	-	-	-	-	<b>1248</b>	<b>1881</b>
Mg <sup>2+</sup>	386	280	419	509	-	-	-	-	671	818
Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	953	866	1012	1772	-	-	-	-	2031	2820
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>5209</b>	<b>4349</b>	<b>3838</b>	<b>3221</b>	<b>3692</b>	<b>8189</b>	<b>3901</b>	<b>5127</b>	<b>3154</b>	<b>5595</b>
Cl <sup>-</sup>	1068	964	1124	2128	1982	5140	2201	3017	2006	2468
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2208	1862	1943	3164	3172	8349	3620	5591	4342	5411
Σи	11 629	9895	9544	12 176	12 480	31 215	13 991	19 584	13 452	18 995
Водный сток	27.9	23.6	22.8	17.6	20.8	38.3	18.1	22.3	13.7	23.5
Ca <sup>2+</sup>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>13</b>	<b>11</b>	-	-	-	-	<b>9</b>	<b>10</b>
Mg <sup>2+</sup>	3	3	4	4	-	-	-	-	5	4
Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	8	8	11	15	-	-	-	-	15	15
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>45</b>	<b>44</b>	<b>40</b>	<b>26</b>	<b>30</b>	<b>26</b>	<b>28</b>	<b>26</b>	<b>24</b>	<b>29</b>
Cl <sup>-</sup>	9	10	12	18	16	16	16	15	15	13
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	19	19	20	26	25	27	26	29	32	29

*Примечание.*

– нет данных

<sup>1</sup> По данным В.Я. Еременко (1949) (ст. Аксайская) [Цурикова, Шульгина, 1964]

<sup>2</sup> По данным работы [Цурикова, Шульгина, 1964] (ст. Аксайская).

<sup>3</sup> Рассчитано с использованием данных о концентрациях ионов и минерализации вод работы [Бронфман, Хлебников, 1985] (г. Ростов-на-Дону).

<sup>4</sup> По: [Пирумова, 2006] (г. Аксай).

<sup>5</sup> Ориентировочные оценки по данным ЮНЦ РАН (2016–2017 гг. – среднее в г. Аксай и г. Ростов-на-Дону, 2018 г. – г. Ростов-на-Дону), водный сток в ст. Раздорской (Государственный водный кадастр).

*Современный сток ионов гидрокарбонатов и кальция.* Объемы стока разных компонентов ионно-солевого состава вод Дона не отличаются постоянством. Этому способствуют различные тенденции изменений концентраций ионов и объемов стока воды, а также обратная связь концентраций ионов от расходов воды, по-разному выраженная в разные периоды наблюдений и на разных участках Нижнего Дона.

Последний маловодный период 2007–2020 гг. отличается от аналогичного периода в 1972–1976 гг. не только большей продолжительностью, но и большими концентрациями гидрокарбонатного иона и иона кальция (табл. 1). Если для всего периода наблюдений за ионным стоком была характерна отрицательная зависимость концентраций ионов от расходов воды, то для современного маловодного периода она пока слабо выражена (не подтверждена).

Наблюдаемое увеличение концентраций гидрокарбонатного иона и иона кальция в последний маловодный период не приводит к увеличению объемов их стока (из-за низкого водного стока реки). В то же время увеличение водности реки (например, в 2018 г. до 23.5 км<sup>3</sup>, выше среднемноголетнего значения) с сохранением таких же высоких концентраций рассматриваемых ионов и небольшим увеличением их доли в общем ионном составе способствовало увеличению объемов их стока в этом году до уровня условно естественного или похожего на многоводные годы всего рассматриваемого периода (табл. 2).

*Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН,  
№ гр. проекта 122013100131-9, полевые и лабораторные исследования  
выполнены в рамках проекта № гр. 122011900153-9.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Цурикова А.П., Шульгина Е.Ф.* Гидрохимия Азовского моря. Л.: Гидрометеиздат, 1964. 258 с.
2. *Бронфман А.М., Хлебников Е.П.* Азовское море. Основы реконструкции. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 269 с.
3. *Пирумова Е.И.* Особенности пространственно-временных изменений минерализации и компонентов солевого состава воды р. Дон в нижнем течении: дис. ... канд. геогр. наук. Ростов н/Д., 2006. 152 с.

## ГУМУС В АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВАХ ДЕЛЬТЫ ДОНА

*К.С. Сушко, Л.П. Ильина*

*Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия  
kirkka@yandex.ru, iljina@ssc-ras.ru*

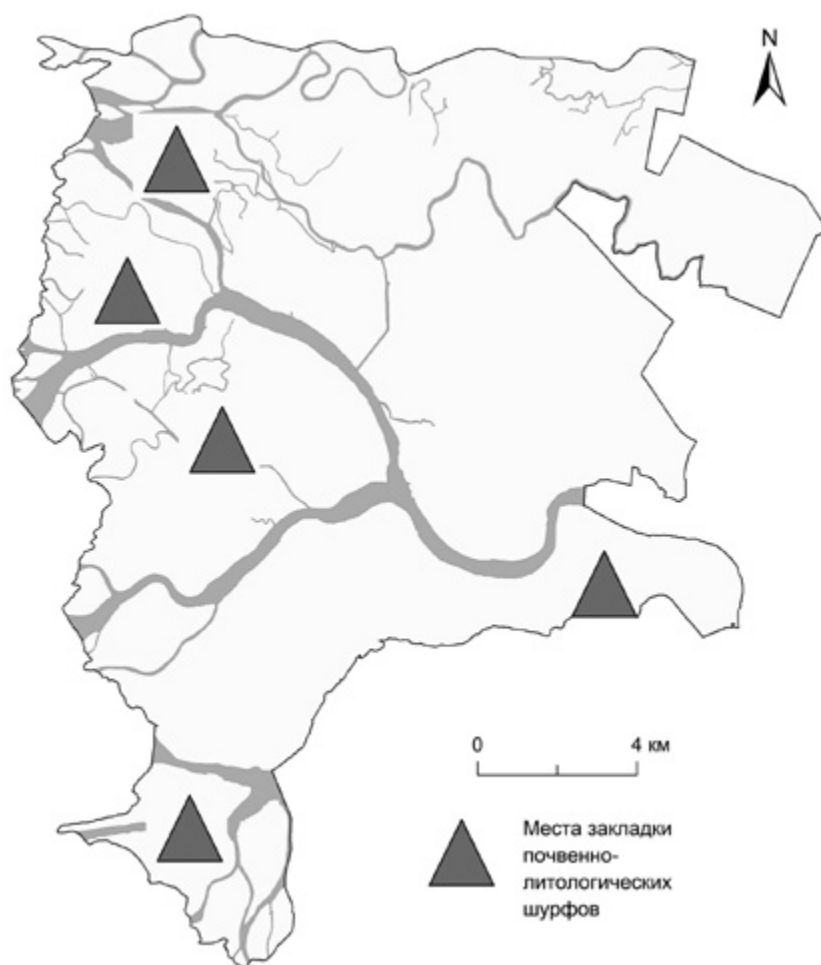
Дельта Дона – это уникальная территория с различными ландшафтами, плодородными почвами, продуктивными пастбищами и сенокосами, богатым растительным и животным миром, которая участвует в формировании биоресурсного потенциала Азовского моря и Таганрогского залива. В настоящее время дельта Дона представляет собой заболоченную низину, пересеченную прирусловыми валами современных рукавов и множеством ериков. В центральной части дельты возвышаются останцы надпойменной террасы – песчаные холмы до 5–6 м высотой. Множество мелких островов ограничивают дельту со стороны моря. Мелкие острова – приморская часть, остальные – внутренняя часть. Дельтовые острова (Джулька, Бирючий, Свиной и др.) поднимаются невысоко над уровнем воды, на некоторых из них имеются небольшие озера, из которых вытекают ерики с извилистыми очертаниями. Количество ериков, проток, рукавов, а также их густота увеличиваются по мере приближения к морю, а размеры островов уменьшаются. В дельте преобладают мелкие острова, оконтуренные узкими невысокими (0,2–0,5 м) грядами, которые образовались в результате отложения речных наносов [Матишов и др., 2017; Матишов, 2018; Сушко, Ильина, 2019].

Почвенный покров островов дельты Дона отличается сложностью и комплексностью, которая связана с совокупностью природных факторов и разнообразием форм антропогенного воздействия на почвы. Большинство исследователей относят почвы дельты Дона к группе типов аллювиальных пойменных и дельтовых почв. Основными условиями при формировании дельтовых почв являются регулярное затопление паводковыми водами и отложение слоев аллювия. Периодическое затопление паводками и близость грунтовых вод обуславливают особенности водного режима и генезиса, что отражается в специфике их профильного строения [Безуглова, Хырхырова, 2009; Сушко, Ильина, 2018; 2021].

Цель исследования – изучение содержания гумуса и его запасов в аллювиальных почвах дельты Дона.

Объектами исследования были аллювиальные почвы островной и прибрежной частей дельты Дона (рис. 1).





**Рис. 1.** Местоположение почвенно-литологических шурфов в дельте Дона (2019–2021 гг.)

При изучении почвенного покрова использовались стандартные методы полевых и лабораторных исследований: сравнительно-географический, эколого-ландшафтного профилирования, а также физико-химические.

При исследовании прибрежных и островных ландшафтов отбор почв и грунтов производился с использованием почвенного бура. Всего было заложено 5 почвенно-литологических шурфов на глубину 1,21–1,82 м. Образцы почв отбирались послойно каждые 20 см. Всего отобрано 86 образцов почв и аллювиальных отложений.

В полевых условиях проводилось морфологическое описание почв (цвет, структура, гранулометрический состав, сложение, признаки засоления, наличие карбонатов и т. д.) по общепринятым методикам [Кауричев, 1980; Розанов, 2004]. В лабораторных условиях в почвенных образцах содержание гумуса определяли методом Тюрина в модификации Орлова и Гриндель [Орлов, Гришина, 1981].

В почвенном покрове Дельты Дона широко распространены аллювиально-луговые, лугово-аллювиальные, а также слоистые песчаные почвы дельтовых песков на почвообразующих породах различного генезиса. Почвенный профиль аллю-

виальных почв состоит из нескольких горизонтов (Ад–А–В–Вg–С), неоднороден и имеет четкую слоистость, связанную с чередованием песчаных слоев с темными суглинистыми прослойками. Аллювиально-луговые слоистые оглеенные почвы на аллювиальных легкосуглинистых и среднесуглинистых отложениях имеют с поверхности дернину слоем до 5–10 см, мощность гумусового горизонта А не превышает 40 см, переходный горизонт В – слабослоистый со следами оглеения в виде отдельных ржавых и сизых пятен. В карбонатных разновидностях аллювиально-луговых почв отмечено вскипание с поверхности и сплошная пропитка почвенной массы карбонатами. Глубина залегания грунтовых вод 100–150 см. Формируются на заливных лугах с лугово-разнотравной растительностью при развитии следующих почвообразовательных процессов: поемного, аллювиального, дернового и глееобразования [Сушко, Ильина, 2018].

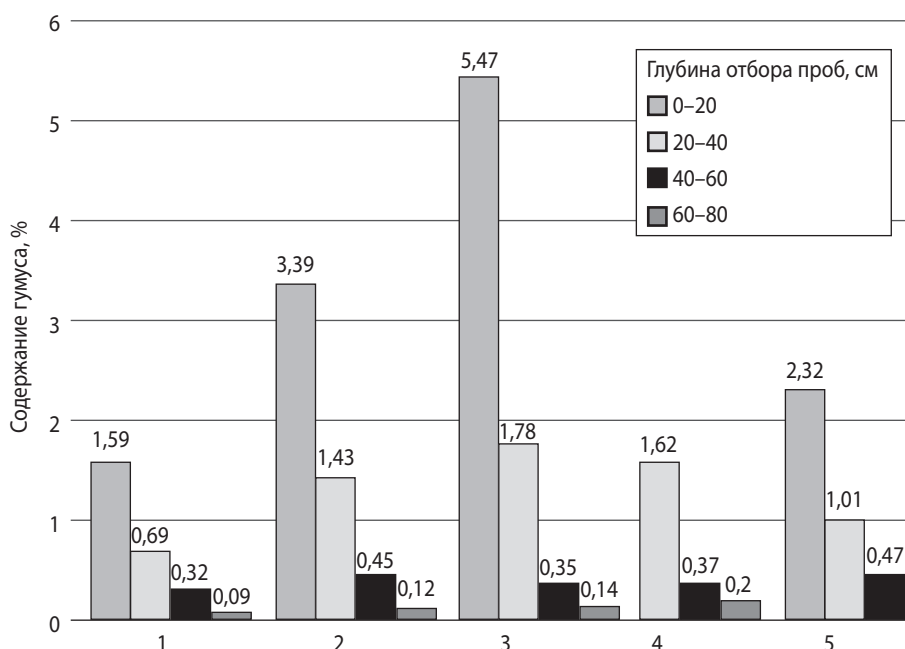
Лугово-аллювиальные слоистые карбонатные почвы на аллювиальных супесчаных отложениях формируются на аллювии облегченного гранулометрического состава. В профиле имеют четко выраженную слоистость. Вскипают с поверхности и имеют карбонатную пропитку в верхней части профиля. В нижней части профиля с 35 см отмечены признаки оглеения в виде ржавых и сизых пятен. Их образование связано с периодическим затоплением островных и прибрежных ландшафтов и переотложением частиц, приносимых паводковыми водами. Основными процессами почвообразования являются – дерновый, аллювиальный и поемный [Сушко, Ильина, 2018].

**1. Почвенно-литологический шурф (Казачий ерик, восточный край дельты Дона).** Биотоп представлен тростниковыми ассоциациями. Аллювиально-луговая почва на слоистом песчано-ракушечном аллювии. По гранулометрическому составу легкосуглинистая. В почвенном профиле отмечены слои песчано-ракушечного аллювия. Содержание гумуса в верхнем горизонте не превышает 1,59 %, вниз по профилю резко убывает и на глубине > 60 см составляет всего лишь 0,09 %. (рис. 2). Запасы гумуса в слое 0-40 см не превышают 68 т/га. По градации Орлова [Орлов, Гришина, 1981] по содержанию гумуса почва относится к слабогумусированной и имеет средние запасы гумуса.

**2. Почвенно-литологический шурф (проток Бирючья).** Биотоп представлен луговыми ассоциациями. Аллювиально-луговая почва на аллювиальных среднесуглинистых отложениях. По гранулометрическому составу среднесуглинистая. Содержание гумуса в верхнем горизонте не превышает 3,39 %, вниз по профилю равномерно уменьшается до 0,12 % (рис. 2). Запасы гумуса в слое 0–40 см не превышают 213 т/га. Аллювиальная почва относится к сильногумусированным и характеризуется высокими запасами гумуса.

**3. Почвенно-литологический шурф (проток Кутерьма, Старая протока, остров).** Биотоп представлен луговыми ассоциациями. Лугово-аллювиальная слоистая карбонатная на аллювиальных среднесуглинистых отложениях

ях. По гранулометрическому составу среднесуглинистая. Содержание гумуса в верхнем горизонте 5,47 %, вниз по профилю равномерно уменьшается до 0,14 % (рис. 2). Это сильногумусированная почва. Запасы гумуса в слое 0–40 см не превышают 320 т/га, что соответствует по градации высокому показателю.



**Рис. 2.** Содержание гумуса в аллювиальных почвах, в %:

- (1) – аллювиально-луговая почва на слоистом песчано-ракушечном аллювии;  
 (2) – аллювиально-луговая почва на аллювиальных среднесуглинистых отложениях;  
 (3) – лугово-аллювиальная слоистая карбонатная на аллювиальных среднесуглинистых отложениях; (4) – аллювиальная маломощная почва на песчаном аллювии;  
 (5) – аллювиально-луговая карбонатная почва на аллювиальных легкосуглинистых отложениях

**4. Почвенно-литологический шурф (участок Егурча, бывший степной участок пожара).** Остепненный биотоп. Аллювиальная маломощная почва на песчаном аллювии. В верхней части профиля сформирован дерновый горизонт не более 7 см., вниз отмечено чередование слоев супесчаного аллювия. Содержание гумуса в верхнем горизонте не превышает 1,62 %, вниз по профилю резко уменьшается до 0,37–0,2 % (рис. 2). Запасы гумуса в слое 0–40 см не превышают 56 т/га. Это слабогумусированная почва с низкими запасами гумуса.

**5. Почвенно-литологический шурф (ерик Проездной, в окрестностях протоки Черной).** Биотоп представлен тростниково-луговыми ассоциациями. Аллювиально-луговая карбонатная почва на аллювиальных легкосуглинистых отложениях. По гранулометрическому составу легкосуглинистая. Содержание гумуса в верхнем горизонте 2,32 %, вниз по профилю равномерно уменьшается до 0,47 % (рис. 2). Это среднегумусированная почва. Запасы гумуса в слое 0–40 см составляют 185 т/га, что соответствует по градации высокому показателю.

В результате проведенных исследований выявлено, что основные закономерности формирования гумусовых горизонтов в аллювиальных почвах связаны с развитием почвообразовательных процессов (поемного, аллювиального, дернового и глееобразования) и лугово-разнотравной растительностью. Профильное распределение гумуса (плавное или резкое) свидетельствует о неоднородности аллювиальных наносов и зависит от особенностей гранулометрического состава соответствующих слоев. К сильногумусированным почвам относятся: аллювиально-луговая почва на аллювиальных среднесуглинистых отложениях, а также и лугово-аллювиальная слоистая карбонатная на аллювиальных среднесуглинистых отложениях. Аллювиальные почвы облегченного гранулометрического состава и с прослойками песчано-ракушечного, песчаного и супесчаного аллювия относятся к средне- и слабогумусированным почвам.

Выявлено, что в настоящее время в дельтовых почвах развивается процесс дегумификации, обусловленный периодическим затоплением, засолением, интенсивным использованием их под сенокосы и пастбища. В целом биологическая деградация, проявляющаяся в виде дегумификации (потеря гумуса, уменьшение мощности гумусовых горизонтов и запасов гумуса в них), повлечет за собой разрушение структуры гумусовых горизонтов, ухудшение физико-химических свойств и преобразование дельтовых почв из плодородных в малопродуктивные земли.

*Работа выполнена в рамках проекта РГО «География Нижнего Дона и Цимлянского водохранилища: трансформация в условиях маловодья и засоления» (договор № 40/2022-И).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безуглова О.С., Хырхырова М.М. Почвы Ростовской области. Ростов н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2008. С. 123–124.
2. Кауричев И.С. Практикум по почвоведению. М.: Колос, 1980. 280 с.
3. Матишов Г.Г. Дельта Дона в условиях климатических изменений и антропогенного воздействия // Дельты рек России: закономерности формирования, биоресурсный потенциал, рациональное хозяйствование и прогноз развития. Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2018. С. 5–13.
4. Матишов Г.Г., Польшин В.В., Дюжова К.В., Сушко К.С., Титов В.В. Результаты комплексных исследований голоценовых отложений Азовского моря // Наука Юга России. 2017. Т. 13. № 4. С. 43–59.
5. Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса. М.: Изд-во МГУ, 1981. 271 с.
6. Розанов Б.Г. Морфология почв: уч. для высш. шк. М.: Академический проект, 2004. 432 с.

7. Сушко К.С., Ильина Л.П. Аллювиальные почвы островных и прибрежных ландшафтов дельты Дона // Дельты рек России: закономерности формирования, биоресурсный потенциал, рациональное хозяйствование и прогноз развития. Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2018. С. 85–92.
8. Сушко К.С., Ильина Л.П. Особенности развития деградационных процессов в ландшафтах дельты Дона // Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и индустриальных вызовов («Опасные явления»): мат-лы Междунар. науч. конф. Ростов н/Д., 2019. С. 243–246.
9. Сушко К.С., Ильина Л.П. Экологическое состояние островных ландшафтов дельты Дона в условиях антропогенного воздействия // Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и индустриальных вызовов («Опасные явления – III»): мат-лы Межд. науч. конф. Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2021. С. 295–300.

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НАНОЧАСТИЦ Zn НА ВСХОЖЕСТЬ РЕДИСА В БУРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЕ

*А.Н. Тимошенко, С.И. Колесников*

*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия  
aly9215@mail.ru*

В настоящее время в результате широкого развития нанотехнологий и увеличения масштабов производства наноматериалов, в том числе металлосодержащих, растет риск загрязнения окружающей среды наночастицами тяжелых металлов. Наночастицы Zn используются в различных передовых областях, таких как электроника, косметология, защита окружающей среды, биология и медицина [Wang et al., 2012; Hussein et al., 2017]. Попадая в почву, наночастицы Zn приводят к изменениям ее биологических свойств, а также влияют на растения [Singh, Kumar, 2016; Jan et al., 2022].

В модельном лабораторном опыте было исследовано влияние наночастиц Zn на всхожесть редиса в бурой лесной почве (Майкопский район, п. Никель, 44°10'649" с.ш., 40°9'469" в.д.). Изучали действия разных концентраций наночастиц металлов – 100, 1000, 10000 мг/кг. Образцы для лабораторно-аналитического исследования отбирались через 10 дней после загрязнения. В качестве тест-объекта использовали семена редиса сорта «18 дней». Метод основан на высокой отзывчивости семян редиса на токсические вещества путем учета снижения их всхожести, по сравнению с контролем, выраженное в процентах. После инкубационного периода почвы с загрязняющими веществами почву помещали в чашку Петри. Семена редиса высаживали в чашку Петри почвенной массы – 25 семян в чашку Петри в условиях влажности 60 % и температуры 24–25 °С. Через 7 дней после начала эксперимента редис извлекали из почвы и определяли всхожесть.

В результате исследования было установлено, что уже минимально используемая концентрация наночастиц цинка – 100 мг/кг снижала всхожесть редиса на 47 % относительно контроля. Степень снижения зависела от концентрации загрязняющего вещества в почве. Наблюдали более сильное снижение значений всхожести редиса с увеличением количества наночастиц Zn в почве. Максимально используемая в работе концентрация 10 000 мг/кг снижала всхожесть редиса на 74 %. Негативное влияние наночастиц Zn на рост растений было установлено и ранее для других почв Юга России [Колесников и др., 2019; Kolesnikov et al., 2021].



*Исследование выполнено в лаборатории «Здоровье почв» Южного федерального университета при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 075-15-2022-1122.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колесников С.И., Тимошенко А.Н., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В., Мясникова М.А. Оценка экотоксичности наночастиц меди, никеля и цинка по биологическим показателям чернозема // Почвоведение. 2019. № 8. С. 986–992. URL: <https://doi.org/10.1134/S0032180X19080094>.
2. Hussein J., El-Banna M., Razik T.A., El-Nagga M.E. Biocompatible zinc oxide nanocrystals stabilized via hydroxyethyl cellulose for mitigation of diabetic complications // Int. J. Biol. Macromol. 2017. 107 Pt A. P. 748-754. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.09.056>.
3. Jan N., Majeed N., Ahmad M., Ahmad Lone W., John R. Nano-pollution: Why it should worry us? // Chemosphere. 2022. Vol. 302. P. 134746. URL: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134746>.
4. Kolesnikov S.I., Timoshenko A.V., Minnikova T.V., Minkina T.M., Rajput V.D., Kazeev K., Feizi M., Fedorenko E., Mandzhieva S.S., & Sushkova S. Ecotoxicological assessment of Zn, Cu and Ni based NPs contamination in Arenosols. SAINS TANAH // Journal of Soil Science and Agroclimatology. 2021. Vol. 18. No. 2. P. 143–151. URL: <https://doi.org/10.20961/stjssa.v18i2.56697>.
5. Singh D., Kumar A. Impact of irrigation using water containing CuO and ZnO nanoparticles on Spinach oleracea grown in soil media // Bull. Environ. Contam. Toxicol. 2016. Vol. 97. No. 4. P. 548–553. URL: <https://doi.org/10.1007/s00128-016-1872-x>.
6. Wang L., Kang Y., Liu X., Zhang S., Huang W., Wang S. ZnO nanorod gas sensor for ethanol detection // Sensors and Actuators B-chemical. 2012. No. 162. P. 237–243. URL: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2011.12.073>.

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА, КАРБОНАТОВ и pH В ПОЧВАХ г. ТАГАНРОГА

*Е.С. Федоренко, И.В. Замулина, О.Е. Хронюк, Ю.А. Константинова,  
Д.Г. Невидомская, Т.С. Дудникова, Т.М. Минкина*

*Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия  
elena.fedorenko.99@mail.ru*

Промышленные и городские зоны являются источником антропогенной нагрузки окружающей среды [Лаппо, 1997]. Антропогенное влияние часто сопровождается химическим воздействием на окружающие среды, сопутствующим поступлению поллютантов. Территория Таганрогского залива также подвержена подобным воздействиям в связи с промышленной и сельскохозяйственной активностью [Ильченко, 2010; Невидомская, 2020]. Наличие на территории залива рекреационных зон является важным фактором для проведения мониторинговых исследований и прогнозирования антропогенного воздействия. Физико-химические свойства почвы являются основой буферной способности и ее сорбционных свойств, что обуславливает поглощение питательных элементов, а также поллютантов и удержание их в почвенных агрегатах.

Исследования проводились на территории г. Таганрога на береговой линии Таганрогского залива. Методом «конверта» отобрано 9 проб поверхностного почвенного горизонта (0–20 см) в пределах различных функциональных зон города: промышленной (площадки 1–4), рекреационной (площадки 5–7) и селитебной зонах (9–10) (рис. 1).

В образцах почв производилось определение общего органического углерода почв ( $C_{орг}$ ) по методу Тюрина бихроматным окислением с титриметрическим окончанием, pH потенциометрическим методом в соотношении почвы и воды – 1 : 5, содержание  $CaCO_3$  – газовольметрическим методом (по Шейблеру) [Воробьева, 2006].

Результаты определения физико-химических свойств почв различных функциональных зон представлены на рисунке 2. Содержание  $C_{орг}$  в почвах промышленных зон колеблется от 1,0 до 2,1 %. Наибольшее значение отмечено в почве площадки 4, которая также характеризуется высоким содержанием карбонатов (16,1 %). Повышенные значения  $C_{орг}$  в промышленной зоне обусловлены, вероятно, износом дорожного покрытия, выбросами автотранспорта и иными продуктами антропо-

генной деятельности. Предположительно, углерод в данном случае представлен соединениями техногенного происхождения, неспецифического для почв [Касимов и др., 2016], в отличие от рекреационной и селитебной зон. Низкие содержания  $C_{\text{орг}}$  приурочены к территориям, лишенным растительности и уплотненным, в селитебной и промышленной зонах. Так, в почве площадки 9 отмечается минимальное содержание  $C_{\text{орг}}$  – 0,97 %. При этом достоверных различий в распределении  $C_{\text{орг}}$  в зависимости от назначения территории не наблюдается, что свидетельствует об устойчивости органических свойств почв. В рекреационной зоне значения находятся в интервале 1,4–1,5 %, что объясняется наличием густого растительного покрова и оптимальными условиями влажности, способствующими усилению микробиологических процессов и накоплению органического вещества.



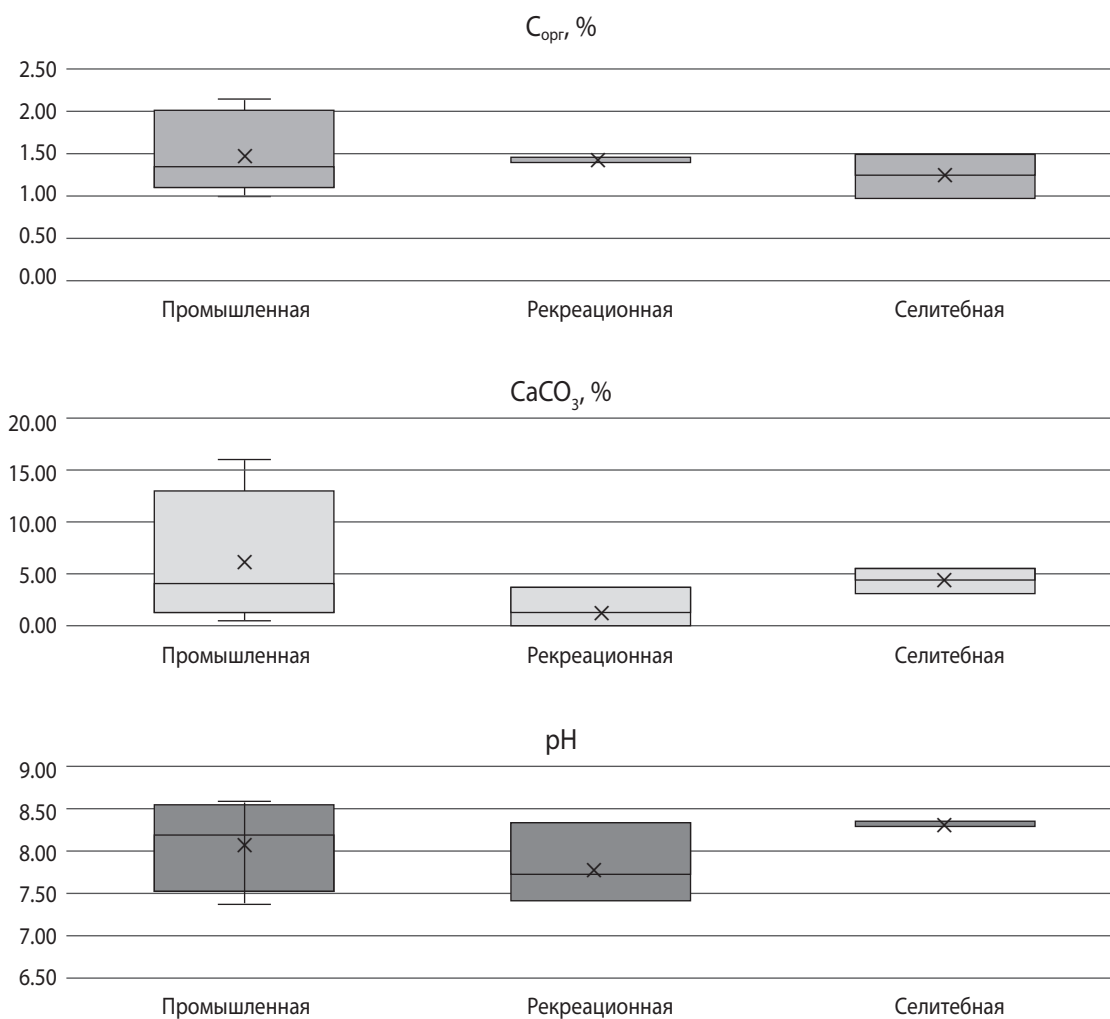
Рис. 1. Схема расположения участков отбора проб в г. Таганроге

Содержание  $\text{CaCO}_3$  в почвах рекреационной и селитебной зон отличается минимальной вариабельностью и находится в интервалах 0,02–3,68 % и 3,25–5,63 %, соответственно. В то же время, в почвах промышленной зоны показатель варьирует от 0,53 % до 16,12 %. Повышенное содержание карбонатов в почвах промышленных территорий связано с дополнительным привнесом из антропогенных источников.

Значения pH в почвах варьируют в пределах 7,4–8,6, что соответствует реакции среды от нейтральной до сильнощелочной. Повышение щелочности городских почв обусловлено попаданием через поверхностный сток противогололедных смесей, используемых при обработке дорог и тротуаров и включающих хлориды и сульфаты калия, магния, натрия; а также высвобождением кальция из включений

строительного мусора, кирпича, цемента и др. Почвы промышленной и рекреационной зон характеризуются наиболее высоким размахом значений рН. Для первой зоны характерно неоднородное распределение включений, оказывающих влияние на химические свойства. Для второй – наличие древесной растительности, разной степени изреженности, обуславливающей различия во влажности, вертикальном движении воды и, соответственно, в развитии процессов выщелачивания.

Таким образом, увеличение рН, содержания  $C_{\text{орг}}$  и карбонатов способствует аккумуляции поллютантов и формированию геохимических барьеров.



**Рис. 2.** Варьирование свойств почв различных функциональных зон г. Таганрога: среднее (крестик), медиана (центральная линия), квартили (границы ящика), минимум и максимум (концы «усов»)

Физико-химические анализы выполнены при финансовой поддержке Совета по грантам Президента РФ, проект МК-4654.2022.1.5 (физико-химические анализы), экспедиционные исследования поддержаны грантом РФФИ 19-05-50097.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Воробьева Л.А.* Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
2. *Ильченко И.А.* Взаимодействие компонентов экосистемы приморского города в условиях антропогенного загрязнения // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2010. № 1. С. 86-90.
3. *Касимов Н.С., Власов Д.В., Кошелева Н.Е., Никифорова Е.М.* Геохимия ландшафтов Восточной Москвы. М.: АПР, 2016. 276 с.
4. *Лаппо Г.М.* География городов. М., 1997. 203 с.
5. *Невидомская Д.Г., Минкина Т.М., Кравцова Н.Е., Чаплыгин В.А., Щербаков А.П.* Анализ загрязнения тяжелыми металлами почв и растений дельты реки Дон и побережья Таганрогского залива // Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса. 2020. С. 372–375.

## АКВАЛЬНЫЕ ЛАНДШАФТЫ В ЗОНЕ СМЕШЕНИЯ р. ДОН И ТАГАНРОГСКОГО ЗАЛИВА

*А.Д. Хаванский, Н.Н. Шпак*

*Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия  
khovansk@yandex.ru, n.n.shpak@mail.ru*

Зона смешения речных и морских вод характеризуются существенным изменением факторов формирования водной системы и высокой напряженностью геохимических процессов. В направлении от реки к морю резко снижается скорость течения, из воды осаждаются основная масса взвешенного материала, возрастает соленость воды, пресноводные растительные сообщества сменяются солоновато-водными, процессы переноса вещества уступают место аккумуляции [Хаванский, 1993; Хрусталеv, 1982].

Целью данной работы является выявление и общая характеристика аквальных ландшафтов в зоне смешения р. Дон и Таганрогского залива. Аквальный ландшафт включают водную толщу, биоту, подводный рельеф, донные отложения и представляет собой участки водного объекта с одинаковыми растительными сообществами, одним и тем же типом геохимической обстановки. Участки расположены на однородных элементах подводного рельефа, и в их пределах формируется определенный тип донных отложений [Перельман, Касимов, 1999; Хаванский, 1993].

В основу работы положены материалы исследований, проводимых авторами в р. Дон и Таганрогском заливе в рамках комплексных ландшафтно-геохимических оценок и мониторинговых работ [Хаванский, 1993, Хаванский, Латун и др., 2018]. Кроме этого, в работе использованы материалы ЮНЦ РАН [Матишов и др., 2011, Бердников и др., 2018, 2014].

На основе классификации наземных ландшафтов А.И. Перельмана (1975), А.Д. Хаванским [1993] были разработаны геохимическая классификация и методика выделения аквальных ландшафтов, которые используются в данной работе (табл. 1).

При выделении аквальных геохимических ландшафтов учитываются: видовой состав, биомасса и продукция растительных сообществ, окислительно-восстановительные условия в воде и осадках, типоморфные элементы, геоморфологическое строение и гидродинамический режим, тип донных отложений [Хаванский, 1995].



**Таблица 1.** Основные факторы выделения геохимических аквальных ландшафтов

Таксономические единицы	Факторы выделения аквальных ландшафтов	Ландшафты
Ряд	Виды геохимической миграции и их соотношение	Абиогенные, биогенные и культурные (техногенные)
Группа, тип, семейство	Видовой состав, биомасса и продукция растительных сообществ	Низкопродуктивные, среднепродуктивные, высокопродуктивные
Класс	Окислительно-восстановительные условия в воде и осадках	Кислородные, кислородно-глеевые, кислородно-сероводородные
	Общая минерализация и типоморфные ионы	Пресные, солоноватые, соленые; гидрокарбонатно-кальциевые, кальциево-натриевые хлоридно-сульфатно-натриевые
Род	Геоморфологическое строение берегов и дна, гидродинамическая активность	Абразионные, трансаквальные, трансаккумулятивные, аккумулятивные
Вид	Гранулометрический состав и тип донных отложений	Песок, крупный алеврит, мелкоалевритовый ил, глинистый ил

В исследуемом районе Нижнего Дона (от г. Азова до Таганрогского залива) по условиям биогенной миграции на большей части русла реки выделены ландшафты планктонных сообществ. На отдельных небольших участках прибрежных отмелей встречаются ландшафты с высшей водной и прибрежно-водной растительностью.

Вода на устьевом участке р. Дон характеризуется хлоридно-сульфатно-натриевым составом с минерализацией 0,8–1,0 г/л, за счет интенсивного перемешивания в водной толще поддерживается окислительная обстановка.

На плесах и перекатах с повышенной скоростью течения выделены кислородные хлоридно-сульфатно-натриевые трансэрозийные и трансаквальные ландшафты на песках. На перекатах и отмелях, где скорость течения снижается и осаждаются алевритовые фракции взвесей, образуются кислородно-глеевые трансаквальные и трансаккумулятивные ландшафты на крупных алевритах.

На обширных отмелях или протоках, где скорость течения заметно снижается, из воды осаждаются мелкие фракции взвесей, в осадках увеличивается концентрация пелита выделены кислородно-глеевые трансаккумулятивные ландшафты на мелкоалевритовых илах. Общая характеристика аквальных ландшафтов в зоне смешения р. Дон и Таганрогского залива представлена в таблице 2.

В восточной части Таганрогского залива распространены ландшафты пресноводных планктонных водорослей. Этот участок является передовым в зоне смеше-

ния речных и морских вод и характеризуется слабосоленовой водой с минерализацией 1–2 г/л, интенсивным осаждением из воды взвешенных веществ. Ведущими группами водорослей в этих ландшафтах являются синезеленые, зеленые и диатомовые.

В восточной части Таганрогского залива распространены высокопродуктивные кислородные или кислородно-глеевые солоноватые трансаккумулятивные ландшафты на смешанных осадках, которые характеризуется резким снижением скорости потока и интенсивным осаждением из воды механического материала, увеличением солености воды до 5 г/л, повышенным поступлением биогенных элементов.

**Таблица 2.** Общая характеристика аквальных ландшафтов в зоне смешения р. Дон и Таганрогского залива

Число проб	Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	БПК <sub>5</sub> , мг/л	Аммонийный азот, мг/дм <sup>3</sup>	Нитраты, мг/дм <sup>3</sup>	Нитриты, мг/дм <sup>3</sup>	Фосфаты, мг/дм <sup>3</sup>	Сухой остаток, мг/дм <sup>3</sup>	Биомасса фитопланктона, г/м <sup>3</sup>
р. Дон								
Ландшафты планктонных сообществ сульфатно-хлоридно-натриевые								
21	<u>24,6</u> 10–29,4	<u>2,65</u> 1–6,6	<u>0,15</u> 0,1–0,31	<u>1,61</u> 0,02–3,1	<u>0,022</u> <0,02–0,024	<u>0,21</u> 0,11–0,24	<u>810,7</u> 676–920	<u>1,68</u> 0,11–0,23
Таганрогский залив								
Ландшафты пресноводных планктонных водорослей, солоноватые								
36	<u>19,08</u> 6,1–66,1	<u>3,49</u> 1,3–8,5	<u>0,32</u> <0,05–0,59	<u>8,02</u> 0,51–10,4	<u>0,04</u> <0,02–0,064	<u>0,23</u> 0,015–0,44	<u>3640,8</u> 810–7252	<u>2,43</u> 1,65–4,66
Таганрогский залив								
Ландшафты пресноводных планктонных водорослей, сильносоленоватые								
22	<u>18,26</u> 6,1–30	<u>3,45</u> 1,3–9,9	<u>0,57</u> <0,05–0,59	<u>10,09</u> 0,51–14,9	<u>0,03</u> <0,02–0,05	<u>0,26</u> 0,17–0,4	<u>5916,2</u> 1116–7970	<u>2,16</u> 1,13–2,65

*Примечание.* Пробы отбирались летом в период с 2011 по 2018 г.

На прибрежных отмелях вдоль абразионно-аккумулятивных берегов преобладают ландшафты планктонных сообществ кислородно-глеевые абразионно-аккумулятивные на песках. Они отличаются высокой гидродинамической активностью, интенсивным перемешиванием и аэрацией водных масс и донных отложений. Характерной особенностью данных ландшафтов является высокая скорость разрушения берегов, сложенных рыхлыми песчано-глинистыми отложениями и лессовид-

ными суглинками. Песчаные фракции этого материала осаждаются в прибрежной зоне, а алевро-пелитовые выносятся в глубоководную область.

На отдельных участках прибрежных отмелей выделены ландшафты с высшей водной и прибрежно-водной растительностью кислородно-сероводородные абразионно-аккумулятивные на смешанных осадках.

Подводный склон занимают кислородно-глеевые трансаккумулятивные ландшафты на смешанных осадках у северного побережья и на крупных алевритах – у южного побережья. В ландшафты подводного склона поступает большое количество материала размываемых абразионно-аккумулятивных берегов.

В глубоководной части восточного района залива расположены кислородно-глеевые трансаккумулятивные ландшафты на мелкоалевритовых илах. В водной толще и верхнем (1–3 см) горизонте илов преобладает окислительная обстановка, ниже залегают глеевые осадки. В рассматриваемых ландшафтах осаждается основная масса алеврито-пелитового материала, поступающего с твердым стоком р. Дон, а также мелкие фракции размываемого берегового материала. Донные отложения, представленные мелкоалевритовыми илами, отличаются плохой сортировкой.

В центральной части Таганрогского залива находятся сильносолончатые кислородно-сероводородные аккумулятивные ландшафты на глинистых илах. Эти ландшафты характеризуются более устойчивой и продолжительной вертикальной стратификацией. Содержание кислорода в придонных водах часто снижается до 0. Окисленный слой на поверхности илов восстанавливается. В донных отложениях развивается восстановительная сероводородная обстановка, которая может переходить и в придонный горизонт воды.

Своеобразной чертой Азовского моря является наличие аккумулятивных кос вдоль берегов. На участках подводного продолжения кос выделены кислородные аккумулятивные ландшафты на известковых песках. Они формируются под действием вдольбереговых течений и активного волнового воздействия, которые захватывают верхний слой осадков. В результате тонкозернистый материал выносится, а в осадках накапливаются более крупные песчаные фракции, представленные в основном раковинным детритом. В донных отложениях за счет накопления раковинного материала содержание карбоната кальция увеличивается до 10–50 %.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бердников С.В., Дашкевич Л.В., Кулыгин В.В., Поважный В.В. Оценка первичной продукции Азовского моря по данным дистанционного зондирования // Наука Юга России. 2018. Т. 14. № 2. С. 55–65. DOI: 10.23885/2500-0640-2018-14-2-55-65.

2. *Дашкевич Л.В., Кулыгин В.В., Бердников С.В.* Многолетнее изменение средней солености Азовского моря: данные наблюдений и модельный расчет // Экология. Экономика. Информатика (7–12 сентября 2014 г.): сб. статей в 2 т. Т.1: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. Ростов н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2014. С. 175–182.
3. *Матишов Г.Г. и др.* Экологический атлас Азовского моря. Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2011. 328 с.
4. *Перельман А.И., Касимов Н.С.* Геохимия ландшафта: учеб. пос. М.: Изд-во «Астрейя-2000», 1999. 768 с.
5. *Хаванский А.Д.* Геохимия аквальных ландшафтов. Ростов н/Д.: Изд-во Рост. ун-та, 1993. 240 с.
6. *Хаванский А.Д.* Геохимия и оценка состояния ландшафтов рек и морей (на примере юга России и Украины): автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. М., 1995. 38 с.
7. *Хаванский А.Д. и др.* Оценка воздействия на окружающую среду углубления и расширения судоходных каналов в дельтах рек // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2018. № 1 (197). С. 104–111.
8. *Хрусталева Ю.П.* Особенности седиментогенеза в области влияния речного стока // Лавинная седиментация в океане. Ростов н/Д., 1982. С. 59–71.

## ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НАНОЧАСТИЦАМИ СЕРЕБРА НА АКТИВНОСТЬ КАТАЛАЗЫ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО

*Н.И. Цепина, С.И. Колесников*

*Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия  
serinanatalia@yandex.ru*

Растущее использование наночастиц серебра (AgNPs) способствует их поступлению в экосистемы и вызывает большие опасения по поводу их безопасности и токсичности для окружающей среды, в том числе почв. Поскольку почвенные ферменты играют жизненно важную роль в экосистемах, то понимание воздействия AgNPs на их активность имеет первостепенное значение.

Цель исследования – оценить влияние наночастиц серебра на активность каталазы. Задача исследования – установить закономерности изменения активности каталазы в зависимости от концентрации AgNPs в черноземе обыкновенном.

В лабораторных условиях было смоделировано загрязнение чернозема обыкновенного AgNPs в концентрации 0,5; 1; 5; 10; 50 и 100 мг/кг. Для оценки влияния AgNPs использовали верхний слой почвы (0–20 см). Дозы были рассчитаны исходя из фоновых концентраций серебра. Для оценки биологической активности почв целесообразно использовать активность каталазы, так как этот фермент отражает интенсивность процессов минерализации органических веществ в почве. Несмотря на то, что активность каталазы обладает высокой чувствительностью к химическому загрязнению почв, исследований посвященных влиянию AgNPs на активность данного фермента в литературе нам не встречалось. Через 30 дней после внесения AgNPs в почву проводили оценку изменения активности каталазы. По результатам исследования показано, что достоверное снижение активности каталазы отмечено начиная с 1 мг/кг. Воздействие AgNPs в концентрации 1, 5 и 10 мг/кг привело к ингибированию активности каталазы на 7, 9 и 11 % соответственно, относительно контрольных значений. Более высокие дозы AgNPs оказывали более сильное ингибирующее воздействие на активность каталазы. При 50 и 100 мг/кг AgNPs отмечено снижение активности фермента на 14 и 17 % соответственно, относительно контроля.

В результате исследования установлено, что интенсивность снижения активности каталазы зависела от концентрации AgNPs в почве.

*Исследование выполнено в лаборатории «Здоровье почв» Южного федерального университета при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 075-15-2022-1122, и гранта Президента РФ МК-1168.2022.5..*

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИКРОБИОРЕМЕДИАЦИИ ВОД, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЕПРОДУКТАМИ, В ПРИСУТСТВИИ ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТОВ

*А.С. Чердакова, С.В. Гальченко*

*Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина, г. Рязань, Россия  
cerdakova@yandex.ru*

Современное общество характеризуется растущими объемами производства и потребления нефтепродуктов в различных отраслях хозяйственной деятельности человека, что приводит к загрязнению нефтяными углеводородами всех компонентов окружающей среды, в том числе и природных вод. Основные причины данного процесса связаны с авариями на объектах добычи и транспортировки нефти, водным транспортом и коммунально-бытовой деятельностью, поверхностным стоком, нелегальными сбросами судовых нефтесодержащих отходов и пр.

По информации различных научных источников в водные экосистемы ежегодно попадает от 0,5 до 11 млн т нефти и нефтепродуктов [Гулавский, Канарская, 2011; Владимиров, 2014; Патин, 2017; Янковский и др., 2017]. Количество и состав нефтепродуктов, их плотность и вязкость, условия водной среды, сезонность определяют скорость процессов испарения, растворения, диспергирования, эмульгирования, окисления и биodeградации загрязнителей [Патин, 2017].

Для восстановления нефтезагрязненных вод в настоящее время применяются различные способы: механические, физико-химические, химические и др. Каждый из них имеет как свои преимущества, так и недостатки, связанные в основном с высокой стоимостью и рисками вторичного загрязнения компонентов окружающей среды.

Среди способов восстановления нефтезагрязненных водных сред наиболее приемлемыми, эффективными, экологически безопасными и экономически выгодными являются биологические методы, а именно использование микробиологических ремедиаторов, для которых нефтеуглеводороды служат питательной средой [Catania et al., 2020; Hashemlou et al., 2015; Youssef, 2018]. Но зачастую активность вносимых микроорганизмов ограничивают такие факторы, как высокие уровни загрязнения, низкое содержание элементов питания и т.д. В этой связи возникает необходимость научного поиска способов стимуляции деятельности нефтеокисляющей микрофлоры при биоремедиации загрязненных вод. По нашему мнению, в дан-



ном аспекте весьма перспективны гуминовые вещества и препараты на их основе. Поскольку, во-первых, гуминовые вещества могут выступать источником элементов минерального питания микроорганизмов, во-вторых, они положительно влияют на все свойства очищаемых сред, создавая благоприятные условия для «работы» микроорганизмов и, наконец, обладают выраженными поверхностно-активными свойствами, что позволяет увеличить удельную поверхность взаимодействия на границе системы «нефтепродукт – вода» [Grechishcheva et al., 2017; Lipczynska-Kochany, 2018].

Целью наших исследований являлась экспериментальная оценка влияния гуминовых препаратов на процессы микробиологической ремедиации водных сред, загрязненных различными нефтепродуктами.

Объектами наших исследований служили промышленные гуминовые препараты, полученные из различного сырья и по различным технологиям (табл. 1).

**Таблица 1.** Основные характеристики экспериментальных гуминовых препаратов (по данным производителя)

Показатель	Название препарата	
	«Экорост»	«Гуми»
Агрегатное состояние	жидкое (раствор)	твердое (порошок для приготовления суспензии)
Сырье	торф	бурый уголь
Технология получения	гидродинамическая кавитация	щелочная экстракция
pH, ед. pH	7,0	8,5
Гуминовые и фульвокислоты, г/л	70,0	60,0
Азот общий, г/л	2,8	5,0
Фосфор общий, г/л	0,01	5,0
Калий общий, г/л	5,8	10,0

В ходе лабораторных экспериментов были смоделированы процессы биоремедиации водных сред, загрязненных нефтепродуктами, при совместном использовании микробиодеструкторов и гуминовых препаратов.

В качестве загрязнителей выступали широко используемые в хозяйственной деятельности человека нефтепродукты различных фракций: бензин АИ-95, дизельное топливо и мазут. Моделирование загрязнения водной среды осуществлялось путем внесения указанных нефтепродуктов в дистиллированную воду в количестве 10 г/л и 20 г/л. В качестве источника нефтеокисляющей микрофлоры применяли микро-

биодеструктор «Дестройл», представляющий собой культуру штамма *Acinetobacter species JN-2*. Данный биопрепарат применяли на всех вариантах опыта в виде суспензии, приготовленной согласно инструкции производителя. Далее в модельные эмульсии вносили анализируемые гуминовые препараты в виде 0,01 % водного раствора. Контролем служили загрязненные нефтепродуктами и обработанные микробиопрепаратом образцы без внесения гуминовых препаратов. Повторность в эксперименте – четырехкратная (табл. 2).

**Таблица 2.** Моделирование загрязнения водной среды: схема эксперимента

№ п/п	Вариант опыта	Краткое условное обозначение
Экспериментальная линия с водой, загрязненной бензином		
1.	Дистиллированная вода + бензин 10 г/л + «Дестройл» (контроль)	КБ10
2.	Дистиллированная вода + бензин 20 г/л + «Дестройл» (контроль)	КБ20
3.	Дистиллированная вода + бензин 10 г/л + «Дестройл» + 0,01 % р-р «Экорост»	ЭБ10
4.	Дистиллированная вода + бензин 20 г/л + «Дестройл» + 0,01 % р-р «Экорост»	ЭБ20
5.	Дистиллированная вода + бензин 10 г/л + «Дестройл» + 0,01 % р-р «Гуми»	ГБ10
6.	Дистиллированная вода + бензин 20 г/л + «Дестройл» + 0,01 % р-р «Гуми»	ГБ20
Экспериментальная линия с водой, загрязненной дизельным топливом		
7.	Дистиллированная вода + дизельное топливо 10 г/л + «Дестройл» (контроль)	КД10
8.	Дистиллированная вода + дизельное топливо 20 г/л + «Дестройл» (контроль)	КД20
9.	Дистиллированная вода + дизельное топливо 10 г/л + «Дестройл» + 0,01 % р-р «Экорост»	ЭД10
10.	Дистиллированная вода + дизельное топливо 20 г/л + «Дестройл» + 0,01 % р-р «Экорост»	ЭД20
11.	Дистиллированная вода + дизельное топливо 10 г/л + «Дестройл» + 0,01 % р-р «Гуми»	ГД10
12.	Дистиллированная вода + дизельное топливо 20 г/л + «Дестройл» + 0,01 % р-р «Гуми»	ГД20
Экспериментальная линия с водой, загрязненной мазутом		
13.	Дистиллированная вода + мазут 10 г/л + «Дестройл» (контроль)	КМ10
14.	Дистиллированная вода + мазут 20 г/л + «Дестройл» (контроль)	КМ20
15.	Дистиллированная вода + мазут 10 г/л + «Дестройл» + 0,01 % р-р «Экорост»	ЭМ10
16.	Дистиллированная вода + мазут 20 г/л + «Дестройл» + 0,01 % р-р «Экорост»	ЭМ20
17.	Дистиллированная вода + мазут 10 г/л + «Дестройл» + 0,01 % р-р «Гуми»	ГМ10
18.	Дистиллированная вода + мазут 20 г/л + «Дестройл» + 0,01 % р-р «Гуми»	ГМ20

Экспозиция экспериментальных образцов осуществлялась в течение трех месяцев. Критерием оценки выступало изменение концентрации нефтепродуктов в воде, которая определялась методом ИК-спектрометрии.

Полученные результаты позволили установить, что интенсивность процессов биодеструкции различных нефтепродуктов в водной среде при совместном внесении гуминовых и микробиологических препаратов зависит как от свойств непосредственно самих нефтепродуктов, так и от характеристик вносимых гуминовых препаратов (рис. 1).

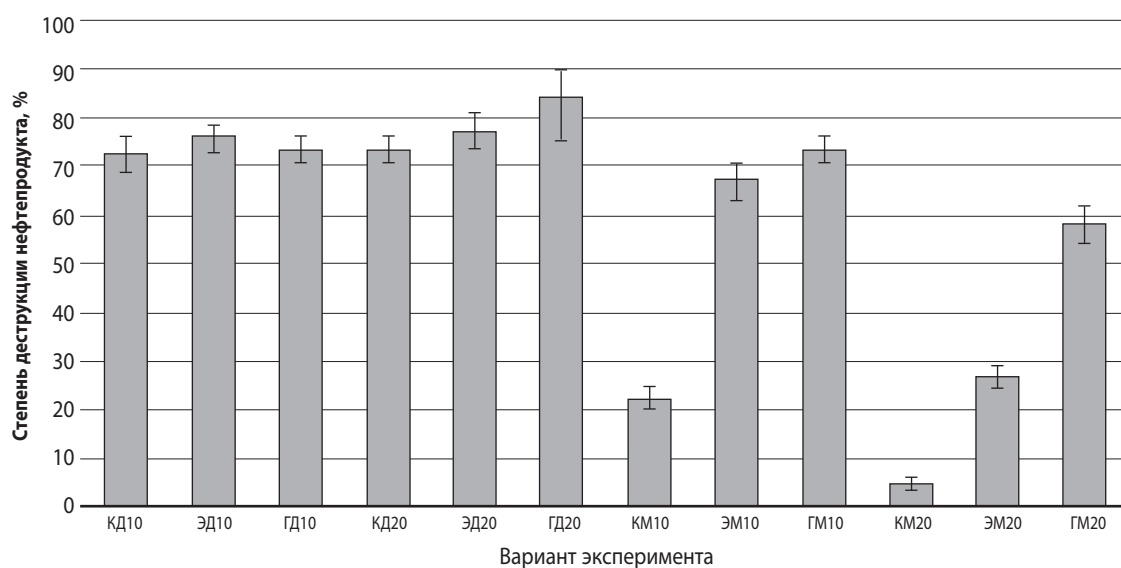


Рис. 1. Средняя степень биодеструкции нефтепродуктов в эксперименте

Выявлено, что на всех вариантах эксперимента с дизельным топливом процесс биоремедиации протекал достаточно активно. Так, к концу эксперимента на контрольных образцах (без использования гуминовых препаратов) было утилизировано более 70 % загрязнителя. Внесение препаратов «Гуми» и «Экорост» способствовало увеличению степени биодеструкции дизельного топлива в водной среде на 5–20 %.

Иным образом обстояла ситуация на вариантах эксперимента с модельным загрязнением водной среды мазутом. Выраженность процесса биодеструкции мазута в эксперименте была значительно ниже по сравнению с дизельным топливом. Указанное обстоятельство мы связываем с физико-химическими свойствами данного нефтепродукта. Так, от нефтепродуктов более легких фракций мазуты отличаются большими плотностью и вязкостью, а также меньшей растворимостью в воде, что затрудняет протекание процессов их биодеструкции под воздействием нефтеокисляющей микрофлоры. Ввиду чего микробиоремедиация природных сред, загрязненных мазутами, представляет существенную сложность [Hashemlou et al., 2015].

В рамках проведенного эксперимента на контрольных вариантах опыта с начальной концентрацией мазута 10 г/л степень его биоутилизации была около 20 %, а на вариантах с начальной концентрацией 20 г/л данные процессы практически не протекали.

Однако на ряде вариантов с применением гуминовых препаратов наблюдалась стимуляция активности микроорганизмов-нефтедеструкторов. Так, при использовании препарата «Экорост» степень биодеградации мазута в водной среде возросла более чем на 60 %. Применение гуминового препарата «Гуми» на основе угля, позволило увеличить данный показатель до 73 %.

В отношении вод, загрязненных бензином, какие-либо закономерности проследить не удалось, поскольку к моменту окончания эксперимента данный нефтепродукт был практически полностью утилизирован, как на контрольных, так и на экспериментальных вариантах. Указанное обстоятельство, вероятно, связано с высокой летучестью бензина. Предполагаем, что значительная часть внесенного в воду бензина улетучилась, а оставшаяся часть подверглась биоутилизации. В результате совокупного действия указанных процессов, в водах к концу эксперимента регистрировались лишь небольшие остаточные количества загрязнителя.

Таким образом, полученные экспериментальные результаты указывают на перспективность совместного использования нефтеокисляющей микрофлоры и гуминовых препаратов в целях восстановления водных сред, загрязненных различными нефтепродуктами. В максимальной мере такой подход будет целесообразен при загрязнении вод мазутом, поскольку процессы его биодеструкции протекают крайне медленно, и ремедиация загрязненных этим веществом водных сред представляет существенную экологическую проблему. Внесение же гуминовых препаратов позволяет значительно стимулировать данный процесс и повысить его эффективность на 30–40 %.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Владимиров В.А.* Разливы нефти: причины, масштабы, последствия // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2014. Т. 4. № 1. С. 217–229.
2. *Гуслинский А.И., Канарская З.А.* Перспективные технологии очистки воды и почвы от нефти и нефтепродуктов // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 20. С. 191–199.
3. *Патин С.А.* Нефть и экология континентального шельфа: в 2 т. Т. 1: Морской нефтегазовый комплекс: состояние, перспективы, факторы воздействия. М.: Изд-во ВНИРО, 2017. 326 с.
4. *Янкевский А.В., Ганченко Д.Д., Чернева Е.В., Щерба В.А.* Экологические проблемы добычи нефти и газа на шельфе Мирового океана // Интернет-

- журнал «Науковедение». 2017. Т. 9. № 6. URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/45TVN617.pdf>.
5. *Catania V., Lopresti F., Cappello S., Quatrini P. et al.* Innovative, ecofriendly biosorbent-biodegrading biofilms for bioremediation of oil- contaminated water // *New Biotechnology*. 2020. No. 4. P. 001–005.
  6. *Grechishcheva N.Y., Meshcheryakov S.V., Perminova I.V., Kholodov V.A.* Stabilization of oil-in-water emulsions by highly dispersed particles: role in self-cleaning processes and prospects for practical application // *Russian journal of general chemistry*. 2017. Vol. 87. P. 2166–2180.
  7. *Hashemlou H., Ahmadi M., Rahbar M.S.* Microbial degradation of oil-contaminated water by indigenous microorganisms: A review // *Iranian journal of chemistry & Chemical engineering-international english edition*. 2015. Vol. 156. P. 15–22.
  8. *Lipczynska-Kochany E.* Humic substances, their microbial interactions and effects on biological transformations of organic pollutants in water and soil // *Chemosphere*. 2018. Vol. 202. P. 420-437.
  9. *Youssef M.* Bioremediation of oil-contaminated water by immobilized bacterial consortium on friendly-environment biocarriers // *The Journal of the Egyptian Public Health Association*. 2018. № 1. P. 790–799.

## СУКЦЕССИИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА В ПОЙМЕ РЕКИ СЕВЕРСКИЙ ДОНЕЦ ПРИ ХИМИЧЕСКОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ ПОЧВЫ

*Н.П. Черникова, В.А. Чаплыгин, Д.Г. Невидомская,  
С.С. Манджиева, А.В. Барахов, А.П. Щербаков*

---

*Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии  
им. Д.И. Ивановского, г. Ростов-на-Дону, Россия  
nat.tchernikova2013@yandex.ru*

Ландшафтные изменения, вызванные промышленностью, оказывают негативное влияние на все компоненты окружающей среды. При этом почва является основой ландшафтной среды и обладает способностью влиять на восстановление нарушенных территорий за счет своих биосферных функций. Мониторинг растительного покрова в техногенно-нарушенных ландшафтах является важным аспектом в понимании рекультивации естественного направления. Для оценки естественной сукцессии при химическом загрязнении почвы необходимо в первую очередь определить биоразнообразие видов, устойчивых к тяжелым металлам.

Целью исследования являлось изучение содержания тяжелых металлов в растительном покрове поймы реки Северский Донец при химическом загрязнении почвы.

Объект исследования – растительный покров техногенно-нарушенной почвы, расположенной на территории бывшего озера Атаманское в пойме реки Северский Донец Каменск-Шахтинского района Ростовской области. На протяжении 40 лет данное озеро использовалось в качестве резервуара для сброса промстоков завода «Химволокно» [Приваленко и др, 2000]. Поступление сточных вод с высоким содержанием сульфата цинка, сероводорода и сероуглерода привело к образованию восстановительной сероводородной обстановки в илах и прилегающих почвах. Изменение гидрологических условий за счет прекращения сброса промстоков в озеро с середины 1990-х гг. послужило началом развития на его поверхности почвообразовательных процессов. Согласно принятой шкале категорий химического загрязнения почв и грунтов [СанПиН 1.2.3685-21] данная территория относится к чрезвычайно опасной и характеризуется полиэлементным загрязнением тяжелыми металлами [Zamulina et al., 2021].

Для определения содержания тяжелых металлов в растительном покрове проводили стандартные укусы во второй декаде июля. Растения высушивались до



воздушно-сухого состояния и измельчались. Минерализацию проб растений проводили методом сухого озоления по ГОСТ 26657-85. Кислотная экстракция ТМ из золы осуществлялась растворением в 20 %-ном растворе HCl с последующим определением методом ААС [Методические указания ... 1992]. Проведено сопоставление содержания ТМ в исследуемой растительности с максимально-допустимыми уровнями (МДУ) химических элементов в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках (1987).

В настоящее время флора территории высохшего озера представляет собой монодоминантные тростниковые группировки, состоящие из тростника обыкновенного (*Phragmites australis*) и субдоминантные группировки, включающие аир болотный (*Acorus calamus*), коровяк обыкновенный (*Verbascum thapsus*), крапиву двудомную (*Urtica dioica*) и мох. Растительный покров занимает около 80 % поверхности высохшего озера, высота травостоя составляет 40–150 см.

Высокое содержание тяжелых металлов в почве и их избыточная подвижность приводит к их аккумуляции в растениях. По величине абсолютного содержания в растениях тяжелые металлы располагаются в следующем порядке: Zn > Pb > Cr > Cu > Ni > Cd. У Аира болотного и тростника обыкновенного выявлен акропетальный характер накопления тяжелых металлов, а у крапивы двудомной и коровяка обыкновенного – базипетальный (табл. 1).

**Таблица 1.** Содержание тяжелых металлов в естественной растительности поймы реки Северский Донец при химическом загрязнении почвы

Вид	Часть растения	Cu	Zn	Pb	Ni	Cr	Cd
Аир	побег	0,8 ± 0,1	<b>320,5 ± 20,8</b>	0,6 ± 0,04	0,1 ± 0,01	<b>3,1 ± 0,2</b>	0,03 ± 0,002
	корень	1,7 ± 0,2	1252,2 ± 81,4	15,1 ± 1,1	0,8 ± 0,1	5,3 ± 0,5	0,08 ± 0,01
Крапива	побег	1,2 ± 0,1	<b>296,1 ± 19,2</b>	<b>22,5 ± 1,6</b>	0,2 ± 0,01	<b>9,9 ± 0,8</b>	0,1 ± 0,01
	корень	0,9 ± 0,1	83,4 ± 5,4	6,3 ± 0,4	0,1 ± 0,01	2,3 ± 0,1	0,03 ± 0,002
Тростник	побег	1,6 ± 0,1	<b>490,7 ± 65,1</b>	<b>11,4 ± 2,0</b>	0,5 ± 0,03	<b>2,7 ± 0,2</b>	0,08 ± 0,01
	корень	3,7 ± 0,3	881,2 ± 102,4	14,8 ± 1,0	2 ± 0,4	4,2 ± 0,3	1,2 ± 0,2
Коровяк	побег	5,8 ± 0,5	<b>768,2 ± 70,2</b>	<b>12,1 ± 2,0</b>	0,9 ± 0,1	<b>6,4 ± 0,6</b>	0,1 ± 0,01
	корень	2,3 ± 0,4	956,0 ± 79,4	3,0 ± 0,3	2,5 ± 0,4	3,7 ± 0,3	0,3 ± 0,04
МДУ*		30	50	5	1	0,5	0,3

Примечание. \* – МДУ 123-4/281-8-87.

Макрофиты обладают высокой аккумуляционной способностью к металлам, большая часть которых локализуется в корневой системе. Барьерные функции корней у аира и тростника при повышенном содержании ТМ не способны ограничить транспорт ионов металлов в подземные части растений. Содержание по Zn и Cr в надземной части у аира превышает в 6 раз МДУ, а у тростника – в 10 и 5 раз МДУ. Структурные изменения в корнях, непосредственно контактирующих с растворенными соединениями, позволяют макрофитам адаптироваться к неблагоприятным условиям окружающей среды. Макрофиты, как пионерные виды, с одной стороны, облегчают появление поздних сукцессионных растений, а с другой – за счет быстрой воспроизводимости, оставляют мало места для последующих видов.

Коровяк обыкновенный и крапива двудомная относятся к группе лекарственных травянистых растений и могут произрастать на нарушенных почвах, за счет различных механизмов защиты от стрессовых условий. Коровяк накапливает большее количество Zn, а крапива аккумулирует меньшее количество тяжелых металлов по сравнению с макрофитами. Содержание Zn в побегах коровяка и крапивы составляют 15 и 6 МДУ, Cr – 13 и 5 МДУ, а Pb – 2 и 4 МДУ.

Изучение видов естественной сукцессии при антропогенном воздействии на природные ландшафты позволяет выявить наиболее подходящие виды для фитостабилизации тяжелых металлов. В нашем исследовании данными фитомелиорантами являются субдоминантные лекарственные виды – коровяк обыкновенный (*Verbascum thapsus*) и крапива двудомная (*Urtica dioica*).

*Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 22-77-10097) в Южном федеральном университете.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1992. С. 61.
2. Приваленко В.В. и др. Экологические проблемы города Каменска-Шахтинского. Ростов н/Д.: Цветная печать, 2000.
3. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: [www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru). 03.02.2021. N 0001202102030022.
4. Zamulina I.V., Gorovtsov A.V., Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Bauer T.V., & Burachevskaya M.V. The influence of long-term Zn and Cu contamination in Spolic Technosols on water-soluble organic matter and soil biological activity // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021. Vol. 208. P. 111471.

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ АЗОВСКОГО МОРЯ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2016–2019 гг.

*Е.А. Шевцова, Е.И. Бурдина, Т.Б. Картамьшева*

*Азово-Черноморский филиал ФГБНУ ВНИРО («АзНИИРХ»),  
г. Ростов-на-Дону, Россия  
shevtsova\_e\_a@azniirkh.ru*

Глобальные изменения биогеохимической структуры Мирового океана, четко проявляющиеся в региональном масштабе, вызываются ростом потока углерода в водные экосистемы в результате увеличения поступления из атмосферы, береговых источников, первично-продукционных и деструкционных процессов в морской среде [Орехова и др., 2019]. Донные отложения представляют собой природную биогеохимическую барьерную зону, играющую главную роль в процессах передачи вещества и энергии в водных экосистемах. Изучение органического углерода донных отложений является важным аспектом гидрохимических, гидробиологических и геологических исследований [Белкина Н. А., 2011].

Бассейн Азовского моря охватывает один из наиболее плотно заселенных регионов Российской Федерации и Украины. Значительное развитие хозяйственной деятельности повлекло за собой существенные негативные экологические последствия и привело к тому, что продуктивность Азовского моря за последнее пятидесятилетие снизилась почти в 10 раз [Забалуева и др., 2013]. В связи с вышесказанным, изучение закономерностей распределения органического углерода в донных отложениях (ДО) Азовского моря является актуальной задачей.

В работе представлена оценка содержания органического углерода ( $C_{\text{орг}}$ ) и особенностей его распределения в донных осадках Азовского моря летний период 2016–2019 гг. Отбор проб ДО осуществлялся на 32 станциях по всей акватории Азовского моря и Таганрогского залива (рис. 1).

Определение  $C_{\text{орг}}$  проводили по методу Тюрина (ГОСТ 26213-91, модификация ЦИНАО), для анализа гранулометрического состава использовали лазерный дифракционный анализатор частиц SALD-200V/201V (SHIMADZU).

Согласно результатам исследований, а также учитывая данные многолетнего мониторинга с 2006 года, на акватории Азовского моря были выявлены следующие типы донных отложений (рис. 2) и места их расположения:

- мелкоалевритовые илы распространены преимущественно в западной части собственно моря и Таганрогского залива;
- глинистые и алеврито-глинистые илы преобладают в центральной части собственно моря и Таганрогского залива;
- крупный алеврит содержится в юго-западной части Таганрогского залива и в районе Керченского пролива;
- ракушка преобладает в ДО северной и северо-восточной частях собственно моря, в районе влияния р. Кубань, а также в восточной части Таганрогского залива.

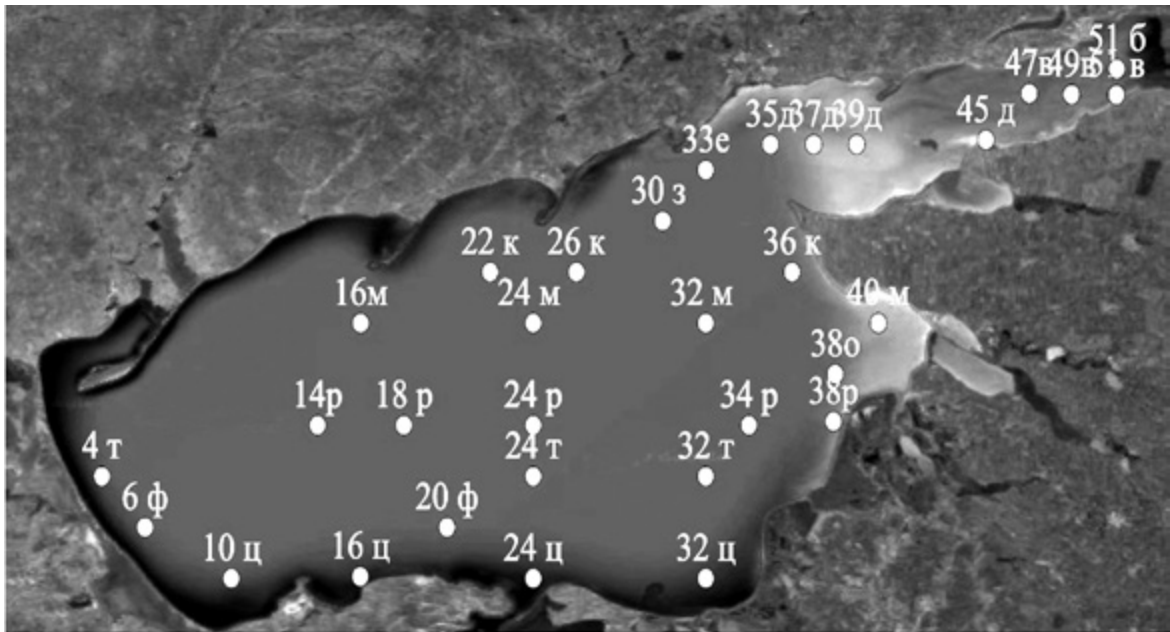


Рис. 1. Расположение станций мониторинга на акватории Азовского моря и Таганрогского залива

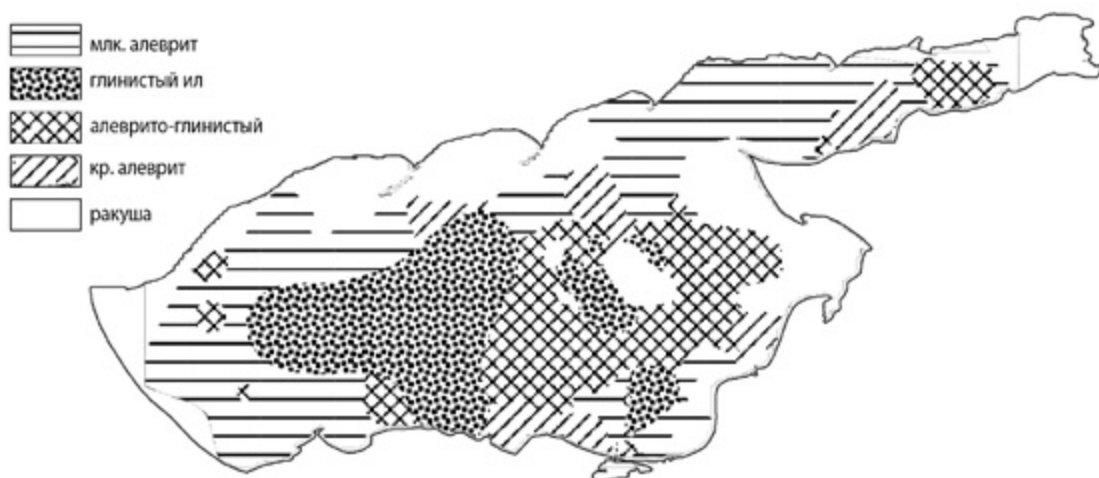
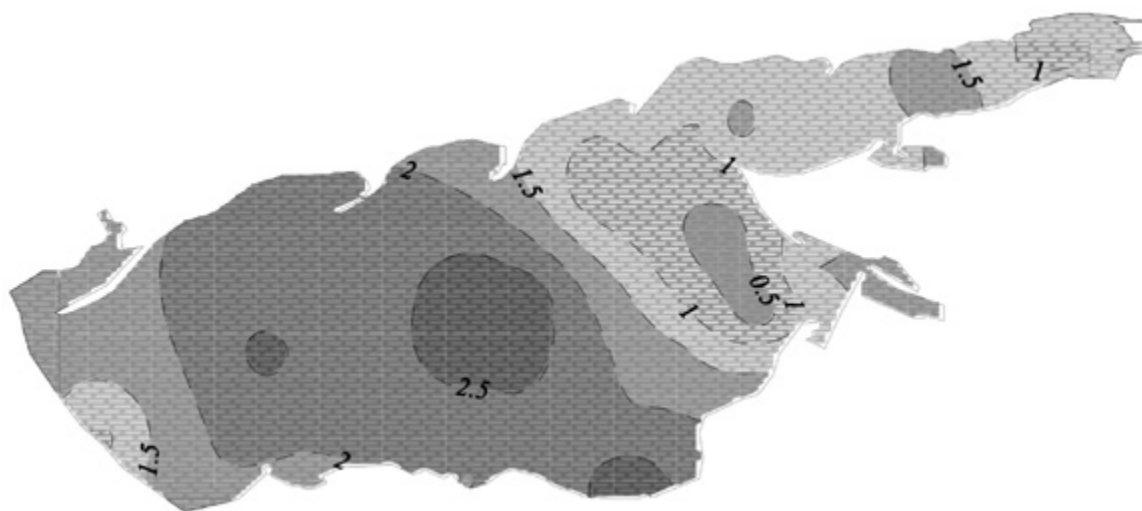


Рис. 2. Схема распределения гранулометрического состава ДО акватории Азовского моря и Таганрогского залива

Установлено, что концентрация  $C_{\text{орг}}$  в различных районах Азовского моря варьировала в широких пределах (от 0,11 до 4,05 %) (рис. 3) и находилась в зависимости от литологического типа донных отложений. Наиболее высокое содержание органического углерода (в среднем 3,10 %) было отмечено в центральной и юго-восточной частях собственно моря и центральной части Таганрогского залива, что соответствовало площади распространения пелитовых илов, обладающих высокой сорбционной способностью.



**Рис. 3.** Схема распределения содержания органического углерода в ДО Азовского моря и Таганрогского залива в июле 2019 г.

Доля органического углерода в донных осадках с преобладанием мелкоалевритовых илов составляла в среднем 1,5 %. В донных отложениях, содержащих крупный алеврит, процент  $C_{\text{орг}}$  варьировал от 1 до 1,5 %.

Наиболее низкие концентрации  $C_{\text{орг}}$  соответствовали ДО, содержащим крупную ракушу, обладающую самой низкой сорбционной способностью.

Известно, что органический углерод поступает в Азовское море в результате берегового стока, а также в следствие жизнедеятельности фитопланктона. Значительное влияние на поступление органического вещества в море оказывают реки Дон и Кубань. Выносимые Доном взвешенные вещества частично оседают в центральной части Таганрогского залива, а также подхватываются внутренним течением вдоль северного и западного берегов на юг, затем у берегов Керченского полуострова поворачивают на восток и вдоль восточного берега возвращаются к Таганрогскому заливу [Бронфман, 1985]. Следовательно, в центральной части моря отмечается практически постоянная циркуляция вод против часовой стрелки, что приводит к осаждению глинистого и мелкоалевритового материала, содержащего наибольшую концентрацию органического углерода.

Таким образом, по результатам исследований была установлена количественная взаимосвязь содержания  $C_{\text{орг}}$  в донных отложениях Азовского моря от гранулометрического состава донных осадков в летний период 2016-2019 гг.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Белкина Н.А.* Роль донных отложений в процессах трансформации органического вещества и биогенных элементов в озерных экосистемах // Труды Карельского научного центра РАН. № 4. 2011. С. 35–41.
2. *Бронфман А.М., Хлебников А.М.* Азовское море. Основы реконструкции. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 271 с.
3. *Забалуева А.И., Плуготаренко Н.К., Бахмацкая А.И.* Оценка состояния качества вод Таганрогского залива // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2013. С. 85–90.
4. *Орехова Н.А., Коновалов С.К., Медведев Е.В.* Особенности регионального баланса неорганического углерода морских экосистем в условиях антропогенной нагрузки // Морской гидрофизический журнал. 2019. Т. 35. № 3. С. 248–260.



**ФИТОПЛАНКТОН ОТКРЫТОЙ  
СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ  
(по результатам рейса НИС «Денеб» ЮНЦ РАН) В АПРЕЛЕ 2021 г.**

**О.Н. Ясакова**

*Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия  
yasak71@mail.ru*

Исследования фитопланктона были выполнены в открытой северо-восточной части Черного моря (СВЧМ) во время комплексной экспедиции НИС «Денеб» ЮНЦ РАН в апреле 2021 г. Пробы фитопланктона (объемом 1–1,5 л) отбирали с четырех горизонтов: поверхностный слой моря, слой термоклина (ТК), над и под ТК с помощью батометра. Пробы фиксировали раствором Люголя до конечной концентрации 5 %, дубликат проб (объемом 0,5 литра) – раствором формалина до конечной концентрации 1–2 %; через 2–3 недели сгущали методом осаждения [Цыбань, 1980; Современные методы, 1983; Макаревич, Дружков, 1989]. Клетки фитопланктона просматривали в счетной камере Нажотта при увеличении  $\times 100$ ,  $\times 200$ ,  $\times 400$ . Биомассу водорослей оценивали объемным методом, используя оригинальные и литературные данные измерений объема клеток для каждого вида [Кольцова, 1970; Сеничкина, 1978; Брянцева и др., 2005]. Доминирующими считали виды, численность и биомасса которых составляла не менее 20 % от общего количества видов в фитопланктоне, субдоминантными видами – не менее 10 % соответственно [Коновалова, 1984]. При идентификации видов использовали руководства [Киселев, 1950; Прошкина-Лавренко, 1963; Tomas, 1997].

В составе фитопланктона исследуемого района Черного моря было обнаружено 43 вида водорослей из 3 классов: Bacillariophyceae (10 видов), Dinophyceae (32 вида), Prymnesiophyceae (1 вид) и несколько не определенных до вида таксономических форм (табл. 1).

Высокое видовое разнообразие динофитовых водорослей в целом свойственно для открытой части Черного моря [Ясакова, Макаревич, 2017]. Максимальное видовое разнообразие (30 видов) отмечали на ст.30, в районе других станций количество видов варьировало от 21 до 24. Таксономическое разнообразие снижалось с увеличением глубины: на поверхности моря – 34 вида, в слое ТК – 31 вид, над

ТК – 27 видов и под ТК – 21 вид водорослей. Во всем районе исследования отмечали обильное (в среднем 766 тыс. кл./л и 424 мг/м<sup>3</sup>) количественное развитие планктонных водорослей (табл. 2–3).

**Таблица 1.** Таксономический состав фитопланктона в СВЧМ в апреле 2021 г.

Таксоны /№ станции	ст. 22	ст. 23	ст. 24	ст. 25	ст. 30
<b>Bacillariophyceae:</b>					
<i>Cerataulina pelagica</i> (Cleve) Hendey, 1937	–	–	–	–	+
<i>Coscinodiscus</i> spp.	+	+	–	–	+
<i>Chaetoceros curvisetus</i> P.T. Cleve, 1889	–	+	+	+	–
<i>Chaetoceros compressus</i> Lauder, 1864	–	–	–	+	–
<i>Nitzschia tenuirostris</i> Mer.	–	+	–	–	–
<i>Pseudo-nitzschia seriata</i> (Cleve) H. Peragallo, 1899 (complex)	–	+	+	+	+
<i>Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima</i> (Hasle) Hasle, 1993 (complex)	+	+	+	+	+
<i>Proboscia alata</i> (Brightwell) Sundström, 1986	+	+	+	+	+
<i>Pseudosolenia calcar-avis</i> (Schultze) B.G. Sundström, 1986	+	+	–	–	+
<i>Skeletonema costatum</i> (Greville) Cleve, 1873	–	–	–	+	–
<i>Thalassionema nitzschioides</i> (Grunow) Mereschkowsky, 1902	+	+	–	–	+
<b>Dinophyceae:</b>					
<i>Alexandrium</i> cf. <i>tamarense</i> (Lebour) Balech, 1995	–	+	–	–	–
<i>Ceratium tripos</i> (O.F. Müller) Nitzsch, 1817	+	+	+	+	+
<i>Ceratium furca</i> (Ehrenberg) Claparède & Lachmann, 1859	+	+	+	+	+
<i>Ceratium fusus</i> (Ehrenberg) Dujardin, 1841	+	+	+	+	+
<i>Dinophysis acuta</i> Ehrenberg, 1839	+	–	–	–	+
<i>Dinophysis</i> cf. <i>ovum</i> Schütt, 1895	–	–	–	+	–
<i>Dinophysis rotundata</i> Claparède & Lachmann, 1859	+	+	+	+	+
<i>Dinophysis sacculus</i> F.Stein, 1883	–	–	–	–	+
<i>Dinophysis fortii</i> Pavillard, 1924	–	–	–	–	+
<i>Diplopsalopsis orbicularis</i> (Paulsen) Meunier, 1910	–	+	–	–	–
<i>Diplopsalis lenticula</i> f. <i>lenticula</i> Bergh, 1881	+	+	+	–	+
<i>Ensiculifera carinata</i> Matsuoka, Kobayashi & Gains, 1990	–	–	+	–	–
<i>Diplopsalis pilula</i> Ostefeld, 1908	–	–	–	–	+
<i>Gonyaulax spinifera</i> (Claparède & Lachmann) Diesing, 1866	–	+	–	–	–
<i>Gymnodinium</i> sp.	–	–	–	+	–

Окончание табл. 1

Таксоны /№ станции	ст. 22	ст. 23	ст. 24	ст. 25	ст. 30
<i>Gyrodinium</i> sp.	-	+	-	-	-
<i>Gyrodinium pingue</i> (Schütt) Kofoid et Swezy, 1921	+	-	-	+	-
<i>Mesoporos perforatus</i> (Gran) Lillick, 1937	-	-	-	-	+
<i>Prorocentrum cordatum</i> (Ostenfeld) J.D. Dodge, 1975	+	+	+	+	+
<i>Prorocentrum compressum</i> (Bailey) T.H. Abé ex J.D. Dodge, 1975	+	+	+	+	+
<i>Prorocentrum micans</i> Ehrenberg, 1834	+	+	+	+	-
<i>Prorocentrum scutellum</i> Schröder, 1900	-	-	-	-	+
<i>Protoperidinium brevipes</i> (Paulsen, 1908) Balech, 1974	-	+	+	+	+
<i>Protoperidinium conicum</i> (Gran) Balech, 1974	+	-	+	-	+
<i>Protoperidinium crassipes</i> (Kofoid, 1907) Balech, 1974	-	-	-	-	+
<i>Protoperidinium depressum</i> (Bailey, 1854) Balech, 1974	+	+	+	+	+
<i>Protoperidinium longispinum</i> (Kofoid, 1907) Balech, 1974	+	-	-	+	+
<i>Protoperidinium divergens</i> (Ehrenberg) Balech, 1974	+	-	+	-	+
<i>Protoperidinium granii</i> (Ostenfeld) Balech, 1974	-	-	-	-	+
<i>Protoperidinium pallidum</i> (Ostenfeld, 1899) Balech, 1973	-	+	-	-	-
<i>Protoperidinium steinii</i> (Jørgensen, 1899) Balech, 1974	+	-	+	+	+
<i>Protoperidinium oblongum</i> (Aurivillius) Parke & Dodge, 1976	+	+	+	+	+
<i>Scrippsiella acuminata</i> (Ehrenberg) Kretschmann, 2015 (= <i>Scrippsiella trochoidea</i> (F.Stein) A.R. Loeblich III, 1976)	-	+	+	+	+
<i>Torodinium robustum</i> Kofoid & Swezy 1921	-	-	-	+	-
<b>Prymnesiophyceae:</b>					
<i>Emiliania huxleyi</i> (Lohmann) W.W. Hay & H.P. Mohler in W.W. Hay, 1967	+	+	+	+	+

Примечание: «+» – наличие вида, «-» – отсутствие вида.

**Таблица 2.** Распределение численности (кл./л) фитопланктона в СВЧМ в апреле 2021 г.

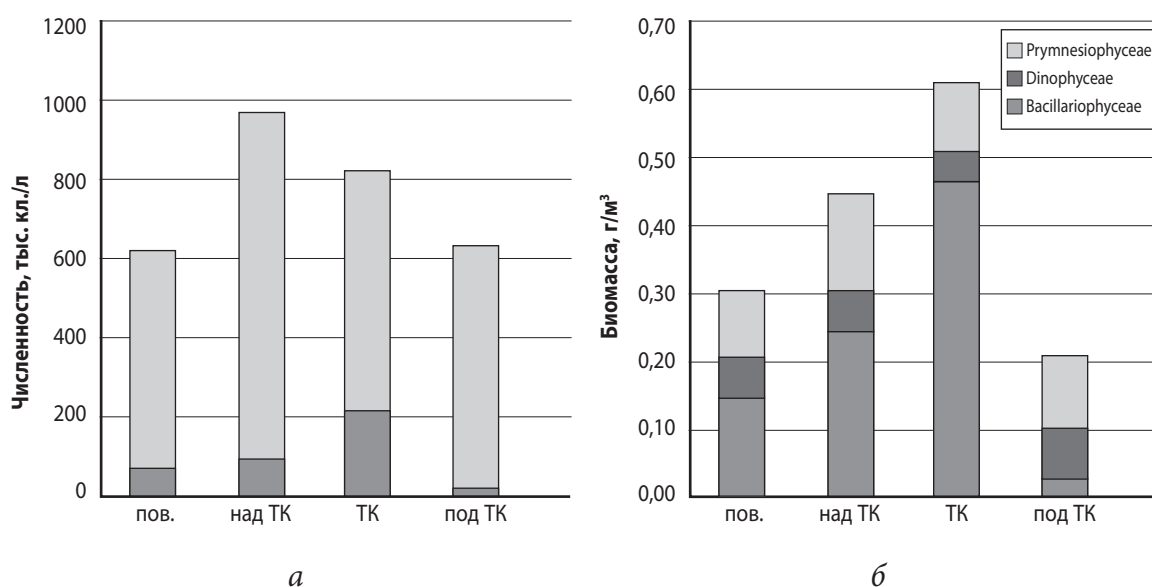
Таксоны /№ станции	ст. 22	ст. 23	ст. 24	ст. 25	ст. 30
<i>Bacillariophyceae</i>	66221	206743	105105	103150	73822
<i>Dinophyceae</i>	2760	1093	2324	4316	3436
<i>Prymnesiophyceae</i>	632267	314933	745867	894933	677700
<b>Всего:</b>	<b>701247</b>	<b>522770</b>	<b>853296</b>	<b>1002399</b>	<b>754958</b>

**Таблица 3.** Распределение биомассы (мг/м<sup>3</sup>) фитопланктона в СВЧМ в апреле 2021 г.

Таксоны /№ станции	ст. 22	ст. 23	ст. 24	ст. 25	ст. 30
<i>Bacillariophyceae</i>	155,62	464,83	226,72	268,71	182,45
<i>Dinophyceae</i>	45,16	57,18	74,48	53,54	73,00
<i>Prymnesiophyceae</i>	104,50	50,81	133,89	151,38	99,68
<b>Всего</b>	<b>305,27</b>	<b>572,82</b>	<b>435,08</b>	<b>473,63</b>	<b>355,14</b>

Наиболее высокие величины численности и биомассы были зафиксированы в слое ТК и над ним (970 и 816 тыс. кл./л; 443 и 610 мг/м<sup>3</sup>). На поверхности моря и в слое под ТК эти значения были соответственно в 1,5 и 2 раза ниже (612 и 619 тыс. кл./л; 305 и 214 мг/м<sup>3</sup>). Максимальные величины численности (на уровне цветения воды) зарегистрированы на ст. 25 (1002 тыс. кл./л), на других станциях эти значения были в 1,2–2 раза ниже (523–853 тыс. кл./л). Максимальная величина биомассы зарегистрирована на ст. 22 (573 мг/м<sup>3</sup>), в районе других станций биомасса изменялась в пределах 305–473 мг/м<sup>3</sup>.

Наблюдали обильное развитие представителя примнезиевых водорослей – *Emiliania huxleyi*, который в целом формировал основу численности (от 60 до 90 % на разных станциях; в среднем 85 %) и значительную часть биомассы фитопланктона (от 9 до 34 %; в среднем 25 %). Максимальная доля примнезиевых (98 % численности и 50 % биомассы) зафиксирована в слое воды под ТК (рис. 1а, б).

**Рис. 1.** Вертикальное распределение численности (а) и биомассы (б) фитопланктона в северо-восточной части Черного моря в апреле 2021 г.

В последние годы регистрируется массовое развитие *Emiliana huxleyi* в водах Черного моря с наивысшим пиком развития, достигающим до уровня «цветения», в весенний и раннелетний периоды. Тенденция увеличения доли этого вида в фитопланктонном сообществе связана с ростом концентрации фосфатов [Mikaelyan et al., 2013]. Одной из возможных причин интенсификации развития примезиевых водорослей как одного из основных компонентов фитопланктона является глубокая зимне-весенняя конвекция. Так, холодные зимы 2006, 2008 и 2012 гг. способствовали более интенсивному и продолжительному цветению *Emiliana huxleyi*, чем в предыдущие и в последующие годы [Паутова и др., 2007; Ясакова, Станичный, 2012].

Основу биомассы (60 %) планктонного фитоценоза создавали диатомовые водоросли, при этом они отвечали за формирование 14 % общей численности. Доминирующим видом среди них была обычная для этого времени года *Proboscia alata* (12 % численности и 57 % биомассы фитопланктона).

Еще одним наиболее распространенным видом была *Pseudonitzschia pseudodelicatissima* (<2 % численности), которую отмечали на всех станциях и во всех исследуемых горизонтах моря. Другие виды диатомовых встречались эпизодически.

Роль динофитовых водорослей, не смотря на их значительное видовое разнообразие, была не столь высока: на их долю приходилось менее 1 % численности и 14 % биомассы сообщества. Их максимальную долю (20 %) в общих значениях биомассы наблюдали под ТК (рис. 16) Относительно многочисленными и наиболее распространенными среди них были виды *Prorocentrum cordata*, *P. compressum*, *P. micans*, *Diplopsalis lenticula*, *Scrippsiella trochoidea* и виды рода *Ceratium*. Биомассу формировали виды рода *Ceratium*, *Protoperidinium depressum* и *P. oblongum*.

Публикация подготовлена в рамках государственного задания ЮНЦ РАН № № 122011900153-9.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брянцева Ю.В., Лях А.М., Сергеева А.В. Расчет объемов и площадей поверхности одноклеточных водорослей Черного моря. Севастополь, 2005. 25 с. (Препринт / НАН Украины, Институт Биологии Южных морей).
2. Киселев Н.А. Панцирные жгутиконосцы. М.; Л.: АН СССР, 1950. 280 с.
3. Кольцова Т.Н. Определение объема и поверхности клеток фитопланктона // Биологические науки. 1970. № 6. С. 114–119.
4. Коновалова Г.В. Структура планктонного фитоценоза залива Восток Японского моря // Биология моря. 1984. № 1. С. 13–23.
5. Косинская Е.К. Определитель морских синезеленых водорослей. Л.: АН СССР, 1948. 279с.

6. Макаревич П.Р., Дружков Н.В. Методические рекомендации по анализу количественных и функциональных характеристик морских биоценозов северных морей. Ч.1. Фитопланктон. Зоопланктон. Взвешенное органическое вещество. Апатиты, 1989. 50 с.
7. Паутова Л.А., Микаэлян А.С., Силкин В.А. Структура планктонных фитоценов шельфовых вод северо-восточной части Черного моря в период массового развития *Emiliania huxleyi* в 2002–2005 гг. // Океанология. 2007. № 47 (3). С. 408–417.
8. Прошкина-Лавренко А.И. Диатомовые водоросли планктона Черного моря. АН СССР, 1963. 216 с.
9. Сенчикова Л.Г. К методике вычисления объемов клеток планктонных водорослей // Гидробиологический журнал. 1978. Т. 14. Вып. 5. С. 102–106.
10. Современные методы количественной оценки распределения морского планктона / под. ред. Виноградова М.Е. М.: Наука, 1983. 279 с.
11. Цыбань А.В. Руководство по методам биологического анализа морской воды и донных отложений. Л.: Гидрометеиздат. 1980. С. 91–99.
12. Ясакова О.Н., Станичный С.В. Аномальное цветение *Emiliania huxleyi* (Prymnesiophyceae) в 2012 году в Черном море в 2012 г. // Морской экологический журнал. 2012. Т. XI. № 11 (4). С. 54.
13. Ясакова О.Н., Макаревич П.Р. Фитопланктон северо-восточной части Черного моря. Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2017. 176 с.
14. Micaelyan A.S., Zatsepin A.G., Chasovnikov V.K. 2013. Long-term changes in nutrient supply of phytoplankton growth in the Black Sea // Journal of Marine Systems. 2013. Vol. 117–118. P. 53–64. doi: 10.1016/j.jmarsys.2013.02.012
15. Tomas C. (ed.). Identifying marine phytoplankton. San Diego, CA.: Academic Press. Harcourt Brace Company, 1997. 821 p.



## THE ANALYSIS OF THE ECOLOGICAL STATUS OF THE HRAZDAN RIVER ESTIMATED IN THE LOW WATER PERIOD BY BIOINDICATION METHODS

*V.L. Asatryan, L.R. Hambaryan, T.V. Boshyan,  
N.I. Bulysheva, M.R. Dallakyan*

---

*Institute of Hydroecology and Ichthyology of SCZHE of NAS RA, Yerevan, Armenia  
vardanasatryan@yahoo.com*

Due to climate change, precipitations in Armenia are getting lower which influences the state of aquatic ecosystems and their biodiversity. Thus, the study of the ecological status of the river ecosystems in low flow periods has high scientific-practical value for understanding the future perspectives of long-term changes. As an object for the pilot studies we have chosen the middle course part of the Hrazdan River upstream from Yerevan. The ecological status has been estimated using benthic macroinvertebrates and phytoplankton communities. Some uncertainties between the results of different bioindication methods were revealed. It's been shown that the use of phytoplankton as a bioindicator can improve the accuracy of ecological status assessment by benthic macroinvertebrates when short-term changes occur in the ecosystem.

The World Resources Institute has classified Armenia into the group of countries experiencing high baseline water stress [World Resources Institute, 2019]. Moreover, the 4<sup>th</sup> National Communication on climate change states the rise in mean temperature by 1.23 °C and the drop in mean annual precipitation by 9% [Fourth National Communication, 2020] during the last decades. As a result, the vulnerability of Armenian aquatic ecosystems and their biodiversity increases also in the face of the global climatic changes.

In accordance with the principles of the EU Water Framework Directive [Directive 2000/60/EC], various member states have already developed national systems for the assessment of the ecological status of surface water bodies [Birk et al., 2012]. Although Armenia also follows the recommendations of EU WFD in the establishment of hydrobiological monitoring system, there is no widely accepted system for the assessment of aquatic ecosystems health in the country yet. Within the frames of EUWI+ initiative, Rapid Biological Assessment (RBA) method has been developed for Armenia [Cheshmedjiev, 2013]. However, its accuracy is still should be proven for different drainage basins in Armenia [Asatryan, Dallakyan, 2021]. While such works were not completed the specialists have been relying on different bioindication methods locally.

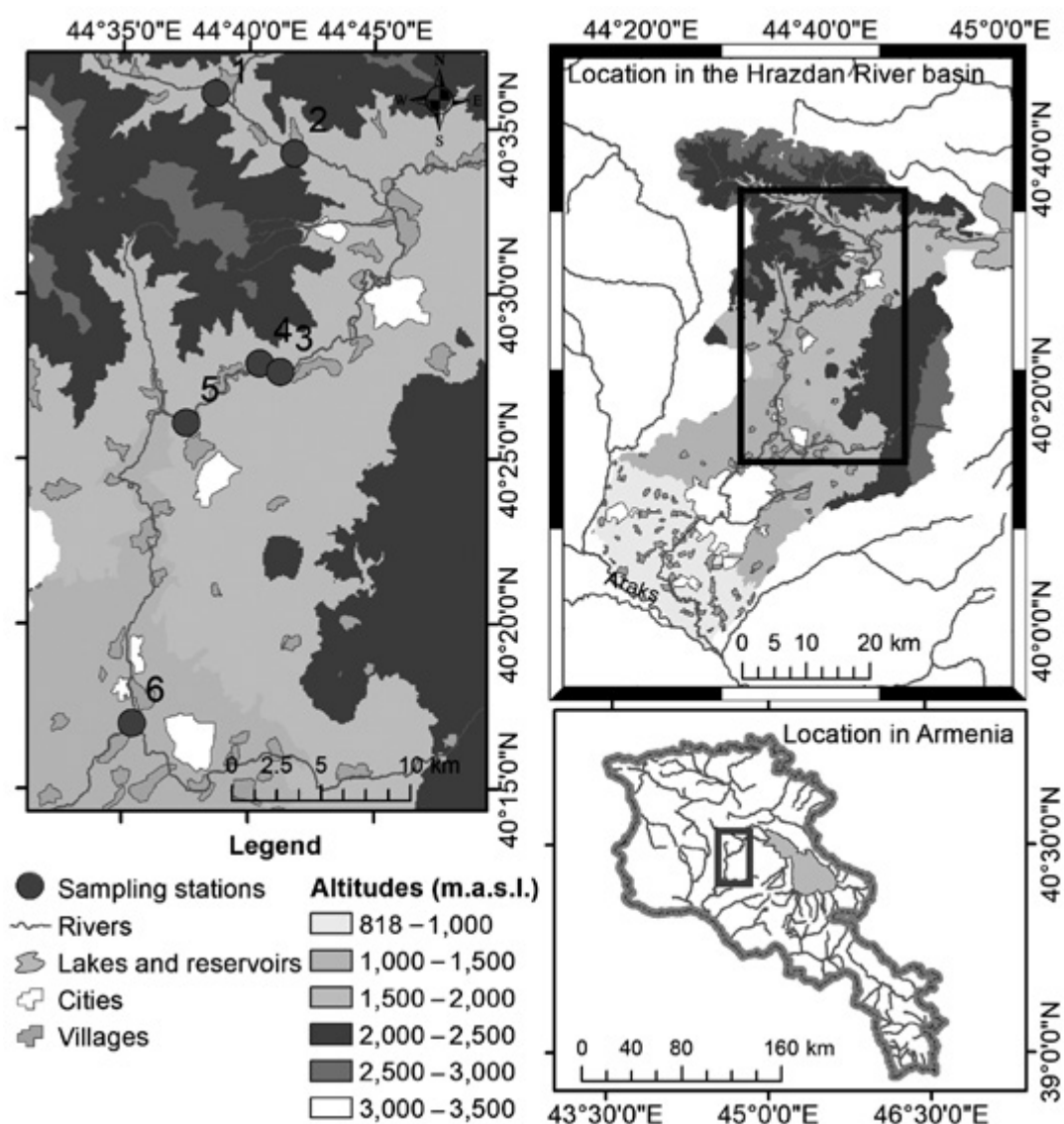


Fig. 1. Geographical position of the Hrazdan River and the sampling stations

Two widely applicable Biological Quality Elements (BQEs) are benthic macroinvertebrates and phytoplankton. Algae forms the base of trophic chain and has rather high sensitivity towards changes in the ecological factors of the environment. The intensity of effects can be determined through metrics of qualitative development of algae and their structural changes [Mikheeva, 1992]. While algae are more useful for the indication of lentic ecosystems health, benthic macroinvertebrates are the main BQE worldwide for the assessment of the ecological status of running surface water bodies due to their wide range of responses to different pollution types and hydromorphological transformations [e.g. Johnson et al., 2006; Springe et al., 2006].

Thus, the aim of the current study was to assess the ecological status of the Hrazdan River during a low water period through a combination of different bioindication methods.

*Study area.* The Hrazdan River is the main water vein in Central Armenia where it flows 141km up to the confluence with the Araks River in the border area of Armenia and Turkey. Due to its geographical position, waters of the river are intensively used for the irrigation and generation of hydroelectricity [Mnatsakanyan, 2005]. The ecosystem also has significant importance from the perspectives of cultural and regulatory services. Thus, the understanding of its ecological status in the low water period has significant scientific-practical value from the perspective of understanding the future scenarios of ecosystem functioning under the impact of climate change. For the model studies we have chosen a middle course segment of the river which flows through more or less densely populated region of Armenia and is influenced by multiple stressors (Fig. 1).

Six sampling sites were selected considering morphological and hydrological features of the river and its basin as well as potential differences in the antropogenic effects.

*Sampling and processing of material.* Study was conducted during the minimum flow season (summer) in 2021. For benthic macroinvertebrates multihabitat sampling principles [EN ISO 10870:2012] were applied using Surber sampler with the frame of 0.09m<sup>2</sup> and mesh size of 500µm. Materials were fixed in 96% solution of ethanol and placed into a collection jar clearly marked with the sample geographical coordinates recorded by Garmin eTrex 20 GPS receiver. Further processing of samples and determination were realized at the laboratory using the keys [Waringer, Graf, 2011; Taxonomie fur die Praxis, 2010; Kutikova, Starobogatov, 1977]. Assessment of ecological status was done using BMWP and ASPT indices (1, 2).

$$BMWP = \sum_{i=1}^n T_i, \quad (1)$$

$$ASPT = \frac{BMWP}{N_{\text{taxa}}}, \quad (2)$$

where  $T_i$  is a tolerance score and  $N_{\text{taxa}}$  is the number of macrozoobenthos taxa in the sample

A one-litre water sample taken from each site was preserved with 40% formaldehyde solution and stored in a dark place for 10–12 days. Then, the samples were concentrated by gradually decreasing the volume from 1000 mL to 100 and then to 10 mL [Guide, 1983]. The identification of phytoplankton was performed by using the key determinants [Streble, Krauter, 2001; Berg et al., 2012; Hambaryan, Shahazizyan, 2014]. The qualitative and quantitative parameters of different groups of phytoplankton were derived under a microscope in the Nageotte counting chamber (0.1 mL) [Kitaev, 2007]. Saprobity was assessed through the Barinova scale of algae-indicators of the environment [Barinova, 2006].

In general, the results of *BMWP* and *ASPT* indices showed that the ecological status of the Hrazdan River was “good” at all sampling stations but Station No. 6, where “moderate” status was recognised (tab. 1) according to *BMWP* index. However, the score is close to good status.

**Table 1.** Qualitative and quantitative (N of specimens) structures of benthic macroinvertebrates of the Hrazdan River

Higher taxa	Family	Stations					
		1	2	3	4	5	6
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
Acariformes	Hydrachnidae	1	0	0	0	0	0
Amphipoda	Gammaridae	1	4	1008	24	24	480
Arhynchobdellida	Erpobdellidae	1	0	3	31	1	2
	Haemopidae	0	0	0	1	0	0
Coleoptera	Dytiscidae	0	0	0	1	0	0
	Elmidae	3	0	21	2	3	0
Diptera	Blephariceridae	1	0	0	0	0	0
	Chironomidae	26	368	67	1	8	15
	Limoniidae	0	1	0	0	0	0
	Simuliidae	1	20	106	5	1	76
	Tabanidae	0	0	0	1	0	1
Ephemeroptera	Tipulidae	2	1	0	0	0	0
	Baetidae	22	87	132	17	135	140
	Caenidae	8	7	0	0	7	2
	Ephemerellidae	1	27	20	1	1	0
Gastropoda	Heptageniidae	27	6	0	0	0	0
	Ancylidae	0	0	62	4	0	0
	Bithynidae	0	0	0	5	0	0
	Lymnaeidae	0	1	0	0	0	0
Oligochaeta	Physidae	0	0	0	5	0	0
	Lumbricidae	0	0	0	0	0	1
	Naididae	1	0	0	0	2	0
Isopoda	Lumbriculidae	0	0	2	0	0	0
Odonata	Asellidae	0	0	0	53	0	0
Plecoptera	Calopterygidae	0	0	0	0	1	0
Rhynchobdellida	Leuctridae	4	0	0	0	0	0
	Glossiphoniidae	0	20	0	6	0	0
Trichoptera	Piscicolidae	0	2	0	0	0	0
	Apataniidae	0	0	32	0	0	3
	Glossosomatidae	0	2	0	0	1	0
	Hydropsychidae	9	102	5	0	1	0
	Hydroptilidae	0	0	0	8	1	0
	Lepidostomatidae	0	1	0	0	0	0
	Limnephilidae	0	3	0	1	1	0
	Polycentropodidae	0	0	1	0	0	0
Rhyacophilidae	0	2	0	0	0	0	
		1	0	1	0	1	41

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Tricladida	Dugesiiidae	0	0	18	5	0	11
BMWP score/ ecological status		87/ Good	104/ Very good	76/ Good	80/ Good	83/ Good	47/ Moderate
ASPT score/ ecological status		5.8/ Excellent	5.77/ Excellent	4.75/ Very good	4.21/ Good	5.53/ Excellent	4.27/ Good

Such results are corresponding to the results of ecological status assessment for previous years either [Yepremyan et al., 2022]. Although river flows through rather densely populated areas and has no water treatment plants in it, such the results are not surprising because the flow of the river is heavily regulated and there is always enough water in the river to maintain self-purification mechanisms. Particularly, discharge values reported by the Hydrometeorology and Monitoring Centre SNCO on the day of sampling were 2.42 m<sup>3</sup>/s near Station No. 2 and 1.7 m<sup>3</sup>/s in between stations nos. 5 and 6. These numbers are even lower than the long-term minimum discharge parameter for these stations [The state, 2021].

Good but not excellent or very good state of the ecosystem was also proven by the results of phytoplankton analysis. Diatoms have dominated by the species diversity (62% of species) followed by the green algae (20%). Blue-green algae species have 18% of share in the overall diversity of phytoplankton. The highest number of algae was 632000 cell/l (Station No. 1), but the highest biomass was recorded at Station No. 6 (4 gr/m<sup>3</sup>) owing to the growth of cyanobacteria: *Oscillatoria formosa* ( $\beta$ ) and *Phormidium uncinatum* ( $\alpha$ - $\beta$ ).

However, there are some uncertainties between the results of assessment through and by different bioindication methods. Particularly, the presence of green algae species *Monoraphidium contortum*, *Monoraphidium griffithii* *Ankistrodesmus falcatus*, *Closterium ehrenbergii* and blue-green algae of *Microcystis* and *Aphanothece* genera states worse ecological status at Station No. 2 than benthic macroinvertebrates-based assessment showed. In the same way, blue-green algae species *Oscillatoria formosa*, *O. lacustris*, *O. agarrdhii*, *Phormidium foveolarum* and *Aphanizomenon flos-aquae* have been encountered at different stations of the Hrazdan River which indicates the eutrophication processes there. Saprobity index also varies between  $\alpha$  and  $\beta$ -mesosaprobic state which proves the presence of organic pollution.

Thus, due to their rapid response to the changes in the environmental conditions phytoplankton allows to detect a worsening of the ecological status for the short-term perspectives and in combination with the benthic macroinvertebrates could be a good supplementary tool in the state hydrobiological monitoring in the rivers.

*The work was supported by the Science Committee of the Republic of Armenia, within the frameworks of research projects No. 20TTWS-1F044 and No.21T-1F208.*



## REFERENCES

1. *Asatryan V., Dallakyan M.* The baseline rapid biological assessment of the ecological status of the Debed River system (Armenia) // *Electronic Journal of Natural Sciences*. 2021. No. 1 (36). P. 14–25.
2. *Barinova S.S., Medvedeva L.A., Anisimova O.V.* Biodiversity of environmental indicator algae. Tel Aviv: Pilies Studio, 2006. 498p.
3. *Berg L.K.-H., Hoef-Emden K., Melkonian M.* Der Kosmos-Algenfuhrer: Die Wichtigsten Subwasseralgen im Mikroskop. Kosmos, 2012. 368 p.
4. *Birk S., Wendy B., Angel B., Sandra B., Anne C. et al.* Three hundred ways to assess Europe's surface waters: An almost complete overview of biological methods to implement the Water Framework Directive // *Ecological Indicator*. 2012. No. 18. P. 31–41.
5. *Cheshmedjiev S.* Rapid biological assessment (RBA) based on analysis of benthic macroinvertebrate communities. Environmental Protection of International River Basins Project, Hulla & Co. Human Dynamics KG, 2013. P. 22.
6. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy // *Official Journal L 327*. 22/12/2000 P. 0001–0073. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32000L0060&from=DE>
7. Fourth National Communication on Climate Change. Yerevan: UNDP Armenia, 2020. URL: [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/NC4\\_Armenia\\_.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/NC4_Armenia_.pdf)
8. EN ISO 10870:2012. Water quality – Guidelines for the selection of sampling methods and devices for benthic macroinvertebrates in fresh waters. European Standard, Brussels, 2012. P. 36.
9. Guide on Methods for the Hydrobiological Analysis of Surface Water and Bottom Sediments / *Abakumov V.A.* (ed.). M.: Gidrometeoizdat, 1983. 196 p. (in Russian).
10. *Hambaryan L., Shahazizyan I.* Determinant and Educational Manual for Genera of Freshwater Algae. Yer.: YSU Press, 2014. 61 p. (in Armenian).
11. *Johnson R.K., Hering D., Furse M.T., Clarke R.T.* Detection of ecological change using multiple organism groups: Metrics and uncertainty // *Hydrobiologia*. 2006. Vol. 566. P. 115–137.
12. *Kitaev S.P.* Osnovy limnologii dlya gidrobiontov i ikhtiologov (Fundamentals of Limnology for Hydrobiologists and Ichthyologists). Petrozavodsk: Karel. Nauchn. Center, Russ. Akad. Sciences, 2007. 394 p. (in Russian).
13. *Kutikova L.A., Starobogatov Ya.I.* Key to freshwater invertebrates of European part of USSR. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977. 513 p. (in Russian)
14. *Mikheeva T.M.* The structure and functioning of phytoplankton during the water eutrophication. Summary of doctoral dissertation. Minsk, 1992 (in Russian).
15. *Mnatsakanyan B.P.* Water balance of Armenia. Yerevan, 2005. P. 16.



16. *Springe G., Sandin L., Briede A., Skuja A.* Biological quality metrics: their variability and appropriate scale for assessing streams // *Hydrobiologia*. 2006. Vol. 566. P. 153–172.
17. *Streble H., Krauter D.* Das Leben im Wassertropfen. Stuttgart: Kosmos, 2001. 415 p.
18. *Taxonomie für die Praxis. Bestimmungshilfen-macrozoobenthos (1)*, Recklinghausen. 2010. 189 p.
19. The state of rivers, lakes and reservoirs. 2021. URL: [http://meteomonitoring.am/public/admin/ckfinder/userfiles/files/a\\_hidro\\_2021\\_2/TeXekagir%2006\\_07\\_2021\\_h.pdf](http://meteomonitoring.am/public/admin/ckfinder/userfiles/files/a_hidro_2021_2/TeXekagir%2006_07_2021_h.pdf) (Accessed 08.08.2022).
20. *Waringer J., Graf W.* Atlas of Central European Trichoptera Larvae, 2011. 469p.
21. World Resources Institute. 2019. URL: <https://www.wri.org/insights/17-countries-home-one-quarterworlds-population-face-extremely-high-water-stress>
22. *Yepremyan H.V., Kobelyan H.H., Mkrtchyan Zh.H., Hakobyan S.H., Ghukasyan E.Kh.* Assessment of the ecological state of the Hrazdan river // *Biological journal of Armenia*. 2022. No. 74 (2). P. 71–75 (in Armenian).

***Trichoderma koningii* MEDIATED REGULATION  
OF OXIDATIVE STRESS NETWORK AND PHENYLPROPANOID PATHWAY  
UNDER HEAT STRESS IN *Solanum lycopersicum* L.**

**C. Keswani, S. Sushkova, A. Barbashev, S. Mandzhiev,  
N. Starovoitova, A. Zatonskikh, E. Shuvaev**

---

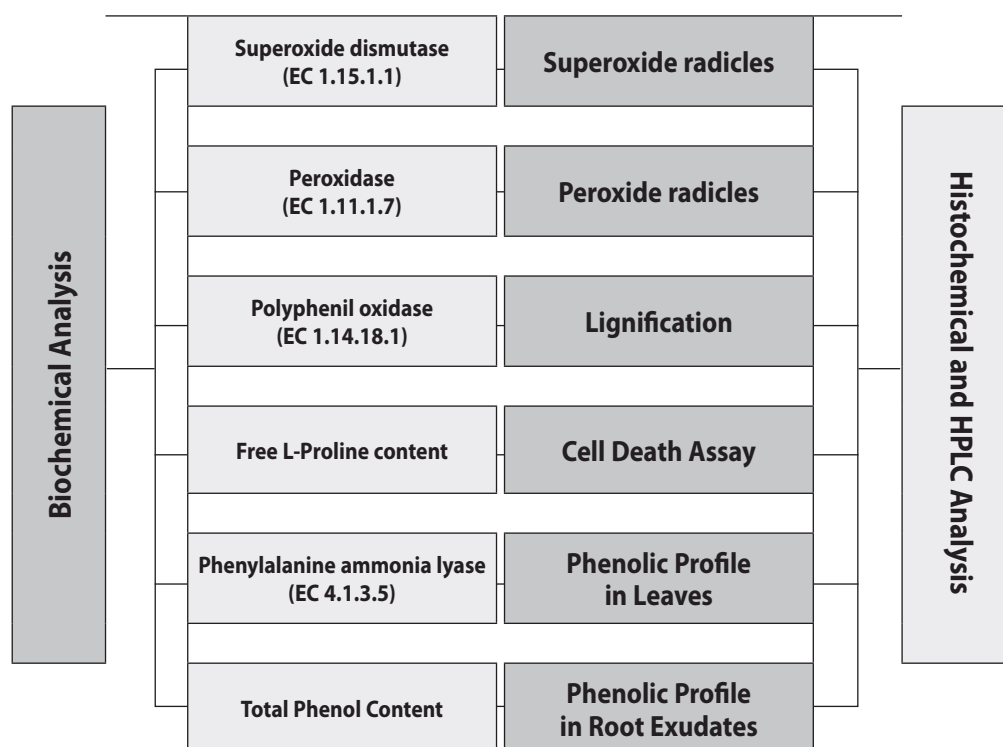
*Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University,  
Rostov-on-Don, Russia  
kesvani@sfedu.ru*

Plants repeatedly encounter multiple stress conditions such as high and low temperatures, flooding, salinity, drought, and heavy metal toxicity. It has been estimated that more than 50% of yield reduction is caused due to various abiotic stresses. Heat stress is ultimately perceived oxidative stress in plants through peroxidation of polyunsaturated fatty acids of membrane and by disturbing the membrane integrity through protein denaturation. As a response to this stress condition, different reactive oxygen species (ROS) are produced in the plant system including superoxide ion, singlet oxygen, hydrogen peroxide, and hydroxyl radical; these ROS are also produced in plants during normal metabolic condition but during stress conditions their production increases many folds, thereby posing a serious threat to plant vitality [Keswani 2015].

Plant biostimulants (PBs) could be used as an alternative for safeguarding the plants against the abiotic stresses due to the enhanced tolerance induced by the associated microorganisms. PBs can competently induce a plentitude of biochemical, physiological, and molecular plant responses, which may eventually lead to an enhanced tolerance to both biotic and abiotic stress tolerance. *Trichoderma* spp. are opportunistic fungi residing in the rhizospheric region and can parasitize other fungi and promote plant growth. They colonize plant roots and establish symbiotic relationships with a wide range of host plants, consequently plant growth and performance are frequently enhanced [Elgendy et al., 2022; Tripathi et al., 2021].

Therefore, in this study we investigated the role of a thermotolerant strain of *Trichoderma koningii* in counteracting the harmful effects of ROS by enhancing the hosts' thermal stress tolerance through modulation of oxidative stress network and phenylpropanoid pathway under heat stress in *Solanum lycopersicum* L.

The following parameters were analyzed and the crosstalk between Host-*Trichoderma* under heat stress will be discussed in detail during the presentation (Fig. 1).



**Fig. 1.** Schematic Representation of Oxidative Stress and Defense Network Biomarkers in Host-*Trichoderma* under Heat Stress

The research was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation on the Young Scientist Laboratory within the framework of the Interregional Scientific and Educational Centre of the South of Russia (No. LabNOTs-21-01AB, FENW-2021-0014) and the Strategic Academic Leadership Programme of the Southern Federal University (“Priority 2030”).

## REFERENCES

1. Elgandy H., Krepakova M., Keswani C., Voloshina M., Nefedova A., Minkina T., Mandzhieva S., and Sushkova S. (2022) Seed Biopriming with *Trichoderma* sp. as an Effective Strategy for the Mitigation of Thermal Stress Effects in Food Crops // EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria, 23–27 May 2022, EGU22-9850. URL: <http://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-9850>
2. Keswani C. Proteomics studies of thermotolerant strain of *Trichoderma* spp. Ph.D. Thesis, Banaras Hindu University, Varanasi, India, 2015. P. 128
3. Tripathi R., Keswani C. and Tewari R. *Trichoderma koningii* enhances tolerance against thermal stress by regulating ROS metabolism in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants // Journal of Plant Interactions. 2021. No. 16 (1). P. 116–125. URL: <http://doi.org/10.1080/17429145.2021.1908634>.

## GENOTOXICITY AND CYTOTOXICITY INSIGHTS OF NICKEL OXIDE NANOPARTICLES USING A PLANT-BASED MODEL

**A. Kumari, S.S. Mandzhieva, T. Minkina, V. Chokheli,  
A. Ranjan, V.D. Rajput, E. Paramonova, V. Tsitsuashvili**

---

*Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University,  
Rostov-on-Don, Russia  
arpnakumari.gndu@gmail.com; kumari@sfedu.ru*

The wide and varied applications of nanotechnology are increasing the intentional release of engineered nanoparticles (ENPs) into the environment, raising significant concerns and presenting substantial risks to environmental health and safety. ENPs are nanoscale particles with a minimum diameter of 100 nm that have been developed to accomplish certain functions [Rajput et al., 2022; Ray et al., 2009; Xu et al., 2022]. In different industries, metallic nanoparticles (NPs) are commonly employed. Hence, considerations about the potentially hazardous effects of dispersed NPs on the environment are becoming increasingly prevalent [Khan et al., 2021; Manuja et al., 2021]. When NPs are deliberately released into the terrestrial environment, they can make their way to the ultimate sink, the soil, where they interact with plants (primary producers) due to their sessile nature [Kumari and Kaur, 2020; Manuja et al., 2021]. In this context, there are several reports available on the phytotoxicity of NPs but the scenario is different for NiO-NPs induced genotoxicity and cytotoxicity using a plant-based model. However, the applications of NiO-NPs are reported especially in biomedical, antimicrobial applications, drug delivery, biosensing, etc. [Heilmann et al., 2020]. Thus, the presence of NiO-NPs in terrestrial plants can pose a risk to surrounding fauna at the morphological, cellular, and genetic levels. Few studies have revealed the phytotoxicity of NiO-NPs to terrestrial and aquatic plants [Iqbal et al., 2021; Manna & Bandyopadhyay, 2017; Oukarroum et al., 2015]. Thereby, the study has been designed to investigate the genotoxicity and cytotoxicity using *Pisum sativum* L.

For current investigations, Haplic Chernozem soil was collected from the Southern Federal University's Botanical Garden. In Petri dishes, 50 g of air-dry soil was placed, cleaned of plant residues, and sifted using a sieve (3 mm). The moisture content of the samples during the entire incubation period (one month) was maintained at 60% of the total field moisture capacity. After a month of incubation, for the analysis of the genotoxic potential of NiO-NPs (at doses 0, 1, 10, 30 MPC), 10 seeds of *P. sativum* L. were germi-

nated under controlled conditions. The roots were collected on the 3<sup>rd</sup>–4<sup>th</sup> day without damaging root primordia, cleaned with distilled water, and fixed in Clark's fixative (glacial acetic acid: alcohol, 1 : 3). After fixation, staining was carried out with 2% aceto-orcein. The slides were prepared from the stained roots according to the standard squash method [Dubrovsky and Contreras-Burciaga, 1998]. The prepared slides were analyzed under the light microscope for the determination of the percentage of chromosomal aberrations and mitotic index to reflect the genotoxicity and cytotoxicity, respectively.

The percentage of chromosomal aberrations ( $p$ ) was calculated using the below-mentioned formula:

$$p = \frac{A + B + C + D + E + F + G}{N} \times 100 \%$$

Likewise, the mitotic index was calculated using this formula:

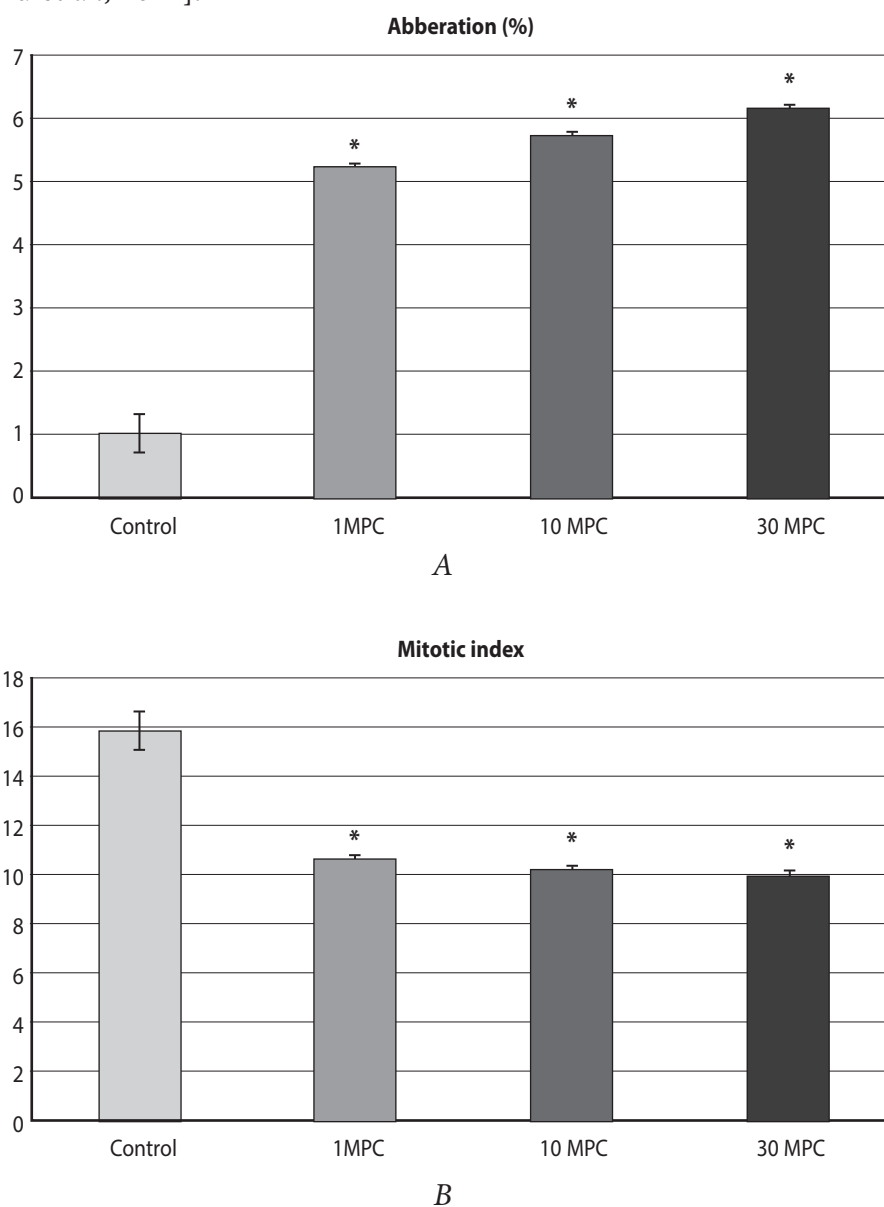
$$MI = \frac{P + M + A + T}{P + M + A + T + I}$$

Where:  $P$  is the number of cells at the prophase stage;  $M$  is the number of cells at the metaphase stage;  $A$  is the number of cells at the anaphase stage;  $T$  is the number of cells at the telophase stage;  $I$  is the number of cells at the interphase stage (Alov, 1965).

The soil samples treated with NiO-NPs at 30 MPC showed maximal genotoxicity and cytotoxicity when compared to the control. In the case of percent aberration, the fold increase in the genotoxicity was 4.91, 5.18, and 5.64 at 1, 10, and 30 MPC, respectively as compared to the control (Fig. 1-A). All samples were significantly different from the control as per the Student's t-criterion at a significance level of  $p < 0.05$ . These results showed the coherence with genotoxicity trends reported in previous studies for other metallic NPs. In a study, the increment in the chromosomal aberrations and cell cycle perturbations were recorded using *Allium cepa* in response to NiO-NPs at concentrations ranging from 10 to 500 mg/L. The findings showed that NiO-NP had an impact on nuclear and chromosomal integrity and interfered with plant cell cycle progression (Manna et al., 2021). Besides, the genotoxicity of NiO-NPs was also established by an *in-vivo* analysis using Wistar rats at doses of 125–500 mg/kg BW [Dumala et al., 2017].

Cytotoxicity was determined using the mitotic index (MI) because it reflects the value of the percentage of dividing cells. In this study, the results of cytotoxicity were found to be mostly consistent with genotoxicity observations. The fold decrement was 0.69, 0.66, and 0.63 at 1, 10, and 30 MPC, respectively when compared to the control (Fig. 1B). Furthermore, the variants showed a significant difference from the control as indicated by the Student's t-criterion at a significance level of  $p < 0.05$ . The decline in MI was the reflection of NiO-NPs' interference with cell division. To support the current findings, it can be indicated that the over-production of different free radicals might have interfered

with normal cellular homeostasis as revealed by the study by Khan et al. [2019]. In this study, the authors demonstrated that the increased production of stress enzymes, lipid peroxidation, increased DNA damage, and abnormal mitotic cell division were evidence of an excessive formation of reactive oxygen species mediated by NP treatments. As well, similar observations were also made with the exposure of copper oxide nanoparticles in soybean [Liu et al., 2021].



**Fig. 1.** The level of chromosomal aberrations and mitotic index in the root meristem of *Pisum sativum* L. germinated in the soil at various concentrations of NiO-NP; Results are presented as Means  $\pm$  S.D.; \*represents the significant difference from the control

The genotoxicity and cytotoxicity of NiO-NPs were found to be directly proportional to their exposure doses. Thus, increased NiO-NPs' concentrations indicate a deleterious influence on the genetics and cell cycle of *P. sativum*, demonstrating that NPs existing in



the environment are easily transferred to plants and ultimately into the food chain. Thus, NiO-NPs impede plants' normal metabolism by producing oxidative stress and ultimately causing DNA damage, hence raising an environmental concern.

*The study was supported by the grant from the Russian Science Foundation (Project No. 21-77-20089) and implemented at the Southern Federal University.*

## REFERENCES

1. Dubrovsky J.G., and Contreras-Burciaga L. A squash preparation method for root meristem field studies // *Biotechnic & Histochemistry* : Official Publication of the Biological Stain Commission. 1998. Vol. 73 (2). Pp. 92–96. URL: <https://doi.org/10.3109/10520299809140512>
2. Dumala N., Mangalampalli B., Chinde S., Kumari S.I., Mahoob M., Rahman M.F., and Grover P. Genotoxicity study of nickel oxide nanoparticles in female Wistar rats after acute oral exposure // *Mutagenesis*. 2017. Vol. 32 (4). P. 417–427. URL: <https://doi.org/10.1093/MUTAGE/GEX007>
3. Heilmann M., Kulla H., Prinz C., Bienert R., Reinholz U., Buzanic A.G., & Emmerling F. Advances in Nickel Nanoparticle Synthesis via Oleylamine Route // *Nanomaterials*. 2020., Vol. 10 (4). P. 713. URL: <https://doi.org/10.3390/NANO10040713>
4. Iqbal S., Jabeen F., Chaudhry A.S., Shah M.A., and Batiha G.E.S. Toxicity assessment of metallic nickel nanoparticles in various biological models: An interplay of reactive oxygen species, oxidative stress, and apoptosis // *Toxicology and Industrial Health*. 2021. Vol. 37 (10). P. 635–651. URL: <https://doi.org/10.1177/07482337211011008>
5. Khan M., Khan M.S.A., Borah K.K., Goswami Y., Hakeem K.R., and Chakrabartty I. The potential exposure and hazards of metal-based nanoparticles on plants and environment, with special emphasis on ZnO NPs, TiO<sub>2</sub> NPs, and AgNPs: A review // *Environmental Advances*. 2021. Vol. 6. P. 100128. URL: <https://doi.org/10.1016/J.ENVADV.2021.100128>
6. Khan Z., Shahwar D., Yunus Ansari M.K., and Chandel R. Toxicity assessment of anatase (TiO<sub>2</sub>) nanoparticles: A pilot study on stress response alterations and DNA damage studies in *Lens culinaris* Medik // *Heliyon*. 2019. Vol. 5 (7). e02069. URL: <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2019.E02069>
7. Kumari A., and Kaur R. A review on morpho-physiological traits of plants under phthalates stress and insights into their uptake and translocation // *Plant Growth Regulation* 2020. Vol. 91 (3). P. 327–347. URL: <https://doi.org/10.1007/S10725-020-00625-0>
8. Liu C., Yu Y., Liu H., and Xin H. Effect of different copper oxide particles on cell division and related genes of soybean roots // *Plant Physiology and Biochemistry*. 2021. Vol. 163. P. 205–214. URL: <https://doi.org/10.1016/J.PLAPHY.2021.03.051>

9. *Manna I., and Bandyopadhyay M.* Engineered nickel oxide nanoparticle causes substantial physicochemical perturbation in plants // *Frontiers in Chemistry*. 2017. No. 5 (Nov.). P. 92. URL: <https://doi.org/10.3389/FCHEM.2017.00092/BIBTEX>
10. *Manna I., Mishra S., and Bandyopadhyay M.* In vivo genotoxicity assessment of nickel oxide nanoparticles in the model plant *Allium cepa* L. // *The Nucleus*. 2021. Vol. 65. Iss. 2. P. 203–214. URL: <https://doi.org/10.1007/S13237-021-00377-W>
11. *Manuja A., Kumar B., Kumar R., Chhabra D., Ghosh M., Manuja M., Brar B., Pal Y., Tripathi B.N., and Prasad M.* Metal/metal oxide nanoparticles: Toxicity concerns associated with their physical state and remediation for biomedical applications // *Toxicology Reports*. 2021. No. 8. P. 1970–1978. URL: <https://doi.org/10.1016/J.TOX-REP.2021.11.020>
12. *Oukarroum A., Barhoumi L., Samadani M., and Dewez D.* Toxic effects of nickel oxide bulk and nanoparticles on the aquatic plant *lemna gibba* L. // *BioMed Research International*. 2015. URL: <https://doi.org/10.1155/2015/501326>
13. *Rajput V.D., Minkina T., Upadhyay S.K., Kumari A., Ranjan A., Mandzhieva S., Sushkova S., Singh R.K., and Verma K.K.* Nanotechnology in the Restoration of Polluted Soil // *Nanomaterials*. 2022. Vol. 12 (5). P. 769. URL: <https://doi.org/10.3390/NANO12050769>
14. *Ray P.C., Yu H., and Fu P.P.* Toxicity and Environmental Risks of Nanomaterials: Challenges and Future Needs // *J. Environ. Sci. Health. P. C. Environ Carcinog Ecotoxicol Revactions*. 2009. Vol. 27 (1). P. 1–35. URL: <https://doi.org/10.1080/10590500802708267>
15. *Xu H., Lau Y.M., Yin X.H., Xu Y.M., and Lau, A.T.Y.* Nanoparticles: Excellent Materials Yet Dangerous When They Become Airborne // *Toxics*. 2022. Vol. 10 (2). P. 50. URL: <https://doi.org/10.3390/TOXICS10020050>

## APPLICATION OF POROUS NANOMATERIALS FOR TREATMENT AND REMEDIATION OF HEAVY METAL-CONTAMINATED MEDIA

*M. Mazarji<sup>1</sup>, M.T. Bayero<sup>1</sup>, T. Bauer<sup>1, 2</sup>, T. Minkina<sup>1</sup>, S. Mandzhieva<sup>1</sup>, S. Sushkova<sup>1</sup>*

---

*<sup>1</sup>Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University,  
Rostov-on-Don, Russian Federation*

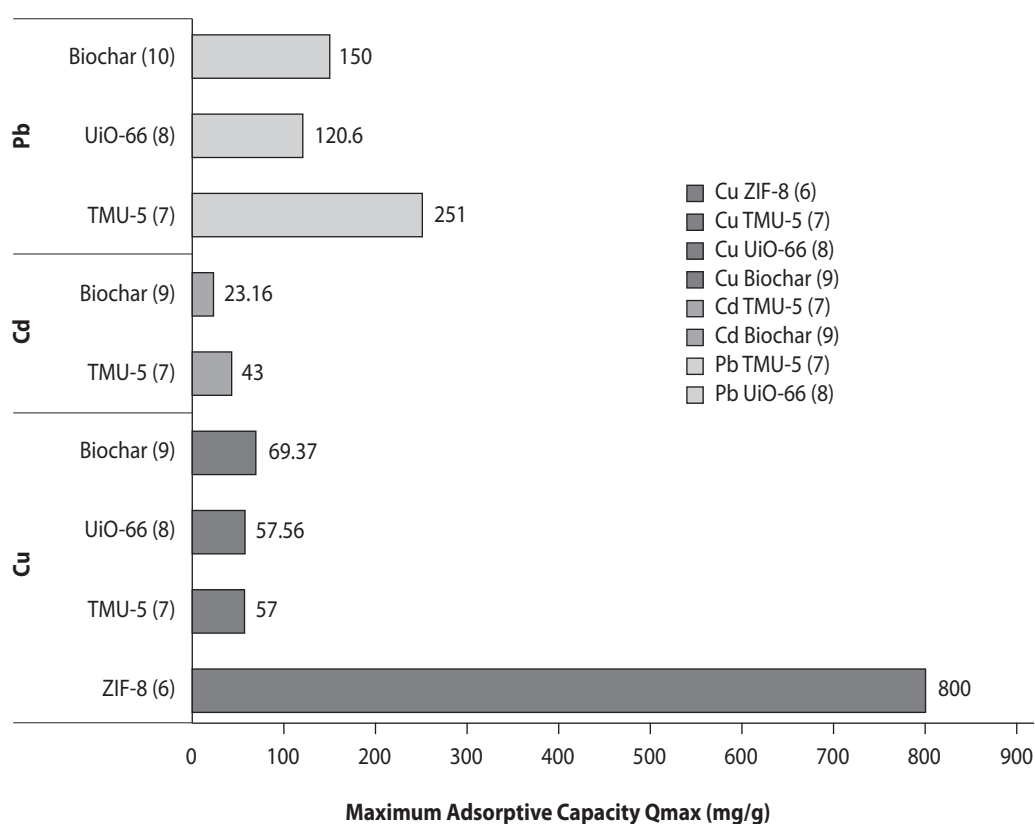
*<sup>2</sup>Federal Research Centre the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences,  
Rostov-on-Don, Russian Federation  
maza@sfedu.ru*

To solve the growing water and soil pollution problem worldwide, a search for suitable functional materials is essential. Recently, a great deal of effort has been made to develop highly porous materials and processes on an industrial scale for treatment and remediation. Remediating polluted water and soil requires porous materials with high surface area, tunable porosity, and large mesopores. Porous materials can be either inorganic or organic such as organic porous nanomaterials (COFs) and inorganic-organic porous nanomaterials. Since porous materials are able to adjust their pore size and pore wall surface chemistry, they can be used for a wide range of applications. Potential toxic elements (PTEs) have adverse effects on the environment in water and soil. In order to address this issue, metal-organic frameworks (MOFs) have emerged as an emerging class of hybrid organic-inorganic crystalline porous materials. As part of this presentation, a general overview of MOFs was provided, as well as a detailed discussion of the potential of MOFs for the removal of heavy metals.

Potentially toxic elements (PTEs) such as heavy metal ions (HMs) have led to adverse environmental impacts in soil and water. Excessive concentrations of HMs are reported to be toxic to humans and other living things due to HMs carcinogenic, mutagenic, teratogenic, and non-biodegradable nature. The inability of HMs to undergo microbial or chemical degradation compared to organic contaminants necessitates the remediation of HMs contaminated soils [Li et al., 2021]. The current methods for treatment (membrane separation, chemical precipitation, ion exchange, electro flotation, coagulation, and solvent extraction) are expensive and detrimental to the environment. Hence, implementing innovative and greener solutions to remediate HM-contaminated media in a cost-effective, environmentally friendly, and the sustainable way must be harnessed. Nevertheless, adsorption remains an effective method due to the ease of operation and environmental compatibility [Zhang et al., 2021].

Emerging technologies such as nanotechnology bring novel aspects to each of the processes mentioned above by taking advantage of nanosized materials. In recent decades, the metal-organic frameworks (MOFs) as nano-enabled remediation technologies have gained much attention in some applications (sensing, gas storage, drug delivery, remediation, etc.) and processes (adsorption, photocatalysis, Fenton-like, radical sulfate oxidation, etc.). MOFs are an emerging class of organic-inorganic hybrid crystalline porous materials formed by clusters of organic ligands and metal ions via strong covalent/coordination bonds [Liu et al., 2020].

The metal-organic frameworks (MOFs) possess high pore volume, adjustable pore topology, large specific surface area, structural tunability, and crystallinity. These unique properties of MOFs allow endless possibilities for modification and high selectivity towards specific HMs in contaminated media [Liu et al., 2020]. Several MOFs, such as Materials of Institute Lavoisier (MIL), zeolitic imidazolate frameworks (ZIFs), University of Oslo (UiO), zinc(II) based MOFs (TMU-5), etc. are constructed from carboxylate-based ligands or azolate-based ligands [Fateeva et al., 2015]. MOFs such as ZIF-8, UiO-66, TUM-5, etc., have been widely applied in remediation in aqueous systems with reported excellent adsorptive capacities. Much research has been done with different MOFs, and various capacities have been reported, as presented in Figure 1.



**Fig. 1.** Summary of heavy metal adsorption capacities reported for MOFs and other materials.

The annotations 6, 7, 8, 9, and 10 correspond to the references [Zhang et al., 2016; Tahmasebi et al., 2015; Lou et al., 2021; Son et al., 2018; Wang et al., 2018] respectively

Zhang et al. unveiled the adsorption of ZIF-8 for the potential removal of  $\text{Cu}^{2+}$  in an aqueous solution. An unexpectedly high adsorption capacity of 800 mg/g of  $\text{Cu}^{2+}$  was achieved without functionalization or pretreatment. At high and low concentrations of  $\text{Cu}^{2+}$ , ion exchange and coordination were responsible for high removal efficiency (5). On the other hand, Tahmasebi et al. found lower adsorption capacities for TMU-5 ( $\text{Cd}^{2+}$ : 43 mg/g,  $\text{Cu}^{2+}$ : 5 mg/g and  $\text{Pb}^{2+}$ : 251 mg/g) compared to ZIF-8, which was mentioned earlier (6). Recently, Lou et al. explored UiO-66 in 2021 to remove EDTA-complexed heavy metals. The findings showed that Lewis-acid/-base interactions and possible anion- $\pi$  interaction with strong binding energies exhibited high adsorption (57.56 mg/g: Cu-EDTA; 120.6 mg/g: Pb-EDTA; and Ni-EDTA: 54.27 mg/g) inside Zirconium based UiO-66 (UiO-66(Zr)). The study further revealed that size-matching EDTA-metal complexes within the UiO-66(Zr) framework would promote fast adsorption kinetics and better selectivity for different M-EDTA complexes (7).

The results presented above are rather interesting for MOFs. Nevertheless, in some cases, other materials such as biochar show a higher capacity, especially for  $\text{Pb}^{2+}$ . There is no agreement on which material should be used for any remediation. However, adsorptive capacity largely depends on the concentration of sorbents and pollutants, among other factors. For example, in 2018, Son et al. utilized marine algal biomass to produce biochar to remove HMs from aqueous solutions. As a result, the maximum adsorptive capacities of 69.37 mg/g and 23.16 mg/g were reported for  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Cd}^{2+}$ , respectively (8) it is difficult to separate and reuse after adsorption when applied to wastewater treatment process. To overcome these drawbacks, we developed an engineered magnetic biochar by pyrolyzing waste marine macro-algae as a feedstock, and we doped iron oxide particles (e.g., magnetite, maghemite). In another study, Wang et al. employed a modified corn straw-derived biochar targeting  $\text{Pb}^{2+}$  and  $\text{Hg}^{2+}$  with maximum adsorption capacity reaching approximately 150 mg/g. Therefore, MOFs are as effective as other materials and show better adsorptive capacities in some cases in the remediation of HMs-contaminated media.

This short review has described the applications of MOFs in HMs-contaminated media as well as their advantages and corresponding adsorptive capacities. Although the design and optimization of MOFs have reached the advanced stage, some associated drawbacks are still yet to be addressed. It was shown that the composition of MOFs with different materials presents different opportunities to address many shortcomings associated with pristine MOFs. Also, magnetic composites could potentially aid the separation of the MOFs in the soil matrix, and this method has never been documented.

*The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation (Project No. 22-76-10054) at the Southern Federal University.*

## REFERENCES

1. Li Z., Wang L., Qin L., Lai C., Wang Z., Zhou M., et al. Recent advances in the application of water-stable metal-organic frameworks: Adsorption and photocatalytic reduction of heavy metal in water // *Chemosphere* [Internet]. 2021. Vol. 285 (July). P. 131432. URL: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131432>
2. Zhang S., Wang J., Zhang Y., Ma J., Huang L., Yu S., et al. Applications of water-stable metal-organic frameworks in the removal of water pollutants: A review // *Environ Pollut.* [Internet]. 2021 Dec.; Vol. 291 (August). P. 118076. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118076>
3. Liu S., Lai C., Liu X., Li B., Zhang C., Qin L., et al. Metal-organic frameworks and their derivatives as signal amplification elements for electrochemical sensing // *Coord Chem. Rev.* 2020. Vol. 424. P. 213520.
4. Fateeva A., Clarisse J., Pilet G., Grenèche J.M., Nouar F., Abeykoon B.K., et al. Iron and porphyrin metal-organic frameworks: Insight into structural diversity, stability, and porosity // *Cryst. Growth Des.* 2015. Vol. 15 (4). P. 1819–26.
5. Zhang Y., Xie Z., Wang Z., Feng X., Wang Y., Wu A. Unveiling the adsorption mechanism of zeolitic imidazolate framework-8 with high efficiency for removal of copper ions from aqueous solutions // *Dalt. Trans.* 2016. Vol. 45. Iss. 32. P. 12653–60.
6. Tahmasebi E., Masoomi M.Y., Yamini Y., Morsali A. Application of mechanosynthesized azine-decorated zinc(II) metal-organic frameworks for highly efficient removal and extraction of some heavy-metal ions from aqueous samples: A comparative study // *Inorg. Chem.* 2015. Vol. 54 (2). P. 425–33.
7. Lou X., Wu Y.N., Kabtamu D.M., Matovic L., Zhang Y., Sun X., et al. Exploring UiO-66(Zr) frameworks as nanotraps for highly efficient removal of EDTA-complexed heavy metals from water // *J. Environ Chem. Eng.* 2021. No. 9 (1).
8. Son E.B., Poo K.M., Chang J.S., Chae K.J. Heavy metal removal from aqueous solutions using engineered magnetic biochars derived from waste marine macro-algal biomass // *Sci Total Environ.* 2018. Vol. 615. P. 161–8.
9. Wang T., Sun H., Ren X., Li B., Mao H. Adsorption of heavy metals from aqueous solution by UV-mutant *Bacillus subtilis* loaded on biochars derived from different stock materials // *Ecotoxicol Environ Saf.* 2018. Vol. 148 (November 2017). P. 285–92.



## COLLECTION AND TESTING OF FISH EYE COMPOUNDS TO ARREST EARLY CELL DIVISION IN FISH AND MUSSEL EGGS

*N.G. Zhuravleva*

---

*Murmansk Marine Biological Institute RAS, Murmansk, Russia  
NonnaZh@yandex.ru*

Fish eyes as by-products of fish and aquaculture industry may have characteristics that can be utilized in treatments of animal and human diseases. In this article, as an attempt to develop a model for further testing, we did preliminary tests on the effects on cell division in fish eggs and mussel eggs using fish eye ingredients. Due to the nature of their work, fishermen easily develop wounds on their hands during work at sea. A well-known remedy for the treatment of such wounds was the eye of *Sebastes marinus* that was squeezed and smeared on the wounds. The healing process of the wound was accelerated, and it terminated quickly. This is a well-known story amongst fishermen in Norway. Nevertheless, there are no scientific work in this field that confirm these and other possible effects of fish eyes and fish eye compounds on human and animal health. The epithelium of the fish eye lens covers its frontal semisphere and is made of a monostratal flat layer of cells. Its main functions are trophic and protective. Epithelial cells on the frontal surface of the lens are flattened and closely attached to each other. Here, practically, there are no mitotic cell divisions. The epithelial reproductive (generative) zone is located between frontal and backward (posterior) semispheres of the lens where the lens fibers are continuously generated. The epithelial cells in this zone are smaller in size, have enhanced mitotic activity and acquire a prismatic form. Fibers of cortex lens have nucleus.

Eyes were collected from two very common marine species, *S. marinus* and *Gadus morhua*. The eyes were carefully dissected from the head of the fishes. Thereafter, we dissected the lens from the rest of the eyes. In the further work we used the whole lens, and also the central zone of the lens where there are no mitoses. For an experimental model we selected fish eggs and mussel eggs that are easily obtained from aquaria of fish/mussel in culture. The cell division of newly fertilized fish eggs of many fish and mussel species are easy to follow under a dissecting microscope during the first cell divisions. We used newly fertilized eggs of cichlidae, *Archocentrus nigrofasciatum* (Cichlasoma), and mussel, *Asolene spixi*. During the work we discovered that the shell of mussels eggs was covered with a thick layer of mucus. We tried to release the eggs from the mucosa, but this was a very difficult task. In a future study we need to find a way to get the mucus separated

from the egg shell, or select another species as a model, e.g. eggs of blue mussels, *Mytilus edulis* and/or sea urchins, *Strongylocentrotus droebachiensis*.

Eyes of fish (*G. morhua* and *S. marinus*) were sampled from wild caught fish, at a fishery survey, and frozen at minus 20 °C, and kept at this temperature until used in further experiments. Later on, the lenses were dissected from the eyes and dried before being added to the developing eggs. The effect on cell division of fish and mussel eggs were tested at early cell division, i.e. at 2, 4, 8, and 16 cell stages. Three to five lenses were placed in the vessel with a water volume of 100 ml for one hour. Thereafter, developed fish and mussel eggs were added to the vessel. The exposure of lens of fish eyes to developing fish and mussel eggs were terminated after –3 hours of the experiment. Temperature of water in aquarium and in the vessel was 20 °C.

The soluble fractions of the lens of cod *G. morhua* and *S. marinus* can inhibit mitotic activity cells division of fish and mussel eggs. The cell division in eggs of *Archocentrus nigrofasciatum* (Cichlasoma) stopped in 48 % of the cases. The cell division in eggs of mussels, *Asolene spixi* stopped in 10% of the cases. We suggest that there are antimitotic substances in the epithelial zone (that has no mitosis) and as in cortex, which has fibers with nucleus. Our data is consistent with data of other authors, that have shown earlier that properties of the soluble fractions of the lens of freshwater fishes eyes are able to suppress mitotic activity in the generative zones of the lens of freshwater fish eyes and other species of lower vertebrates (for example, common frogs). Further, it has been shown earlier that there may be a suppression of mitotic activity in the epithelium of the lens in amphibians. This has also been shown in experiments where fish eyes lenses have been implanted in the anterior chamber of the eye of common frogs *Rana temporaria*. The soluble fractions of the lens of cod *G. morhua* and *S. marinus* can inhibit mitotic activity cells division of fish and mussel eggs. Inhibition of mitotic activity in tissues with increased proliferative activity can find application in medicine (suppression of cell divisions in malignant tumors). It gives the opportunity to use the lenses of fish as valuable biological material.

In future work and studies, we need to use more appropriate model objects such as development eggs of *Strongylocentrotus droebachiensis* and *Mytilus edulis*. To confirm our preliminary, but promising results, we will do experiments with lenses of cod and salmon eyes implantation under the skin of the fish, to see if it is possible to stop the mitoses in the cambial layer of the skin. Further, when large scale production will be launched, an automated system for collecting fish eyes has to be developed and implemented at fish industry sites: for example, it may be possible to use equipment similar to the device used for extruding stones from cherries.

---

## Секция 7

### БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИНВАЗИИ КАК ГЛОБАЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА

---

#### НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ, СВЯЗАННЫЕ С РАСПРОСТРАНЕНИЕМ БИОЛОГИЧЕСКИХ ИНВАЗИЙ

***В.И. Акселевич<sup>1</sup>, А.Р. Иошина<sup>2</sup>, Г.И. Мазуров<sup>3</sup>***

---

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский университет технологий управления и экономики,  
г. Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup>*Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия*

<sup>3</sup>*Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, г. Санкт-Петербург, Россия  
vaksster@gmail.ru; aioshpa@sfedu.ru; nanmaz@rambler.ru*

Активное передвижение людей и товаров после Второй мировой войны, активная мобильность человека в XXI в., развитие свободной всемирной торговли, а также антропогенное влияние на климат привели к экологической дезинтеграции.

Сейчас на территории России распространен 171 вид беспозвоночных (из них 68 видов относятся к понто-каспийским) и 103 вида рыб (26 видов принадлежат к понто-каспийским) [Алимов, Орлова, 2007].

Примерами инвазивных видов могут служить: среди насекомых – колорадский жук, американская белая бабочка; среди рыб – нильский окунь; среди земноводных – коки на Гавайских островах (США); среди растений – амброзия, борщевик Сосновского и клен ясенелистный в Европе. В Московской области при осуществлении космической съемки со спутника Sentinel-2 в июле 2021 г. и июле 2017 г. получены данные о распространении борщевика Сосновского. За 5 лет площадь, покрытая борщевиком, выросла с 1,8 до 11 га, то есть в 1,1 раза [ИКИ РАН, 2022].

Биологические инвазии вышли за пределы своего естественного диапазона среды обитания [Ижевский, Масляков, 2008; Mack, Simberloff, 2000]. Ареалы распространения инвазивных видов охватывают практически большую часть территории России. Адвентивные виды затрагивают экологическое коэволюционное единство экосистем, создавая при этом серьезную угрозу для местной биологической вари-

тивности, функционирования экосистемы, сельского хозяйства и здравоохранения [Rodda, Sawai, 1999].

Экономический ущерб от инвазионных объектов огромен. В результате инвазии заносных видов США теряют 137 млрд, Индия – 117 млрд, а Бразилия – 50 млрд долл. [Тишков, 2005]. По другим данным [Pimentel, McNair, 2001, Есипенко, 2012], урон, наносимый биологическими инвазиями в США, оценивается в 97 млрд долл. (табл. 1).

**Таблица 1.** Урон, наносимый во всем мире инвазионными видами растений, млн долл (по: [Pimentel, McNair, 2001])

Сорняки	Прямой ущерб	Средства для контроля инвазии	Общие потери
водоемов	10	100	110
полей	23 400	3000	26 400
пастбищ	1	5	6
газонов и садов	данных нет	1500	1500
<b>ИТОГО</b>	<b>23 411</b>	<b>4605</b>	<b>28 016</b>

По сведениям [Ижевский, 1994], на территории бывшего СССР обосновалось более 100 инородных видов растительных насекомых. К 2012 г., по данным карантинной инспекции, было выявлено 75 вредителей, возбудителей болезней растений, сорняков, имеющих карантинное значение для РФ. Число случаев экологических проблем, вызванных инвазиями, постоянно растет. Уже известны классические примеры биологических инвазий на Юге России: сорняки – рода амброзия, борщевик Сосновского, горчак ползучий, повилика; насекомые – картофельный колорадский жук, американская белая бабочка, непарный шелкопряд, картофельная моль, калифорнийская щитовка, филлоксеры. Все эти виды ежегодно увеличивают свой ареал и угрожают экологической безопасности страны. К примеру, в 2002 г. площадь, занятая в России опасным вредителем картофеля – колорадским жуком, увеличилась более чем в 12 190 раз, достигнув 3 млн га, а занятая американской белой бабочкой возросла в 832 раза [Ижевский, 2002].

Вместе с тем на территории Юга России появляются новые инвазионные виды: каштановая минирующая моль (моль пестрянка каштановая), платановая кружевница, цикадка виноградная японская, огневка рисовая желтая, томатная моль.

По данным филиала «Центр защиты леса Краснодарского края», на территории Северо-Западного Кавказа (Краснодарского края, Республики Адыгея, Ростовской области) в ходе полевых работ в 2010 г. было обнаружено 5 инвазивных видов насекомых: белоакациевая листовая галлица, робиниевая верхнесторонняя мини-

рующая моль, робиниевая нижнесторонняя минирующая моль, цикадка белая (цикадки меткальфа), ильмовый пилильщик зигзад.

В ближайшее время на Юге России ожидается появление ряда опасных вредителей сельского и лесного хозяйства. В 2011 г., 16 августа, в феромонной ловушке, установленной на территории пункта пропуска Матвеев Курган в Ростовской области, сотрудниками ФГБУ «Ростовский референтный центр Россельхознадзора» был обнаружен опасный карантинный вредитель – западный кукурузный жук.

В России фундаментальные и прикладные исследования инвазий начаты недавно и ведутся в небольшом объеме, до сих пор наблюдается слабое информационное обеспечение мониторинга инвазионных видов, пока создано несколько баз данных по всем группам организмов. Для сравнения, в США только по инвазионным растениям создано 34 базы данных [Дгебуадзе, 2002]. С нашей точки зрения, представляет определенный интерес прогноз эволюции инвазий на основе оценок изменения климата.

Для исследования изменения климата был взят Северо-Кавказский регион.

Обзор погодных условий на территории Северного Кавказа в 2017–2021 гг. производился на основе ежегодных обзоров ВНИИГМИ – МЦД. Оценки аномальности климата получены на основе данных гидрометеорологических наблюдений на станциях государственной наблюдательной сети (ГНС) Росгидромета. Для расчета аномалий (отклонений наблюденных значений от «нормы») в качестве «нормы» используются многолетние средние за период 1961–1990 гг. (по рекомендации ВМО) значения метеорологических величин.

Исследование режима атмосферных осадков на территории России проводилось по данным инструментальных наблюдений месячного разрешения, с 1936 по 2021 г., на тех же станциях ГНС России, которые привлекались для анализа температурного режима.

На основании открытой информации ВНИИГМИ – МЦД (табл. 2) осуществлен анализ знаков аномалий температуры и осадков в Северо-Кавказском регионе за 8 лет (2014–2021 гг.) по осредненным данным ежемесячных наблюдений.

**Таблица 2.** Знаки аномалий температуры (Т) и осадков (О) в Северо-Кавказском регионе в 2014–2021 гг.

Годы	МВ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2021	Т	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+
	О	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-		-
2020	Т	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-	+
	О	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-

Продолжение табл. 2

Годы	В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2019	Т	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	+
	О	+	-	+	+	+	-	+	-	+	+	-	-
2018	Т	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
	О	+	+	+	-	-	-	+	+	-	+	+	
2017	Т	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+
	О	-	+	+	-	+	+	-	-	-	+	-	+
2016	Т	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-
	О	+	-	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+
2015	Т	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+
	О			+	+	+	+	-	-	-	+	+	
2014	Т	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	+
	О	+	-	-	-	+	-	-	-	+	+	-	-

В таблице 2 знак «+» соответствует наличию положительной аномалии температуры и превышению количества осадков над нормой в Северо-Кавказском регионе, знак «-» – наличию отрицательного отклонения температуры воздуха у поверхности Земли и соответственно отрицательного отклонения количества осадков от нормы. Таблицы составлялись на основании приведенных в обзорах карт аномалий среднемесячной температуры воздуха на территории РФ в указанные месяцы и годы и ежемесячных карт отношений к норме месячной суммы осадков на территории РФ в те же месяцы и годы.

Незаполненность некоторых ячеек таблицы объясняется отсутствием соответствующих исходных для нашего исследования карт в обзорах. Поэтому не приводится информация об отношении месячных сумм осадков к норме для ноября 2021 г., декабря 2018 г., января, февраля, декабря 2015 г.

Анализ термического режима Северо-Кавказского региона за 2014–2021 гг. показывает, что в 77 % случаев ежемесячные аномалии имеют знак плюс. Если брать по годам, то в 2014 г. 3 месяца наблюдалась отрицательная аномалия температуры, в 2015 – 2, в 2016 – 4, в 2017 – 3, в 2018 – 1, в 2019 – 4, в 2020 – 3, в 2021 – 2.

По отношениям количества осадков к норме в 2014 г. наблюдалось 4 положительных отклонения месячных сумм осадков к 8, в 2015 – 6 к 3, в 2016 – 9 к 3, в 2017 – 6 к 6, в 2018 – 7 к 4, в 2019 – 7 к 5, в 2020 – 4 к 8, в 2021 – 9 к 2. Всего с 2014 по 2021 г. в Северо-Кавказском регионе зафиксировано 52 положительных отклонения месячных сумм осадков к 39 отрицательным, или 57 %.

Таким образом, анализ изменения климата Северного Кавказа с 2014 по 2021 г. показывает, что он становится более теплым и сухим.



### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алимов А.Ф., Орлова М.И.* Биологические инвазии: введение в проблему. 2007. URL: [https://www.zin.ru/conferences/rtable2007/Pdf/doklad\\_Alimov%20et%20Orlova.pdf](https://www.zin.ru/conferences/rtable2007/Pdf/doklad_Alimov%20et%20Orlova.pdf)
2. *Дгебуадзе Ю.Ю.* Проблемы инвазий чужеродных организмов // Экологическая безопасность и инвазии чужеродных организмов. М., 2002. С. 11–14.
3. *Есипенко Л.П.* Биологические инвазии как глобальная экологическая проблема юга России // Юг России: экология, развитие. 2012. № 4. С. 21–24.
4. *Ижевский С.С.* Прогноз появления новых вредителей – основа для планирования интродукции // Защита растений. 1994. № 7. С. 8–9.
5. *Ижевский С.С.* Проникновение чужеземных растительноядных насекомых на территорию России // Защита и карантин растений. 2002. № 1. С. 28–31.
6. *Ижевский С.С., Масляков В.Ю.* Новые инвазии чужеземных насекомых в Европейскую Россию // Российский журнал биологических инвазий. 2008. № 2. С. 34–44.
7. *Тишков А.А.* Биосферные функции природных экосистем России. М.: Наука, 2005, 309 с.
8. Институт космических исследований РАН (ИКИ РАН). 2022 URL: <http://smiswww.iki.rssi.ru/default.aspx?page=894>.
9. *Mack R.N., Simberloff D.* Issues in Ecology. Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control // Ecological Applications. 2000 No. 10 (3). P. 689–710.
10. *Pimentel D., McNair S.* Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions // Agriculture, Ecosystems and Environment. 2001. No. 84. P. 1–20.
11. *Rodda G.H., Sawai Y.* Problemsnake management: the Habu an the brown treesnake. Ithaca: Comstock Publishing Associates, 1999.

**PHYTO-SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES (AGNPS)  
BY *Citrus medica* L. AND THEIR ANTIFUNGAL ACTIVITY  
AGAINST CROP PATHOGENIC FUNGI**

***Sudhir S. Shende*<sup>1</sup>, *Tatiana Minkina*<sup>1</sup>, *Aniket K. Gade*<sup>2</sup>, *Vishnu D. Rajput*<sup>1</sup>,  
*Svetlana N. Sushkova*<sup>1</sup>, *Saglara S. Mandzhieva*<sup>1</sup>, *Mahendra Rai*<sup>3</sup>,  
*Dmitrii Bren*<sup>1</sup>, *Alexander Yakovlenko*<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia*

<sup>2</sup>*Nanobiotechnology Laboratory, Department of Biotechnology,  
Sant Gadge Baba Amravati University, Amravati (MS), India*

<sup>3</sup>*Department of Microbiology, Nicolaus Copernicus University, Torun, Poland  
sudhirshende13884@gmail.com, shende@sfedu.ru*

In the recent years, the crop protection and food security become a very crucial issue in the scientific community and in the society as major crop losses are mostly due to biotic factors, including soil and air-borne phyto-pathogens, and insect pests. The application of nanoparticles (NPs) in agriculture can improve the crop yield. Silver (Ag) NPs have an enormous importance in the various fields such as agriculture, biomedical, and ecological applications because of its antimicrobial potential. In the present study, the synthesis of AgNPs has been carried out from *Citrus medica* L. (Idilimbu) fruit juice. The detection for the AgNPs synthesis was done visually and by UV-Vis spectrophotometric analysis, and characterized by different techniques such as FTIR, NTA, XRD, TEM and SAED pattern, and Zeta potential measurement. UV-Vis spectral analysis showed absorbance at 487 nm. FTIR spectroscopic analysis confirms the presence of acidic groups capping, NTA showed AgNPs of average particle size of 35 nm with concentration of  $2.4 \times 10^{11}$  particles/mL. XRD pattern gives the Miller indices corresponding to the FCC structure of crystalline silver. TEM analysis with SAED pattern showed the presence of spherical AgNPs of size of 20-30 nm range. The zeta potential measurement was found to be  $-23.7$  mV. The antifungal activity was evaluated against crop pathogens viz. *Aspergillus flavus* (MTCC 277), *Alternaria alternata* (MTCC 7202), and *Aspergillus niger* (MTCC 4325), which showed significant activity.

Agriculture is a backbone of world economy and the majority of the global population relies on it for their livelihood. The biological invasions like attacks of insects, pests, soil and air-borne microbial phyto-pathogens are taken into an account as a global ecological problem because it leads to the major crops losses. It is estimated that every year approx-

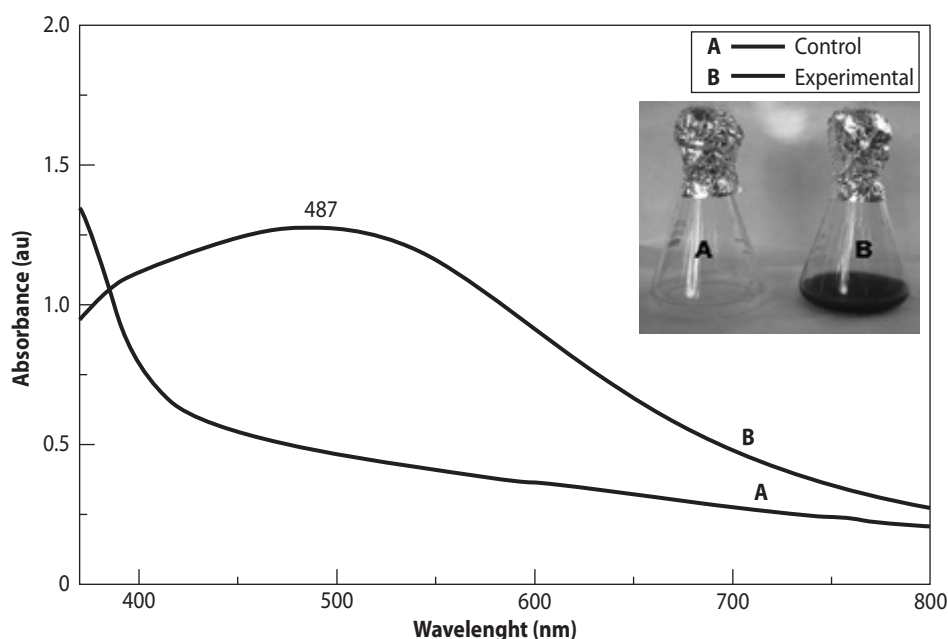
imately one-third of the worldwide plant harvest is lost because of many plant diseases and insect injuries. Besides bacterial and viral pathogens, fungal plant pathogens are the main players that contribute to the severe loss of yield [Bramhanwade et al., 2016]. Nanotechnology seems to be suitable alternative to protect plants from pathogens like bacteria, fungi, and others. Recently, interventions of nanotechnological applications in agriculture sciences have been studied. Nanoparticles (NPs) are been used for the preparation of nanoscale fungicides, fertilizers [Xu et al., 2015], pesticides [Jahagirdar et al., 2020], and plant disease diagnosis [Prasad et al., 2017].

Recent studies demonstrated the use of nanoagroparticles as a valuable alternative against several fungal pathogens. Green synthesis of AgNPs using biological sources as reducing agent is thus extensively implemented as it is cost-effective, easily available, and less toxic with the ease of synthesis and absence of toxic chemical agents [Protima et al., 2015]. Production of NPs using plant extract is rapid compared to bacteria and fungi being eco-friendly, economical, non-toxic and a one-step process [Shakeel et al., 2016].

Considering the above issues, huge loss in yield of crop, there is a need for the development of new fungicidal agent, so in the present research we have synthesized AgNPs using plant extract and evaluated its antifungal potential against the three crop pathogenic fungi viz. *Aspergillus flavus* (MTCC 277), *Alternaria alternata* (MTCC 7202), and *Aspergillus niger* (MTCC 4325).

The acidic fruit juice of *C. medica* L. was extracted at RT by squeezing mature fruits and filtered through muslin cloth. The known volume of AgNO<sub>3</sub> solution (100 mM prepared in sterile distilled water) was added to filtered extract of citron juice. The solution was mixed thoroughly, and kept in the sunlight till the colour change was observed in the precursor solution. The phyto-synthesized AgNPs were characterized by UV-Visible spectrophotometer, Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy, Nanoparticles Tracking and Analysis (NTA) by Nanosight LM 20, X-ray Diffraction (XRD) technique, Transmission Electron Micrograph (TEM) and Selected Area Electron Diffraction (SAED) pattern analysis and zeta potential measurement. The antifungal activity was evaluated by disk diffusion method against the crop pathogens viz. *Aspergillus flavus* (MTCC 277), *Alternaria alternata* (MTCC 7202), and *Aspergillus niger* (MTCC 4325).

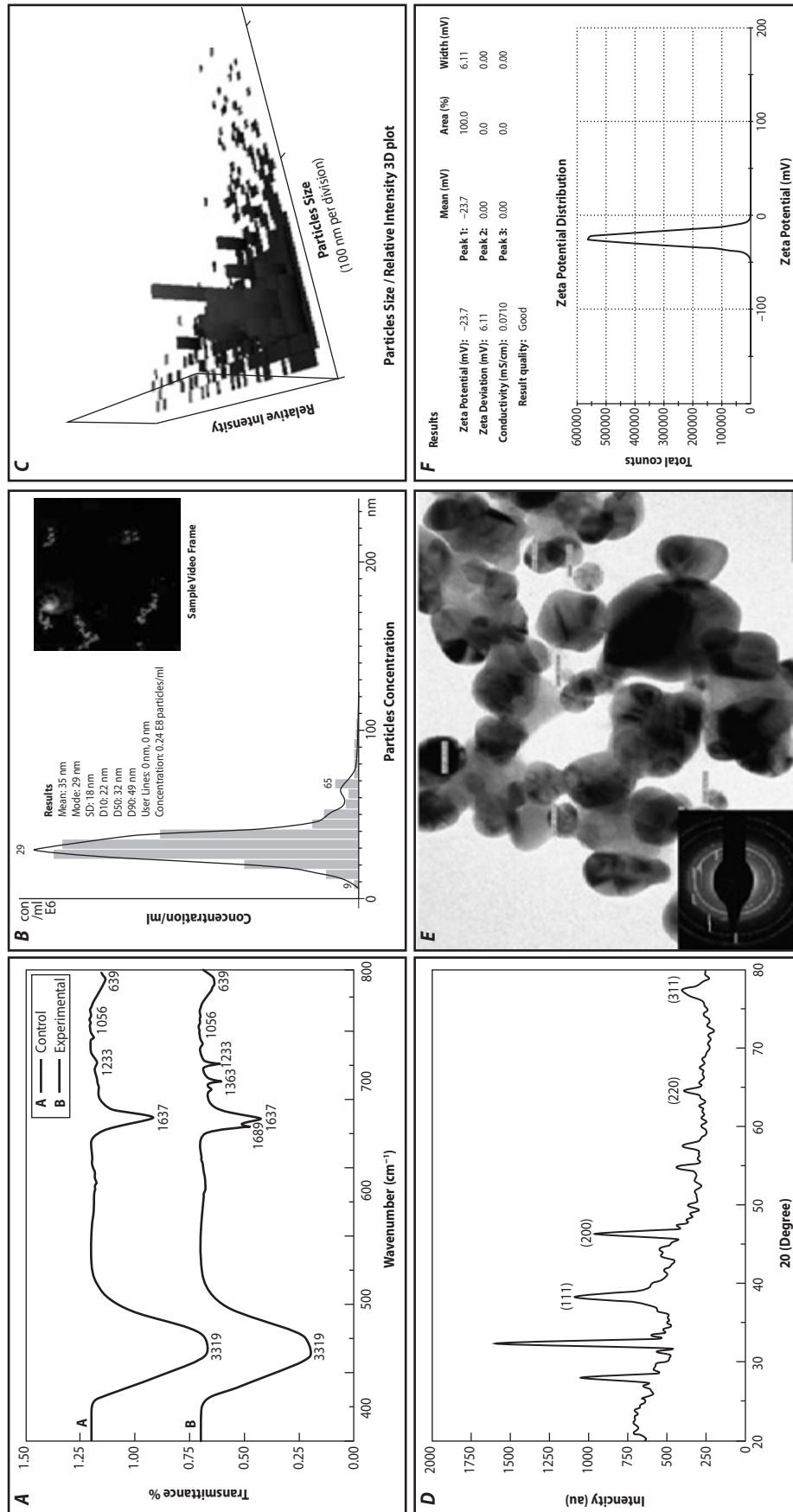
The Phyto-synthesis of AgNPs using fruit juice of *C. medica* L. was found to be effective and rapid. The change in colour of precursor solution from colourless/light-yellow to brown, after addition of aqueous silver ions (1 mM AgNO<sub>3</sub>) indicates the formation of AgNPs (Inset Figs.1a–b). The colour intensity changes the increase in incubation and with the time duration. The previous studies have reported that the change in colour of the filtrate was due to the excitation of Surface Plasmon Resonance (SPR) vibration of AgNPs, which confirmed the reduction of silver ions [Ingle et al., 2008]. The UV-Vis absorption spectral studies were carried out which confirm the formation of AgNPs by recording the absorption peak equivalent to the SPR which was registered at 487 nm broad and asymmetric peak with a red shift (Fig. 1).



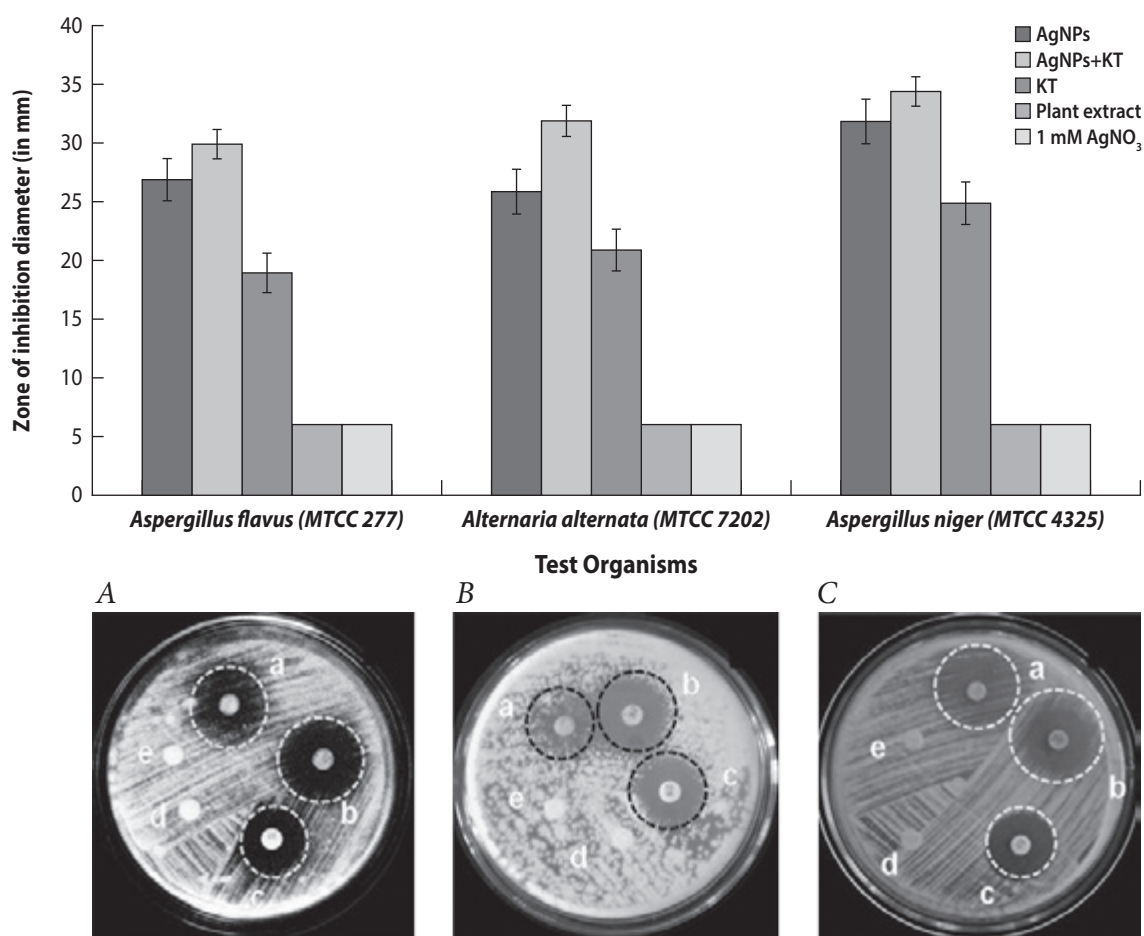
**Fig. 1.** UV-Visible spectroscopic analysis for Phyto-synthesised Silver Nanoparticles (AgNPs) (A) Control (Citron juice); (B) Experimental (citron juice +  $\text{AgNO}_3$ ) [Inset Fig. (A) Control (Citron juice); (B) colour change of citron juice after treatment with 1 mM  $\text{AgNO}_3$ ]

The UV-Vis spectral absorption data confirmed phyto-synthesis of well dispersed AgNPs [Bonde et al., 2012]. The AgNPs were then characterized by FTIR analysis to confirm the presence of biomolecules as capping agent on the NPs, which are supposed to play an important role in its stabilization [Sanghi, Verma, 2009].

Fig. 2A provides evidence that the AgNPs sample and the shifting of bands occurred when compared to their respective control. In fact, the shifting of bands mainly occurs due to the stretch vibration in different functional groups present in the biomolecules of plant like C = C vibration, stretch vibration of C–O–C bond, amide stretch and so on,  $3319\text{ cm}^{-1}$ ,  $1689\text{ cm}^{-1}$ ,  $1637\text{ cm}^{-1}$ ,  $1363\text{ cm}^{-1}$ ,  $1233\text{ cm}^{-1}$ ,  $1056\text{ cm}^{-1}$ , and  $639\text{ cm}^{-1}$ , corresponding with the functional groups of Hydrogen bonded Alcohols, Phenols, Aldehydes, Ketones, Carboxylic acids, Esters, Alkenes, Alkanes, Alcohols, Ethers, Carboxylic acids, Esters, and Aliphatic bromo compounds respectively. The NTA analysis of AgNPs was carried out by Nanosight LM20 which demonstrates the mean size of 35 nm with the concentration of  $2.4 \times 10^{11}$  particles/mL (Figs. 2B and 2C). XRD pattern showed the Miller indices corresponding to the FCC structure of crystalline silver and confirms the AgNPs synthesis (Fig. 2D). The TEM and SAED analysis of AgNPs made to find out the size and topology, demonstrated that the phyto-synthesised AgNPs are polydisperse and mostly spherical in shape. They were found in the range of 20-30 nm with an average size of 24 nm (Fig. 2E). Furthermore, the zeta potential of phyto-synthesised AgNPs was also measured to understand their stability, was found to be  $-23.7\text{ mV}$ . It was proposed that the greater the zeta potential, the greater was the stability of NPs in the colloidal state [Raheman et al., 2011].



**Fig. 2.** Characterization of Phyto-synthesized Silver Nanoparticles (AgNPs) where, (A) FTIR spectrum, (B) NTA Particle size distribution, (C) NTA 3D plot of Particle size/relative intensity, (D) XRD pattern, (E) TEM micrograph and SAED pattern (scale bar 50 nm), (F) Zeta potential measurement



**Fig. 3.** Antifungal activity of Phyto-synthesised Silver Nanoparticles (AgNPs) against (A) *Aspergillus flavus* (MTCC 277), (B) *Alternaria alternata* (MTCC 7202), (C) *Aspergillus niger* (MTCC 4325) [where (a) AgNPs, (b) AgNPs + Ketoconazole (KT), (c) KT, (d) plant extract, (e) 1 mM AgNO<sub>3</sub>]

The antifungal activity evaluation by disk diffusion method showed the significant activity against the tested crop pathogens in the order of *Aspergillus niger* (MTCC 4325) > *Alternaria alternata* (MTCC 7202) > *Aspergillus flavus* (MTCC 277) (Fig. 3).

It can be concluded that the fruit juice of *Citrus medica* L. has ability to fabricate the AgNPs in very easy, cost effective, rapid, and eco-friendly way. These phyto-synthesised AgNPs were also found to be inhibitory to other pathogens tested in this study with significant antifungal activity. Overall, *Aspergillus niger* (MTCC 4325) was found to be the most sensitive fungal pathogen to phyto-synthesised AgNPs as compared to other tested fungal pathogens viz. *Aspergillus flavus* (MTCC 277), and *Alternaria alternata* (MTCC 7202). Moreover, the comparative study between the efficacy of commercial antifungal agents (Ketoconazole) and AgNPs confirmed that the latter were most efficient than the commercially available antifungal agents for the test fungi, and hence could be used as Nanoantimicrobials. This is a novel approach and can be further modified for large scale synthesis of AgNPs to extend nano-products for sustainable developments.



*The research was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the state task in the field of scientific activity (No. 0852-2020-0029).*

## REFERENCES

1. Bonde S.R., et al. *Murraya koenigii*-mediated synthesis of silver nanoparticles and its activity against three human pathogenic bacteria // *Nanosci. Methods*. 2012. No. 1 (1). P. 25–36.
2. Bramhanwade K., et al. Fungicidal activity of Cu nanoparticles against *Fusarium* causing crop diseases // *Environ. Chem. Lett.* 2016. No. 14. P. 229–35.
3. Ingle A.P., et al. 2008. Mycosynthesis of silver nanoparticles using the fungus *Fusarium acuminatum* and its activity against some human pathogenic bacteria // *Curr. Nanosci.* 2008. No. 4. P. 141–44.
4. Jahagirdar A.S., et al. Bioinspired synthesis of copper nanoparticles and its efficacy on seed viability and seedling growth in mungbean (*Vigna radiata* L.) // *Curr. Nanosci.* 2020. Vol. 16. No. 2. P. 246–52.
5. Prasad R., et al. 2017. Nanotechnology in sustainable agriculture: Recent developments, challenges, and perspectives // *Front Microbiol.* 2017. No. 8. P. 1014.
6. Protima R., et al. A Review on the green synthesis of Silver Nanoparticles and their morphologies studied via TEM // *Adv. Mater. Sci. Engine.* 2015. URL: <https://doi.org/10.1155/2015/682749>.
7. Raheman F., et al. Silver nanoparticles: novel antimicrobial agent synthesized from an endophytic fungus *Pestalotia* sp. isolated from leaves of *Syzygium cumini* (L.) // *Nano Biomed. Eng.* 2011. No. 3. P. 174–178.
8. Sanghi R., Verma P. Biomimetic synthesis and characterisation of protein capped silver nanoparticles // *Bioresour. Technol.* 2009. No. 100. P. 501–504.
9. Shakeel A., et al. A review on plants extract mediated synthesis of silver nanoparticles for antimicrobial applications: A green expertise // *J. Adv. Res.* 2016. Vol. 7. No. 2. P. 17–28.
10. Xu C., et al. Distinctive effects of TiO<sub>2</sub> and CuO nanoparticles on soil microbes and their community structures in flooded paddy soil // *Soil. Biol. Biochem.* 2015. No. 86. P. 24–33.

---

## Секция 8

# ВЛИЯНИЕ ВОДНОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ НА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКУЮ СФЕРУ

---

## ВЛИЯНИЕ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ СИТУАЦИЮ В АКВАТОРИИ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ

*С.В. Бадина*

---

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
НИИ геоэкологии Севера; Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова,  
г. Москва, Россия  
bad412@yandex.ru*

Функционирование Северного морского пути является неотъемлемым условием для обеспечения надежной и безопасной перевозки грузов и товаров в рамках северного завоза для людей, живущих в районах Крайнего Севера, а также для реализации инвестиционных проектов в Арктической зоне России. При этом он полностью расположен в территориальных водах и исключительной экономической зоне России, что особенно важно в текущих условиях внешнего санкционного давления, когда нарушаются логистические цепочки поставок продукции. Реализация крупных нефтегазовых проектов позволила существенным образом интенсифицировать судоходство в акватории Северного морского пути в последние годы. Объемы перевозок по Северному морскому пути за последние 10 лет выросли более чем на порядок: с 3,1 млн т в 2011 г. до 34,85 млн тонн в 2021 г.

Принятый в августе 2022 г. обновленный план развития Северного морского пути на период до 2035 года утвердил новое финансирование инфраструктурного развития территории, а также ключевые мероприятия в сфере развития грузовой базы, которые должны обеспечить целевой показатель грузопотока к 2035 г. в размере 220 млн тонн. Особое внимание уделено обеспечению экологической безопасности судоходства, в частности запланировано создание системы государственного экологического мониторинга в акватории Северного морского пути. В этом кон-

тексте первостепенно определить ключевые факторы воздействия экономической деятельности на экосистемы данной территории.

К ключевым видам экономической деятельности, оказывающим негативное влияние на экологическую ситуацию на территории, прилегающей к акватории Северного морского пути, а также непосредственно на морские экосистемы, можно отнести добычу полезных ископаемых, строительство и туризм.

**Строительство** на рассматриваемой территории осуществляется, прежде всего, в рамках реализации масштабных инфраструктурных проектов. Оно преимущественно связано с созданием объектов транспортной инфраструктуры (автомобильных и железных дорог, трубопроводов, аэропортов, морских и речных портов), энергетической инфраструктуры (ЛЭП, электростанций и подстанций), вспомогательных зданий (в том числе жилых) и сооружений на объектах добывающей промышленности.

К крупнейшим ареалам интенсивной строительной деятельности на побережье Северного морского пути можно отнести территории, представленные в таблице 1 [Бадина, 2021].

**Таблица 1.** Ключевые ареалы строительной деятельности на побережье Северного морского пути

Территория	Объекты
Побережье Обской губы (Ямало-Ненецкий автономный округ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• освоение новых кустовых площадок и бурение новых эксплуатационных скважин на крупнейших месторождениях углеводородного сырья;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• реконструкция морского канала в порту Сабетта, строительство завода для производства, хранения и отгрузки СПГ и СГК и терминала «Утренний» в рамках проекта «Арктик СПГ-2»;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• строительство социальной и дорожной инфраструктуры в крупнейших населенных пунктах региона</li> </ul>
Чукотский автономный округ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• в конце 2021 г. завершен первый этап реконструкции порта Певек, в настоящее время продолжаются работы по строительству нового терминала;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• завершается реконструкция Чаунской ТЭЦ</li> </ul>
Красноярский край	<ul style="list-style-type: none"> <li>• строительство угольного и нефтяного терминалов в порту Диксон;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• строительство новых добывающих мощностей шахты «Заполярная» и ее модернизация в Норильском промышленном районе</li> </ul>
Якутия	<ul style="list-style-type: none"> <li>• реконструкция аэропорта Черский, Депутатский, Саскылах, Усть-Куйга.</li> </ul>

К ключевым факторам воздействия *строительства* на экосистемы рассматриваемой территории следует отнести искусственное растепление многолетней мерзлоты, перемещение грунта (в том числе при дноуглубительных работах в акваториях рек и морей), загрязнение окружающей среды строительным мусором и сточными водами, шумовое загрязнение, изъятие и трансформация ареалов местообитаний, взрывы, чрезмерный расход пресной воды и электроэнергии, применение экологически небезопасных материалов, риск возникновения пожаров, активации опасных геологических процессов и пр.

*Добыча полезных ископаемых* является отраслью специализации рассматриваемой территории. В Ямало-Ненецком автономном округе в 2021 г. было добыто более 617 млрд м<sup>3</sup> природного газа (порядка 80 % от общероссийского объема добычи), 36,1 млн т нефти. В рамках проекта «Ямал СПГ» функционируют четыре линии мощностью 5,5 млн т каждая. В 2020 г. было произведено 18,6 млн т СПГ и около 1 млн т конденсата. Под этот проект зафрахтованы 15 газозовов класса Arc7 суммарным дедевейтом примерно 1 452 тыс. т. Газовый конденсат вывозится с Сабетты танкерами дедевейтом 20–50 тыс. т.

В Норильском промышленном районе по итогам 2021 г. было произведено 315,5 тыс. т меди, 1058 тыс. тр. ун. палладия, 271 тыс. тр. ун. платины, на Кольской ГМК из привезенного из Норильска сырья было произведено 145,8 тыс. т никеля. На Талнахском и Норильском рудных узлах добывается ежегодно свыше 18 млн т руды. На месторождениях Ванкорского кластера в Красноярском крае в 2020 г. было добыто свыше 20 млн т нефти и газового конденсата.

В Чукотском автономном округе ведется добыча золота и серебра (порядка 10 % общероссийской добычи), а также угля (в том числе, с 2018 г., на экспорт). В последнее десятилетие добыча нефти и газа, ориентированная на внутреннее потребление, также начала играть существенную роль в региональной экономике (добыто порядка 70 млн м<sup>3</sup> газа в 2020 г.).

В арктических муниципальных районах Республики Саха (Якутии) в настоящий момент ведется добыча алмазов, золота, серебра и олова, множество перспектив связаны с освоением новых месторождений при условии благоприятной конъюнктуры и снятия инфраструктурных ограничений [Кузнецова и др., 2020].

К ключевым факторам воздействия *добывающей промышленности* на экосистемы можно отнести изъятие и нарушение местообитаний, гибель флоры и фауны, формирование отвалов, шумовое загрязнение при проведении взрывных работ, загрязнение атмосферы и гидросферы, почв токсичными веществами, пылегазовые выбросы в атмосферу от предприятий угольной отрасли (в том числе – при транспортировке), искусственное отепляющее влияние на мерзлотные экосистемы, изменение водного режима территории (подтопление или иссушение при бурении скважин и разработке карьеров), растепляющее действие на многолетнюю мерзлоту (активация термоабразии и пр.), загрязнение грунтовых и сточных вод, нарушение

земель традиционного природопользования коренных малочисленных районов Севера, аварийные разливы нефтепродуктов и пр.

Рабочая группа по устойчивому развитию (SDWG) в модели устойчивого развития для Арктики обозначает **арктический туризм** как «туризм, сводящий к минимуму свое воздействие на окружающую среду и максимизирующий социально-культурные, экологические и экономические выгоды для жителей Арктики» [SDWG ... 2006]. Основными направлениями арктического туризма являются организация арктических круизов, вертолетных и самолетных экскурсий, экстремальных походов (на парашютах, лыжах, санях, вездеходах), туристических маршрутов в национальных парках и заповедниках (экологический туризм), этнокультурный, событийный и паломнический туризм. Развиваются спортивная охота, рыболовство, гонки на оленьих упряжках, дайвинг, полеты на воздушных шарах и др. Главными объектами туризма, включающего в себя наблюдение и фотографирование животных, в морях и на побережье являются морские млекопитающие и морские колониальные птицы. При этом основными лимитирующими факторами являются отсутствие развитой туристической, транспортной и социальной инфраструктуры (ограниченный доступ к объектам здравоохранения и неотложной помощи) в районах, прилегающих к акватории Северного морского пути, фактическое отсутствие специализированного флота, недостаточно высокое качество туристического сервиса и др. Высокие риски и неопределенность, связанные с туристической деятельностью в Арктике при высоких затратах на организацию туров, выраженная сезонность и пр. не позволяют туроператорам быть уверенным в гарантированной прибыли и окупаемости частных инвестиций.

В «Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» для каждого рассматриваемого региона предусмотрена реализация его туристического потенциала посредством ряда мероприятий (табл. 2).

**Таблица 2.** Ключевые мероприятия по развитию туристического потенциала рассматриваемых регионов

Регион	Мероприятия
Чукотский АО	Развитие круизного арктического туризма и формирование этноэкологических туристических кластеров на территориях г. Анадыря, г. Певека и пос. Провидения
Ямало-Ненецкий АО	Формирование туристического кластера на основе агломерации, включающей в себя г. Салехард, г. Лабытнанги и пос. Харп

Продолжение табл. 2

Регион	Мероприятия
Якутия	Создание современных объектов инфраструктуры хранения и изучения палеонтологических находок для реализации проекта «Всемирный центр мамонта»; развитие научного, культурно-этнографического и экспедиционного туристического кластера
Красноярский край	Развитие туристско-рекреационного кластера на территории Таймырского Долгано-Ненецкого муниципального района, г. Норильска и г. Дудинки. Круизы по Енисею

По данным Федерального агентства по туризму, в целом по Арктической зоне Российской Федерации с 2009 по 2019 г. туристический поток вырос более чем в 1,6 раз с 725 тыс. до 1172 тыс. человек в год. Однако эти данные не совсем репрезентативны, поскольку в России в качестве туристов учитываются люди, приезжающие работать в Арктику вахтовым методом, что существенным образом искажает реальное число туристов. Основной турпоток (не считая вахтовиков) приходится на Европейский сектор Российской Арктики. В 2019 г. доля иностранных граждан в туристическом потоке в российской Арктике составила 5,8 % (68 тыс. чел.).

Районы Российской Арктики достаточно активно используются крупными иностранными компаниями, занимающимися организацией круизного туризма. Российские туристические компании предлагают маршрут от Анадыри до Мурманска. В Федеральной целевой программе «Развитие внутреннего и въездного туризма (2019–2025 годы)» именно круизные путешествия обозначены основным направлением развития туризма в Арктике.

К ключевым негативным факторам воздействия *туристической деятельности* на экологическую ситуацию на рассматриваемой территории можно отнести сброс бытовых отходов и теплых сточных вод (в том числе привлечение и прикармливание диких животных, из-за чего в их организм попадают пластик и вредные вещества), шумовое загрязнение, влияние на жизнедеятельность арктических сообществ, нарушение мест обитания и др.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-77-00047.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бадина С.В.* Уязвимость объектов береговой инфраструктуры, прилегающей к акватории Северного морского пути, к природным опасностям // *Морские*



- исследования и образование (MARESEDU-2021): труды X Междунар. науч.-практ. конф. Т. 3. 2021. С. 286–290.
2. Кузнецова О.В., Бадина С.В., Михайлов А.А., Бобровский Р.О. Тенденции развития и модернизация промышленности регионов России. Итоги III квартала 2020 г. // Тенденции развития и модернизация промышленности регионов России. Т. 1. М.: НИО РЭУ им. Г.В. Плеханова, 2020. 18 с.
  3. SDWG. Final Report – Sustainable Model for Arctic Regional Tourism (SMART). Rovaniemi, Finland, 2006. URL: <https://oaarchive.arctic-council.org/handle/11374/33> (дата обращения: 15.07.2022).

## ВЕСОВЫЕ МАТРИЦЫ В МОДЕЛЯХ ОЦЕНКИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЭФФЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В РОССИЙСКИХ РЕГИОНАХ

*О.Ю. Патракеева, В.В. Кулыгин*

---

*Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия  
olgapatrakeyeva@yandex.ru*

В настоящее время снятие инфраструктурных ограничений экономического роста для регионов и отраслей экономики является важнейшим приоритетом для Российской Федерации. В Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года [Комплексный план модернизации ... 2018] включены 11 федеральных проектов, девять из которых направлены на модернизацию и расширение транспортной инфраструктуры, два – на модернизацию и расширение энергетической инфраструктуры.

В Стратегии пространственного развития России [2019] отмечается, что существующие инфраструктурные ограничения (ограниченная пропускная способность магистральных автомобильных и железных дорог, низкие темпы развития дорожной сети и др.) выступают основными проблемами развития страны. Однако вопрос о связи инфраструктуры с экономическими характеристиками развития не такой однозначный. Существуют эмпирические работы как подтверждающие наличие такой связи, так и ставящие под сомнение ее существование ввиду отсутствия статистически значимых оценок [Коломак, 2011].

Тем не менее необходимость учета потенциальных пространственных эффектов при рассмотрении экономических взаимосвязей между переменными общепризнанна, даже несмотря на то, что большинство экономических моделей по-прежнему игнорируют эти взаимосвязи. Но стандартный эконометрический подход к учету таких эффектов состоит в том, чтобы задать некоторую матрицу пространственных весов ( $W$ ), налагая тем самым структуру пространственной зависимости, которая, как правило, неизвестна. При этом адекватность матрицы  $W$  никак не проверяется и в общем случае может не соответствовать действительности. Последнее может привести к тому, что оценки параметров модели станут смещенными. Подобная ситуация часто складывается при анализе региональных данных, поскольку столичные регионы являются источником многих межрегиональных вторичных эффектов. При этом смещение в оценках коэффициентов модели при выборе невер-

ной взвешивающей матрицы увеличивается по мере усиления пространственного взаимодействия объектов [Семерикова, Демидова, 2015].

Описание «близости» и факта наличия связей между пространственными объектами требует формализации как процедуры определения круга «соседей», так и процедуры придания каждому из них веса в соответствии со степенью интенсивности взаимодействия. Существуют различные способы описания связанности в пространстве. При этом при формировании обеих процедур (выбор «соседей» и определение их пространственных весов) можно не ограничиваться только географическими факторами, но учитывать экономические, хронологические и другие характеристики, например величину торговых потоков между регионами, технологические расстояния, рыночный потенциал, время в пути между регионами и т.д. Однако в связи с отсутствием достаточной статистической информации по межрегиональным экономическим взаимодействиям матрицы пространственных весов обычно отражают только географические аспекты.

Учет географической близости регионов выполняется на основе определения соседства по смежности или расстоянию. Смежными считаются объекты, границы которых имеют общие точки (или общие стороны вдоль границ) – это соседство объектов первого порядка. Иногда имеет смысл рассматривать также смежность второго (соседи соседей) и более высокого порядков. Географическое соседство по расстоянию основано на вычислении расстояний между объектами. Соседними по отношению к каждому объекту считаются или все объекты, удаленные на расстояние не далее некоторого порога (соседство по расстоянию), или ближайшие к нему объекты (соседство по количеству).

Географическое расстояние чаще всего определяется между двумя точками. При рассмотрении регионов в качестве таких точек выступают или центроиды полигонов, ограничивающих регионы, или административные центры, или крупнейшие города. При этом расстояние между точками может определяться или по прямой линии, соединяющей точки (т.е. «по воздуху», игнорируя существующие элементы рельефа и средства коммуникации), или по длине кратчайшего пути вдоль транспортных магистралей (автомобильных, железных дорог и т.д.).

Для регионов России в силу географической специфики часто делают ряд следующих допущений:

- предполагают, что Калининградская область имеет морскую границу с Ленинградской областью по Балтийскому морю [Коломак, 2011; Тимирьянова, 2020];
- Сахалинская область, несмотря на водную преграду, рассматривается как соседняя с Приморским, Хабаровским и Камчатским краями [Тимирьянова, 2020];
- используют нулевое расстояние между Москвой и Московской областью, а также между Санкт-Петербургом и Ленинградской областью [Вакуленко, 2015].

После определения списка соседей необходимо задать их вес. Самый простой случай учета пространственных связей – это бинарная матрица соседей. Элемент  $w_{ij}$  бинар-

ной матрицы равен 1, если регионы с номерами  $i$  и  $j$  являются соседями, и равен 0 в противном случае. При этом получается, что все соседи некоторого объекта имеют равный вес и, следовательно, оказывают равнозначное влияние. Помимо бинарной матрицы весов, также часто используется матрица обратных расстояний, где влияние регионов друг на друга ослабевает с увеличением расстояний между ними, а вес  $w_{ij} = 1/d_{ij}$ , где  $d_{ij}$  – расстояние между регионами с номерами  $i$  и  $j$ . То есть в матрице такого типа учитывается тот факт, что один и тот же пространственный объект может оказывать неодинаковое влияние на соседей. Рассматриваются также матрицы обратных расстояний, где  $d_{ij}$  возведена в некоторую степень (обычно во вторую степень).

После построения матрица пространственных весов  $W$  обычно нормируется по строкам, чтобы сумма элементов в каждой строке стала равна 1.

Следует учитывать, что определение соседства и весовых коэффициентов – это два разных этапа, и методы, применяемые на каждом из них, можно комбинировать. Так, можно выбрать соседей из соображений смежности первого порядка, но веса для них необходимо установить, как квадраты обратных расстояний, или считать соседями регионы, удаленные не более чем на заданное расстояние, и присвоить им равные веса (бинарная матрица).

При всем возможном многообразии способов формирования матрицы пространственных весов наиболее распространенными являются два варианта: матрица граничных соседей (бинарная матрица соседства регионов первого порядка) и матрица обратных расстояний, где учитывается связь региона со всеми остальными регионами, а не только со смежными. Каждая из этих матриц подразумевает различные гипотезы о масштабах распространения влияния локальных изменений некоторой переменной за границы региона [Коломак, 2011]: в первом случае – равнозначное влияние только на граничащие регионы, во втором – распространение на всю область исследования, затухающее при увеличении расстояния. Дополнительно, следует отметить, что поскольку в бинарной матрице влияние соседей учитывается с одинаковыми весами, то использовать такие матрицы целесообразно только для регионов, достаточно однородных по географическим критериям (площадь, расстояния до административного центра) [Балаш, Файзлиев, 2008].

Выбор весовой матрицы для конкретного эмпирического исследования остается одной из основных проблем, поскольку экономическая теория не дает обоснования этого выбора. В связи с этим выбор делается произвольно или используется несколько матриц. Формально это означает, что проверяются разные гипотезы о пространственном взаимодействии.

Одним из способов решения этой проблемы является проверка робастности результатов к выбору матрицы  $W$  [Семерикова, Демидова, 2015; Вакуленко, 2015]. В ходе исследований в рамках одной модели применяются разные матрицы  $W$  и производится анализ чувствительности получаемых результатов. Если они сопоставимы, то можно с большей уверенностью говорить о наличии пространственных эффектов.

По сути, основное ограничение подхода, основанного на использовании  $W$ , заключается в том, что он сводит все пространственные взаимодействия между регионами в единую взвешенную переменную, а не проверяет, какие именно регионы взаимодействуют друг с другом (и силу этих взаимодействий). Снятие этих ограничений возможно в рамках пространственных авторегрессионных моделей, которые в явном виде включают переменные других регионов в уравнение модели, и поэтому позволяют напрямую проверять пространственные связи между парами регионов без необходимости использования пространственных весов. Однако на практике, когда количество регионов велико по сравнению с длиной временного ряда доступных панельных данных, количество «свободных» параметров модели, которые необходимо оценить, оказывается слишком большим, и приходится переходить к стандартным пространственным моделям.

*Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН, № гр. проекта ГЗ 122020100349-6.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балаиш В.А., Файзлиев А.Р. Пространственная корреляция в статистических исследованиях // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. 2008. № 4 (23). С. 122–125.
2. Вакуленко Е.С. Анализ связи между региональными рынками труда в России с использованием модели Оукена // Прикладная эконометрика. 2015. № 40 (4). С. 28–48.
3. Коломак Е.А. Эффективность инфраструктурного капитала в России // Журнал Новой экономической ассоциации. 2011. № 10 (10). С. 74–93.
4. Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года. Утвержден распоряжением Правительства Российской Федерации от 30 сентября 2018 г. № 2101-р URL: <http://static.government.ru/media/files/MUNhgWFddP3UffF9RJASDW9VxP8zwcB4Y.pdf> (дата обращения: 21.09.2019).
5. Семерикова Е.В., Демидова О.А. Анализ региональной безработицы в России и Германии: пространственно-эконометрический подход // Пространственная экономика. 2015. № 2. С. 64–85.
6. Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 февраля 2019 г. № 207-р. URL: <http://static.government.ru/media/files/UVAIqUtT08o60RktoOXl22JjAe7irNxc.pdf> (дата обращения: 21.09.2019).
7. Тимирьянова В.М. Оценка пространственной зависимости объема отгруженной продукции в динамике // Статистика и экономика. 2020. Т. 17. № 5. С. 49–58. DOI: 10.21686/2500-3925-2020-5-49-58.

## ВЛИЯНИЕ ПАРОХОДСТВА «ТОВАРИЩЕСТВО ДИЦМАН» И ЕГО ОСНОВАТЕЛЕЙ НА ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПРИКУБАНСКИХ ПОСЕЛЕНИЙ В НАЧАЛЕ XX в.

*А.П. Скорик<sup>1</sup>, И.М. Федина<sup>2</sup>*

---

<sup>1</sup>*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)  
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия*

<sup>2</sup>*Кубанский государственный университет, г. Краснодар, Россия  
s\_a\_p@mail.ru; ir\_lap@mail.ru*

Крупным региональным транспортным оператором Юга России по водным пассажирским и грузовым перевозкам в начале XX в. являлось пароходство «Товарищество Дицман». К 1914 г. оно вытеснило своих основных конкурентов и практически стало монополистом на рынке оказываемых услуг. Флот судоходной компании на тот момент всего насчитывал 11 пароходов, а уставной капитал составлял 1 млн рублей, и тогда же товарищество преобразуется в акционерное общество «Кубанское пароходство». Вначале его основатель И.Н. Дицман буквально выдавил с рынка компанию «Котельно-судостроительный, чугунолитейный механический завод и пароходство В.В. Петрова», проработавшую десять лет (1903–1913), и скупил ее имущество. В 1915 г. оставил свое «пароходное» дело на Кубани судовладелец А.И. Голубов.

Мы попытались разобраться в предпринимательской траектории, в истории человеческого успеха и окончания дней Ивана Николаевича Дицмана (1872–1943), одного из талантливейших людей своего времени, основателя регионального пароходства.

На 2-м съезде станичных атаманов и сельских хозяев Лабинского отдела Кубанской области 21 февраля 1908 г. атаман Лабинского отдела Кубанской области, исправляющий должность войскового старшины Гавриил Викентьевич Вербицкий констатировал: «С 1861 года начали появляться торговые люди и покупать поместья, но этих людей было мало, а мест много и дешевые. Поэтому мы видим, что лучшие места в станицах (площадь) принадлежат торговцам, которые, не стесняясь, платили и платят посаженную плату, тем более что плата эта неодинакова во всех станицах» [Бардадым, 2009; Журнал ... 1908]. Так, изначально на массовой скупке зерна у кубанских сельхозпроизводителей был основан торговый успех купеческой семьи Дицманов. В региональной хлебной торговле в группу состоя-



тельных лиц также входили А.А. Коваленко, Н.П. Лузинский, Ф.Ф. Морозов, И.И. Яновский.

Откуда же взялись эти самые Дицманы? В 1882 г. из Бессарабской губернии в Екатеринодар прибыли двое из трех братьев, принадлежащих купеческому роду Дицман еврейского происхождения (по другим данным, обрусевшие немцы, фиксировавшиеся также русскими). Негоцианты Николай Иванович и Иосиф Иванович активно занялись скупкой зерна у кубанских сельхозпроизводителей, производством муки на собственных мельницах и последующей ее продажей на региональном рынке. Причем Иосиф Иванович Дицман владел только паровой мельницей и еще создал в Екатеринодаре коммерческое училище. Купец первой гильдии Николай Иванович Дицман организовал многопрофильный крупный бизнес, который охватывал паровую мельницу, маслозавод, пароходство, доходные земли и пр. Уже в 1883 г. Н.И. Дицман открыл в Екатеринодаре свой торговый дом «Дицман Н. с сыновьями». Вскоре представительства и агентства торгового дома появились еще в 15 городах России (Санкт-Петербурге, Ростове-на-Дону, Тифлисе, Витебске и других местах), а мукомольный бизнес и коммерческая деятельность семьи Дицман распространились далеко за пределы исторического региона Кубани, и приобрела поистине общероссийский масштаб. Торговый дом Дицманов целенаправленно увеличивал наступательность своего гешефта и приобрел маслобойные и поташные заводы, в также успешно покупал и сдавал в аренду земли.

Самым талантливым предпринимателем из всего семейства Дицман и самым известным общественным деятелем на Кубани оказался младший сын Николая Ивановича – Иван Николаевич Дицман, окончивший престижную Высшую коммерческую школу Э.Г. Вальденберга в Санкт-Петербурге и сумевший с 1891 г. продолжить купеческие традиции своего отца и придать семейному делу должную современную динамику. Сначала И.Н. Дицман управлял только мельницей и занимался торговлей мукой, затем организовывал с 1900 г. регулярное судоходство по реке Кубани созданного совместно с отцом пароходства «Товарищество Дицман». По тем временам грузовые водные перевозки оказались наиболее дешевым способом доставки зерна, которые пароходство осуществляло во все близлежащие порты Черного и Азовского морей (Ростов-на-Дону, Таганрог, Мариуполь, Керчь, Темрюк, Ахтари). По данным Кубанского статистического комитета, приведенным в книге «Екатеринодар – Краснодар», речная пристань Дицмана в Екатеринодаре перевезла в течение 1912 г. почти миллион пудов грузов и около 35 тыс. пассажиров [Екатеринодар – Краснодар ... 1993].

Пароходство «Товарищество Дицман» считалось крупным поставщиком сельскохозяйственных машин и других товаров в станицу Славянскую и Таманский отдел Кубанской области. Речная пристань Дицмана в станице Славянской с 1901 г. превратилась в важный пункт погрузки и разгрузки разнообразной продукции, а также ее последующей отправки (в другие регионы страны и даже за рубеж),

наряду с торговлей в станичных торговых заведениях поступившими товарами. Согласно ведомости о средне-справочных ценах на хлеб в течение 1892 г. [Кубанская справочная книжка ... 1894], станица Новонижестеблиевская относилась к числу основных хлебных рынков Кубанской области, о чем также сообщали «Кубанские областные ведомости». На окрестных полях местные земледельцы успешно использовали новые технологии, в том числе 195 усовершенствованных плугов и множество другой сельскохозяйственной техники. Торговые операции с зерном осуществляла, начиная с 1906 до 1920 г., одна из контор пароходства «Товарищество Дицман» (директор И.Н. Дицман), располагавшаяся на берегу реки Протока. Пароходная контора также являлась в этот период ключевым региональным оператором водного товаро-пассажирского сообщения и менеджером грузовых перевозок.

Предпринимательская жилка позволила Ивану Николаевичу занять с 1910 г. монопольное положение на региональном рынке грузовых и пассажирских водных перевозок и преобразовать в 1914 г. бывшее товарищество в акционерное общество «Кубанское пароходство». Его основной капитал быстро увеличился до 1 000 000 руб., затем до 1 599 000 рублей. К этому времени на Кубани появились уже привлекательные для пассажиров 2-х палубные колесные пароходы. Признанием заслуг И.Н. Дицмана в развитии судоходства на Юге России стало его приглашение в 1908 г. на XI Международный судоходный конгресс, проходивший в Санкт-Петербурге.

Однако на фоне предпринимательских успехов нельзя не сказать и о неудачах И.Н. Дицмана. Одна из них связана со слободой Кагальник Области войска Донского. В начале XX в. существовало судоходное сообщение Ростов-на-Дону – Азов – Кагальник, ведь в слободе Кагальник находился крупный региональный рынок, и торговый оборот трех ежегодных местных ярмарок превышал 0,5 млн руб. (в основном здесь торговали лошадьми, скотом и рыбой). Тогда в слободе проживало 13 436 человек. Судоходное сообщение решил освоить И.Н. Дицман, поскольку его пароход «Екатеринодар» оказался слишком большим для реки Кубань. В марте 1907 г. пароходство берет в аренду пристань в Ростове-на-Дону, и товарищество запускает пассажирские рейсы, но вот «Екатеринодар», по нашим сведениям, на водном маршруте Ростов – Кагальник так и не появился. Точные причины отказа от эксплуатации парохода «Екатеринодар» на линии Ростов – Азов – Кагальник не известны, но, как мы полагаем, это связано с крупной кражей в ростовском представительстве компании, когда внезапно исчез главный кассир, а вместе с ним куда-то «уплыли» 805 рублей (довольно большая по тем временам сумма), о чем сообщил в ростовскую полицию региональный дилер товарищества Г.А. Шпукктер. Неприятность, конечно же, расстроила И.Н. Дицмана, имевшего огромные планы в регионе.

Построенную в Шотландии и купленную в Таганроге в августе 1910 г. новейшую шхуну «Святой Спиридон» И.Н. Дицман переименовывает в шхуну «Анна Д»

(в честь жены), причем, это двухвинтовое детище технического прогресса с двумя паровыми машинами имело скорость 9 узлов и под российским флагом начало успешные рейсы при грузоподъемности 1312 тонн в Азовском море. Тогда же в Румынии предприниматель приобретает два товаро-пассажирских парохода, и эти судоходные машины оседлали маршрут Ростов – Таганрог – Ейск – Мариуполь – Ахтари – Керчь – Темрюк. Естественно, в Таганроге появилось представительство пароходного «Товарищества Дицмана» со своей арендованной пристанью у промышленника И.Я. Древицкого, которому И.А. Дицман за «тайный гешефтик» уступил свой бизнес в Азовском море летом 1911 г.

В 1909 г. по инициативе купца первой гильдии И.Н. Дицмана в Екатеринодаре открывается товарная биржа и учреждается второе Екатеринодарское общество взаимного кредита. Ивана Николаевича в знак «исключительных, отлично усердных трудов его не только на пользу местной биржевой организации, но и вообще в местной торговле и судоходства» представили к почетному званию коммерции советника [Бардадым, 2009]. С 1916 г. И.Н. Дицман увлекается издательским делом и начинает издавать ежедневную общественно-политическую газету «Кубанский листок», а также печатает газеты «Новый луч» и «Листок войны». В июле 1917 г. он приобретает издательство газеты «(Новый) Кубанский курьер». В 1919–1920 гг. выпускает две книги сборника публицистических и художественных произведений «Накануне».

Крупный кубанский предприниматель И.Н. Дицман многократно участвовал в благотворительных акциях, например, пожертвовал 695 рублей на строительство «Дневногo убежища» для беспризорных детей, оплачивал аренду дома для обездоленных людей, лишившихся имущества в военное лихолетье 1916 г., пожертвовал в 1919 г. 1 млн руб. на излечение больных и раненых в Гражданской войне русских солдат.

Отдельно следует отметить общественную деятельность Ивана Николаевича. В Екатеринодаре горожане оценили его щепетильность в ведении дел и практическую сметку и избирали членом ревизионной комиссии городской думы. По итогам выборов он дважды (в 1901 и 1905 г.) становился гласным (депутатом) городской думы Екатеринодара, а в период с ноября 1907 г. по ноябрь 1912 г. два срока работал городским головой. Он смог привести в порядок расстроеныe городские финансы, обеспечил функционирование ранее запущенного городского хозяйства и, главное, сумел создать слаженную команду настоящих профессионалов-управленцев из членов управы, умеющих ответственно и осмысленно работать на благо всего местного сообщества. Ему также принадлежит нетривиальная идея 3-миллионного займа и связанное с ним заметное увеличение доходов городских предприятий. С его именем ассоциируется прокладка трамвайных линий и организация трамвайных пассажирских перевозок, направление  $\frac{1}{4}$  бюджета городской управы на открытие новых учебных классов в школах. При «мэре» Дицмане традицией стали

благотворительные прогулки по реке Кубань на пароходе «Полезный» с оркестром: сбор средств шел на содержание Дмитриевского двухклассного училища, библиотеки имени протоиерея войска Черноморского К.В. Россинского, 46 постоянных стипендиатов и жалование учителям. А ещё Иван Николаевич на общественных началах состоял членом 10 попечительских советов: 1-й женской гимназии, ремесленной школы, музыкальных классов, Кубанского фотографического общества и др. Будучи разносторонним человеком, коллекционировал живопись, ходатайствовал об открытии художественного училища.

В сложных условиях Гражданской войны по просьбе горожан И.Н. Дицман 14 августа 1918 г. вновь принял на себя всю полноту тяжелейшей ответственности за городские дела, за пришедший при большевиках в полный административный, экономический и моральный упадок Екатеринодар. Дицман добровольно управлял разрушенным городом в течение 14 месяцев, лично бросился на борьбу с эпидемиями тифа и холеры, восстановил снабжение города продовольствием. Не случайно, в адресе, преподнесенном ему при сложении полномочий 8 ноября 1919 г., горожане отметили его исключительные человеческие качества: чуткость к страждущим и обездоленным, простоту и доступность, многогранность личности, – а также общественную деятельность.

На исходе Гражданской войны, на рубеже 1919–1920 гг. вся семья Ивана Николаевича Дицмана под давлением сложившихся обстоятельств эмигрировала водным путем через Новороссийск в Европу. Всё оставшееся в России движимое и недвижимое имущество (мельницы, заводы, пароходство и пр.) советская власть национализировала. О дальнейшей судьбе общественного деятеля, благотворителя, талантливого кубанского предпринимателя, купца 1-й гильдии И.Н. Дицмана известно не много, и достоверно подтверждается лишь его проживание в 1942–1943 гг. в Швейцарии. Где-то там, на чужбине, и закончились дни известного судовладельца на Юге России.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бардадым В.П. Отцы города Екатеринодара. Краснодар, 2009. С. 31–119.
2. Екатеринодар – Краснодар: Два века города в датах, событиях, воспоминаниях (1793–1993): материалы к летописи. Краснодар, 1993. С. 307–308.
3. Журнал 2-го съезда станичных атаманов и сельских хозяев Лабинского отдела Кубанской области 20 и 21 февраля 1908 г. Армавир, 1908.
4. Кубанская справочная книжка за 1894 г. Екатеринодар, 1894. С. 8–9.

---

## СОДЕРЖАНИЕ

---

**Матишов Г.Г.**

Современные климатические изменения и проблемы водных  
транспортных путей (Севморпуть, Волго-Дон – Азовская магистраль)..... 14

**Степаньян О.В.**

Вклад члена-корреспондента РАН Дмитрия Геннадьевича Матишова  
в формирование научной школы океанологов и реализация идеи  
«плавающего университета» на Юге России ..... 22

### Секция 1

#### СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

---

**Барахов А.В., Минкина Т.М., Манджиева С.С., Бауэр Т.В.,  
Северина В.И., Лацынник Е.С., Мелкумян А.Л.**

Изменение группового состава Cd в черноземе обыкновенном  
под влиянием техногенной нагрузки и при использовании  
углеродистого сорбента. .... 29

**Григоренко Т.И., Кочергин Ю.С., Йиги Ву**

Динамические механические свойства  
эпоксидно-тиоколовых композитов. .... 34

**Кочергин Ю.С., Григоренко Т.И., Йиги Ву**

Эпоксидные материалы, модифицированные  
серосодержащими соединениями ..... 40

**Мамедов А.Ш.**

Аварийная ситуация при морской добыче нефти и газа  
как угроза экологической безопасности. .... 46

**Миронюк С.Г.**

Процессы подтопления и интрузии морских вод  
в юго-западной части дельты Кубани (Темрюкский район)  
и оценка тренда их развития. .... 53

**Санин А.Ю.**

К вопросу о необходимости улучшения транспортной доступности  
приморских рекреационных территорий. .... 59

**Чикин А.Л., Клещенко А.В., Чикина Л.Г., Коршун А.М.**

Моделирование колебаний уровня воды в рукавах дельты Дона  
в зависимости от ветровой ситуации в Таганрогском заливе ..... 63

**Секция 2**  
**ПОТЕНЦИАЛ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**В СИСТЕМЕ МЕЖДУНАРОДНЫХ МОРСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ**

---

- Афонин А.Н., Киселева Н.Н.*  
Перспективы развития Северного морского пути  
как международного транспортного коридора. . . . . 68
- Жмур В.В., Белоненко Т.В., Суетин Б.С., Арутюнян Д.А.,  
Новоселова Е.В., Травкин В.С.*  
Передача энергии океана по спектру размеров от мезомасштабных  
к субмезомасштабным при вытягивании мезомасштабных вихрей  
в филаменты: сопутствующие явления. . . . . 73

**Секция 3**  
**ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ И КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЕВРАЗИИ**  
**И ИХ РОЛЬ В РАЗВИТИИ ВОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ**

---

- Бухарицин П.И., Котеньков С.А.*  
Дельта Волги – ворота или калитка в Каспийское море? . . . . . 75
- Магаева А.А., Ящкая Н.А.*  
Влияние ледяного покрова на морехозяйственную деятельность  
Азовского и Каспийского морей. . . . . 81

**Секция 4**  
**ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЙ**  
**МОРСКОЙ И ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ.**  
**СРЕДСТВА, МЕТОДЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОЛОГИИ**

---

- Григоренко К.С., Фролова А.Д., Олейников Е.П., Московец А.Ю.*  
Проявление сейшевых течений в Таганрогском заливе  
по данным ADCP-измерений. . . . . 85
- Елтай А.Г., Ивкина Н.И., Васенина Е.И.,  
Наурызбаева Ж.К., Шишкина Г.М.*  
Прогнозирование гидродинамических процессов  
с использованием модели MIKE ZERO (на примере порта Актау) . . . . . 88
- Ильичёв В.Г.*  
Проблемы геоморфологии водоемов при изменении климата . . . . . 91
- Клещенков А.В., Костюк В.А.*  
К вопросу исследования закономерностей проникновения  
соленых вод в дельту Дона со стороны моря. . . . . 94



<b>Мисиров С.А., Клещенок А.В., Швердяев И.В.</b>	
Сравнительный анализ методов исследования динамики морского края дельты реки Дон .....	98
<b>Устинова Е.И., Филатов В.Н., Чульчечков Д.Н.</b>	
Изменения океанологических условий и их влияние на пространственное перемещение промысловых скоплений сайры, сардины и скумбрии в северо-западной части Тихого океана .....	103
<b>Секция 5</b>	
<b>МОНИТОРИНГ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ И ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРИБРЕЖНЫХ ЗОНАХ. ТРАНСПОРТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ</b>	
—————	
<b>Агаркова-Лях И.В.</b>	
Динамика берегов Каламитского залива а западном побережье Крыма .....	109
<b>Глазырин Е.А.</b>	
Инженерно-геологические осложнения при дноуглубительных работах на Таманском шельфе .....	114
<b>Долгих Г.И., Долгих С.Г.</b>	
Нелинейные гидрофизические возмущения шельфовых областей.....	117
<b>Егоркин А.А.</b>	
Совместное использование спутниковых технологий и компьютерной траекторной модели рассеивания для оценки состояния атмосферы .....	119
<b>Ермолов А.А., Белова Н.Г., Новикова А.В.</b>	
К вопросу об устойчивости арктических берегов в условиях промышленного освоения нефтегазовых месторождений .....	124
<b>Калмыкова О.В., Козлов С.В.</b>	
Идентификация и прослеживание конвективных систем по данным о радиолокационной отражаемости.....	128
<b>Любицкий Ю.В., Кравчук Л.П.</b>	
Причины формирования экстраординарных уровней моря в Никольском (о. Беринга) в 2021–2022 гг. ....	134
<b>Мельник Э.В., Пуха И.С., Орда-Жигулина М.В., Орда-Жигулина Д.В.</b>	
Модуль распределенного хранения данных для систем мониторинга опасных природных явлений в прибрежных зонах.....	139
<b>Огородов С.А.</b>	
Динамика береговых аккумулятивных форм в условиях глобальных климатических изменений и локальных техногенных воздействий: Арктика и Дальний Восток. ....	143

<b>Пелиновский Е.Н., Зайцев А.А., Диденкулова И.И.</b>	
Логнормальная функция распределения высот цунами вдоль побережья . . . . .	150
<b>Петриченко С.А., Калмыкова О.В., Козлов С.В., Кулижникова Л.К.</b>	
Прототип автоматизированной системы прогноза возникновения полярных мезоциклонов в Арктическом регионе России . . . . .	155
<b>Халиева А.А., Яицкая Н.А.</b>	
Краткий обзор методов мониторинга прибрежных территорий с использованием ГИС-технологий . . . . .	161
<b>Хорошев О.А.</b>	
Об экспериментальном научно-просветительском проекте ЮНЦ РАН «Виртуальные (VR 360°) видеоатласы Азовского моря: дорогами береговых экспедиций» . . . . .	166
<b>Цыганкова А.Е., Беспалова Л.А., Ивлиева О.В.</b>	
Берега Азовского моря: от исследований к практике . . . . .	171
<b>Шестопапов В.Л.</b>	
Использование радионавигационной системы ГЛОНАСС в геодинамических исследованиях. . . . .	176
<b>Шмидько Г.А., Шмидько Т.Г.</b>	
Разрушение коммунальной инфраструктуры г. Таганрога под воздействием гидрогеологических процессов. . . . .	180

### Секция 6

## ВОДНЫЕ И НАЗЕМНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

<b>Акименко Ю.В.</b>	
Оценка устойчивости почв Юга России к загрязнению антибиотиками по степени нарушения их экологических функций. . . . .	183
<b>Бауэр Т.В., Минкина Т.М., Федоренко А.Г., Замулина И.В., Старовойтова Н.В.</b>	
Диагностика соединений железа, образующих собственные фазы-носители тяжелых металлов в гидроморфных высоко загрязненных почвах . . . . .	187
<b>Будник А.П., Ластовина Т.А.</b>	
Рациональная переработка биомассы зарастающих водоемов для получения активных углеродных материалов. . . . .	192
<b>Булышева Н.И.</b>	
Особенности формирования сообществ макрообрастания на стальных пластинах в зимний период в устье реки Дон. . . . .	193
<b>Бурачевская М.В., Замулина И.В., Бауэр Т.В., Лобзенко И.П., Волошина М.С., Барахов А.В., Тимофеева А.Г.</b>	
Влияние биочара на гранулометрический и микроагрегатный состав загрязненной цинком почвы . . . . .	197

<b>Вареник А.В., Тарасевич Д.В.</b>	
Характеристики загрязнения атмосферного воздуха г. Севастополя взвешенными частицами и сажей . . . . .	202
<b>Вышкваркова Е.В.</b>	
Тенденции экстремальных осадков над Северным Кавказом и Крымским полуостровом за период 1961–2018 гг. . . . .	207
<b>Глущенко Г.Ю.</b>	
Результаты исследования фитопланктона Азовского моря в октябре 2020 г. и в апреле 2021 г. . . . .	210
<b>Гудимов А.В.</b>	
Деградация популяции и массовая смертность раков-балаюсов <i>Semibalanus balanoides</i> в примыкающей к порту акватории Кольского залива. . . . .	215
<b>Даниленко А.О., Георгиади А.Г.</b>	
Геохимическая нагрузка на Белое море водами Северной Двины в период современного потепления климата . . . . .	217
<b>Жумбей А.И.</b>	
Комплексное обследование территории Государственного природного заказника «Цимлянский» на предмет устойчивости почвенно-растительных условий. . . . .	223
<b>Ионов В.В.</b>	
Береговая зона: геоэкологическое определение (к вопросу о терминологическом статусе) . . . . .	227
<b>Казарникова А.В., Степанова Ю.В.</b>	
К изучению фауны паразитов леща ( <i>Abramis brama</i> L., 1758) в Азово-Донском бассейне в современных условиях . . . . .	231
<b>Козьменко С.В., Зинченко В.В., Горовцов А.В., Сушкова С.Н., Минкина Т.М.</b>	
Характеристика процесса сорбции ионов меди штаммом <i>Vacillus atrophaeus</i> . . . . .	237
<b>Константинова Е.Ю., Минкина Т.М., Манджиева С.С., Невидомская Д.Г., Бауэр Т.В., Бурачевская М.В., Замулина И.В., Сушкова С.Н.</b>	
Сочетанное загрязнение пойменных и прибрежных почв Юга России – экологические и эпидемиологические риски . . . . .	241
<b>Кульнев В.В., Кочуров Б.И., Кизеев А.Н.</b>	
Метеоиндикация экологического состояния Терского рудного района (Кольский полуостров) . . . . .	248
<b>Люшвин П.В., Буянова М.О.</b>	
Учет дегазации метана и микробиологической метанотрофии в ледовом судоходстве . . . . .	254
<b>Матасова И.Ю., Телубова В.Ф., Готанян А.С., Сеничкина Е.Е.</b>	
Многолетняя динамика гидрохимических показателей в порту Темрюк (2006–2020 гг.) . . . . .	261

<b>Минин Н.С., Минникова Т.В., Колесников С.И.</b>	
Оценка воздействия бактериального препарата и биочара на разложение пожнивных остатков озимой пшеницы по ферментативной активности чернозема обыкновенного. . . . .	266
<b>Минникова Т.В., Колесников С.И.</b>	
Оценка степени восстановления почв Юга России при нефтяном загрязнении по биологическим показателям . . . . .	270
<b>Нижельский М.С., Вилкова В.В., Приходько В.Д., Казеев К.Ш.</b>	
Оценка воздействия дыма от пожаров на здоровье почв с помощью биоиндикаторов . . . . .	276
<b>Оганесян А.А.</b>	
Малакофауна Таганрогского залива Азовского моря в 2016–2021 гг. . . . .	279
<b>Олейников Е.П.</b>	
Наблюдения за морскими млекопитающими в период тралений в северо-восточной части Чёрного моря в летний период 2022 г. . . . .	285
<b>Орехова Н.А., Масевич А.В., Коновалов С.К.</b>	
Динамика кислорода и парциального давления углекислого газа в поверхностном слое вод в атлантической части Южного океана (по данным 2021–2022 гг.). . . . .	287
<b>Перепечкина М.С., Ершова Т.С., Зайцев В.Ф., Помогаева Е.А.</b>	
Содержание химических элементов в пастбищных растениях Астраханской области . . . . .	292
<b>Пуликова Е.П., Черникова Н.П., Антоненко С.А., Горозцов А.В., Минкина Т.М., Бауэр Т.В., Дерябкина И.Г.</b>	
Влияние загрязнения наноформами соединений тяжелых металлов на активность нитрификации в пойменных почвах. . . . .	296
<b>Ревина С.Ю., Минникова Т.В., Русева А.С., Колесников С.И.</b>	
Оценка активности дегидрогеназ чернозема обыкновенного после ремедиации нитроаммофоской и «Байкал ЭМ-1» при мазутном загрязнении. . . . .	300
<b>Решетняк В.Н., Закруткин В.Е.</b>	
Об интегральной оценке уровня загрязненности донных отложений рек в пределах техногенно-нарушенных территорий . . . . .	304
<b>Решетняк О.С.</b>	
Тенденции изменчивости химического стока соединений металлов на устьевых участках рек Европейской части Арктической зоны России. . . . .	308
<b>Решетняк О.С., Ковалева Г.Е.</b>	
Результаты экспедиционного обследования озера Пелёнкино и нижнего течения реки Кагальник (Азовский район Ростовской области). . . . .	314

<b>Русева А.С., Минникова Т.В., Колесников С.И.</b> Активность дегидрогеназ нефтезагрязненной бурой лесной почвы после ремедиации . . . . .	320
<b>Смирнова Е.А.</b> Особенности формирования сообществ макрозообентоса в зоне смешения морских и речных вод . . . . .	323
<b>Сокольский А.Ф., Сокольская Е.А.</b> Экологические проблемы при возможной эксплуатации Волжского вододелиителя . . . . .	328
<b>Сорокина В.В., Алешина Е.Г., Филатова Т.Б.</b> Ионный состав вод Нижнего Дона (гидрокарбонаты и кальций): обзор . . . . .	333
<b>Сушко К.С., Ильина Л.П.</b> Гумус в аллювиальных почвах дельты Дона . . . . .	338
<b>Тимошенко А.Н., Колесников С.И.</b> Оценка влияния наночастиц Zn на всхожесть редиса в бурой лесной почве . . . . .	344
<b>Федоренко Е.С., Замулина И.В., Хронюк О.Е., Константинова Ю.А., Невидомская Д.Г., Дудникова Т.С., Минкина Т.М.</b> Распределение органического углерода, карбонатов и рН в почвах г. Таганрога . . . . .	346
<b>Хаванский А.Д., Шпак Н.Н.</b> Аквальные ландшафты в зоне смешения р. Дон и Таганрогского залива . . . . .	350
<b>Цепина Н.И., Колесников С.И.</b> Влияние загрязнения наночастицами серебра на активность каталазы чернозема обыкновенного . . . . .	355
<b>Чердакова А.С., Гальченко С.В.</b> Эффективность микробиоремедиации вод, загрязненных нефтепродуктами, в присутствии гуминовых препаратов . . . . .	356
<b>Черникова Н.П., Чаплыгин В.А., Невидомская Д.Г., Манджиева С.С., Барахов А.В., Щербаков А.П.</b> Сукцессии растительного покрова в пойме реки Северский Донец при химическом загрязнении почвы . . . . .	362
<b>Шевцова Е.А., Бурдина Е.И., Картамыева Т.Б.</b> Закономерности распределения органического углерода в донных отложениях Азовского моря в летний период 2016–2019 гг. . . . .	365
<b>Ясакова О.Н.</b> Фитопланктон открытой северо-восточной части Чёрного моря (по результатам рейса НИС «Денеб» ЮНЦ РАН) в апреле 2021 г. . . . .	369
<b>Asatryan V.L., Hambaryan L.R., Boshyan T.V., Bulysheva N.I., Dallakyan M.R.</b> The analysis of the ecological status of the Hrazdan River estimated in the low water period by bioindication methods . . . . .	375

- Keswani C., Sushkova S., Barbashev A., Mandzhiev S., Starovoitova N., Zatonskikh A., Shuvaev E.**  
*Trichoderma koningii* mediated regulation of oxidative stress network and phenylpropanoid pathway under heat stress in *Solanum lycopersicum* L. . . . . 382
- Kumari A., Mandzhieva S.S., Minkina T.M., Chokheli V., Ranjan A., Rajput V.D., Paramonova E., Tsitsuashvili V.**  
 Genotoxicity and cytotoxicity insights of nickel oxide nanoparticles using a plant-based model. . . . . 384
- Mazarji M., Bayero M.T., Bauer T., Minkina T., Mandzhieva S., Sushkova S.**  
 Application of porous nanomaterials for treatment and remediation of heavy metal-contaminated media . . . . . 389
- Zhuravleva N.G.**  
 Collection and testing of fish eye compounds to arrest early cell division in fish and mussel eggs . . . . . 393

## Секция 7

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИНВАЗИИ  
КАК ГЛОБАЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА**

---

- Акселевич В.И., Иошпа А.Р., Мазуров Г.И.**  
 Некоторые вопросы, связанные с распространением биологических инвазий. . . . . 395
- Shende S.S., Minkina T., Gade A.K., Rajput V.D., Sushkova S.N., Mandzhieva S.S., Rai M., Bren D., Yakovlenko A.**  
 Phyto-synthesis of silver nanoparticles (AGNPS) by *Citrus medica* L. and their antifungal activity against crop pathogenic fungi . . . . . 400

## Секция 8

**ВЛИЯНИЕ ВОДНОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ  
НА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКУЮ СФЕРУ**

---

- Бадина С.В.**  
 Влияние хозяйственной деятельности на экологическую ситуацию в акватории Северного морского пути . . . . . 406
- Патракеева О.Ю., Кулыгин В.В.**  
 Весовые матрицы в моделях оценки пространственных эффектов транспортной инфраструктуры в российских регионах . . . . . 412
- Скорик А.П., Федина И.М.**  
 Влияние пароходства «Товарищество Дицман» и его основателей на жизнедеятельность прикубанских поселений в начале XX в. . . . . 416



---

## TABLE OF CONTENTS

---

**Matishov G.G.**

Current climatic changes and problems of transport waterways  
(the Northern Sea Route, the Volga-Don – Azov Main Waterway) ..... 14

**Stepan'yan O.V.**

Input of RAS Corresponding Member Dmitry Gennadyevich Matishov  
into the formation of scientific school of oceanologists and implementation  
of the idea of a "Floating University" in the South of Russia ..... 22

### Section 1

#### CURRENT CONDITIONS AND FUNCTIONAL-OPERATIONAL PROBLEMS OF A WATER TRANSPORT COMPLEX

---

**Barakhov A.V., Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Bauer T.V.,  
Severina V.I., Latsynnik E.S., Melkumyan A.L.**

Change of Cd group composition in haplic chernozem  
under the influence of technogenic load and when  
using carbon sorbent ..... 29

**Hryhorenko T., Kochergin Yu., Yiqi Wu**

Dynamic mechanical properties of epoxy-thiocol composites ..... 34

**Kochergin Yu., Hryhorenko T., Yiqi Wu**

Epoxy materials modified with sulfur-containing compounds ..... 40

**Mammedov A.Sh.**

Emergency situation in offshore oil and gas production  
as a threat to environmental safety ..... 46

**Mironyuk S.G.**

Processes of subsoil waterlogging and underflooding  
and seawater intrusion in the southwestern part  
of the Kuban Delta (Temryuksky District)  
and assessment of their development trend ..... 53

**Sanin A.Yu.**

On the issue of the need to improve the transport accessibility  
of seaside recreational areas ..... 59

**Chikin A.L., Kleshchenkov A.V., Chikina L.G., Korshun A.M.**

Modelling of water level oscillations in the Don Delta distributaries  
depending on the wind conditions in the Taganrog Bay ..... 63

## Section 2

### POTENTIAL OF THE RUSSIAN FEDERATION IN THE SYSTEM OF INTERNATIONAL MARINE TRANSPORT CORRIDORS

---

*Afonin A.N., Kiseleva N.N.*

Prospects for the development of the Northern Sea Route  
as an international transport corridor . . . . . 68

*Zhmur V.V., Belonenko T.V., Suetin B.S., Harutyunyan D.A.,  
Novoselova E.V., Travkin V.S.*

Ocean energy transfer across the size spectrum from mesoscale  
to submesoscale when mesoscale vortices are pulled into filaments:  
related phenomena . . . . . 73

## Section 3

### SPECIFIC GEOGRAPHICAL AND CLIMATIC FEATURES OF EURASIA AND THEIR ROLE IN THE DEVELOPMENT OF THE MAIN TRANSPORT WATERWAYS

---

*Bukharitsin P.I., Koten'kov S.A.*

The Volga Delta – a gate or a wicket to the Caspian Sea? . . . . . 75

*Magayeva A.A., Yaitskaya N.A.*

Impact of the ice cover on the maritime activity  
in the Sea of Azov and the Caspian Sea. . . . . 81

## Section 4

### HYDROPHYSICAL STUDIES AND FORECAST OF VARIABILITY OF MARINE AND AIR ENVIRONMENTS. MEANS, METHODS, AND POSSIBILITIES OF OPERATIONAL OCEANOLOGY

---

*Grigorenko K.S., Frolova A.D., Oleynikov E.P., Moskovets A.Yu.*

Manifestation of seiche currents in the Taganrog Bay based  
on the ADCP-measurements data . . . . . 85

*Yeltai A.G., Ivkina N.I., Vasenina E.I., Naurozbayeva Zh.K., Shishkina G.M.*

Forecast of hydrodynamic processes using the MIKE ZERO MODEL  
(the case of the port of Aktau) . . . . . 88

*Ilyichyov V.G.*

Problems of geomorphology of reservoirs under the climate change . . . . . 91

*Kleshchenkov A.V., Kostyuk V.A.*

On the issue of studying the patterns of salt water intrusion  
into the Don Delta from the sea . . . . . 94

<b>Misirov S.A., Kleshchenkov A.V., Sheverdyayev I.V.</b>	
Comparative analysis of methods for studying the dynamics of the marine edge of the Don River Delta .....	98
<b>Ustinova E.I., Filatov V.N., Chul'chekov D.N.</b>	
Oceanological conditions changes and their impact on the spatial distribution and movement of the commercial saury, sardine, and mackerel aggregations in the Northwestern Pacific .....	103
<b>Section 5</b>	
<b>MONITORING OF NATURAL HAZARDS AND TECHNOGENIC PROCESSES IN THE COASTAL ZONES. TRANSPORT SAFETY AND SECURITY</b>	
-----	
<b>Agarkova-Lyakh I.V.</b>	
Dynamics of the coasts of the Kalamitskiy Gulf (the Gulf of Kalamita) on the Western Coast of the Crimea .....	109
<b>Glazyrin E.A.</b>	
Engineering and geological complications during dredging operations on the Taman shelf .....	114
<b>Dolgikh G.I., Dolgikh S.G.</b>	
Nonlinear hydrophysical disturbances in shelf areas .....	117
<b>Egorkin A.A.</b>	
Joint use of satellite technologies and computer trajectory scattering model to assess the state of the atmosphere .....	119
<b>Ermolov A.A., Belova N.G., Novikova A.V.</b>	
On the issue of the Arctic coasts stability under the conditions of industrial development of oil and gas fields .....	124
<b>Kalmykova O.V., Kozlov S.V.</b>	
Identification and tracking of convective systems based on radar reflectivity data .....	128
<b>Lyubitsky Yu.V., Kravchuk L.P.</b>	
The reasons for the formation of extraordinary sea levels in Nikolskoye (Bering Island) in 2021–2022. ....	134
<b>Melnik E.V., Poukha I.S., Orda-Zhigulina M.V., Orda-Zhigulina D.V.</b>	
Distributed data storage module for monitoring systems for hazardous natural phenomena in coastal zones .....	139
<b>Ogorodov S.A.</b>	
Dynamics of coastal accumulative landforms under the conditions of global climatic changes and local technogenic impacts: the Arctic and the Far East .....	143
<b>Pelinovsky E.N., Zaitsev A.A., Didenkulova I.I.</b>	
Lognormal distribution of the tsunami wave heights along the coast .....	150

<b><i>Petrichenko S.A., Kalmykova O.V., Kozlov S.V., Kulizhnikova L.K.</i></b>	
Prototype of an automated system for predicting the occurrence of polar mesocyclones in the Arctic Region of Russia. ....	155
<b><i>Khalieva A.A., Yaitskaya N.A.</i></b>	
Brief review of coastal monitoring methods using GIS-technologies. ....	161
<b><i>Khoroshev O.A.</i></b>	
On the experimental scientific and educational project of the SSC RAS ‘Virtual (VR 360°) video atlases of the Sea of Azov: on the roads of coastal expeditions’ .....	166
<b><i>Tsygankova A.E., Bespalova L.A., Ivlieva O.V.</i></b>	
The shores of the Sea of Azov: from research to practice .....	171
<b><i>Shestopalov V.L.</i></b>	
Use of GLONASS radio navigation system in geodynamic studies. ....	176
<b><i>Shmid’ko G.A., Shmid’ko T.G.</i></b>	
Destruction of the communal infrastructure of the city of Taganrog under the influence of hydrogeological processes .....	180

**Section 6**  
**AQUATIC AND TERRESTRIAL ECOSYSTEMS,**  
**ENVIRONMENTAL PROTECTION**

<b><i>Akimenko Yu.V.</i></b>	
Assessment of the resistance of soils in the South of Russia to antibiotic pollution by the degree of violation of their ecological functions .....	183
<b><i>Bauer T.V., Minkina T.M., Fedorenko A.G., Zamulina I.V., Starovoitova N.V.</i></b>	
Diagnostics of iron compounds forming their carrier phases of heavy metals in hydromorphic highly contaminated soils. ....	187
<b><i>Budnik A.P., Lastovina T.A.</i></b>	
Rational processing of biomass of overgrowing water bodies for producing active carbon materials .....	192
<b><i>Bulysheva N.I.</i></b>	
Specific features of macrofouling communities’ formation on steel plates in the mouth area of the Don River in winter. ....	193
<b><i>Burachevskaya M.V., Zamulina I.V., Bauer T.V., Lobzenko I.P., Voloshina M.S., Barakhov A.V., Timofeeva A.G.</i></b>	
The effect of biochar on the granulometric and microaggregate composition of Zn-contaminated soil .....	197
<b><i>Varenik A.V., Tarasevich D.V.</i></b>	
Characteristics of air pollution by particulate matter (PM) and soot in Sevastopol .....	202

<b><i>Vyshkvarkova E.V.</i></b>	
Trends in extreme precipitation over the North Caucasus and the Crimean Peninsula for the period of 1961–2018.....	207
<b><i>Glushchenko G.Yu.</i></b>	
Results of the study of phytoplankton in the Sea of Azov in October 2020 and April 2021 .....	210
<b><i>Gudimov A.V.</i></b>	
Population degradation and mass mortality of the barnacle <i>Semibalanus balanoides</i> in the area of the Kola Bay adjacent to the port .....	215
<b><i>Danilenko A.O., Georgiadi A.G.</i></b>	
Geochemical load on the White Sea by the Northern Dvina water during the modern climate warming.....	217
<b><i>Zhumbey A.I.</i></b>	
Complex survey of the territory of the ‘Tsimlyansky’ State Nature Reserve (Wildlife Sanctuary) for the sustainability of soil and plant conditions .....	223
<b><i>Ionov V.V.</i></b>	
Coastal zone: a geo-ecological definition .....	227
<b><i>Kazarnikova A.V., Stepanova Yu.V.</i></b>	
On the study of bream ( <i>Abramis brama</i> L., 1758) parasite fauna in the Azov-Don basin under the current conditions .....	231
<b><i>Koz'menko S.V., Zinchenko V.V., Gorovtsov A.V., Sushkova S.N., Minkina T.M.</i></b>	
Characterization of the copper ion sorption process by the <i>Bacillus atrophaeus</i> strain .....	237
<b><i>Konstantinova E.Yu., Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Nevidomskaya D.G., Bauer T.V., Burachevskaya M.V., Zamulina I.V., Sushkova S.N.</i></b>	
Combined pollution of floodplain and coastal soils of Southern Russia – environmental and human health risks.....	241
<b><i>Kul'nev V.V., Kochurov B.I., Kizeyev A.N.</i></b>	
Meteoindication of environmental conditions of the Tersky ore area (Kola Peninsula).....	248
<b><i>Lyushvin P.V., Buyanova M.O.</i></b>	
Accounting of methane degassing and microbiological methanotrophy during ice shipping .....	254
<b><i>Matasova I.Yu., Teyubova V.F., Gotanyan A.S., Senichkina E.E.</i></b>	
Long-term dynamics of hydrochemical indicators in the port of Temryuk (2006–2020) .....	261
<b><i>Minin N.S., Minnikova T.V., Kolesnikov S.I.</i></b>	
Evaluation of the effect of the bacterial preparation and biochar on the decomposition of crop residues of winter wheat by the enzymatic activity of ordinary chernozem.....	266

<b><i>Minnikova T.V., Kolesnikov S.I.</i></b>	
Evaluation of the degree of soil restoration in the South of Russia in case of oil pollution by biological indicators . . . . .	270
<b><i>Nizhelsky M.S., Vilkova V.V., Prikhod'ko V.D., Kazeyev K.Sh.</i></b>	
Assessment of the effects of fire smoke on soil health by means of bio-indicators . . . . .	276
<b><i>Oganesyan A.A.</i></b>	
Malacofauna of the Taganrog Bay of the Sea of Azov in 2016–2021 . . . . .	279
<b><i>Oleinikov E.P.</i></b>	
Observations of marine mammals during trawling in the Northeastern Black Sea in summer 2022 . . . . .	285
<b><i>Orekhova N.A., Masevich A.V., Konovalov S.K.</i></b>	
Oxygen and PCO <sub>2</sub> variations in the surface waters of the Atlantic Southern Ocean in 2021–2022 . . . . .	287
<b><i>Perepechkina M.S., Ershova T.S., Zaitsev V.F., Pomogayeva E.A.</i></b>	
The content of chemical elements in pasture plants of Astrakhan Region . . . . .	292
<b><i>Pulikova E.P., Chernikova N.P., Antonenko S.A., Gorovtsov A.V., Minkina T.M., Bauer T.V., Deryabkina I.G.</i></b>	
Influence of pollution with nanoparticles of heavy metal compounds on nitrifying activity in floodplain soils . . . . .	296
<b><i>Revina S.Yu., Minnikova T.V., Ruseva A.S., Kolesnikov S.I.</i></b>	
Assessment of ordinary Chernozem dehydrogenase activity after remediation with nitroammophoska and 'Baikal EM-1' under the fuel oil contamination . . . . .	300
<b><i>Reshetnyak V.N., Zakrutkin V.E.</i></b>	
On the integral assessment of the river sediments contamination level within the technogenically disturbed areas . . . . .	304
<b><i>Reshetnyak O.S.</i></b>	
Trends in the variability of the chemical runoff of metal compounds in the mouth areas of the rivers of the European part of the Russian Arctic Zone . . . . .	308
<b><i>Reshetnyak O.S., Kovaleva G.E.</i></b>	
Results of expedition survey in Lake Pelyonkino and lower courses of the Kagalnik River (within Azov District of Rostov Region). . . . .	314
<b><i>Ruseva A.S., Minnikova T.V., Kolesnikov S.I.</i></b>	
Dehydrogenase activity of oil-contaminated brown forest soil after remediation . . . . .	320
<b><i>Smirnova E.A.</i></b>	
Specific formation features of macrozoobenthic communities in the mixing zone of marine and river waters . . . . .	323



<b>Sokolsky A.F., Sokolskaya E.A.</b>	
Environmental problems in the possible operation of the Volga Water Divider .....	328
<b>Sorokina V.V., Aleshina E.G., Filatova T.B.</b>	
Ionic composition of the Lower Don waters (bicarbonates and calcium): an overview .....	333
<b>Sushko K.S., Ilyina L.P.</b>	
Humus in alluvial soils of the Don Delta. ....	338
<b>Timoshenko A.N., Kolesnikov S.I.</b>	
Assessment of effect of Zn nanoparticles on radish germination in brown forest soil. ....	344
<b>Fedorenko E.S., Zamulina I.V., Khronyuk O.E., Konstantinova Yu.A., Nevidomskaya D.G., Dudnikova T.S., Minkina T.M.</b>	
Distribution of organic carbon, carbonates and Ph in soils of the city of Taganrog .....	346
<b>Khavansky A.D., Shpak N.N.</b>	
Aquatic landscapes in the mixing zone of the Don River and the Taganrog Bay .....	350
<b>Tsepina N.I., Kolesnikov S.I.</b>	
Influence of pollution with silver nanoparticles on the catalase activity of the ordinary chernozem .....	355
<b>Cherdakova A.S., Gal'chenko S.V.</b>	
Efficiency of microbioremediation of waters polluted with petroleum products when applying humic preparations .....	356
<b>Chernikova N.P., Chaplygin V.A., Nevidomskaya D.G., Mandzhieva S.S., Barakhov A.V., Shcherbakov A.P.</b>	
Succession of vegetation cover in the floodplain of the Seversky Donets River due to the chemical contamination of soil .....	362
<b>Shevtsova E.A., Burdina E.I., Kartamysheva T.B.</b>	
Patterns of distribution of organic carbon in the bottom sediments of the Sea of Azov in the summer period of 2016–2019. ....	365
<b>Yasakova O.N.</b>	
Phytoplankton of the open Northeastern part of the Black Sea (the results of the cruise of SSC RAS RV The Deneb) in April 2021. ....	369
<b>Asatryan V.L., Hambaryan L.R., Boshyan T.V., Bulysheva N.I., Dallakyan M.R.</b>	
The analysis of the ecological status of the Hrazdan River estimated in the low water period by bioindication methods .....	375
<b>Keswani C., Sushkova S., Barbashev A., Mandzhiev S., Starovoitova N., Zatonskikh A., Shuvaev E.</b>	
<i>Trichoderma koningii</i> mediated regulation of oxidative stress network and phenylpropanoid pathway under heat stress in <i>Solanum lycopersicum</i> L. ....	382

**Kumari A., Mandzhieva S.S., Minkina T.M., Chokheli V., Ranjan A., Rajput V.D., Paramonova E., Tsitsuashvili V.**  
 Genotoxicity and cytotoxicity insights of nickel oxide nanoparticles using a plant-based model . . . . . 384

**Mazarji M., Bayero M.T., Bauer T., Minkina T., Mandzhieva S., Sushkova S.**  
 Application of porous nanomaterials for treatment and remediation of heavy metal-contaminated media . . . . . 389

**Zhuravleva N.G.**  
 Collection and testing of fish eye compounds to arrest early cell division in fish and mussel eggs . . . . . 393

**Section 7**

**BIOLOGICAL INVASIONS AS A GLOBAL ECOLOGICAL PROBLEM**

---

**Akselevich V.I., Ioshpa A.R., Mazurov G.I.**  
 Some issues related to the distribution of biological invasions . . . . . 395

**Shende S.S., Minkina T.M., Gade A.K., Rajput V.D., Sushkova S.N., Mandzhieva S.S., Rai M., Bren D., Yakovlenko A.**  
 Phyto-synthesis of silver nanoparticles (AGNPS) by *Citrus medica* L. and their antifungal activity against crop pathogenic fungi . . . . . 400

**Section 8**

**IMPACT OF WATER TRANSPORT SYSTEMS  
 ON THE SOCIO-ECONOMIC SPHERE**

---

**Badina S.V.**  
 Impact of economic activities on the environmental situation in the water area of the Northern Sea Route . . . . . 406

**Patrakeeva O.Yu., Kulygin V.V.**  
 Spatial weights matrices in models for estimating the effects of transport infrastructure in the regions of Russia . . . . . 412

**Skorik A.P., Fedina I.M.**  
 The influence of the Ditsman & Co. Shipping Company and its founders on the life of the Kuban settlements in the early twentieth century . . . . . 416





*Научное издание*

**РАЗВИТИЕ ВОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ  
В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА  
НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ (ЕВРАЗИИ)  
(«Опасные явления – IV»)**

Материалы IV Международной научной конференции  
памяти члена-корреспондента РАН Д.Г. Матишова  
(г. Ростов-на-Дону, 5–9 сентября 2022 г.)

Техническая редакция *А.С. Бабаева*

Перевод *Р.Г. Михалюк*

Верстка: *Н.В. Лункина*

*И.В. Кубеи*

Обложка и подбор фотографий *А.В. Коржов*

Подписано в печать 01.09.2022. Формат 62 × 94 ½.  
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 59,36. Заказ № 13/22.  
Тираж 200 экз.

Издательство Южного научного центра  
Российской академии наук  
344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41  
Тел. 8 (863) 250-98-21



Отпечатано DSMGroup

ИП Лункина Н.В. Св-во № 002418081

344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Седова, 9. Тел. 8-918-558-63-49, 8 (863) 263-26-38

E-mail: [dsmgroup@mail.ru](mailto:dsmgroup@mail.ru)