



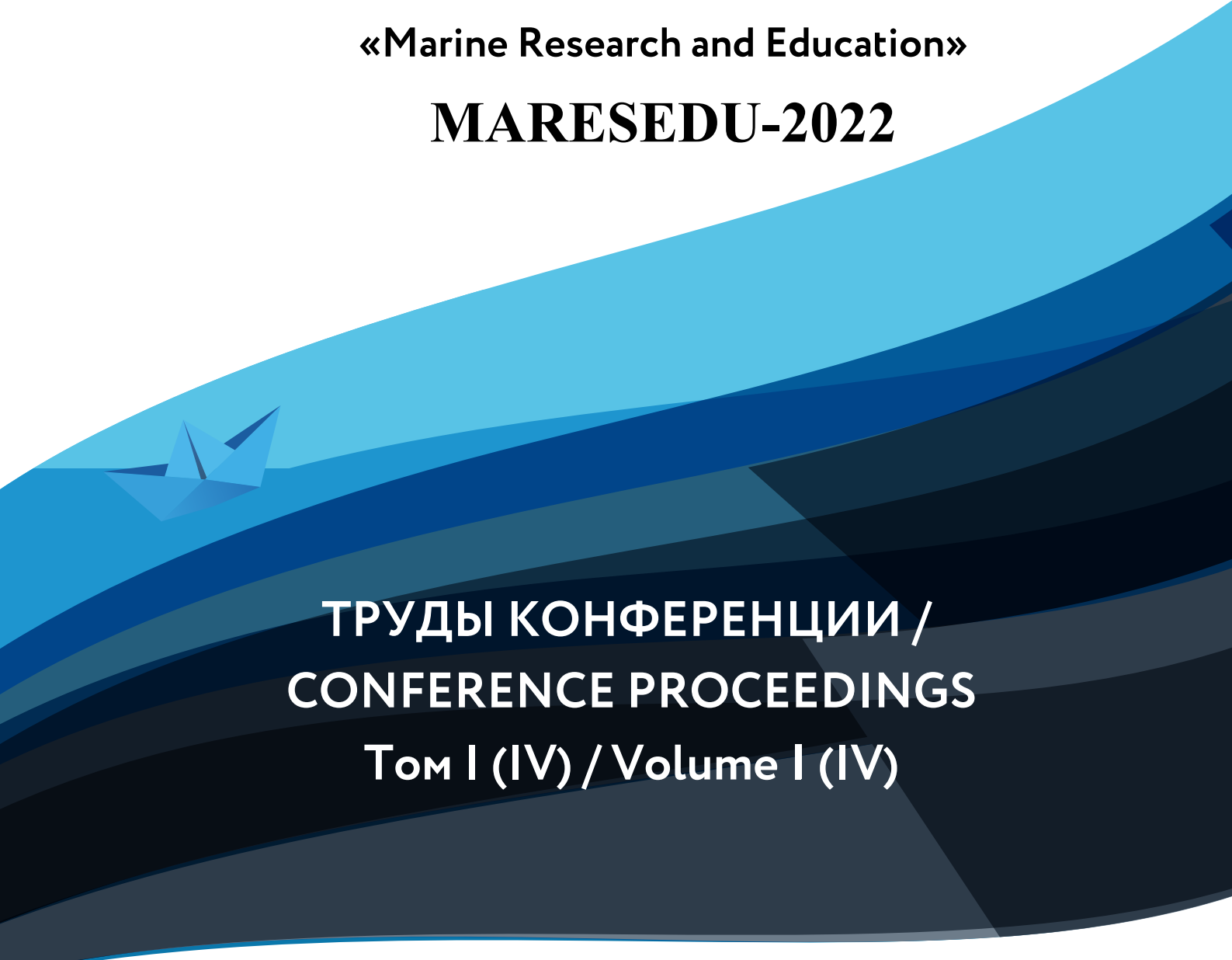
XI Международная научно-практическая конференция

«Морские исследования и образование»

XI International conference

«Marine Research and Education»

MARESEDU-2022



**ТРУДЫ КОНФЕРЕНЦИИ /
CONFERENCE PROCEEDINGS
Том I (IV) / Volume I (IV)**

24-28 октября 2022г.
г. Москва

УДК [551.46+574.5](063)

ББК 26.221я431+26.38я431+28.082.40я431

Т78

Труды XI Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU)-2022» Том I (IV): [сборник]. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2022, 439 с.: ISBN 978-5-604290-2-5.

Сборник «Труды XI Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU)-2022» представляет собой книгу тезисов докладов участников конференции, состоящую из четырех томов. Сборник включает в себя главы, соответствующие основным секциям технической программы конференции: океанология, гидрология, морская геология и геофизика, морская биология, рациональное природопользование, подводное наследие и водолазные методы и морские ландшафты.

Помимо основных секций на конференции были представлены круглый стол "Новые данные о признаках последнего оледенения на Баренцево-Карском шельфе" и секция научно-популярных фильмов.

В рамках конференции участники обсудили состояние и перспективы развития комплексных исследований Мирового океана, шельфовых морей и крупнейших озер, актуальные проблемы рационального природопользования и сохранения биоразнообразия в водных пространствах, проблемы освоения ресурсов континентального шельфа, достижения науки в области морской геологии, современные подходы к исследованиям обширных акваторий дистанционными методами, проблемы устойчивого развития экосистем моря и прибрежной зоны, организацию и проведение комплексных экспедиционных исследований, преподавание «морских дисциплин», вопросы организации полевых практик студентов.

Все тезисы представлены в редакции авторов.

Подготовлено к выпуску издательством ООО «ПолиПРЕСС» по заказу ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова».

ООО «ПолиПРЕСС»

170041, Россия, г. Тверь, Комсомольский пр-т, д. 7, пом. II polypress@yandex.ru

ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова».

РФ, 119234, г. Москва, ул. Ленинские Горы, д. 1, стр. 77

(495) 648-65-58/ 930-80-58

Все права на издание принадлежат ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова».

© ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова», 2022
© ООО «ПолиПРЕСС»

ОРГАНИЗАТОРЫ

Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова;
Учебно-научный Центр ЮНЕСКО-МГУ по морской геологии
и геофизике;

Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН;
Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова;
Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова;
Биологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова;
Беломорская биологическая станция имени Н.А.Перцова.



ЦМИ
МГУ



КООРДИНАТОР

Центр морских исследований
МГУ имени М.В. Ломоносова;

119234, Россия, г. Москва,
ул. Ленинские горы, 1-77
Научный парк МГУ имени М.В. Ломоносова,
офис 402
w.: www.marine-rc.ru

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



РОСНЕФТЬ

В РАМКАХ



2021
2030 Десятилетие Организации Объединенных
Наций, посвященное науке об океане
в интересах устойчивого развития



ОТВЕТСТВЕННОЕ
УПРАВЛЕНИЕ
ДЛЯ УСТОЙЧИВОЙ
АРКТИКИ

2021-2023

АРКТИЧЕСКИЙ СОВЕТ
ПРЕДСЕДАТЕЛЬСТВО РОССИИ



ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Соков Алексей Валентинович (сопредседатель)

Член-корреспондент РАН, директор Института океанологии имени П.П. Ширшова РАН, д.г.н.

Добролюбов Сергей Анатольевич (сопредседатель)

Академик РАН, декан географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, д.г.н., профессор

Ерёмин Николай Николаевич (сопредседатель)

Член-корреспондент РАН, декан геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, д.х.н.

Кирпичников Михаил Петрович (сопредседатель)

Академик РАН, декан биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, д.б.н., профессор



ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Ахманов Григорий Георгиевич (сопредседатель)

Доцент, руководитель кафедры ЮНЕСКО по морской геологии и геофизике, директор Учебно-научного Центра ЮНЕСКО-МГУ по морской геологии и геофизике при геологическом факультете, к.г.-м.н.

Лобковский Леопольд Исаевич (сопредседатель)

Академик РАН, научный руководитель геологического направления Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, д.ф.-м.н.

Баширова Лейла Джангировна

Заместитель директора по научной работе Атлантического отделения Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, к.г.-м.н.

Демидов Александр Николаевич

Доцент, с.н.с. кафедры океанологии географического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова, к.г.н.

Демиденко Николай Александрович

Старший научный сотрудник Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, к.г.н.

Дорохов Дмитрий Владимирович

Старший научный сотрудник лаборатории геологии Атлантики Атлантического отделения Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, к.г.н.

Коновалова Ольга Петровна

Заместитель руководителя Управления научных исследований и разработок Центра морских исследований МГУ им. М. В. Ломоносова, к.б.н.

Крашенинникова Светлана Борисовна

Старший научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», к.г.н.

Мокиевский Вадим Олегович

Заведующий лабораторией экологии прибрежных донных сообществ Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, д.б.н.

Новигатский Александр Николаевич

Заведующий аналитической лаборатории Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, к.г.-м.н.

Полухин Александр Анатольевич

Заведующий Лабораторией биогидрохимии Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, к.г.н.

Рыбалко Александр Евменьевич

Профессор кафедры геоморфологии СПбГУ, в.н.с. ФГБУ "ВНИИОкеангеология", главный геолог ООО "Морской центр", д.г.-м.н.

Сивков Вадим Валерьевич

Директор Атлантического отделения Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, к.г.-м.н.

Субетто Дмитрий Александрович

Декан географического факультета РГПУ им. А. И. Герцена, д.г.н.

Токарев Михаил Юрьевич

Заместитель декана геологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова, к.т.н.

Цетлин Александр Борисович

Директор Беломорской биологической станции им. Н. А. Перцова, профессор биологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова, д.б.н.

Фазлуллин Сергей Маратович

Президент Конфедерации подводной деятельности России, доцент кафедры музеологии РГПУ, Член-корреспондент РАЕН, к.г.н.

Шабалин Николай Вячеславович

Исполнительный директор Центра морских исследований МГУ им. М. В. Ломоносова

Шевченко Владимир Петрович

Заместитель директора по Геологическому направлению Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, к.г.-м.н.

Том I (IV) / Volume I (IV)

Оглавление / Contents

Программа конференции / Conference programme

Тезисы / Abstracts

Пленарная сессия

МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ПРИРОДНЫХ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ ОЗЕРА БАЙКАЛ <u>Хлыстов О.М., Манаков А.Ю.</u>	15
СВЯЗЬ СТРУКТУРЫ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ ПРИДОННЫХ ЭКОТОПОВ БАРЕНЦЕВА МОРЯ С ГЕОЛОГИЧЕСКИМИ И ГЕОХИМИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ СРЕДЫ <u>Строева А.Р., Клюкина А.А., Видищева О.Н., Полудеткина Е.Н., Ахманов Г.Г., Меркель А.Ю.</u>	20
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ РАЗВИТИИ СМП КАК ЕДИНОГО ИНФРАСТРУКТУРНОГО ПРОЕКТА <u>Шабалин Н.В.</u>	24
ИССЛЕДОВАНИЯ БЕЛОЙ ЧАЙКИ И ДРУГИХ ВИДОВ МОРСКИХ ПТИЦ — ИНДИКАТОРОВ СОСТОЯНИЯ МОРСКИХ ЭКОСИСТЕМ АРКТИКИ ПО МАТЕРИАЛАМ ЭКСПЕДИЦИЙ 2020 И 2022 ГОДОВ В КАРСКОМ МОРЕ <u>Гаврило М.В., Пчелинцев В.Г., Чупин И.И., Сережкин И.Н., Исаченко А.И.</u>	26
ЭВОЛЮЦИЯ И НЕСТАБИЛЬНОСТЬ МОРСКОГО ЛЕДНИКОВОГО ЩИТА В МОДЕЛИ БАРЕНЦЕВО-КАРСКОГО ЛЕДНИКОВОГО ПОКРОВА <u>Кашдан А.И., Шейнкман В.С.</u>	33
МАКРОЭКОЛОГИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ: ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ <u>Азовский А.И.</u>	39

Морские ландшафты. Устные доклады

ДЕТАЛЬНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ РАЗВИТИЯ БОРЕАЛЬНОЙ ТРАНСГРЕССИИ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ БЕЛОГО МОРЯ <u>Талденкова Е.Е., Овсепян Я.С., Степанова А.Ю., Руденко О.В., Баух Х.</u>	45
СЕЗОННЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОДУКТИВНОСТИ ФИТОПЛАНКТОНА В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ <u>Ракигин Т.Д.</u>	50
ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА ГОЛОЦЕНОВОЙ РЕГРЕССИИ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА <u>Аксенов А.О., Крастель С., Рыбалко А.Е., Федоров Г.Б.</u>	53
АБИОТИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ ДОННЫХ ЛАНДШАФТОВ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В ЦЕЛЯХ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И МОРСКОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ <u>Дорохов Д.В.</u>	56
НОВЫЕ ДАННЫЕ О ПАЛЕОЛАНДШАФТАХ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ <u>Дорохов Д.В., Лаломов Д.А., Байдилов Д.В., Дудков И.Ю., Орлов Е.К., Меркурьева В.М., Смирнов М.А., Дорохова Е.В.</u>	60
ЛАНДШАФТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ГЛУБОКОВОДНЫХ ПРОХОДАХ ДИСКАВЕРИ И КЕЙН (СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ И ЦЕНТРАЛЬНАЯ АТЛАНТИКА) <u>Дорохова Е.В., Дорохов Д.В., Кулешова Л.А., Родригес-Товар Ф.Х., Кречик В.А., Дудков И.Ю., Кондрашов А.А.</u>	64
ПОДВОДНЫЕ ЛАНДШАФТЫ ЗАПАДНОГО ПРИБРЕЖЬЯ Г. СЕВАСТОПОЛЯ <u>Панкеева Т.В., Миронова Н.В.</u>	68
ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ГЛУБОКОВОДНОЙ БУКСИРУЕМОЙ ВИДЕОПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПОДВОДНЫХ ЛАНДШАФТОВ УЗКОГО ШЕЛЬФА И КОНТИНЕНТАЛЬНОГО СКЛОНА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ	

Гидрология суши. Устные доклады

СТОК РЕК В МОРЯ ВОСТОЧНОГО СЕКТОРА РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ И ЕГО ИЗМЕНЕНИЯ <u>Магрицкий Д.В.</u>	77
ВЛИЯНИЕ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ НА 1.5 И 2°С НА СТОК ДОНА И КУБАНИ <u>Калугин А.С.</u>	84
ФОРМИРОВАНИЕ МАЛОВОДИЙ НА РЕКАХ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ <u>Ширшова И.Ю., Фролова Н.Л.</u>	88
РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ В МЕТОДАХ УЧЕТА СТОКА <u>Байгубеков К.Р., Векшина Т.В.</u>	94
АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНОГО РЕЖИМА РЕКИ ОЛЕНЕК В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА <u>Козьмин Г.Г., Грязнова Е.А.</u>	101
ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВОДНОГО И ЛЕДОВОГО РЕЖИМА РЕКИ ПУР <u>Азарян В.С., Саноцкая Н.А.</u>	103
УТОЧНЕНИЕ ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СТОКА РЕКИ ПУР В СТВОРЕ Г. УРЕНГОЙ <u>Кочеткова Е.Д., Саноцкая Н.А.</u>	107
СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА АТМОСФЕРНЫХ ВЫПАДЕНИЙ ВАЛДАЙСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА <u>Баранов Д.Ю.</u>	111
ВЗАИМОСВЯЗЬ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ И УРОВНЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ <u>Наурузбаева Ж.К., Ивкина Н.И.</u>	115
ЛЕДОВЫЙ РЕЖИМ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ РЕКИ ПЕЧОРЫ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА 1980–2020 ГОДЫ <u>Севастьянова Л.Ю.</u>	121
УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ РЕВЕРСИВНЫХ ВОДНЫХ ПОТОКОВ В ПРИЛИВНЫХ РЕКАХ <u>Алабян А.М.</u>	126
ДИНАМИКА ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА И ПРОЦЕССЫ СЕДИМЕНТАЦИИ В МАКРОПРИЛИВНОМ ЭСТУАРИИ КУЛОЯ <u>Демиденко Н.А., Алабян А.М.</u>	130
АНАЛИЗ СДВИГА ФАЗ УРОВНЯ И РАСХОДА ВОДЫ В ПРИЛИВНЫХ УСТЬЯХ РЕК БАСЕЙНА БЕЛОГО МОРЯ <u>Папченко Е.Д., Лебедева С.В.</u>	138
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ОБРАТНЫХ ВОЛН В УСТЬЯХ РЕК <u>Алавердова А.А.</u>	142
ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТНОГО ПОЛЯ РУСЛОВОГО ПОТОКА ПРИ НЕУСТАНОВИВШЕМСЯ ТЕЧЕНИИ <u>Шишов А.А.</u>	147
ВОДНЫЙ РЕЖИМ РЕКИ МЕЗЕНЬ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ И ФАКТОРЫ, ЕГО ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ <u>Кильдишов О.С., Саноцкая Н.А.</u>	151
ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЯ И КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛУБИН И УКЛОНОВ ДНА ВАЛААМСКОГО АРХИПЕЛАГА ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА <u>Науменко М.А., Гузиватый В.В., Дудакова Д.С., Дудаков М.О., Анохин В.М.</u>	157
МИКРОЧАСТИЦЫ – НЕИССЛЕДОВАННЫЙ ФАКТОР РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ВОДНОЙ СРЕДЕ <u>Кашутина Е.А., Ясинский С.В., Веницианов Е.В., Сидорова М.В., Гришанцева Е.С.</u>	163
СБАЛАНСИРОВАННАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ: МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНЫХ СРЕД В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО КОМБИНАТА ПЕЧЕНГНИКЕЛЬ <u>Соколов А.В., Моисеенко Т.И., Гашкина Н.А., Таций Ю.Г.</u>	168
ВЫДЕЛЕНИЕ ДРЕВНЕЙ ГИДРОСЕТИ ТАМАНСКОГО ПОЛУОСТРОВА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДЕШИФРИРОВАНИЯ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ <u>Мануилова Е.А., Хотылев О.В., Ольховский С.В.</u>	174
КРУПНЕЙШИЕ ПРИЛЕДНИКОВЫЕ ОЗЕРА АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН ПОСООСТОЯНИЮ НА 2008-2019 ГГ. <u>Ромашова К.В., Чернов Р.А.</u>	178
ЭВТРОФИРОВАНИЕ АРКТИЧЕСКИХ ОЗЕР: РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ <u>Базова М.М., Моисеенко Т.И.</u>	183
ФОРМИРОВАНИЕ И ЭМИССИЯ МЕТАНА В БОЛЬШОМ МОЛОДОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ ПО ДАННЫМ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ (НА ПРИМЕРЕ БОГУЧАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА) <u>Василенко А.Н., Григорьев В.Ю., Репина И.А.</u>	189
АДАПТАЦИЯ РЫБ К СНИЖЕНИЮ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ОЗ. ИМАНДРА <u>Гашкина Н.А., Моисеенко Т.И.</u>	194

ВЛИЯНИЕ НИЖЕГОРОДСКОЙ ГЭС НА ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИЛЕГАЮЩЕЙ АКВАТОРИИ Гречушников М.Г., Мольков А.А., Капустин И.А., Лещев Г.В., Доброхотова Д.В.	200
--	-----

Гидрология суши. Стендовые доклады

ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ОДНОСТОРОННЕМУ ПРОМОРАЖИВАНИЮ ОБРАЗЦОВ ПЕСКА Фролов Д.М., Ржаницын Г.А., Сократов С.А., Кошурников А.В., Гагарин В.Е.	206
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ДАННЫХ ТЕРМОМЕТРИЧЕСКОЙ КОСЫ Фролов Д.М., Ржаницын Г.А., Сократов С.А., Кошурников А.В., Гагарин В.Е.	209
ОЦЕНКА ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА И ТОКСИЧНОСТИ ВОД РЕКИ МОСКВЫ В 2021-2022 гг. Духова Л.А., Оганесова Е.В., Кладити С.Ю., Трофимова В.В., Самойлова Т.А., Дмитриева Е.С., Лукьянова О.Н.	213
ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕКИ ИСТРА В ПЕРИОД ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ Ерина О.Н., Ефимова Л.Е., Соловьева С.С., Сазонов А.А., Лисина А.А., Платонов М.М.	219
РАСТВОРЕННЫЙ УГЛЕРОД И ЕГО ФОРМЫ В ЛАДОЖСКОМ ОЗЕРЕ В ПЕРИОД ОТКРЫТОЙ ВОДЫ Гусева М.А.	223
ТЕРМАЛЬНОЕ ОЗЕРО НА О. ИТУРУП КАК УНИКАЛЬНЫЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТ Хубаева О.Р., Дегтерев А.В., Козлов Д.Н., Жарков Р.В., Хомчановский А.Л.	227
ФОРМИРОВАНИЕ СТОКА Р. КОЛЫМА В СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ Лисина А.А., Фролова Н.Л.	230

Рациональное природопользование. Устные доклады

АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА БЕРЕГОВЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ ОХОТСКОГО И ЯПОНСКОГО МОРЕЙ Малюгин А.В., Бровка П.Ф., Волкова Д.И., Дзен Г.Н.	235
ПРОЕКТ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ХАЛАКТЫРСКОГО ПЛЯЖА (КАМЧАТКА) Хомчановский А.Л., Батанов Ф.И.	240
МОНИТОРИНГ ПЛАВАЮЩЕГО МОРСКОГО МУСОРА, ПОСТУПАЮЩЕГО С ВОДАМИ РЕК В ЧЕРНОЕ МОРЕ Погожева М.П.	244
ПРАВОВАЯ ОХРАНА МОРСКОЙ СРЕДЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МИКРОПЛАСТИКОМ Пономарев М.В.	249
ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ БАСЕЙНА КАСПИЙСКОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТКИ ЕДИНОЙ МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ «ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ» Мендыбаева Д.Б.	255
РАЗВИТИЕ БЕРЕГОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ ДО 2050 Г. В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ Бадина С.В., Панкратов А.А.	261
ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА АРКТИЧЕСКОЙ НАВИГАЦИИ В ЛЕДОВЫХ ВОДАХ Буторина Е.Г., Абрамов В.М.	264
ГЕОХИМИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ПРИМОРСКОГО РАЙОНА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ В КОНЦЕ ЗИМНЕГО ПЕРИОДА Щевченко В.П., Стародымова Д.П., Белоруков С.К., Коробов В.Б., Котова Е.И., Лохов А.С., Чульцова А.Л., Чупаков А.В., Яковлев А.Е.	268
ДИНАМИКА ИСЧЕЗАЮЩИХ ВИДОВ МОРСКИХ И ПРЕСНОВОДНЫХ РЫБ Смирнова Е.А.	272
ХЛОРООРГАНИЧЕСКИЕ ПЕСТИЦИДЫ В НЕКОТОРЫХ ПРОМЫСЛОВЫХ ВИДАХ РЫБ БЕРИНГОВА МОРЯ Метревели В.Е., Миронова Е.К., Ржещичкая К.Е., Беланов М.А., Цыганков В.Ю.	276
МЕТОДЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ПОДВОДНЫХ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ В АКВАТОРИЯХ ИХ ЗАТОПЛЕНИЯ Вяльшев А.И., Долгов А.А., Зиновьев С.В., Тузов Ф.К.	280

Рациональное природопользование. Стендовые доклады

СОСТОЯНИЕ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ КУРШСКОГО ЗАЛИВА ПО МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИМ И ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ ЛЕТОМ 2022 Г. Александров С.В., Смирнова М.М.	285
ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ НА ВОДНУЮ СРЕДУ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ РАБОТ В ПОРТУ АРХАНГЕЛЬСК Иглин С.М.	290

ТЕХНОГЕННОЕ ШУМОВОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКЕАНА: ИСТОЧНИКИ, РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ПОСЛЕДСТВИЯ <u>Трусов А.А.</u>	294
ИНФОРМАЦИОННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ НА ПРИМЕРЕ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «КУРШСКАЯ КОСА» <u>Сукманова Т.В.</u>	298
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПОБЕРЕЖИЙ АРХИПЕЛАГА НОВАЯ ЗЕМЛЯ МОРСКИМ МУСОРОМ <u>Воротниченко Е.Р.,</u> Ершова А.А., Котельников В.Д.	302
НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ КУСТИСТЫМИ ЭПИФИТНЫМИ ЛИШАЙНИКАМИ ВОДОСБОРА ОНЕЖСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ <u>Шевченко В.П.,</u> Саввичев А.С., Болотов И.Н., Стародымова Д.П., Кловиткин А.А.	306
СРАВНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ОРГАНАХ МАЛОГЛАЗОГО МАКРУРУСА (<i>ALBATROSSIA PECTORALIS</i>) И ЧЕРНОГО ПАЛТУСА (<i>REINHARDTIUS HIPPOGLOSSOIDES</i>) ИЗ БЕРИНГОВА МОРЯ Гамов М.К., Боярова М.Д., <u>Цыганков В.Ю.</u>	310
ТЯЖЁЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ДОННЫХ ОСАДКАХ МАЛЫХ ОЗЁР ВОДОСБОРА ОБИ В ЕЁ СРЕДНЕМ ТЕЧЕНИИ <u>Шевченко В.П.,</u> Воробьёв С.Н., Стародымова Д.П., Алиев Р.А., Лим А.Г., Покровский О.С.	315
ПОСТУПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ АТМОСФЕРЫ НА ВОДОСБОР БЕЛОГО МОРЯ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД <u>Стародымова Д.П.,</u> Котова Е.И.	319
МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ НЕФТЯНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ВОДАХ КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА БАРЕНЦЕВА МОРЯ <u>Чекменева Н.А.,</u> Долгова А.О., Коршенко А.Н.	323
ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОБЕРЕЖЬЯ НЕВСКОЙ ГУБЫ ФИНСКОГО ЗАЛИВА МОРСКИМ МУСОРОМ И МИКРОПЛАСТИКОМ В 2022 Г. <u>Голубева Е.А.,</u> Ершова А.А.	328
ТИПЫ БЕРЕГОВ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ РОССИИ И ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ К РАЗЛИВАМ НЕФТИ <u>Ермолов А.А.,</u> Кизяков А.И., Илюшин Д.Г., Исаченко А.И.	332
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДИНАМИКИ БЕРЕГОВ ОБСКОЙ ГУБЫ КАРСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ <u>Ермолов А.А.,</u> Белова Н.Г., Новикова А.В.	336
ИССЛЕДОВАНИЯ ОКЕАНИЧЕСКИХ БИОРЕСУРСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДОСТИЖЕНИЙ СОВРЕМЕННОЙ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ <u>Чернышков П.П.,</u> Тристанов А.Б.	339
К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ РЕКРЕАЦИОННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОРСКИХ ПОБЕРЕЖИЙ РОССИИ НА ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ <u>Санин А.Ю.</u>	343
КОМПЛЕКСНАЯ ШКОЛЬНАЯ МОРСКАЯ ПРАКТИКА НА БЕЛОМ МОРЕ <u>Азаров В.М.,</u> Барымова А.А., Кокорин А.И., Тиунова М.В.	347

Подводное наследие и водолазные методы. Устные доклады

ПРОБЛЕМА КОНСЕРВАЦИИ МОКРОЙ АРХЕОЛОГИЧЕСКОЙ ДРЕВЕСИНЫ ПОДВОДНО-АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ <u>Фазлуллин С.М.</u>	352
ПОДВОДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АНТИЧНЫХ ПОРТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ ФАНАГОРИИ (ТАМАНСКИЙ ПОЛУОСТРОВ) <u>Хотылев А.О.,</u> Ольховский С.В., Майоров А.А.	359
ПОДВОДНОЕ НАСЛЕДИЕ ДЕРБЕНТА И ВКЛЮЧЕНИЕ ЕГО В СОСТАВ ВСЕМИРНОГО НАСЛЕДИЯ ЮНЕСКО (АКТУАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ) <u>Гусев С.В.,</u> Гаджиев М.С., Фазлуллин С.М.	363
СРЕДНЕВЕКОВЫЙ «ВЕЛИКИЙ МОСТ»: ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ <u>Степанов А.В.</u>	367
НОВЕЙШИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАМЯТНИКОВ АНТИЧНЫХ КОРАБЛЕКРУШЕНИЙ: ПРОБЛЕМЫ. РЕШЕНИЯ. ПЕРСПЕКТИВЫ <u>Писаревский Н.П.</u>	373
ПОДВОДНОЕ КУЛЬТУРНОЕ НАСЛЕДИЕ В ВЫСТАВОЧНЫХ ЭКСПОЗИЦИЯХ МУЗЕЯ-ЗАПОВЕДНИКА «ХЕРСОНЕС ТАВРИЧЕСКИЙ» <u>Букатов А.А.</u>	377
ПОДВОДНЫЕ АРХЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КРЕПОСТИ САРКЕЛ-БЕЛАЯ ВЕЖА, ЗАТОПЛЕННОЙ В ЦИМЛЯНСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ <u>Хохлов С.А.,</u> Иванов С.В., Бардашов М.Н., Ткаченко Ю.Г., Пивнев П.П.	382
ЛОКАЛИЗАЦИЯ И ПЕРВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДВОДНО-АРХЕОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ЛИНЕЙНОГО КОРАБЛЯ «СВЯТОСЛАВ» <u>Фазлуллин С.М.,</u> Золотарев О.А.	388
НОВЕЙШИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СЕНОТАХ МЕКСИКИ: РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ <u>Борисова Г.А.</u>	392

МЕТОДОЛОГО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ИЗУЧЕНИЯ И СОХРАНЕНИЯ МОРСКОГО КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ <u>Мозговой С.А.</u>	396
ЛЕЧЕНИЕ ДЕКОМПРЕССИОННОЙ БОЛЕЗНИ (ДКБ) В КИСЛОРОДНОЙ БАРОКАМЕРЕ – ЗА И ПРОТИВ <u>Митрохин А.А.</u> , Левина О.А.	401

Подводное наследие и водолазные методы. Стендовые доклады

ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ ПОДВОДНОЙ АРХЕОЛОГИИ КИПРА <u>Атеш М.А.</u>	406
МОРСКОЕ НАСЛЕДИЕ ПЕТРА ВЕЛИКОГО: СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ <u>Мозговой С.А.</u>	412
РАБОТЫ МЧС РОССИИ НА ПОДВОДНЫХ ПОТЕНЦИАЛЬНООПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ В КАРСКОМ МОРЕ <u>Тузов Ф.К.</u> , Вялышев А.И., Долгов А.А., Зиновьев С.В.	416

Научно-популярные фильмы

НАГРЕВ ОКЕАНА И ТАЯНИЕ ЛЕДНИКОВ ГРЕНЛАНДИИ И АНТАРКТИКИ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ЭНДОГЕННОЙ АКТИВИЗАЦИЕЙ ПЛАНЕТЫ <u>Механтьева Н.П.</u> , Хромова Е.В.	421
--	-----

Приложение 426

СОДЕРЖАНИЕ ТОМА II (IV).....	427
СОДЕРЖАНИЕ ТОМА III (IV).....	431
СОДЕРЖАНИЕ ТОМА IV(IV).....	436

Программа

Programme

24 октября, понедельник

	Большой зал	Малый зал	Аудитория
10.00-10.40	Регистрация		
10.40-12.35	Пленарная сессия		
12.35-13.30	Обеденный перерыв		
13.30-15.10	Пленарная сессия		
15.10-15.25	Перерыв		
15.25-17.00	Научно-популярные фильмы		

25 октября, вторник

	Большой зал	Малый зал	Аудитория
08.30-13.30	Регистрация		
09.00-10.40	Океанология	Морская биология	Морские ландшафты
10.40-10.55	Перерыв		
10.55-12.35	Океанология	Морская биология	Морские ландшафты
12.35-13.30	Обеденный перерыв		
13.30-15.10	Океанология	Морская биология	Гидрология суши
15.10-15.25	Перерыв		
15.25-17.00	Океанология	Морская биология	Гидрология суши
16.40-18.00	Стендовые сессии Океанология (очные стенды)	Стендовая сессия Морская биология (очные стенды)	

26 октября, среда

	Большой зал	Малый зал	.Аудитория
08.30-13.30	Регистрация		
09.00-10.40	Морская геология	Морская биология	Гидрология суши
10.40-10.55	Перерыв		
10.55-12.35	Морская геология	Морская биология	Гидрология суши
12.35-13.30	Обеденный перерыв		
13.30-15.10	Морская геология	Морская биология	Гидрология суши
15.10-15.25	Перерыв		
15.25-17.00	Морская геология	Морская биология	Гидрология суши
17.00-18.30		Стендовые сессии Морская биология (очные стенды)	Стендовая сессия Гидрология суши (очные и online стенды)

27 октября, четверг

	Большой зал	Малый зал	Аудитория
08.30-10.30	Регистрация		
09.00-10.40	Морская геология	Рациональное природопользование	Подводное культурное наследие
10.40-10.55	Перерыв		

10.55-12.35	Морская геология	Рациональное природопользование	Подводное культурное наследие
12.35-13.30	Обеденный перерыв		
13.30-15.10	Стендовые сессии Морская геология и геофизика	Рациональное природопользование	Подводное культурное наследие
15.10-15.25	Перерыв		
15.25-17.00		Стендовая сессия Рациональное природопользование (очные и online стенды)	Подводное культурное наследие
17.00-18.00			Стендовые сессии Подводное культурное наследие (очные и online стенды)

28 октября, пятница

	Room 1	Room 2	Геологический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова
09.00-10.40	Океанология (Online)	Морская биология (Online)	Круглый стол "Новые данные о признаках последнего оледенения на Баренцево-Карском шельфе".
10.40-10.55	Перерыв		
10.55-12.35	Океанология (Online)	Морская биология (Online)	Круглый стол "Новые данные о признаках последнего оледенения на Баренцево-Карском шельфе".
12.35-13.30	Обеденный перерыв		
13.30-15.10	Океанология (Online)	Морская биология (Online)	Круглый стол "Новые данные о признаках последнего оледенения на Баренцево-Карском шельфе". Предварительные результаты научно экспедиционных работ в северной части Карского моря в рамках программы Плавающего университета «Обучение через исследования» (TTR-21).
15.10-15.25	Перерыв		
15.25-17.00	Стендовая сессия Океанология (online стенды)	Стендовая сессия Морская биология (online стенды), 15.00-16.05	Круглый стол "Новые данные о признаках последнего оледенения на Баренцево-Карском шельфе". Предварительные результаты научно экспедиционных работ в северной части Карского моря в рамках программы Плавающего университета «Обучение через исследования» (TTR-21).
17.00-18.00	Стендовая сессия Океанология (online стенды)		Стендовая сессия "Участники программы Плавающего университета «Обучение через исследования».

Тезисы

Abstracts

Пленарная сессия

Устные доклады

Plenary session

Oral presentations

МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ПРИРОДНЫХ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ ОЗЕРА БАЙКАЛ

MORPHOLOGICAL DIVERSITY OF NATURAL GAS HYDRATES IN LAKE BAIKAL

Хлыстов Олег Михайлович¹, Манаков Андрей Юрьевич²

¹ *Лимнологический институт СО РАН, Иркутск;*

² *Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск*

Khlystov Oleg Mikhailovich¹, Manakov Andrey Yurevich²

¹ *Limnological Institute SB RAS, Irkutsk;*

² *Nikolaev Institute of Inorganic Chemistry SB RAS, Novosibirsk.*

Введение

Озеро Байкал – единственный пресноводный водоем, в осадочной толще которого обнаружены многочисленные скопления газовых гидратов. Ранее, анализ форм газовых гидратов в зависимости от типа разгрузки глубинных флюидов (сип, покмарк, грязевой вулкан или гидратный холм), типа гидратной структуры (кубические структуры I и II, КС-I и КС-II, соответственно) и состава гидратного газа выполнялся частично, и не охватывал всего их морфологического разнообразия. По генетическому признаку выделяют четыре основных типа газогидратов в Мировом океане: криогенный, седиментогенный, фильтрогенный, диагенетический. Столько же по морфологическому: мелковкрапленные, узловатые, слоистые, массивные (плотные) (Гинзбург, Соловьев, 1994). В данной работе, на основе фото-видео документации кернов, а также изучения состава и структуры природных газовых гидратов озера Байкал, проведена систематизация разнообразия их морфологии в сопоставлении с типом разгрузки и предложены дополнения к существующей классификации с учетом необычных форм газовых гидратов присущие байкальским грязевым вулканам.

Данные и методы

Для изучения морфологического разнообразия газовых гидратов озера изучали фото-видео документацию кернов и газовых гидратов, обнаруженных с 2000 по 2019 гг. Для определения типа геологической структуры, через которую идет или шла разгрузка углеводородсодержащих флюидов, использовали геолого-геофизические данные района и анализ геологических разрезов. Газовый состав гидратов и вмещающих их донных отложений определяли хроматографически; структурный тип гидратов - методом рентгенофазового анализа (Манаков и др., 2021, Nachikubo et al., 2020).

Результаты и обсуждение

Байкальские газовые гидраты относятся к седиментогенному и фильтрогенному типам. Ранее, по первым двум десяткам гидратоносных структур на Байкале, текстуры наличия газовых гидратов в кернах разделяли на порфириовидную, массивную, слоистую и разноориентировано жильную. Также отмечали микроскопические включения гидратов в роли цемента и слоев из слипшихся гранул (Khlystov et al., 2013). Все указанные морфологические формы хорошо ложатся в общепринятую схему классификации, за

исключением гранул, неоднократно описанных в ряде грязевых вулканов озера и одном сипе (Kida et al., 2006, Khlystov et al., 2013, Манаков и др., 2013, Nachikubo et al., 2020, Манаков и др., 2021).

Анализ 59 гидратоносных структур, из которых 1 покмарк, 11 сипов, 29 грязевых вулканов и 18 гидратных холмов, показал, что в сипах и гидратных холмах чаще всего присутствует слоистый тип гидрата в виде горизонтальных или наклонных слоев мощностью до нескольких сантиметров, разноориентированные жилы и слойки малой мощности (до 1 см). Такие же формы, но большей мощности, а также массивные и мелкокрапленные гидраты (цемент) найдены в грязевых вулканах. Кроме того, иногда встречали необычные формы гидратов в виде слоев из гранул, пористого слоя или «кавернозных» слоев газовых гидратов (рис.1).

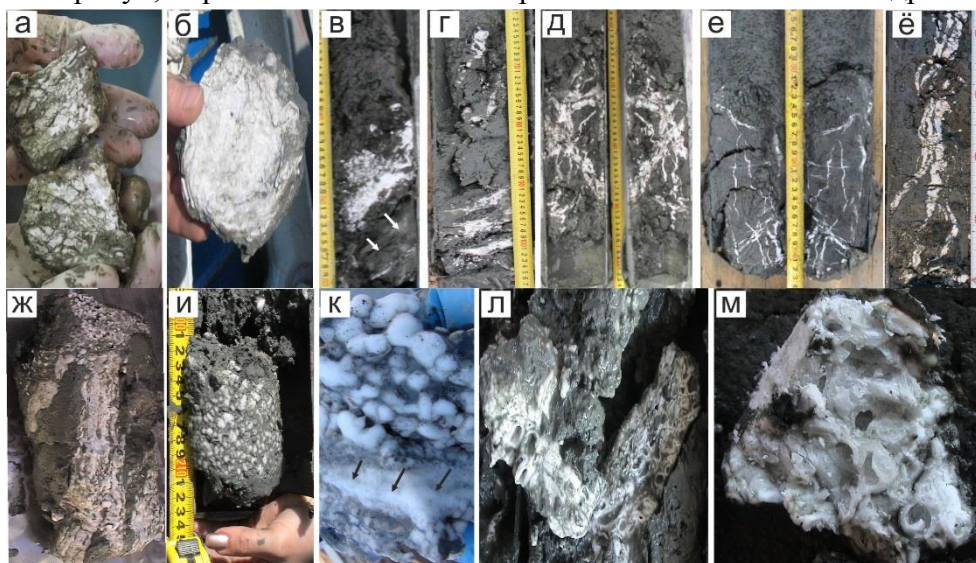


Рис 1. Морфологические формы байкальских газовых гидратов (Khlystov et al., 2013, с дополнениями и изменениями (анализ 59 гидратоносных структур)). (а) – порфировидные, (б) – массивные, (в) – в качестве цемента (белые стрелки), (г) – слоистые, (д, е) – разноориентированные жилы и прослойки, (ё) – вертикальные жилы, (ж) – грануловидные и вертикальные слои, (и) – грануловидные, (к) – пористые слои (черные стрелки) между грануловидными слоями, (л) – изогнутые «кавернозные» слои, (м) – «каверны».

Согласно (Манаков и др., 2013, Nachikubo et al., 2021) гранулы представляют собой вторичные образования, формирующиеся после растворения слоистых гидратов структуры КС-I, с обогащением газовой смеси этаном, из которой и образуются гранулы гидрата КС-II. Грануловидный морфологический тип газовых гидратов свойственен только гидратам смеси метана и этана с содержанием последнего от 2,5 до 15%. Остальные формы (слои и монолиты), как правило, имели в составе газа в основном метан, содержание этана не превышало 2,5%. Всего на Байкале известно 6 районов, где обнаружены грануловидные газовые гидраты. Это пять грязевых вулканов («К-2», «К-3», «К-4», «Кедр»), один покмарк «К-покмарк» и один сип «Посольская Банка», который обнаружили с борта ГОА «МИР» по цвету поверхностного осадка (Nauds et al., 2012).

На грязевом вулкане «Кедр», наряду с гидратами КС-II в виде гранул, обнаружены гидраты КС-II в виде монолитных слоев. Часть из них были пористые и рыхлые. В контакте с ними или рядом присутствовали гидраты в виде гранул, с тем же составом гидратного газа (Манаков и др., 2021) (рис. 2).

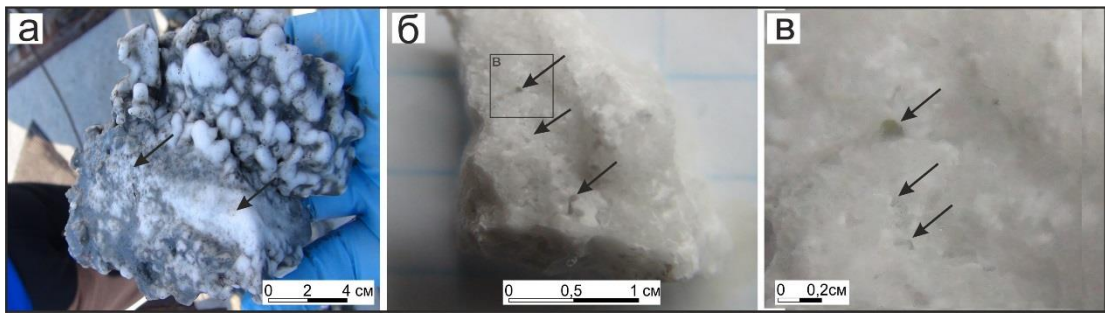


Рис 2. Фотографии слоев с гранулами и с порами. Стрелками показаны поры. (а) – окруженный гранулами слой гидрата, (б) – вид пористого слоя после извлечения из жидкого азота, квадратом указан участок врезки (в), (в) – увеличенный участок гидрата с порами.

По нашему мнению, грязевой вулкан «Кедр» является единственным уникальным для Байкала объектом, где гидрат формировался не только из бедных этаном флюидных потоков (образуется гидрат КС-I), но и из потоков с высоким содержанием этана (образуется слоистый гидрат КС-II). Обнаружение пористых слоев с прилегающими гранулами гидрата показывает, что формирование гранул может быть связано не только с растворением слоя гидрата КС-I. Можно предположить, что растворение слоя гидрата КС-II происходит в две стадии: (а) растворение гидрата в слое по межкристаллитным границам с образованием пор, (б) дальнейшее растворение слоя с распадом его на отдельные гранулы. Таким образом, формирование пористых слоев и гранул гидрата является универсальной промежуточной стадией разложения гидрата в донных отложениях. Причиной этого может быть изменение путей выхода флюидных потоков грязевого вулкана в результате геологических катаклизмов. В результате, концентрация газов в поровой воде, окружающей гидрат, снижается ниже равновесной, и гидрат растворяется.

На грязевом вулкане «Маленький» обнаружены изогнутые и ломаные слои газовых гидратов, в которых имеются «каверны», представляющие собой отверстия от сжатых и «вмороженных» в них пузырей (рис. 3). Слои с кавернами были на несколько сантиметров выше обычных слоистых гидратов. Размер каверн не превышал 5-7 мм. Местами в слое видны отдельные стенки «замерзших» пузырей («скорлупки», толщина стенки 2-3 мм). Анализ газового гидрата, показал, что и слой, и «скорлупа» состояли из гидрата метана КС-I. Подобные формы могли образоваться только в случае наличия части газа в свободной форме (пузырей) в момент формирования слоистых гидратов. Гидрат формировался по стенкам пузыря, который сжимался из-за снижения давления внутри него, и такая структура была законсервирована на контакте со слоистым гидратом, расположенным выше. Данная модель предварительная и требует дополнительного изучения.

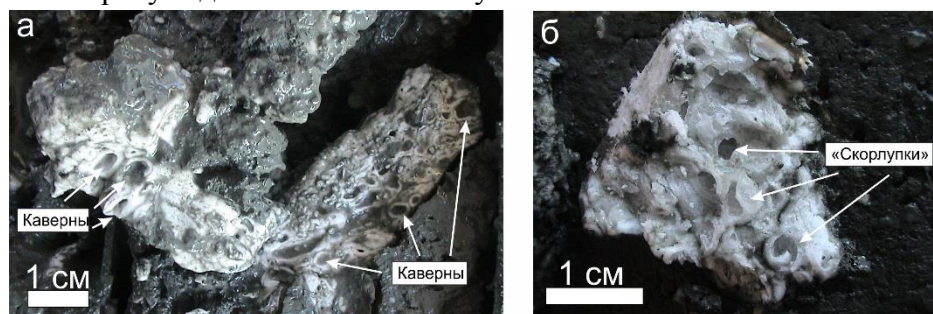


Рис 3. Фотографии «кавернозных» газовых гидратов грязевого вулкана «Маленький». (а) – «каверны» в слоистом гидрате; (б) – вид и форма «скорлупы».

Отчасти подобные эффекты ранее визуально зафиксированы при формировании газовых гидратов из пузырей *in situ* с помощью ГОА «МИР» на сипе «Горевой Утес» (глубина 860-900 м) и «Санкт-Петербург» (1400 м). В момент накопления пузырей в закрытом объеме они образовывали «пену» из пузырей диаметром менее 1 см, покрытых гидратами (Khlystov et al., 2010). В дальнейшем, если не было встряхиваний, то пена сжималась, образуя структуры похожие на пенопласт. Если пузыри ломались, то образовывалась сыпучая смесь – гидратный порошок. Егоров А.В. с соавторами подробно описал механизм этих преобразования (Егоров и др., 2012). Но этот механизм не до конца объясняет образование сплюснутых толстостенных «скорлуп» на слое монолитного слоистого гидрата в донных отложениях.

Заключение

Байкальские гидраты морфологически на ряду с известными типами (массивные, слоистые, мелковкрапленные, узловатые) разделяются еще на три типа – гранулоподобные, пористые, кавернозные. Наибольшим морфологическим разнообразием обладают грязевые вулканы, где обнаружены все обсуждавшиеся в работе морфологические типы газовых гидратов. Анализ 59 гидратоносных структур озера Байкал подтвердил сделанное ранее предположение, что пористые слои гидратов и слои спекшихся гранул являются промежуточной стадией растворения гидратных слоев, при этом формирование гранул может происходить как с изменением типа структуры гидрата, так и без такого изменения. В работе впервые сообщается об обнаружении слоев гидратов, содержащих газовые каверны, что свидетельствует о возможном участии пузырьковой формы газа при формировании газовых гидратов в грязевых вулканах озера Байкал.

Финансирование Исследование выполнено при поддержке проектов гос.тем ЛИН СО РАН 0279-2021-0006 (121032300223-1) и ИНХ СО РАН (121031700321-3)

Список литературы

1. Гинсбург Г.Д., Соловьев В.А. Субмаринные газовые гидраты. – СПб.: ВНИИОкеангеология. – 1994. – 199 с.
2. Kida M., Khlystov O., Zemskaya T., Takahashi N., Minami H., Sakagami H., Krylov A., Nachikubo A., Yamashita S., Shoji H., Poort Jeffrey, and Naudts L. Coexistence of structure I and II gas hydrates in Lake Baikal suggesting gas sources from microbial and thermogenic origin // *Geophys. Res. Lett.* – 2006. – Т. 33. – № L24603. – С. 1–4.
3. Khlystov O., De Batist M., Shoji H., Nachikubo A., Nishio S., Naudts L., Poort J., Khabuev A., Belousov O., Manakov A., Kalmychkov G. Gas hydrate of Lake Baikal: Discovery and varieties // *Journal of Asian Earth Sciences.* – 2013. – Т. 62. – № 1. – С. 162–166.
4. Манаков А.Ю., Хлыстов О.М., А. Хачикубо, Огиенко А.Г. Физико-химическая модель образования газовых гидратов с различным структурным типом на грязевом вулкане К-2 (Кукуйский каньон, озеро Байкал) // *Геология и геофизика.* – 2013. – Т. 54. – № 4. – С. 615–625.
5. Nachikubo A., Minami H., Yamashita S., Khabuev A., Krylov A., Kalmychkov G., Poort J., De Batist M., Chenskiy A., Manakov A., Khlystov O. Characteristics of hydrate-bound gas retrieved at the Kedr mud volcano (southern Lake Baikal) // *Scientific Reports.* – 2020. – V. 10. – № 1. – P. 1–2.
6. Манаков А.Ю., Хлыстов О.М., Сагидуллин А.К., Адамова Т.П., Хабуев А., Родионова Т.В., Юношев А.С. Структура, морфология и состав природных газовых гидратов отобранных

на грязевом вулкане Кедр-1 (оз. Байкал) // Журнал структурной химии. – 2021. – Т. 62. – № 6. – С. 958–965.

7. Naudts L, Khlystov O, Granin N, Chensky A, Poort J, De Batist M. Stratigraphic and structural control on the distribution of gas hydrates and active gas seeps on the Posolsky Bank, Lake Baikal // Geo-Mar. Lett. – 2012. – V.32. – P. 395–406.

8. Khlystov O.M., Batist M., Minami H., Nachikubo A., Khabuev A.V., Kazakov A.V. The position of gas hydrates in the sedimentary strata and in the geological structure of Lake Baikal // World atlas of submarine gas hydrates in continental margins. ed. Jürgen Mienert et al. – Switzerland: Springer Nature Switzerland AG. – 2022. – P. 465–471.

9. Khlystov O. Poort J. Chernayev E. Hydrate growth, dissolution and dissociation in the water column: a MIR monitoring experiment at the "Gorevoy Utes" oil seep in Lake Baikal // Abstracts of 10th International Conference on Gas in Marine Sediments. Limnological Institute SB RAS, Listvyanka (Lake Baikal), Russia. – 2010. – С. 114.

10. Егоров А.В., Нигматулин Р.И., Рожков А.Н., Сагалевич А.М., Черняев Е.С. О Превращениях глубоководных метановых пузырей в гидратный порошок и гидратную пену // Океанология. – 2012. – Т.52. – № 2. – С. 213–225.

СВЯЗЬ СТРУКТУРЫ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ ПРИДОННЫХ ЭКОТОПОВ
БАРЕНЦЕВА МОРЯ С ГЕОЛОГИЧЕСКИМИ И ГЕОХИМИЧЕСКИМИ
ПАРАМЕТРАМИ СРЕДЫ

CORRELATION BETWEEN THE STRUCTURE OF MICROBIAL COMMUNITIES OF
THE BARENTS SEA BENTHIC ECOTOPES AND GEOLOGICAL AND GEOCHEMICAL
ENVIRONMENTAL PARAMETERS

**Строева Александра Романовна¹, Клюкина Александра Антоновна², Видищева
Олеся Николаевна¹, Полудеткина Елена Николаевна¹, Ахманов Григорий Георгиевич¹,
Меркель Александр Юрьевич²**

¹ *Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва*

² *ФИЦ Биотехнологии РАН, Москва*

**Stroeva Aleksandra Romanovna¹, Klyukina Aleksandra Antonovna², Vidischeva Olesya
Nikolaevna¹, Akhmanov Grigorii Georgievich¹, Merkel Alexander Yurievich²**

¹ *Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

² *Research Center of Biotechnology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

Введение

Баренцевоморский шельф по своим ресурсам, природным условиям и географическому положению является экономически наиболее перспективным во всем Арктическом регионе [Ступакова и др., 2015]. В настоящее время в пределах российского сегмента Баренцевоморского шельфа открыто 5 газовых и газоконденсатных месторождений [Борисов и др., 1995]. Одно из месторождений – Штокмановское – по категории крупности относится к уникальным и входит в первую десятку в мире по запасам природного газа [Dore, 1995; Yakovlev et al., 2010]. Несмотря на относительно высокую степень геолого-геофизической изученности Баренцева моря следует отметить, что основной объем геологоразведочных работ долгое время был сосредоточен в других нефтегазоносных провинциях. В этой связи представления о нефтегазоносности Баренцевоморского шельфа часто не систематизированы и не обобщены. Это обстоятельство определяет необходимость обобщения комплексных геолого-геофизических, геохимических и микробиологических исследований. А появившиеся за последние десятилетия многочисленные публикации в области биогеохимии органического вещества осадочных толщ, донных отложений и нефтей могут существенно дополнить представления о процессах миграции и аккумуляции нефти и газа в Баренцевоморском регионе.

Углеводороды, как природного, так и техногенного происхождения, являются субстратами для микроорганизмов, в том числе обитающих в низкотемпературных морских биотопах, причем некоторые из микроорганизмов используют углеводороды как единственный источник углерода и энергии [Narayana et al., 2004; Yakimov et al., 2007; Manilla-Perez et al., 2010; Liu and Liu, 2013], и, следовательно, могут являться индикаторами нефтепроявлений. Одновременно углеводородокисляющие бактерии, в том числе психрофильные, способствуют самоочищению природных местообитаний от техногенных

углеводородных загрязнений [Yakimov et al., 1998; Schneiker et al., 2006; Golyshin et al., 2002; Toshchakov et al., 2017; Yakimov et al., 2004; Kimes et al., 2014; Kasai et al., 2002; Harayama et al., 2004; Hu et al., 2017; Lu et al., 2011].

Таким образом, микробиологические исследования донных грунтов могут дополнять и уточнять геохимические исследования нефтегазоматеринских толщ и пород-коллекторов, тем самым увеличивая достоверность прогноза новых нефте- и газоперспективных зон в акватории Баренцева моря.

Объекты и методы исследования

В ходе экспедиции TTR-19 по программе «Обучение-через-исследование» на научно-исследовательском судне «Академик Николай Страхов», организованной МГУ имени М.В. Ломоносова при поддержке Министерства высшего образования и науки РФ, было отобрано 217 проб воды и грунта, включающих в себя образцы наилка, образцы донных осадков с интервалов 5 и 25 см от дна, а также образцы придонной воды. Донный пробоотбор с помощью гравитационной трубки проводили на структурах, предварительно выделенных по геофизическим данным, полученным в ходе экспедиции.

Все пробы были детально описаны и проанализированы с геологической (особенности рельефа морского дна, строение разреза по геофизическим данным, литология донных осадков, петрофизические свойства грунтов и т.д.), геохимической и гидрохимической точки зрения. Тотальную ДНК микробных сообществ из проб выделяли в судовой лаборатории сразу после отбора образцов. Затем в лаборатории был проведен анализ состава микробных сообществ методами NGS профилирования по гену 16S рРНК.

Результаты и их обсуждение

На основе проведенного анализа были выявлены наиболее распространенные группы МО в разных типах образцов. Для образцов фильтров воды: некультивируемые бактерии (НБ) семейства *Thioglobaceae* (SUP05 cluster), археи кандидатного рода *Nitrosopumilus*, протеобактерии рода *Woeseia* и НБ глубокого филогенетического кластера NB1-j. Для образцов предфильтров воды: НБ семейства *Nitrincolaceae*, протеобактерии рода *Pseudoalteromonas*, представители рода *Polaribacter* и археи кандидатного рода *Nitrosopumilus*. Для образцов наилка: НБ глубокого филогенетического кластера NB1-j, протеобактерии рода *Woeseia*, НБ семейства *Desulfobulbaceae* и некультивируемые *Gammaproteobacteria*. Для образцов с 5 см: некультивируемые планктомицеты класса *Phycisphaerae* (гр. MSBL9), НБ семейства *Desulfosarcinaceae* (гр. SEEP-SRB1), НБ глубокого филогенетического кластера NB1-j и НБ семейства *Desulfobulbaceae*. Для образцов с 25 см: НБ семейства *Anaerolineaceae*, некультивируемые планктомицеты класса *Phycisphaerae* (гр. MSBL9), НБ порядка *Aminicenantales* и НБ глубокого филогенетического кластера JS1 (*Caldatribacteriota*).

Методом хроматомасс-спектрометрии идентифицированы насыщенные углеводороды-биомаркеры (н-алканы, изопренаны, стераны и терпаны) в растворимой части органического вещества (ОВ) донных отложений Баренцева моря. Распределение вышеуказанных углеводородов (УВ) напоминает слабопреобразованное морское ОВ, сгенерированное в карбонатных и глинисто-карбонатных толщах, с привнесением терригенного ОВ с суши, что подтверждается данными пиролиза Rock-Eval. Важно отметить, что среди изученных образцов встречаются образцы с повышенной зрелостью ОВ, которая может быть связана с подтоком УВ флюидов из глубокопогруженных отложений либо с присутствием ОВ из

обнажающихся на поверхности дна древних отложений. Также была выделена группа образцов с самой низкой степенью зрелости ОБ, что может указывать на высокую биопродуктивность в данных районах исследований.

Нами был проведен всесторонний статистический анализ результатов профилирования микробных сообществ более 150 образцов воды и грунта Баренцева моря. В результате были выявлены достоверные закономерности распределения микроорганизмов в воде, наилке и грунте, описаны постоянные и вариативные компоненты соответствующих микробных сообществ. Были изучены закономерности распределения отдельных групп микроорганизмов в зависимости от таких характеристик грунта, как литологический состав, Eh, толщина комплекса морских осадков, степень обводненности грунта, наличие гидротроилитовых прослоев, общая численность микроорганизмов в осадке и тд. Был выявлен ряд корреляций между количеством и распределением углеводов-биомаркеров в битумоиде «А» и численностью отдельных групп микроорганизмов. Совокупность выявленных закономерностей распределения некультивируемых групп микроорганизмов позволила выдвинуть ряд обоснованных гипотез о фенотипе их представителей и об их роли в описываемых микробных сообществах.

Заключение

Проведенная работа с использованием высокопроизводительного секвенирования и с использованием современных статистических подходов в экологии микроорганизмов является первым случаем столь масштабной оценки закономерностей распространения микроорганизмов в придонных экотопах Баренцева моря. В дальнейшем возможно использование корреляции микробных сообществ с геолого-геохимическими данными как нефтегазопроисследовательский критерий на акваториях.

Финансирование

Исследование выполнено при поддержке РФФИ No 20-54-20001 Норв_т.

Список литературы

1. *Ступакова А.В., Кирюхина Т.А., Сулова А.А. и др.* Перспективы нефтегазоносности мезозойского разреза Баренцевоморского бассейна // Георесурсы. – 2015. – 2(61):13-27.
2. *Борисов А.В., Таныгин И.А., Винниковский В.С. и др.* Штокмановско-Луниинский структурный порог Баренцевоморского шельфа – Новый крупный нефтегазоносный район России // Проблемы нефтегазовой геологии. – 1995. – 7:10-15.
3. *Dore A.G.* Barents Sea Geology, Petroleum Resources and Commercial Potential // ARCTIC. – 1995. – 48:207-221.
4. *Yakovlev I., Stein Y., Barkov A., Filippova K., Fedotov S.* 3D geological model for a gas-saturated reservoir based on simultaneous deterministic partial stack inversion // First Break. – 2010. – 28:125-133.54:141–14.
5. *Harayama S., Kasai Y., Hara A.* Microbial communities in oil-contaminated seawater // Curr. Opin. Biotechnol. – 2004. – 15:205–214.
6. *Yakimov M.M., Timmis K.N., Golyshin P.N.* Obligate oil-degrading marine bacteria // Curr. Opin. Biotechnol. – 2007. – 18:257–266.

7. *Manilla-Perez E., Lange A.B., Hetzler S., Steinbuchel A.* Occurrence, production, and export of lipophilic compounds by hydrocarbonoclastic marine bacteria and their potential use to produce bulk chemicals from hydrocarbons // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* – 2010. – 86:1693–1706.
8. *Liu Z., Liu J.* Evaluating bacterial community structures in oil collected from the sea surface and sediment in the northern Gulf of Mexico after the Deepwater Horizon oil spill // *Micro- biology open.* – 2013. – 2:492–504.
9. *Yakimov M.M., Golyshin P.N., Lang S., Moore E.R., Abraham W.R., Luensdorf Y., Timmis K.N.* *Alcanivorax borkumensis* gen. nov., sp. nov., a new, hydrocarbon- degrading and surfactant-producing marine bacterium // *Int. J. Syst. Bacteriol.* – 1998. – 48:339–348.
10. *Schneiker S., Martins dos Santos V.A.P., Bartels D., Bekel T., Brecht M., Buhrmester J., Chernikova T.N., Denaro R., Ferrer M., Gertler C., Goesmann, Golyshina O.V., Kaminski F., Khachane N., Lang S., Linke B., McHardy A.C., Meyer F., Nechitaylo T., Puhler A., Regenhardt D., Rupp O., Sabirova J.S., Selbitschka W., Yakimov M.M., Timmis K.N., Vorholter F.-J., Weidner S., Kaiser O., Golyshin P.N.* Genome sequence of the ubiquitous hydrocarbon-degrading marine bacterium *Alcanivorax borkumensis* // *Nat. Biotechnol.* – 2006. – 24:997–1004.
11. *Golyshin P.N., Chernikova T.N., Abraham W.R., Luensdorf H., Timmis K.N., Yakimov M.M.* *Oleophilaceae* fam. nov., to include *Oleiphilus messinensis* gen. nov., sp. nov. , a novel maine bacterium that obligately utilizes hydrocarbons // *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* – 2002. – 52:901-911.
12. *Toshchakov S.V., Korzhenkov A.A., Chernikova T.N., Ferrer M., Golyshina O.V., Yakimov M.M., Golyshin P.N.* The genome analysis of *Oleiphilus messinensis* ME102 (DSM 13489(T)) reveals backgrounds of its obligate alkane-devouring marine lifestyle // *Mar. Genomics.* – 2017. – 36:41-47.
13. *Yakimov M.M., Giuliano L., Denaro R., Crisafi E., Chernikova T.N., Abraham W.-R., Luensdorf H., Timmis K.N., Golyshin P.N.* *Thalassolituus oleivorans* gen. nov., sp. nov., a novel marine bacterium that obligately utilizes hydrocarbons // *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* – 2004.
14. *Kimes N.E., Callaghan A.V., Suflita J.M., Morris P.J.* Microbial transformation of the Deepwater Horizon oil spill – past, present, and future perspectives // *Front. Microbiol.* – 2014. – 5:603.
15. *Kasai Y., Kishira H., Harayama S.* Bacteria belonging to the genus *Cycloclasticus* play a primary role in the degradation of aromatic hydrocarbons released in a marine environment // *Appl. Environ. Microbiol.* – 2002. – 68:5625–5633.
16. *Harayama S., Kasai Y., Hara A.* Microbial communities in oil-contaminated seawater // *Curr. Opin. Biotechnol.* – 2004. – 15:205–214.
17. *Lu Z., Deng Y., Van Nostrand J.D., He Z., Voordeckers J., Zhou A., Lee Y.-J., Mason O.U., Dubinsky E.A., Chavarria K.L., Tom L.M., Fortney J.L., Lamendella R., Jansson J.K., D’Haeseller P., Hazen T., Zhou J.* Microbial gene functions enriched in the Deepwater Horizon deep-sea oil plume // *ISME J.* – 2011. – 6:451–460.

УДК 574

Рубрика 87.15.00.; 87.19.00.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ РАЗВИТИИ СМП КАК ЕДИНОГО ИНФРАСТРУКТУРНОГО ПРОЕКТА

ENVIRONMENTAL SAFETY IN THE DEVELOPMENT OF THE NSR AS A INFRASTRUCTURE PROJECT

Шабалин Николай Вячеславович

Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва

nsh@marine-rc.ru

Shabalin Nikolay Vyacheslavovich

Marine Research Center of the Lomonosov Moscow State University, Moscow

Экологическая безопасность, соответствие российским и международным экологическим стандартам, и лучшим природоохранным практикам - приоритетные цели при развитии Северного Морского Пути и Арктического региона в целом.

Экологическая безопасность включает: (1) научно-методические подходы и технологии, (2) нормативное обеспечение их использования и (3) мониторинг окружающей среды и биоразнообразия для сбора необходимой и достаточной информации о состоянии морских экосистем с целью своевременного принятия управленческих решений, оценки их эффективности и корректировки при необходимости.

Существующие программы экологического мониторинга в акватории Арктической зоны Российской Федерации сфокусированы на отдельных компонентах среды или акваториях (порты, лицензионные участки недропользователей) и не охватывают весь СМП – интегральная и систематическая оценка отсутствует, единой базы данных нет.

Недостаточность систематизированных публичных данных о состоянии окружающей среды в акватории Северного морского пути (СМП) на международном уровне тормозит развитие транзитного судоходства.

Для решения этой проблемы Госкорпорацией Росатом была инициирована разработка Программы экологического мониторинга СМП как предварительной методологии, последовательности и планов работ и реализация пилотного набора мероприятий, направленных на проведение комплексных исследований и мониторинга надводной и подводной экологической безопасности в акватории АЗ РФ в соответствии с российскими и международными стандартами и наилучшими мировыми практиками.

В основу подхода реализации программы положен опыт выполнения комплексных исследований и разработки документации как для инвестиционных проектов, так и для научных программ (российских и международных).

В результате, в 2021-2022 гг была проведена инвентаризация накопленных данных о состоянии и изученности морских акваторий по трассе СМП, выделены приоритетные районы и параметры для мониторинга состояния окружающей среды, испытаны и показали свою эффективность цифровые сервисы по контролю экологической безопасности СМП на основе данных ДЗЗ.

Проведен пилотный экологический мониторинг на 50 комплексных станциях в ходе попутных исследований по маршрутам судов Росатома.

Создана международная группа экспертов, в которую вошли представители ведущих научных и природоохранных организаций из России и Европы.

Совместно с экспертным сообществом разработана Рамочная программа экологического мониторинга акватории СМП, в которой обоснован с научной и законодательной точки зрения необходимый объем дальнейших работ.

В настоящий момент состояние морских экосистем в акватории СМП можно оценить как нормальное. Транзитное и каботажное судоходство не оказывает на них серьезного влияния на текущем этапе, но для контроля экологической безопасности судоходства и обеспечения устойчивого развития СМП, оценки его экологического следа как единого инфраструктурного проекта, работы по экологическому мониторингу необходимо продолжать, и мероприятия 2022 года направлены на уточнение и развитие в соответствии с рекомендациями экспертного сообщества Рамочной программы экологического мониторинга, созданной на первом этапе, разработке и пилотной апробации набора цифровых сервисов, позволяющих контролировать экологическую безопасность СМП, что позволит задать стандарты экологического сопровождения логистической и хозяйственной деятельности в Арктике, оперативно оценивать текущую ситуацию и своевременно принимать управленческие решения по снижению рисков и смягчению воздействия.

Ожидается, что данный проект ляжет в основу системы государственного экологического мониторинга в акватории Северного морского пути, создаваемой в соответствии с Планом развития СМП до 2035 года ГК «Росатом» совместно с Минприроды России, что является важной государственной задачей, позволяющей создать национальный инструмент для контроля экологической безопасности в Арктике, базирующийся на современных технологиях и наилучших мировых и российских практиках и нормативных подходах. Для его полноценной реализации необходима кооперация, обмен опытом и данными между судоходными компаниями и грузоотправителями, Госкорпорацией, учеными и Минприроды в области экологического мониторинга, изучения и охраны окружающей среды и биоразнообразия.

ИССЛЕДОВАНИЯ БЕЛОЙ ЧАЙКИ И ДРУГИХ ВИДОВ МОРСКИХ
ПТИЦ — ИНДИКАТОРОВ СОСТОЯНИЯ МОРСКИХ ЭКОСИСТЕМ АРКТИКИ ПО
МАТЕРИАЛАМ ЭКСПЕДИЦИЙ 2020 И 2022 ГОДОВ В КАРСКОМ МОРЕ

EXPEDITION STUDIES OF THE IVORY GULL *PAGOPHILA EBURNEA* AND OTHER
SEABIRD SPECIES SELECTED AS INDICATORS OF THE ARCTIC MARINE
ECOSYSTEMS DURING 2020 AND 2022 SEASONS IN THE KARA SEA

**Гаврило Мария Владиславовна¹, Пчелинцев Василий Геннадиевич¹, Чупин Игорь
Иосифович^{1,2}, Сережкин Илья Николаевич³, Исаченко Артем Игоревич³**

¹ ФГБУ «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт»,
Санкт-Петербург

² ФГБУН «Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск

³ ООО «Арктический научный центр», Москва

Gavrilo Maria¹, Pchelinzev Vassily¹, Chupin Igor^{1,2}, Serezhkin Ilya³, Isachenko Artem³

¹, Arctic and Antarctic Research Institute, Saint Petersburg

² Institute for systematics and ecology of animals NB RAS, Novosibirsk

³ Arctic Research Center, Moscow

Введение

Белая чайка (*Pagophila eburnea*) – редкий малочисленный вид морских птиц, эндемик Арктики. Она занесена в Красный список МСОП (категория Near Threatened) и Красные книги всех стран ареала, Красную Книгу Российской Федерации (Категории: 3, У / 3 – редкий, уязвимый вид, для сохранения которого достаточно общих мер, предусмотренных нормативными правовыми актами РФ), Красные книги Архангельской области, Красноярского Края, Республики Саха (Якутия), Чукотского Автономного округа, Камчатки (Категория 3), а также в Перечень видов флоры и фауны, являющихся индикаторами устойчивого состояния морских экосистем АЗРФ, утвержденный распоряжением Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 22 сентября 2015 г. № 25–р. Область гнездования белой чайки, в среднем – самая северная из всех птиц, приурочена к высокоширотным островным областям Атлантики от Канадского Арктического архипелага, Восточной Гренландии, Шпицбергена и на восток до островов Карского моря и Северной Земли (Gilchrist et al. 2008, Mallory et al., 2020). Большая часть гнездового ареала вида расположена на островах российской Арктики, в Карско-Баренцевоморском регионе (Гаврило, 2009). Поэтому за ее сохранение наибольшую ответственность несет именно Россия. Изменения климата и связанное с ним сокращение морского ледяного покрова, особенно ярко проявляющиеся в последние три десятилетия, наряду с загрязнением окружающей среды и стремительным промышленным освоением шельфа, признаются основными угрозами популяциям белой чайки (Gilchrist et al., 2008, Strom et al., 2019). В мировом ареале отмечалось снижение численности популяции в разных странах (см. напр. Gilchrist, Mallory, 2005, Strom et al., 2020). В России в 2000-х годах популяция считалась относительно стабильной, но подверженной сильным межгодовым флуктуациям (Гаврило, 2011). Современных данных для российской части ареала для обоснованной оценки национальной популяции недостаточно, но общая численность, вероятно сокращается (Гаврило, 2021).

Удалённость мест гнездования белой чайки и их изолированность от очагов освоения высокоширотной Арктики, круглогодичное обитание на труднодоступных ледовитых акваториях, спорадичность распределения в пределах ареала, все это обуславливает

фрагментарность информации по многим основным параметрам видовой биологии, включая такие важные показатели как численность и ее динамика, территориальные связи и популяционная структура, трофические связи и лимитирующие природно-климатические факторы. Вместе с тем, систематический регулярный мониторинг численности и продуктивности белых чаек на настоящий момент отсутствует, хотя его программа была предложена (Гаврило, 2015). Целенаправленные исследования белой чайки в российской Арктике начались в 2006 году, но они ограничивались сбором материала по численности и занятости гнездовых колоний и краткосрочными наблюдениями и кольцеванием птиц в некоторых из них. Практически нет данных о миграциях основной части российской популяции белых чаек, гнездящейся в Карском море. Отсутствуют достаточные данные о рационе питания и трофических связях, оценка содержания загрязняющих веществ и их возможных воздействий на организм белых чаек базируется на очень ограниченной выборке. Остается неизученным ключевой вопрос о выборе и использовании ледовых местообитаний белыми чайками в гнездовой период, что является принципиально важным моментом для понимания процессов, происходящих в популяции в период размножения.

С учетом слабой изученности вида и распространением хозяйственного освоения шельфа на север, в т.ч. с захватом ключевых гнездовых районов ареала белой чайки, в 2020 ПАО «НК «Роснефть» в рамках корпоративной Программы сохранения биоразнообразия инициировала проект по мониторингу и комплексному изучению экологии белой чайки в Карском море для разработки мер по сохранению вида и защите его местообитаний.

Материалы и методы

Район работ охватил северо-восточную часть Карского моря, где находятся крупнейшие колонии белой чайки и расположен лицензионный участок «Северо-Карский» ПАО «НК «Роснефть». Выбранный для дальнейших долгосрочных работ и мониторинга район относится к оптимуму видового ареала (Гаврило, 2011). Основным полигоном для стационарных исследований был выбран на о. Визе в силу следующих причин: а) белые чайки на этом острове гнездятся каждый год с численностью от нескольких десятков до многих сотен пар, колония известна с середины прошлого века (Гаврило, 2009); б) колонии на о. Визе располагаются на равнинных участках, в т.ч. непосредственно на территории бывшей полярной станции и поселка Минобороны и, таким образом, хорошо доступны для наблюдений и отлова птиц; в) гнездовые колонии чаек находятся вблизи места расположения инфраструктуры (действующей гидрометеорологической станции МГ-2 Визе). Как дополнительные полигоны были выбраны острова архипелага Седова и о. Уединения (Рис. 1).

Кроме белой чайки, на островах гнездятся и другие морские птицы из Перечня видов-индикаторов: моевка *Rissa tridactyla*, бургомистр *Larus hyperboreus*, обыкновенная гага *Somateria mollissima*, что позволяет организовать здесь полигон для комплексного орнитологического мониторинга.

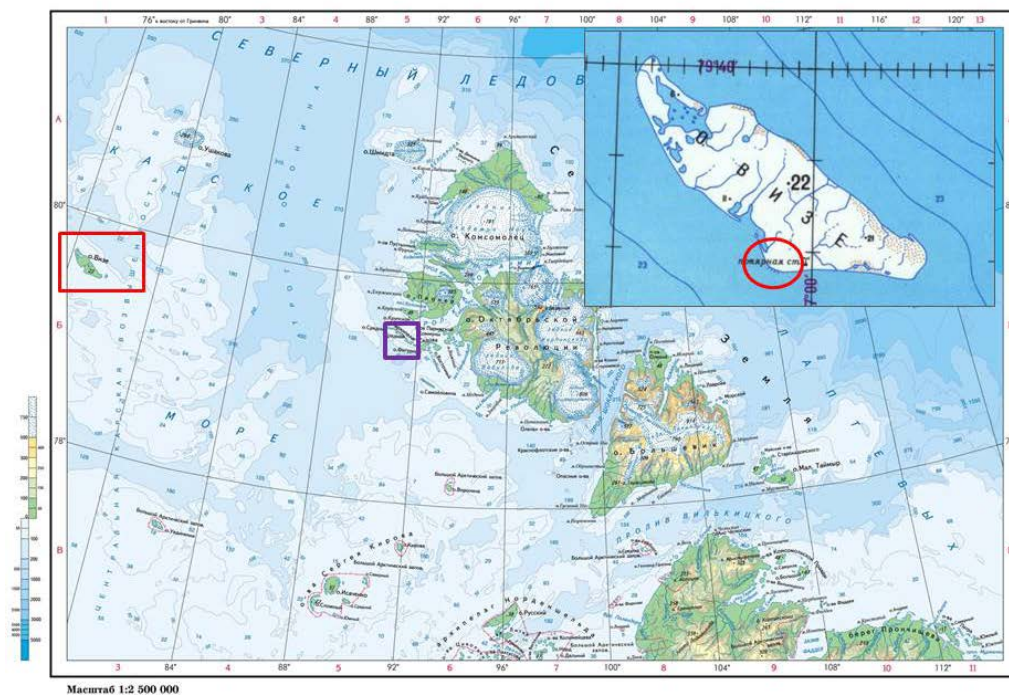


Рис. 1. Карта-схема района проведения стационарных и полустационарных экспедиционных исследований белой чайки. Красным обозначен основной полигон на о. Визе, фиолетовым – дополнительный на арх. Седова (о-ва Домашний и Голомянный).

Полевые работы были выполнены в ходе двух сезонов в июле – августе 2020 года и в июне – сентябре 2022 года, всего 130 суток исследований на островах и акватории.

Цель исследований – изучение и мониторинг белой чайки как индикатора устойчивого состояния морских арктических экосистем в условиях высокой изменчивости природно-климатических факторов.

Задачи исследований:

- Ведение мониторинга численности и демографических параметров популяции белой чайки.
- Получение новых сведений об экологии и биологии вида в условиях меняющегося климата и растущей антропогенной нагрузки, включая биотопическое размещение и использование ледовых местообитаний, трофические отношения, гнездовое поведение.
- Оценка влияния негативных факторов (загрязнение, изменения климата и др.) на популяцию белой чайки с использованием комплексных методов оценки популяционного здоровья.
- Разработка рекомендаций по изучению и мониторингу белой чайки в качестве индикатора состояния морских арктических экосистем, в том числе рекомендаций по минимизации воздействий на вид при осуществлении хозяйственной деятельности на лицензионных участках ПАО «НК «Роснефть».

Методы.

Исследования проводились с использованием комплекса методов и технических средств наблюдений:

- Судовые и авиационные (вертолетные) учеты птиц на акватории.
- Учеты птиц в гнездовых колониях визуальные и инструментальные с использованием БПЛА и фотоловушек.
- Фото- и видеofиксация поведения птиц с использованием цифровых зеркальных камер, фоторегистраторов (фотоловушек SEELock), камер GoPro.
- Морфометрическое обследование отловленных особей.

- Кольцевание и мечение индивидуальными цветными кольцами.
- Телеметрические исследования с помощью GPS-трекеров.
- Паразитологические методы (исследования эндопаразитов).
- Трофологические методы (анализ диеты, метод стабильных изотопов).
- Цитогенетические, гематологические и биохимические методы оценки популяционного здоровья.
- Токсикологические методы для оценки содержания загрязняющих веществ в тканях птиц (перьях, крови, яйцах).

Предварительные результаты

В ходе двух экспедиций «Белая чайка» были проведены комплексные исследования белой чайки, заложены площадки мониторинга белой чайки и ключевых видов морских птиц (обыкновенная гага, бургомистр, моевка), а также проведены дополнительные исследования биоразнообразия малоизученных островов Визе, Уединения, Голомянный, Домашний. Перечень работ и объёмы исследований белой чайки представлен в Таблице.

Таблица 1. Объёмы наблюдений, отлова и пробоотбора от белых чаек, выполненных в экспедициях «Белая чайка»

№ пп	Вид работ	2020	2022
1.	Авиаисследования		
1.1.	Вертолетные исследования км	847 км	1034
1.2.	С использованием БПЛА	589 фото 218 мин видео	1568 фото 284 мин видео
2.	Судовые наблюдения	1590 км	-
3.	Установка фотоловушек на колониях	6 + 2 ловушки 232 лов.суток	8 ловушек 462 лов.суток
4.	Стационарные и маршрутные наблюдения	39 маршрутов, 148 км	25 маршрутов, 118 км
5.	Морфометрическое обследование, особей	52	162
6.	Кольцевание и мечение		
6.1	Кольцевание стальными и цветными пластиковыми кольцами, особей	50	149
6.2	Установка GPS-трекеров, шт.	7	9
7.	Видеофиксация	72 часа	1000 видеороликов
8.	Отбор проб биологических образцов:		
8.1	Отбор крови	37 ос., 62 пробы	157 ос., 272 пробы
8.2	Отбор перьев	51 ос., 204 пробы	158 ос., 520 проб
8.3	Обследование и пробоотбор postmortem	2 особи	85 особей
9.	Сбор образцов питания	6 проб	57 пробы

Кроме того, аналогичные мониторинговые наблюдения и исследования гнездовой биологии, кольцевание, индивидуальное мечение, отбор биологических проб были проведены и для морских птиц, являющихся видами-индикаторами состояния морских экосистем Арктики (бургомистр, моевка, обыкновенная гага).

По результатам предварительного анализа можно заключить, что летний сезон 2020 года характеризовался неблагоприятными условиями для размножения белых чаек, что проявилось в поздних сроках гнездования (повторной попытке гнездования после утраты первой кладки?), крайне низкой результативности размножения, пониженной массе тела птиц. Впервые в ходе мониторинговых работ был выявлен нулевой успех размножения одновременно в четырёх крупнейших колониях белой чайки (Домашний / Голомянный, Визе, Уединения, Тройной) в ядре ареала вида на северо-востоке Карского моря. Данные по половозрастному составу отловленных чаек и оценка их участия в размножении свидетельствуют о высоком вовлечении половозрелой популяции белых чаек в размножение в сезон 2020 года и, соответственно, благоприятной кормовой обстановке в предгнездовой период. Очевидно, итоговый полный неуспех гнездования связан с резким ухудшением кормовых условий уже после начала инкубации. Данные фотоловушек по сезонной динамике присутствия чаек на колониях, данные GPS-прослеживания и анализа ледовых местообитаний чаек по спутниковым снимкам подтверждают, что полный неуспех гнездования белых чаек в сезон 2020 года обусловлен, в первую очередь, дефицитом кормовых ресурсов в начале гнездового сезона из-за недоступности пригодных кормовых местообитаний.

В летний сезон 2022 года в разных районах на северо-востоке Карского моря наблюдались разные природные (ледовые) условия для размножения белых чаек. В отличие от 2020 года, в районе о. Визе кормовые условия можно признать весьма благоприятными, о чем свидетельствует наличие 3-х яйцевых кладок и гнездовых выводков из 3 птенцов. В то же время в районе колоний на арх. Седова и о. Уединения условия снова были неблагоприятными, что привело к низкому успеху размножения.

В 2022 году были продолжены начатые в 2020 году исследования с мечением белых чаек и моевок GPS-трекерами, получены новые данные об их перемещениях с высокой точностью разрешения. Успешность возврата трекеров составила для белых чаек в 2022 году 45%, но были также возвращены 2 трекера, установленные в 2020 году. С помощью GPS-прослеживания выявлены новые локации гнездования белых чаек на о. Комсомолец. За два сезона телеметрические исследования кормовых перемещений моевок проведены для 16 особей.

В ходе визуальных наблюдений и автоматического мониторинга колоний с помощью фотоловушек получены массовые данные о поведении белых чаек в гнездовой сезон и новые данные о периоде оставления птицами колоний. По данным фотоловушек были получены ценные сведения о поведении белых чаек, имеющие практического значение для интерпретации данных учетов. Сезонная динамика посещаемости колонии после досрочного прекращения размножения (гибель кладок) носит флуктуирующий характер, максимальное количество птиц на колонии не превышает половины от исходного. Эти сведения необходимо учитывать при проведении авиационных учетов, при которых учитывается количество взрослых птиц на колонии, но нет возможности убедиться в наличии непосредственно гнезд и их статуса. Данные по количеству птиц, присутствующих на колонии, в неуспешный сезон будут носить случайный характер и не будут отражать количества птиц, пытавшихся загнездиться в текущем году (всегда будут ниже, но насколько ниже – неизвестно).

Собрана представительная коллекция биопроб, наибольшая, по нашим сведениям, не только для российской части, но и для мировой популяции, в целом. Результаты их обработки позволят оценить особенности и изменчивость трофических связей и параметров здоровья популяции белых чаек в российской части ареала вида.

Для выявления особенностей питания белой чайки проведён сравнительный анализ ее диеты и диеты симпатрично гнездящейся моевки. Оба вида продемонстрировали исключительную рыбоядность, в их питании абсолютно доминировала рыба, представленная

преимущественно сайкой. Методами изотопии прослежена сезонная динамика изотопной трофической ниши и выявлено снижение трофического уровня белых чаек в летний сезон, для которого отмечен полный неуспех гнездования.

Лейкоцитарная формула и цитогенетические данные по нестабильности генома для белых чаек была описаны в данном исследовании впервые, и могут быть использована в дальнейшем как отправная точка для мониторинга показателей стресса белых чаек.

Анализ состава гнезд показал, что на о. Визе все гнезда белых чаек, расположенные в антропогенном ландшафте, загрязнены антропогенным мусором, причем 91 % гнёзд был загрязнен пластиком.

Большая часть собранных биообразцов передана или будет передана в профильные лаборатории для выполнения токсикологических, биохимических, паразитологических и гематологических анализов.

Заключение

Комплексные стационарные исследования морских птиц с применением современных инструментальных и телеметрических методов в Карском моря были проведены впервые, в т.ч.

- мечение белых чаек и моевок GPS-трекерами и получены первые данные об их перемещениях с высокой точностью разрешения (первые сведения для российской Арктики);
- исследование трофических отношений белой чайки с использованием метода стабильных изотопов и изучением сезонной динамики трофической ниши;
- исследования клеток периферической крови белых чаек и других ключевых видов морских птиц для оценки уровня стресса с использованием методов дифференциального подсчёта лимфоцитов и цитогенетических методов, что позволит вывить базовые значения для этих параметров для российской Арктики;
- детальный количественный анализ состава гнёзд белых чаек, выявлены уровни загрязнённости гнёзд пластиковым мусором;
- собрана наиболее представительная для российской части популяции белых чаек коллекция биопроб (перьев, крови) для оценки трофических связей и параметров здоровья популяции (уровень стресса, содержание загрязняющих веществ), аналогичные коллекции впервые собраны для моевок, бургомистров и гаги из морей Сибирского шельфа.

Благодарности

Авторы выражают искреннюю благодарность нашим коллегам по экспедиции Ю.А.Давыдовой и А.В.Безрукову за помощь в сборе полевых материалов. Благодарим коллективы метеостанций МГ-2 Визе и Имени Г.А.Ушакова за гостеприимство, содействие в проведении работ и за предоставленные материалы наблюдений за белой чайкой и орнитофауной островов; командира А.Н.Тимохина и экипаж вертолета Ми-8 АО «КрасАвиа» за мастерство при выполнении летных работ в сложных высокоарктических условиях.

Финансирование

Настоящие работы проводились в рамках выполнения НИР «Изучение и мониторинг популяции белой чайки как вида-индикатора в условиях высокой изменчивости состояния морских арктических экосистем» в рамках программы по сохранению биоразнообразия ПАО «НК «Роснефть».

Список литературы

1. Гаврило М.В. Гнездовое распространение белой чайки в России: проблема изучения ареала редкого, спорадически гнездящегося высокоарктического вида // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2009. - Вып. 3 (82). - С. 127 - 151
2. Гаврило М.В. Белая чайка *Pagophila eburnea* (Phipps, 1774) в российской Арктике: особенности гнездования вида в современном оптимуме ареала. Автореферат дис. на соиск. учен. степени канд. биол. наук. СПб: СПбГУ, 2011. – 20 с.
3. Гаврило М.В. Особенности гнездового размещения белой чайки в российской Арктике и возможности организации мониторинга ее популяций // Научные труды ФГБУ «Объединённая дирекция заповедников Таймыра» / отв. ред. Л.А.Колпашиков, А.А. Романов. Т. 1. - Норильск: АПЕКС, 2015. - С. 232 – 241
4. Гаврило М.В. Белая чайка // Красная книга Российской Федерации. Том «Животные». 2-е издание. М.: ФГБУ «ВНИИ Экология», 2021. – С. 769 – 771
5. Gilchrist G., Strom H., Gavriilo M., Mosbech A. International Ivory Gull conservation strategy and action plan. CAFFs Circumpolar Seabird Group. CAFF Technical report No 18. September 2008. - 20 pp.
6. Gilchrist, G.H., Mallory, M.L. Declines in abundance and distribution of the ivory gull (*Pagophila eburnea*) in arctic Canada // Biol. Cons. - V. 121. - No 2. – 2005. - P. 303–309
7. Mallory M.L., I.J. Stenhouse, Gilchrist G., Robertson G., Haney J. C., Macdonald S.D. Ivory Gull (*Pagophila eburnea*), version 1.0 // Birds of the World (S. M. Billerman, Editor). Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA. <https://doi.org/10.2173/bow.ivogul.01>, 2020
8. Strøm H., Boertmann D., Gavriilo M.V., Gilchrist G., Gilg O., Mallory M.L., Mosbech A., Yannic G. Ivory Gull: status, trends and new knowledge / NOAA Arctic Report Card. - 2019. - P. 66 – 71
9. Strøm H., Bakken V., Skoglund A., Descamps S., Fjeldheim V.B., Steen H. Population status and trend of the threatened ivory gull *Pagophila eburnea* in Svalbard // Endangered species research. - 2020. - Vol. 43. – P. 435–445

ЭВОЛЮЦИЯ И НЕСТАБИЛЬНОСТЬ МОРСКОГО ЛЕДНИКОВОГО ЩИТА В
МОДЕЛИ БАРЕНЦЕВО-КАРСКОГО ЛЕДНИКОВОГО ПОКРОВА

EVOLUTION AND INSTABILITY OF THE MARINE ICE SHEET USING THE MODEL
OF THE BARENTS-KARA ICE SHEET

Кашдан Адам Израилевич¹, Шейнкман Владимир Семёнович²

¹ *Факультет программной инженерии и компьютерной техники, Политехнический институт Монреаля, Монреаль, Квебек, Канада*

² *Институт криосферы Земли, ФИЦ Тюменский научный центр СО РАН, Тюмень*

Kashdan A. Y.¹, Sheinkman V. S.²

¹ *Computer and Software Engineering Department, Polytechnique Montréal, Montreal, QC, Canada*

² *Earth Cryosphere Institute, FRS Tyumen Science Center SB RAS, Tyumen, Russia*

Введение

Потеря массы у современных ледниковых щитов Гренландии и Антарктиды в последние десятилетия ускорилась, что обусловлено растущим таянием на их поверхности и расходом ледового вещества путём откола айсбергов [Shepherd et al., 2018; Mouginot et al., 2019]. Увеличение расхода массы ледников частично обусловлено их отступлением по углубляющемуся (ретроградно) ложу, что может инициировать положительную обратную связь, известную как "нестабильность морского ледникового щита" [Weertman, 1974; Pegler, 2018]. Однако климатическое воздействие, необходимое для запуска такой положительной обратной связи, зависит от ряда других причин, включая контрфорсирование ледникового шельфа и подлёдное трение [Gudmundsson, 2013]. Однако не все они детально рассмотрены в теориях устойчивости морских ледниковых покровов, даже в сложных моделях, которые используются для реконструкции прошлых и прогнозирования будущих изменений ледникового покрова. В частности, топография дна, в разных ситуациях колеблющаяся в масштабе от десятков до сотен километров, приводит к неустойчивому поведению ледника, которое не может быть точно предсказано с помощью теории устойчивости морского ледникового щита на линии его налегания на ложе [Haseloff, Sergienko, 2018; Sergienko, Wingham, 2019].

Материалы и методы

Геологические данные по регионам, где фиксируется в прошлом отступление ледников, демонстрирует важность учёта, при анализе их реакции на изменение климата, неровностей ложа. Батиметрия моря Росса в Антарктиде, например, характеризуется наличием гладких плоских впадин, разделяющих обширные плато. На фоне таких выроненных уровней локализованные осцилляционные морены и зоны грунтовых жилообразных форм фиксируют

места, где дегляциация в районе впадины моря Росса приостанавливалось на длительные промежутки времени [Simkins et al., 2017; Greenwood et al., 2018].

На рис. 1 представлены две характерные области в море Росса и в Баренцевом море, где полученные с высоким разрешением многоплановые батиметрические данные повсеместно показывают на плоском рельефе наличие грунтовых жилообразных форм параллельно и поверх подводных гор. Такие комплексы отсутствуют на окружающих плоских участках морского дна, что указывает на то, что эти неровности ложа (которые, на наш взгляд, образуются в результате его неледниковой обработки) ощутимо оказывают влияние на отступление ледников. Другие геофизические исследования морского дна в регионах отступления ледников в прошлом также выявляют широко распространённые геологические свидетельства длительных периодов формирования неровностей ложа в широком диапазоне временных и местных условий [Greenwood et al., 2017; Todd, Shaw, 2012].

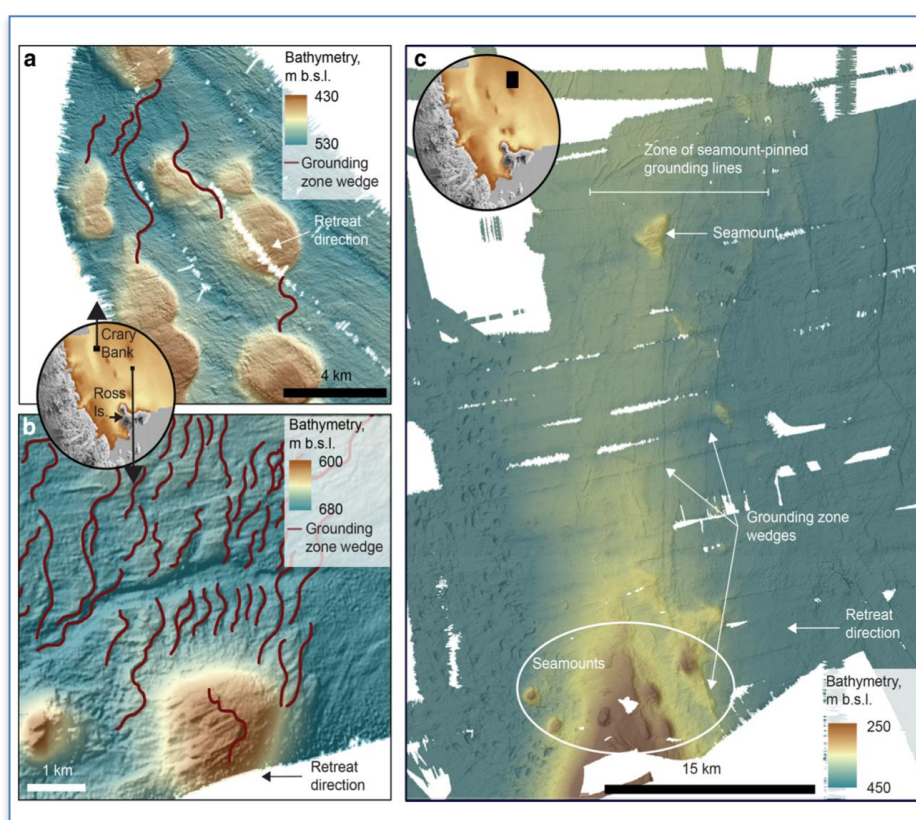


Рис. 1 Результаты многоканального зондирования по проекту NBP15-02 в море Росса, Антарктида [Simkins and others, 2017; Greenwood and others, 2018]

В данной работе чтобы понять, как неровности ложа ледника влияют на его устойчивость, сначала рассмотрено их влияние на устойчивое положение позиции конечного продвижения ледника, а затем – на позиции, переходные к его конечному положению. Для моделирования ледника на морском ложе на завершающей стадии вблизи отмеченных неровностей ложа использована одномерная модель такого ледника, которая решает приближенную задачу продвижения шельфового ледника на мелководье (SSA – shallow stream/shelf approximation) и уравнения сохранения массы ледника для определения изменений его толщины, скорости и конечного положения [Robel, Schoof, Tziperman, 2018]. Предполагается, что собственное ложе ледника заканчивалось там, где он погружается в морскую воду, и в случаях, которые мы

рассматриваем, ледяной поток в основном двигался по дну в умеренно скользящем режиме (см. рис. 2, а).

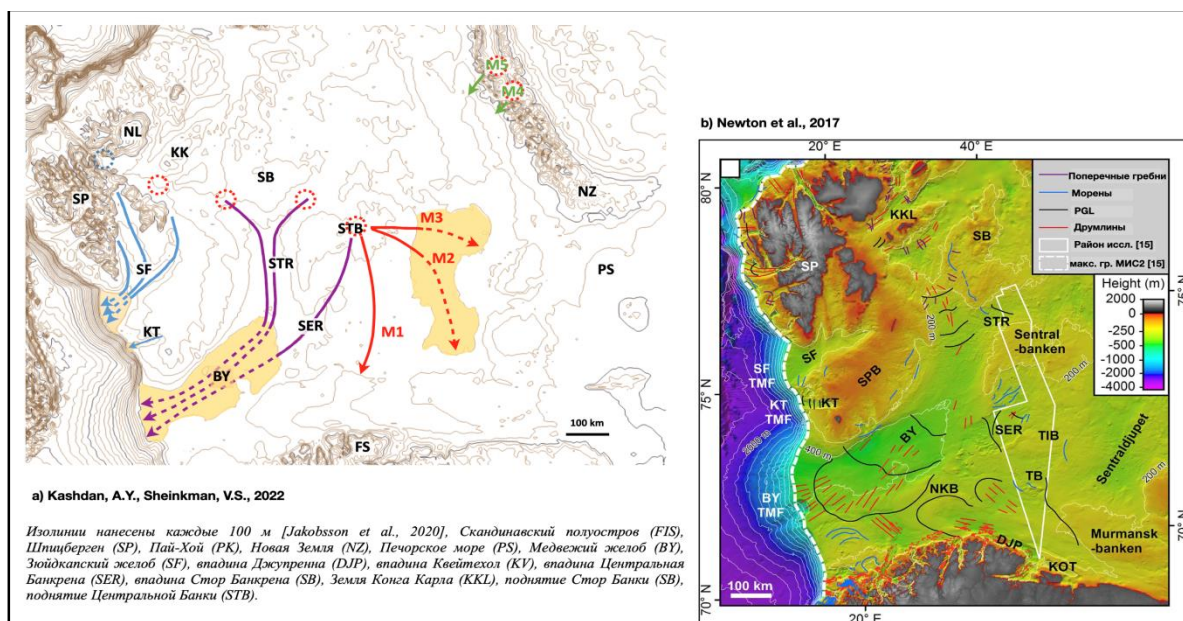


Рис. 2. Результаты реконструкций: а – по Kashdan, Sheinkman, 2022, б – по Newton et al., 2017

Мы смоделировали скорость движения ледника, его толщину и конечное положение для предписанного баланса поверхностной массы с учётом годового снежного питания и поверхностного таяния, которое мы предполагаем равномерным по поверхности ледника. Конечное положение ледника точно моделируется с помощью уточнённой подвижной сетки, а его устойчивые состояния определяются путём численного решения для различных состояний ледового потока. Мы также воспроизвели суть результатов, в стационарном и переходном режимах ледника, используя моделирование с очень высоким разрешением с помощью численной модели ледника “Elmer/Ice Full-Stokes”. Они указывают на то, что упрощение в задаче SSA не влияет на суть выводов в данном исследовании.

Результаты и их обсуждение

По мере совершенствования методов исследований подледникового ложа и отступления ледников выясняется, что для их топографии в широком диапазоне масштабов длины, характерны неровности [Jordan et al., 2017; Morlighem et al., 2020], и что многие ледники в Гренландии и Антарктиде претерпели большие отступления после МИС1 [Tinto, Bell, 2011]. Как показывают наблюдения, например, на леднике Пайн-Айленд, он сохранял свою устойчивость до 1970-х годов, несмотря на то, что региональное потепление океана началось в 1940-х годах [Smith et al., 2017]. Многочисленные данные свидетельствуют, что значительные участки побережья Гренландии также подвергались вторжению тёплых океанских вод, хотя разные ледники реагировали на эти вторжения по-разному [Catania et al., 2018], причём наличие наиболее значимых неровностей ложа – как краевые ледниковые формы, образовавшиеся при отступании ледника в период после МИС2, было ключевым фактором для эволюции ледникового щита и в Гренландии, и в Антарктиде. Краевые ледниковые формы распознаются и на шельфе Баренцева и Карского морей (вокруг Новой Земли) по совокупности признаков в виде акустически прозрачной, просветлённой или

хаотичной записи на сейсмоакустических разрезах [Спиридонов и др. 1992]. Морены на дне Баренцева и Карского морей, как правило, образуют положительные формы рельефа дна (холмы и гряды) с плоским основанием и пилообразным сводом [Рекант и др. 2017].

Мы хотим отметить, что, как с помощью сейсмических и литологических исследований, так и с помощью палеогляциологического моделирования, можно определить тот факт, что отступление ледникового щита на морском шельфе может приостанавливаться на пиках ложа, представленных в нашем случае краевыми ледниковыми формами (см. рис. 2). Это может происходить в течение длительных промежутков времени, даже если ледник продолжает терять массу в ответ на текущее или предыдущее климатическое воздействие. Сохранение стабильности ледника на пиковых неровностях ложа в конечном итоге приводит к одному из двух совершенно разных вариантов развития событий с точки зрения эволюции ледникового покрова. Во-первых, когда ледник продолжает сохранять квазистабильное состояние без потери массы, и, во-вторых, когда отступление происходит внезапно без одновременного изменения климата и приводит к значительному ускорению потери массы. Однако по современным наблюдениям за устойчивостью ледников в Гренландии и в Антарктиде, трудно определить, какой из этих двух возможных вариантов развития событий происходил после МИС2. В нашей работе на основе палеогляциологического моделирования мы определили, что под стабильностью ледника необязательно подразумевается его устойчивое состояние в течение определённого времени. В конечном счёте такое неоднозначное поведение кажущихся "стабильности" или "нестабильности" ледников скрывает истинные причины прошлого повышения или понижения уровня моря в условиях значимых факторов неотектоники в МИС2.

Геологические данные, собранные в различных регионах о прошлых отступлениях ледников дополнительно демонстрируют важность пиков ложа ледниковых щитов при их реакции на изменение климата. Подводный рельеф моря Росса в Антарктиде представлен гладкими плоскими впадинами, разделяющими большие плато. На фоне этой ровной батиметрии фиксируются такие места, как локализованные ледниковые формы, где отступление ледникового щита приостанавливалось на длительные промежутки времени [Greenwood et al., 2018]. Такие же локализованные ледниковые формы мы определили в Баренцевом и Карском морях (см. рис. 2). Древние среднеледниковые ледниковые формы здесь были размыты, и сохранились лишь фрагментарно [Рекант и др. 2017]. Конечные, контрастно выделяющиеся в рельефе морского дна более молодые морены, окаймляющие архипелаг Новая Земля как со стороны Баренцева, так и со стороны Карского моря, относятся к зырянскому МИС4 оледенению [Рекант и др. 2017]. Они перекрываются характерной толщей слоистых морских осадков, сопоставляемых с каргинским временем МИС3 по всему Баренцево-Карскому региону [Гайнанов и др. 2005].

Заключение

Наше палеогляциологическое моделирование для Баренцево-Карского ледникового покрова и современные наблюдения за ледниками Гренландии и Антарктиды показали, что ледники на пиковых неровностях ложа имеют два возможных эволюционных сценария развития событий: они могут оставаться на таких неровностях, стабилизируясь, неопределённое время или начать отступление, спустя потенциально долгое время после начала изменения климата. Ледниковые щиты в период, например, МИС2 или МИС4, так же,

как и современные ледники, сохраняющиеся на пиковых неровностях ложа, могли продолжать терять массу в ответ на предшествующее или продолжительное изменение климата. Однако при этом могло происходить усиление "неравновесия" из-за неравномерности в потере массы на вершинах ложа и общей потере массы ледника.

Работа выполнена при поддержке грантов SB RAS No121042000078-9, 121041600042-7.

Список литературы

1. *Гайнанов В.Г., Поляк Л.В., Гатауллин В.Н., Зверев А.С.* Сейсмоакустические исследования следов покровных оледенений в Карском море//Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 2005. No 1. С. 38-44.
2. *Рекант П.В., Гусев Е.А., Артемьева Д.Е., Зархидзе Д.В., Шкарубо С.И.* Подводные границы Новоземельского оледенения по сейсмоакустическим данным//Фундаментальные проблемы квартера: итоги изучения и основные направления дальнейших исследований. Материалы X Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода. Москва 25–29 сентября 2017 г. – М.: ГЕОС, 2017. С. 332-334.
3. *Спиридонов М.А., Рыбалко А.Е., Поляк Л.В.* Стратиграфия верхнечетвертичных отложений Новоземельского шельфа и палеогеография восточной части Баренцева моря в позднем плейстоцене – голоцене//Осадочный покров гляциального шельфа северо-западных морей России. СПб., 1992. С. 47-68.
4. *Catania G., Stearns L., Sutherland D., Fried M., Bartholomaeus T., Morlighem M., Shroyer E., Nash J.* Geometric controls on tidewater glacier retreat in central western Greenland//Journal of Geophysical Research: Earth Surface. 2018. 123(8), 2024–2038.
5. *Christian J.E., Koutnik M., Roe G.* Committed retreat: controls on glacier disequilibrium in a warming climate//Journal of Glaciology. 2018. 64(246), 675–688.
6. *Greenwood S.L., Simkins L.M., Halberstadt A.R.W., Prothro L.O., Anderson J.B.* Holocene reconfiguration and readvance of the East Antarctic Ice Sheet//Nature communications. 2018. 9(1), 1–12.
7. *Gudmundsson, G.H.* Ice-shelf buttressing and the stability of marine ice sheets//The Cryosphere. 2013. 116(19). 7(2), 647-655.
8. *Haseloff M., Sergienko O.V.* The effect of buttressing on grounding line dynamics//Journal of Glaciology. 2018. 64(245), 417–431. doi: 10.1017/jog.2018.30
9. *Jordan T.M., Cooper M.A., Schroeder D.M., Williams C.N., Paden J.D., Siegert M.J., Bamber J.L.* Self-affine subglacial roughness: consequences for radar scattering and basal water discrimination in northern Greenland//The Cryosphere. 2017. 11(3), 1247–1264.
10. *Kashdan A.Y., Sheinkman V.S.* Paleoglaciological reconstructions for the center-eastern sector of Barents ice sheet during MIS2//Frontiers in Earth Science. 2022 (in press.)
11. *Morlighem M., Rignot E., Binder T., Blankenship D., Drews R., Eagles G., Eisen O., Ferraccioli F., Forsberg R., Fretwell P. and others* Deep glacial troughs and stabilizing ridges unveiled beneath the margins of the Antarctic ice sheet//Nature Geoscience. 2020. 13(2), 132–137.
12. *Mouginot J., Rignot E., Bjork A.A., Van Den Broeke M., Millan R., Morlighem M., Noël B., Scheuchl B., Wood M.* Forty-six years of Greenland Ice Sheet mass balance from 1972 to 2018//Proceedings of the National Academy of Sciences. 2019. 116(19). 9239–9244.

13. *Newton, A. M., Huuse, M.* Glacial geomorphology of the central Barents Sea: implications for the dynamic deglaciation of the Barents Sea Ice Sheet//*Marine Geology*. 2017. 387, 114-131.
14. *Pegler S.S.* Suppression of marine ice sheet instability//*Journal of Fluid Mechanic*. 2018. 857, 648–680
15. *Robel A.A., Schoof C., Tziperman E.* Persistence and variability of ice-stream grounding lines on retrograde bed slopes//*The Cryosphere*. 2016. 10(4), 1883–1896.
16. *Sergienko O.V., Wingham D.* Grounding line stability in a regime of low driving and basal stresses//*Journal of Glaciology*. 2019. 65(253), 833–849.
17. *Simkins L.M., Anderson J.B., Greenwood S.L., Gonnermann H.M., Prothro L.O., Halberstadt A.R.W., Stearns L.A., Pollard D., DeConto R.M.* Anatomy of a meltwater drainage system beneath the ancestral East Antarctic ice sheet//*Nature Geoscience*. 2017. 10(9), 691–697.
18. *Shepherd A., Ivins E., Rignot E., Smith B., Van Den Broeke M., Velicogna I., Whitehouse P., Briggs K., Joughin I., Krinner G., and others.* Mass balance of the Antarctic Ice Sheet from 1992 to 2017//*Nature*. 2018. 558. 219–222.
19. *Shepherd A., Ivins E., Rignot E., Smith B., van Den Broeke M., Velicogna I., Whitehouse P., Briggs K., Joughin I., Krinner G. and others.* Mass balance of the Greenland ice sheet from 1992 to 2018//*Nature*. 2020. 579(7798). 233–239.
20. *Smith J.A., Andersen T.J., Shortt M., Gaffney A., Truffer M., Stanton T.P., Bindshadler R., Dutrieux P., Jenkins A., Hillenbrand C.D. and others.* Sub-ice-shelf sediments record history of twentieth-century retreat of Pine Island Glacier//*Nature*. 2017. 541(7635), 77–80.
21. *Tinto K., Bell R.E.* Progressive unpinning of Thwaites Glacier from newly identified offshore ridge: Constraints from aerogravity//*Geophysical Research Letters*. 2011. 38(20).
22. *Weertman J.* Stability of the junction of an ice sheet and an ice shelf//*Journal of Glaciology*. 1974. 13. 3–11.

МАКРОЭКОЛОГИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ: ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ
И ПЕРСПЕКТИВЫ

MACROECOLOGY OF MICROBES: PRELIMINARY RESULTS AND PERSPECTIVES

Азовский Андрей Игоревич^{1,2}

¹ *Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва*

² *Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва*

Azovsky Andrey Igorevitch^{1,2}

¹ *M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow*

² *P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow*

подавляющая часть исследований в области макроэкологии и географии касается многоклеточных макроорганизмов. Значительно меньше известно о макроэкологических закономерностях для одноклеточных организмов («микробов»¹). Цель доклада – дать краткий обзор результатов по ряду аспектов этой проблемы.

Давно отмечено, что очень многие виды одноклеточных имеют широкое, часто космополитное, географическое распространение. Более века назад Мартин Бейеринк сформулировал свой знаменитый постулат: “For microbes, everything is everywhere, but environment selects” [Beijerinck, 1913]. Острая дискуссия, развернувшаяся вокруг этого постулата на рубеже XX-XXI вв., привела к формированию двух противоположных концепций относительно биогеографии и макроэкологии «микробов»:

1) Будучи убиквидами с неограниченным потенциалом распространения, большинство «микробов» - космополиты, следуют собственным законам и «не имеют биогеографии» («все – повсюду», модель космополитизма) [Finlay et al., 1996, 2004; Lee, Patterson, 2002; Fenchel, Finlay, 2004];

2) Ареалы значительной части видов ограничены, распределение «микробов» подчиняется тем же общим закономерностям, что и для макроорганизмов, наблюдаемые же отклонения – артефакт малой их изученности (**модель умеренного эндемизма**) [Foissner 2004, 2008].

В более общем макроэкологическом контексте, эти две точки зрения могут быть соответственно представлены, как 1) концепция «двух миров» (макро- и микроорганизмов), в которых действуют разные базовые закономерности, при этом «граница между мирами» проходит в области некоторых критических размеров организма; и 2) концепция «единого мира», в котором все живые организмы следуют одним базовым закономерностям, независимо от их размера [Finlay, 2002]. Возможен, однако, и третий вариант, при котором макро- и микроорганизмы следуют общим закономерностям, однако проявляются эти закономерности в разных масштабах пространства-времени [Azovsky, 2000].

Далее мы кратко рассмотрим отдельные аспекты макроэкологии микроорганизмов.

¹ “Microbes” – распространенное в литературе обобщенное название для микроскопических, преимущественно одноклеточных, организмов, как про-, так и эукариот.

Степень эндемизма. Результаты исследований на разных группах одноклеточных эукариот убедительно свидетельствуют о том, что доля эндемичных видов в этих группах существенно ниже, а доля широко распространенных – выше, чем для макроорганизмов [Fenchel, Finlay, 2004; Azovsky, Mazei, 2013; Azovsky et al., 2016, 2020].

Соотношение локального и глобального разнообразия. По сравнению с большинством групп многоклеточных, «микробам» свойственно высокое локальное (ЛР), но относительно низкое глобальное (ГР) разнообразие (в каждой точке можно найти заметную часть мировой фауны). Сторонники концепции «умеренного эндемизма» указывают, что реальное число видов «микробов» неизвестно и, скорее всего, сильно недооценено, поэтому следует ожидать сильного снижения величин ЛР/ГР, на данном же этапе подобные расчеты лишены реальной основы («попытки оценить не поддающееся оценке», [Foissner, 2006]). Однако, несмотря на усилия таксономистов, пока ситуация не меняется, математическое же моделирование показывает, что относительные оценки (отношение локального и глобального числа видов, доля эндемиков и т.п.) достаточно робастны даже при условии, что значительная часть видов не учтена [Azovsky, 2018].

Широтные градиенты разнообразия. Разнообразие большинства групп макроорганизмов снижается от низких к высоким широтам. Для «микробов» же подобная зависимость, как правило, выражена значительно слабее или отсутствует [Hillebrand, Azovsky, 2001; Azovsky, Mazei, 2013; Fernandez et al., 2017; Moss et al. 2020; Aslani et al., 2022; и др.]

Зависимость «дистанция-сходство». Для большинства многоклеточных, пространственно близкие сообщества более сходны по структуре, чем удаленные. Возможные механизмы: ограниченное распространение и средовые различия [Nekola, White, 1999; Soininen et al., 2007]. Для «микробов» эта зависимость в сопоставимых масштабах пространства (километры-тысячи км) выражена гораздо слабее [Hillebrand et al., 2001; Bates et al., 2013; Macingo et al., 2019]. Однако в масштабах дециметров-десятков метров одноклеточные демонстрируют типичные зависимости «дистанция-сходство», на больших же расстояниях сходство перестает зависеть от расстояния [Azovsky, Mazei, 2013; Nemergut et al., 2013; Azovsky et al., 2022]. Таким образом, в данном случае имеет место третья из указанных выше концептуальных схем – единая закономерность, проявляющаяся в разных масштабах.

Состав региональных биот: вклад разных факторов. Среди множества факторов, влияющих на состав пространственно удаленных биот, принято различать несколько групп: чисто географические (расстояние как таковое, а также наличие физических и географических барьеров), чисто экологические (различия в локальных условиях среды), а также общие (пространственно коррелированные) средовые факторы, различия по которым растут с расстоянием. Вклад каждой из этих групп может варьировать в широких пределах в зависимости от изучаемого таксона, характера среды, конкретного района исследований и т.п. Однако анализ большого числа таких работ показывает, что для многоклеточных ведущую роль в формировании состава играют, как правило, чисто географические и пространственно-сопряженные факторы, включая исторические (например, тектонические и эволюционные процессы) [Crisci et al., 2003; Cottenie 2005]. С уменьшением характерных размеров организмов, снижается вклад географических (пространственных) факторов, но растет роль локальных условий среды [Hanson et al., 2012; Azovsky et al., 2020; Aslani et al. 2022]. Это затрудняет применение традиционных биогеографических подходов к изучению глобальных паттернов распределения

«микробов» (наряду с очевидной недоизученностью большинства регионов). Так, для морских бентосных инфузорий географическая (широтная) зональность в целом сохраняется, однако пространственная привязка отдельных региональных фаун размывается. Единственная более или менее четкая биогеографическая граница отделяет фауну Лавразии от Гондваны [Foissner et al., 2008; Azovsky, Mazei, 2013]. Аналогичная картина наблюдается и для ряда других протистов (см. [Azovsky, Mazei, 2013]). Для гетеротрофных флагеллят географическая (широтная) зональность с разделением полушарий отсутствует, однако четко выражена зональность климатическая: выделяются холодные полярные области (Арктика и Антарктика вместе), умеренная (бореальные и нотальные регионы), и тепловая (субтропики и тропики, без подразделения по полушариям и океанским бассейнам) [Azovsky et al., 2016, 2020].

Заключение

На настоящий момент макроэкология и биогеография одноклеточных организмов находятся на начальном этапе становления. Существует несколько альтернативных концептуальных моделей, и, хотя в последнее время наметилась тенденция к сближению позиций, имеющихся данных все еще недостаточно для сколько-нибудь надежных суждений и обобщений. Тем не менее, выше описан ряд отличительных черт, характерных, по-видимому, для большинства групп «микробов». В то же время, ряд принципиальных вопросов остаются нерешенными, например: насколько отличия от макроорганизмов объективны, а насколько - вызваны субъективными причинами (малая изученность, отсутствие или ненадежность данных, проблемы систематики и пр.)? Каковы причины и механизмы этих отличий? Существует ли «граница» между мирами «микробов» и макроорганизмов? И, если таковая есть, то насколько она дискретна?

Исследование выполнено в рамках Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова "Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды". Работа поддержана грантом РФФ № 22-24-00007.

Список литературы

1. Aslani F., Geisen S., Ning D., Tedersoo L., Bahram M. Towards revealing the global diversity and community assembly of soil eukaryotes // *Ecol. Lett.* – 2022. – Vol. 25, № 1. – P. 65–76.
2. Azovsky A.I. Concept of scale in marine ecology: linking the words or the worlds? // *Web Ecol.* – 2000. – Vol. 1. – P. 28–34.
3. Azovsky A.I. Robustness of relative diversity metrics to inventory incompleteness: Could we estimate the near imponderable? // *Glob. Ecol. Biogeogr.* – 2018. – Vol. 27. – P. 1200–1212.
4. Azovsky A.I., Chertoprud E.S., Garlitska L.A., Mazei Yu.A., Tikhonenkov D.V. Does size really matter in biogeography? Patterns and drivers of global distribution of marine micro- and meiofauna // *J. Biogeogr.* – 2020. – Vol. 47. – P. 1180–1192.
5. Azovsky A.I., Chertoprud E.S., Saburova M.A. Small-scale spatiotemporal variability and distance–decay relationships in intertidal micro- and meiobenthic assemblages // *Mar. Ecol.* – 2022. – Vol. 43, № 4. – e12704.

6. Azovsky A.I., Mazei Yu.A. Do microbes have macroecology? Large-scale patterns in the diversity and distribution of marine benthic ciliates // *Glob. Ecol. Biogeogr.* – 2013. – Vol. 22. – P. 163–172.
7. Azovsky A.I., Tikhonenkov D.V., Mazei Yu.A. An estimation of the global diversity and distribution of the smallest eukaryotes: biogeography of marine benthic heterotrophic flagellates // *Protist.* – 2016. – Vol. 167, № 5. – P. 411–424.
8. Bates S.T., Clemente J.C., Flores G.E., Walters W.A., Parfrey L.W., Knight R., Fierer N. Global biogeography of highly diverse protistan communities in soil // *The ISME journal.* – 2013. – Vol. 7, № 3. – P. 652–659.
9. Beijerinck M.W. De infusies en de ontdekking der bacteriën. Jaarboek van de Koninklijke Akademie voor Wetenschappen. 1913. Amsterdam: Müller.
10. Cottenie K. Integrating environmental and spatial processes in ecological community dynamics // *Ecol. Lett.* – 2005. – Vol. 8, № 11. – P. 1175–1182.
11. Crisci J.V., Katinas L., Posadas P. Historical biogeography: an introduction. 2003. Cambridge: Harvard University Press.
12. Fenchel T., Finlay B. J. The ubiquity of small species: patterns of local and global diversity // *Bioscience.* – 2004. – Vol. 54, № 8. – P. 777–784.
13. Fernández L.D., Fournier B., Rivera R., Lara E., Mitchell E.A., Hernández C.E. Water–energy balance, past ecological perturbations and evolutionary constraints shape the latitudinal diversity gradient of soil testate amoebae in south-western South America // *Glob. Ecol. Biogeogr.* – 2016. – Vol. 25, № 10. – P. 1216–1227.
14. Finlay B.J. Global dispersal of free-living microbial eukaryote species // *Science.* – 2002. – Vol. 296, № 5570. – P. 1061–1063.
15. Finlay B.J., Corliss J.O., Esteban G., Fenchel T. Biodiversity at the microbial level: the number of free-living ciliates in the biosphere // *Quart. Rev. Biol.* – 1996. – Vol. 71, № 2. – P. 221–237.
16. Finlay B.J., Esteban G.F., Fenchel T. Protist diversity is different? // *Protist.* – 2004. – Vol. 155, № 1. – P. 15–22.
17. Foissner W. Biogeography and dispersal of microorganisms: A review emphasizing protists // *Acta Protozool.* – 2006. – Vol. 45. – P. 111–136.
18. Foissner W. Protist diversity and distribution: some basic considerations // *Biodivers. Conserv.* – 2008. – Vol. 17. – P. 235–242.
19. Foissner W. Ubiquity and cosmopolitanism of protists questioned // *SILnews.* – 2004. – Vol. 43, № 6. – P. 6–7.
20. Foissner W., Chao A., Katz L.A. Diversity and geographic distribution of ciliates (Protista: Ciliophora) // *Biodivers. Conserv.* – 2008. – Vol. 17. – P. 345–363.
21. Hanson C.A., Fuhrman J.A., Horner-Devine M.C., Martiny J.B. Beyond biogeographic patterns: processes shaping the microbial landscape // *Natur. Rev. Microbiol.* – 2012. – Vol. 10, № 7. – P. 497–506.
22. Hillebrand H., Azovsky A.I. Body size determines the strength of the latitudinal diversity gradient // *Ecogr.* – 2001. – Vol. 24, № 3. – P. 251–256.
23. Hillebrand H., Watermann F., Karez R., Berninger U. Differences in species richness patterns between unicellular and multicellular organisms // *Oecol.* – 2001. – Vol. 126. – P. 114–124.

24. Lee W.J., Patterson D.J. Abundance and biomass of heterotrophic flagellates, and factors controlling their abundance and distribution in sediments of Botany Bay // *Microb. Ecol.* – 2002. – Vol. 43. – P. 467–481.
25. Macingo S.C., Kormas K.A., Oikonomou A., Karayanni H. Taxa–area and distance–decay relationships of unicellular eukaryotes along an elevation gradient of mountainous freshwater ecosystems // *J. Plankt. Res.* – 2019. – Vol. 41, № 6. – P. 821–834.
26. Moss J.A., Henriksson N.L., Pakulski J.D., Snyder R.A., Jeffrey W.H. Oceanic microplankton do not adhere to the latitudinal diversity gradient // *Microb. Ecol.* – 2020. – Vol. 79, № 2. – P. 511–515.
27. Nekola J., White P. The distance decay of similarity in biogeography and ecology // *J. Biogeogr.* – 1999. – Vol. 26. – P. 867–878.
28. Nemergut D.R., Schmidt S.K., Fukami T., et al. Patterns and processes of microbial community assembly // *Microbiol. Molec. Biol. Rev.* – 2013. – Vol. 77, № 3. – P. 342–356.
29. Soininen J., McDonald R., Hillebrand H. The distance decay of similarity in ecological communities // *Ecogr.* – 2007. – Vol. 30. – P. 3–12.

Морские ландшафты

Устные доклады

Marine underwater landscape

Oral presentations

ДЕТАЛЬНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ РАЗВИТИЯ БОРЕАЛЬНОЙ ТРАНСГРЕССИИ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ БЕЛОГО МОРЯ

HIGH-RESOLUTION RECONSTRUCTION OF THE BOREAL MARINE TRANSGRESSION IN THE NORTHEASTERN WHITE SEA REGION

Талденкова Екатерина Евгеньевна¹, Овсепян Ярослав Сергеевич^{1,2}, Степанова Анна Юрьевна³, Руденко Ольга Владимировна⁴, Баух Хеннинг⁵

¹ *Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва*

² *Геологический институт РАН, Москва*

³ *A&M Университет Техаса, Колледж Стэйшн, США*

⁴ *Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, Орёл*

⁵ *Институт им. Альфреда Вегенера, Бремерхавен/ГЕОМАР, Киль, Германия*

Taldenkova Ekaterina Evgenievna¹, Ovsepyan Yaroslav Sergeevich^{1,2}, Stepanova Anna Yurievna³, Rudenko Olga Vladimirovna⁴, Bauch Henning⁵

¹ *Lomonosov Moscow State University, Moscow*

² *Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow*

³ *Texas A&M University, College Station, USA*

⁴ *Turgenev Orel State University, Orel*

⁵ *AWI, Bremerhaven c/o GEOMAR, Kiel, Germany*

Введение

В связи с наблюдаемыми в последние десятилетия климатическими изменениями растет интерес к реконструкциям климатически обусловленных изменений палеосреды во время предыдущих (дотехногенных) межледниковых и дегляциальных эпох. В этой связи актуальным является изучение терминации в конце морской изотопной стадии (МИС) 6 и межледниковья МИС 5e, которые соответствуют концу московского оледенения и началу микулинского межледниковья в европейской России и концу заальского оледенения и эемскому межледниковью западной Европы, около 130-116 тысяч лет назад (т.л.н.). Этому потеплению частично соответствует послеледниковая бореальная (микулинская, эемская) трансгрессия, отложения которой встречаются на европейском севере России, в северной Европе и Скандинавии [Девятова, 1982; Funder et al., 2002; Grøsfjeld et al., 2006; Miettinen et al., 2014].

Данные и методы

Проведено детальное комплексное изучение разреза Бычьё-2, расположенного на северо-востоке Беломорского региона, на правом берегу р. Пёза примерно в 5-ти км вниз по течению от ранее изученного разреза Бычьё-1 [Девятова, 1982; Grøsfjeld et al., 2006]. Разрез морских отложений мощностью 455 см залегает непосредственно на красноцветной морене московского оледенения, и сверху перекрывается песками аллювиального (?) происхождения.

Комплексность исследования обусловлена сочетанием следующих видов анализа – литологического, микрофаунистического, палинологического (споры, пыльца, водные непыльцевые палиноморфы). Образцы на различные виды анализов мощностью 2 см

отобраны по всему разрезу с интервалом 5 см, что обеспечивает детальность проведенных исследований; для сравнения, ранее изученный разрез Бычье-1 опробован с интервалом 50 см [Grøsfjeld et al., 2006].

Для литологического и микрофаунистического анализов осадок промывался на сите с диаметром ячеек 63 мкм. В результате было определено весовое процентное содержание фракции >63 мкм. Во фракции >2 мм под бинокляром проводился подсчет обломков пород и минералов и включений моренного материала (в виде «обломков» красноцветных суглинков).

Видовой состав ископаемых бентосных фораминифер и остракод исследован во фракции >125 мкм. Численность определялась относительно веса сухого непромытого осадка; на 1 г для более многочисленных бентосных фораминифер, и на 100 г для относительно редких остракод. Для многочисленных бентосных фораминифер подсчитывалось процентное содержание видов в образце.

Пробы для палинологического анализа обрабатывались по стандартной методике (см. тезисы Руденко и др., этот сборник). Спорово-пыльцевые данные стали основой стратиграфического подразделения осадочного разреза и предварительного определения их возраста на основе корреляции выделенных палинозон разреза Бычье-2 с палинозонами разреза Бычье-1 [Девятова, 1982], которые, в свою очередь, скоррелированы с датированными палинозонами разрезов Западной Европы [Funder et al., 2002; Lambeck et al., 2006] и палинологическими событиями [Miettinen et al., 2014] (см. тезисы Руденко и др.). Помимо пыльцы и спор в микропрепаратах изучены видовой состав и концентрация непыльцевых палиноморф – морских цист динофлагеллат и пресноводных хлорофитовых водорослей.

По совокупности данных об изменениях литологии осадков, состава ископаемых комплексов бентосной микрофауны и ассоциаций водных палиноморф в разрезе Бычье-2 выделены 5 экозон, отражающих основные этапы изменения палеосреды региона. Возрастные границы экозон определялись на основе интерполяции, исходя из предположения о равномерности скоростей осадконакопления между датированными границами палинозон.

Результаты и обсуждение

Литология осадков. Данные по весовому процентному содержанию фракции >63 мкм демонстрируют направленное укрупнение гранулометрического состава осадков от алевритистых глин в нижней части разреза до 300 см, к алевритам и алевритистым пескам средней части разреза до 135 см, и к пескам верхней части разреза. Некоторое увеличение вес. % содержания фракции >63 мкм в нижней части разреза связано с большим количеством крупных включений моренного материала в морские осадки. Подобный тренд изменения литологических характеристик свидетельствует о прогрессирующем обмелении бассейна, в сочетании с изменениями ледовитости и интенсивности эрозионной деятельности.

Бентосные фораминиферы. Изменения видовой состава и численности фораминифер, как наиболее многочисленной группы микрофоссилий, легли в основу выделения экозон. Подавляющее большинство видов из разреза Бычье-2 являются типичными обитателями шельфов арктических морей, к числу более тепловодных элементов можно отнести только *Elphidium williamsoni* и *Trifarina angulosa*, которые появляются в верхней части разреза.

В интервале 430-455 см (экозона 1, >131-130.8 т.л.н.) доминируют арктические виды *Elphidium clavatum*, *Cassidulina reniforme* и *Islandiella norcrossi/helenae*; надо отметить, что эти виды, в целом, составляют основу ископаемых комплексов фораминифер, в особенности в интервале 120-455 см. *E. clavatum* преобладает в нижних 15-ти см разреза, там же велико содержание таких видов как *Haynesina orbiculare*, *Elphidium incertum*, *E. asklundi*, *E. bartletti*,

которые характерны для опресненных арктических мелководий вблизи устьев рек [Polyak et al., 2002]. В то же время, даже в самом основании разреза в составе комплекса присутствуют виды, характерные для удаленных от устьев рек районов арктических шельфов. Вероятно, экозона 1 характеризует условия приглубого ледовитого шельфа, расположенного близко к берегу и испытывавшего опресняющее влияние талых ледниковых вод.

В интервале 370-430 см (экозона 2, 130.8-130.5 т.л.н.) доминируют *E. clavatum* и *I. norcrossi/helenae* при существенном сокращении общего видового разнообразия. *E. clavatum* - оппортунистический вид, который достигает высокой численности в условиях, неблагоприятных для большинства видов, таких как опреснение, высокая ледовитость, повышенная мутность вод. *I. norcrossi* и *I. helenae* обитают на удалении от берега, достигая высокой численности у края сезонных льдов, к которому приурочены вспышки повышенной продуктивности в период весеннего цветения диатомовых водорослей. Подобное сочетание доминирующих видов свидетельствует о существенном опреснении, вероятнее всего, за счет талых вод, развитии стратификации и достаточно мощного ледового покрова.

Интервал 290-370 см (экозона 3, 130.5-130.25 т.л.н.) характеризуется преобладанием арктического оппортунистического вида *C. reniforme*, предпочитающего холодные и соленые придонные воды среднего шельфа. Закономерно, что при этом наблюдается одновременное уменьшение содержания *E. clavatum*, указывающее на сокращение влияния талых вод и ослабление стратификации. Постоянно присутствует вид *Nonion labradoricum*, связанный со вспышками сезонной продуктивности у края льдов. Важной чертой данного комплекса является присутствие относительно глубоководного вида *Melonis barleeanus*, обитающего в районах внешнего шельфа и верхнего континентального склона, в условиях равномерного ограниченного поступления органики [Polyak et al., 2002]. Это свидетельствует о максимальной глубине палеобассейна бореального времени на исследуемой территории.

Интервал 120-290 см (экозона 4, 130.25-128 т.л.н.) характеризуется ростом численности до максимальных значений около 300 экз./г и видового разнообразия фораминифер до 27 видов на образец. Ископаемый комплекс включает разные виды: сокращается численность арктических оппортунистических видов *E. clavatum* и *C. reniforme*, доминирующее положение занимает *I. norcrossi/helenae*, появляются относительно тепловодные виды *E. williamsoni* и *T. angulosa*. Последний наряду с *Astrononion gallowayi*, *Elphidium subarcticum* и *Cibicides lobatulus* характерны для активных придонных обстановок и относительно грубозернистых грунтов. Увеличивается процентное содержание мелководного вида *Buccella frigida*. В совокупности это указывает на сокращение длительности существования сезонного ледового покрова, появление прогреваемых летом мелководий, уменьшение пресноводного влияния и стратификации водной толщи, более активную придонную гидродинамику. В то же время, несмотря на появление новых биотопов, вызванных постепенным обмелением территории, доминирование *I. norcrossi/helenae* свидетельствует о нормально морской солености и глубинах моря не менее 50 м.

Верхний интервал 0-120 см (экозона 5, 128-119.5 т.л.н.) демонстрирует направленное снижение численности и видового разнообразия фораминифер, доминирование *E. clavatum*, *B. frigida* и *C. lobatulus*, рост содержания видов мелководного арктического шельфа, которые присутствовали в основании разреза, а также достаточно высокое содержание относительно тепловодного и мелководного вида *E. williamsoni*. Вся совокупность указанных характеристик предполагает дальнейшее обмеление территории, но достаточно высокое процентное содержание вида внешнего шельфа *C. lobatulus* позволяет считать, что придонные воды имели нормально морскую соленость.

Остракоды. Комплексы остракод также демонстрируют существенные изменения таксономического состава и численности по разрезу. В пределах экононы 1 остракоды немногочисленны и представлены видом *Normanicythere leioderma*, характерным для арктических шельфовых морей с глубинами до 50 м. В составе экононы 2 остракоды отсутствуют. В совокупности, это указывает на достаточно суровые условия ледовитого бассейна начальных фаз трансгрессии.

Более разнообразный арктический комплекс характерен для экононы 3. В нем доминируют морские виды *Acanthocythereis dunelmensis*, *Elofsonella concinna*, а также эвригалинный вид *Heterocyprideis sorbyana*, что указывает на нормально-морские условия среднего шельфа с глубинами 50-70 м и более, учитывая присутствие относительно глубоководных видов *Krithe glacialis* и *Rabilimis* sp. Как и в случае с бентосными фораминиферами, этот комплекс соответствует максимальной глубине палеобассейна бореального времени.

В пределах эконон 4 и 5 увеличивается численность до 20-35 экз./100 г, и комплекс становится более разнообразным (до 20 видов на образец), благодаря появлению таких видов как *Sarsicytheridea punctillata*, *S. bradii*, *Robertsonites tuberculatus*. характерных для среднего и внешнего шельфа арктических морей. Выше по разрезу к ним добавляются мелководные и более тепловодные бореальные формы *Finmarchinella finmarchica*, *F. logani*, *Patagonacythere dubia*, *Cythere lutea*, *Hemicytherura clathrata*, *Hemicythere villosa*. Некоторые из этих мелководных видов встречаются в Балтийском море и не встречаются в евразийской Арктике. В ряде образцов из экононы 5 тепловодные и мелководные виды преобладают над арктическими шельфовыми, отражая обмеление бассейна и летний прогрев вод.

Водные палиноморфы. Концентрация морских цист динофлагеллат наиболее высока в экононе 2, сокращаясь выше по разрезу. В экононе 1 преобладают цисты *Echinidinium karaense*, гетеротрофного вида, обычно обильного в регионах с многомесячным ледовым покровом и очень коротким продуктивным сезоном, также характерного для опресненных приустьевых районов и обитающего в узком диапазоне температур и условиях пониженной солености из-за обильного таяния льда [de Vernal et al., 1997]. Выше по разрезу его концентрация резко снижается, и он встречается лишь спорадически, а доминантами ассоциации становятся гетеротрофные криофильные *Islandinium minutum* и *Brigantedinium* sp. В арктических морях они обитают в достаточно широком диапазоне солености (до 17) в поверхностном слое морской воды, между тающими глыбами морского льда и полыньями, будучи тесно связанными в своем жизненном цикле с некоторыми криофильными диатомовыми водорослями [Polyakova et al., 2003]. Выше по разрезу их концентрация уменьшается. В верхней части экононы 4 и экононе 5 увеличивается концентрация цист автотрофных видов *Nematospaeropsis labyrinthus* и *Spiniferites* cf. *elongatus*, что можно считать сигналом большего влияния океанических вод и уменьшения ледовитости бассейна.

Хлорофитовые водоросли, представленные *Botryococcus* cf. *brauni*, *Pediastrum kawraiskyi*, *P. duplex*, *P. boryanum*, многочисленны только в составе экононы 3, что свидетельствует об усилении речного влияния.

Заключение

Комплексное детальное изучение морских отложений разреза Бычьё-2 позволило по смене ископаемых комплексов микрофауны и водных палиноморф реконструировать изменения палеосреды в ходе развития бореальной трансгрессии и выделить три последовательные фазы: 1) приглубого ледовитого опресненного бассейна начальных фаз затопления, 2) менее ледовитого относительно глубокого бассейна максимальной фазы затопления, и 3)

мелководного бассейна с сокращенным сезонным ледовым покровом. Накопление морских отложений происходило в период от >131 т.л.н. до примерно 119.5 т.л.н.

Затопление территории холодными арктическими водами было практически мгновенным, о чем свидетельствует не только характер литологического контакта между мореной и морскими отложениями, но и состав комплексов микрофоссилий, в которых помимо мелководных арктических видов присутствуют виды, предпочитающие глубины не менее 40-50 м. Регрессия в регионе началась рано, около 130 т.л.н., что свидетельствует об опережающем гляциоизостатическом поднятии территории по отношению к глобальному эвстатическому подъему уровня моря.

Финансирование

Исследование выполнено при поддержке проекта РФФ 22-27-00324.

Список литературы

1. *Девятова Э.И.* Природная среда позднего плейстоцена и ее влияние на расселение человека в Северодвинском бассейне и в Карелии. Петрозаводск: Карелия. – 1982. 156 с.
2. *de Vernal A., Rochon A., Turon J.-L., Matthiessen J.* Organic-walled dinoflagellate cysts: palynological tracers of seasurface conditions in middle to high latitude marine environments // *Geobios.* – 1997. - Vol. 30. – P. 905-920.
3. *Funder S., Demidov I., Yelovicheva Ya.* Hydrography and mollusc faunas of the Baltic and the White Sea - North Sea seaway in the Eemian // *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.* - 2002. – Vol. 184. – P. 275-304.
4. *Grøsfjeld K., Funder S., Seidenkrantz M.-S., Glaister C.* Last Interglacial marine environments in the White Sea region, northwestern Russia // *Boreas.* - 2006. – Vol. 35. – P. 493-520.
5. *Lambeck K., Purcell A., Funder S., Kjær K.H., Larsen E., Möller P.* Constraints on the Late Saalian to early Middle Weichselian ice sheet of Eurasia from field data and rebound modelling // *Boreas.* – 2006. – Vol. 35. – P. 539-575.
6. *Miettinen A., Head J., Knudsen K.* Eemian sea-level highstand in the eastern Baltic Sea linked to long-duration White Sea connection // *Quat. Sci. Rev.* - 2014. - Vol. 86. - P. 158-174.
7. *Polyak L., Korsun S., Febo L., Stanovoy V., Khusid T., Hald M., Paulsen B.E., Lubinski D.J.* Benthic foraminiferal assemblages from the southern Kara Sea, a river-influenced arctic marine environment // *J. Foraminiferal Res.* – 2002. – Vol. 32. – P. 252– 273.
8. *Polyakova E., Dzhinoridze R., Novichkova T., Golovnina E.* Diatoms and palynomorphs in the White Sea sediments as indicators of ice and hydrological conditions // *Oceanology.* - 2003. – Vol. 43. - P. 144-58.

СЕЗОННЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОДУКТИВНОСТИ
ФИТОПЛАНКТОНА В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ

SEASONAL AND REGIONAL FEATURES PHYTOPLANKTON PRODUCTIVITY IN THE
NORTHERN SEA OF JAPAN

Ракитин Тихон Дмитриевич

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

Rakitin Tikhon Dmitrievich

Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg

Введение

В окраинных акваториях (нерито-пелагиали) Японского моря отмечается наиболее высокая продуктивность фитопланктона. Здесь весной биомасса фитопланктона может быть в 20-30 раз выше, чем в открытом море. Для изучения пространственно-временной динамики продуктивности фитопланктона предлагаются методы космического мониторинга и ландшафтно-биономического районирования береговой зоны и шельфа Японского моря.

Применение методов космического мониторинга и ландшафтно-биономического районирования при изучении пространственно-временной динамики продуктивности фитопланктона

Современные средства космического мониторинга регистрируют одновременно температуру на поверхности воды и продуктивность фитопланктона. Мониторинг Японского моря предлагается осуществлять с помощью спутников, на которых установлены многоканальные спектрорадиометры. Стандартными продуктами обработки данных спутниковых датчиков являются: спектральный коэффициент яркости моря, концентрация хлорофилла-а Chl-a (мг/м^3), взвешенный органический углерод (мг/м^3), взвешенный неорганический углерод (моль м^{-3}), Фотосинтетически Активная Радиация (ФАР) (Эйнштейн м^{-2} сут.) и др. [IOCCG] Спутниковые ИК-радиометрические и спектрометрические изображения доступны на сайте NASA [NASA]. Например, данные космического мониторинга сезонной и региональной изменчивости продуктивности фитопланктона северной части Японского моря за 2021 г. представлены на (рис. 1).

Для изучения региональных особенностей продуктивности фитопланктона предлагается метод ландшафтно-биономического районирования береговой зоны и шельфа [Петров К. М., 2020].

Основой районирования северной части Японского моря служат морфоструктурные особенности берегов [Ракитин Т. Д., 2022]. Выделяются следующие области и районы (рис. 2):

I. Сихотэ-Алинская область, районы: 1.1. Южно-приморский и 1.2. Центральнo-приморский;

II. Островная Сахалинская область, районы: 2.1. Северный район Западно-Сахалинских гор, 2.2. Перешеек поясок и 2.3. Южный район Западно-Сахалинских гор;

III. Северная часть Татарского залива.

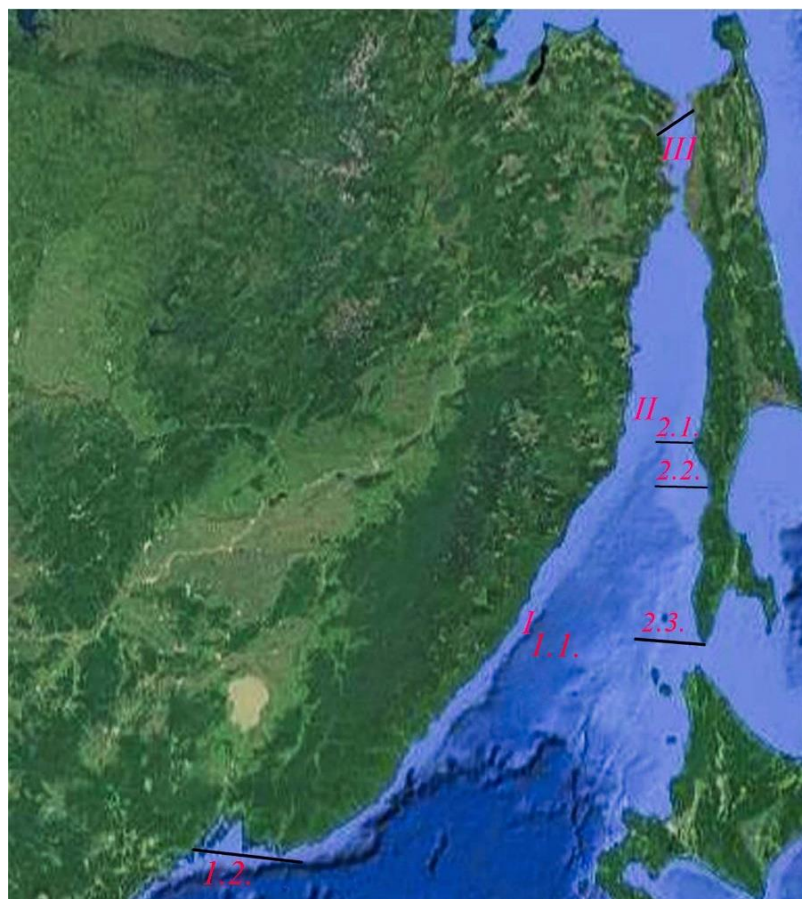


Рис. 2. Ландшафтно-биономическое районирование береговой зоны северной части Японского моря. Объяснение в тексте

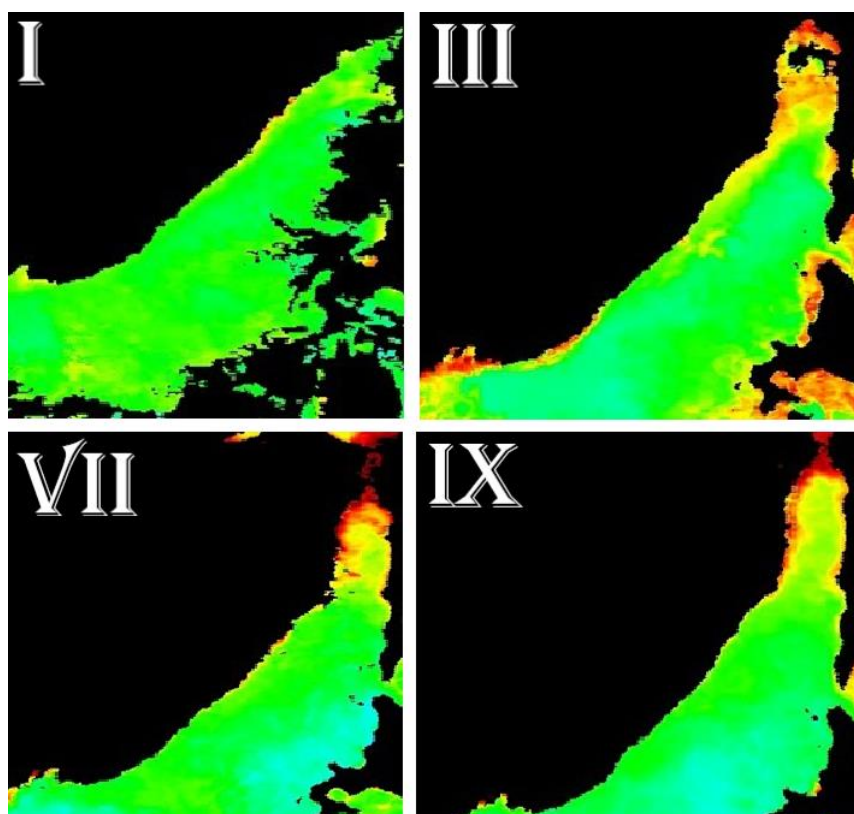


Рис. 1. Космические изображения сезонной динамики продуктивности фитопланктона по концентрации Chl-a ($\text{мг}/\text{м}^3$), данные метеорологического спутника MODIS «Aqua», NASA
Сезоны: I – зима (январь), II – весна (март), III – лето (июль), IV – осень (сентябрь)

Отметим особенности сезонной и региональной продуктивности фитопланктона северной части Японского моря:

Зимой продуктивность низкая: в открытой части моря около 1 мг/м³; в областях: Сихотэ-Алинской 2-3 мг/м³; островной Сахалинской 1-1,5 мг/м³; северной части Татарского залива 1 мг/м³.

Весной продуктивность высокая: в Южном-приморском районе Сихотэ-Алинской области 15-30 мг/м³; в Центральном районе 7 мг/м³; в северном районе островной Сахалинской области 5-6 мг/м³; в южном — 1-2 мг/м³; в северной части Татарского залива 10-30 мг/м³.

Летом в Сихотэ-Алинской области снижается до 1-8 мг/м³; в северном районе островной Сахалинской области 2-6 мг/м³, в южном — 1 мг/м³; в северной части Татарского залива повышается до 15-60 мг/м³.

Осенью в Сихотэ-Алинской области продуктивность остаётся низкой — 1 мг/м³; в северном районе островной Сахалинской области 2-8 мг/м³, в южном — 2-3 мг/м³; в северной части Татарского залива повышается до 30-60 мг/м³.

Заключение

1. Метеорологический спутник MODIS «Aqua», NASA представляет необходимые данные для мониторинга сезонной и пространственной динамики продуктивности фитопланктона.

2. Ландшафтно-биономическое районирование позволяет отразить региональные особенности продуктивности фитопланктона.

3. В сезонной динамике продуктивности фитопланктона в северной части Японского моря отмечаются следующие особенности:

— весной, время высокого плодородия вод и повышенной продуктивности фитопланктона;

— летом-осенью, продуктивность фитопланктона постепенно уменьшается в результате активного потребления биогенных веществ;

— зимой, благодаря конвективному перемешиванию, концентрация биогенов возрастает, и в новом сезоне цикл возобновляется.

Список литературы

1. *Петров К.М.* Принципы биономического районирования береговой зоны и шельфа Мирового океана. Журнал Океанология, 2020, Т. 60, № 3. – С. 381 – 392.
2. *Ракитин Т.Д.* Влияние тектоники на формирование рельефа берегов и шельфа Японского моря. Геологический международный студенческий саммит: сборник материалов. – СПб: Первый ИПХ, 2022. – С. 52 – 55.
3. *IOCCG. Current Ocean-Colour Sensor.* URL: <https://ioccg.org/resources/missions-instruments/current-ocean-colour-sensors/>
4. *NASA. OceanColorWEB Data.* URL: <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/data/aqua/>

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА ГОЛОЦЕНОВОЙ РЕГРЕССИИ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

GEOMORPHOLOGICAL EVIDENCE OF LAKE LADOGA HOLOCENE REGRESSION

**Аксенов Алексей Олегович^{1,2}, Крастель Себастиан³, Рыбалко Александр
Евменьевич^{1,4}, Федоров Григорий Борисович^{1,2}**

¹ Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург

² ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт», Санкт-Петербург

³ Кильский Университет им. К. Альбрехта, Киль

⁴ ФГБУ «ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербург

**Aksenov Aleksei Olegovich^{1,2}, Krastel Sebastian³, Rybalko Alexander Evmenievich^{1,4},
Fedorov Grigorii Borisovich^{1,2}**

¹ Saint-Petersburg University, Saint-Petersburg

² FSBI «Arctic and Antarctic Research Institute», Saint-Petersburg

³ Christian Albert University of Kiel, Kiel

⁴ FSBI «VNIIOkeangeologia», Saint-Petersburg

Введение

История развития Ладожского озера характеризуется постоянными изменениями уровня вод. Его самостоятельное развитие с озерной седиментацией началось 11.6 кал. тыс. л.н., после спуска Балтийского Ледникового озера [Gromig et al., 2019]. С этого момента уровень озера начал стремительно регрессировать, и предполагается, что к максимуму регрессии он находился значительно ниже современной береговой линии. Исследователи по-разному оценивают глубину регрессии. Абрамова и др. [1967] предполагали, что древние береговые линии могут быть обнаружены на глубине 55 м (абсолютные отметки – -50 м). В статье Subetto et al. [1998] указывается глубина максимальной регрессии 45 м (абс. высота – -40 м). Однако все эти предположения не были подкреплены фактическими данными. Поэтому цель нашего исследования – на основе данных акустического профилирования (АПр) обнаружить формы берегового палеорельефа и определить глубины залегания древних береговых линий.

Данные и методы

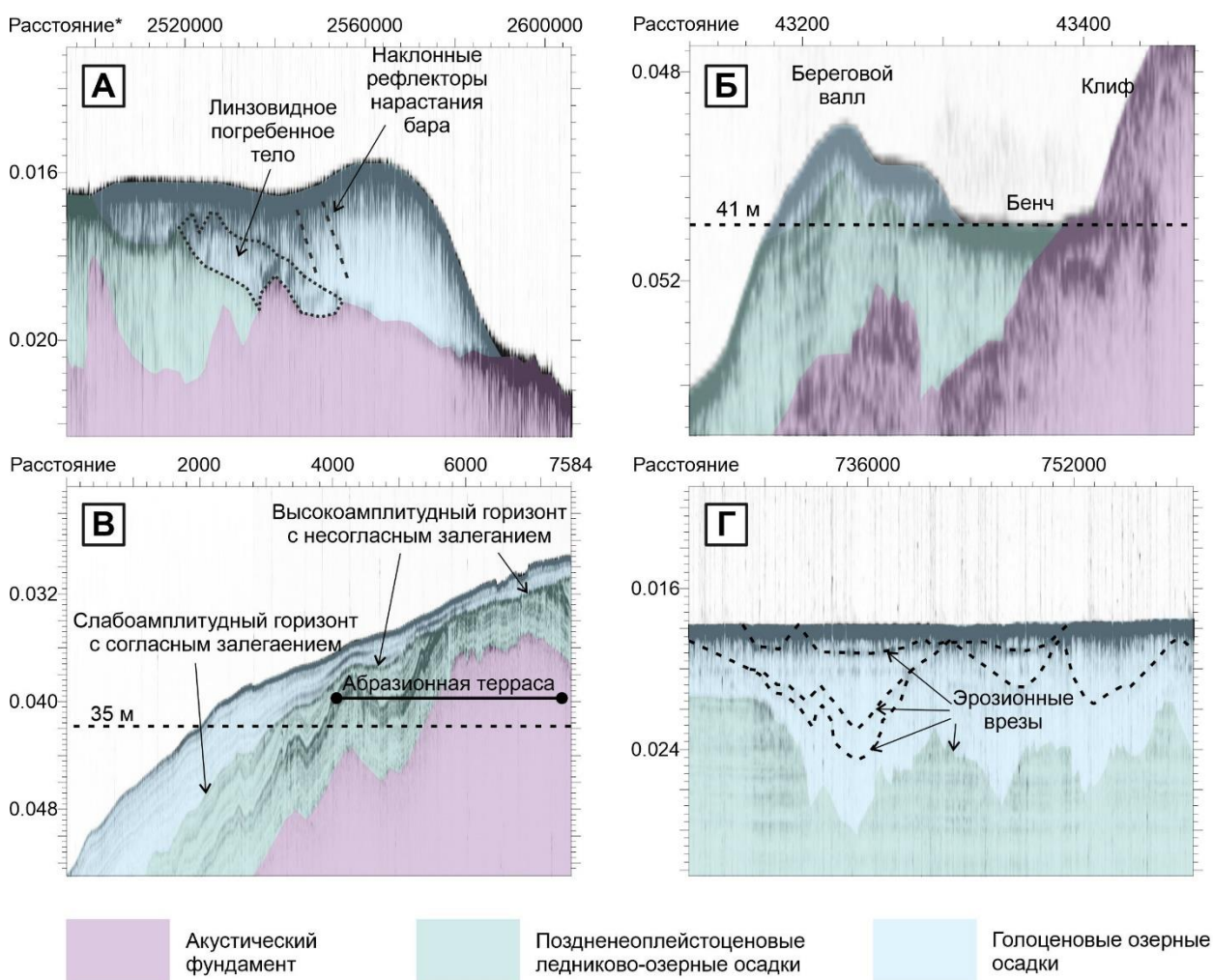
Материалы АПр были собраны в рамках российско-германского проекта «PLOT» (Paleolimnological transect) в 2013 году на НИС «Посейдон» (КарНЦ РАН). Был использован профилограф Innomar SES-2000 с частотой сигнала в низкочастотном режиме от 2 до 22 кГц, глубиной проникновения в осадки до 35 м и разрешением 10 см. По итогам было собрано более 1500 км профилей, охватывающих большую часть акватории озера. Интерпретация данных АПр была выполнена в Kingdom IHS Software 2015. Расчет глубины выполнен исходя из предположения, что скорость сейсмической волны в воде составляет 1500 м/с.

Результаты и их обсуждение

По данным АПр были интерпретированы несколько форм рельефа, развитие которых происходило в условиях берегового рельефообразования. В юго-западной части озера были обнаружены два береговых бара, высотой до 3 м. Они расположены на глубинах 20 и 14 м. Они характеризуются округлой поверхностью с крутым проксимальным и пологим дистальным склонами. Они накладываются на абразионные поверхности. Под баром, расположенном на глубине 14 м наблюдается погребенное тело, предположительно представленное лагунными осадками. Такое явление могло произойти вследствие

трансгрессии и затопления лагуны водами озера. Также, на этих же интервалах глубин наблюдается серия береговых валов высотой 1 м, отмечающая постепенную регрессию Ладожского озера.

Кроме того, в этой же части озера зафиксированы погребенные долины. Всего выделено три крупных долины, заполненных более молодыми осадками. Они характеризуются симметричными бортами и изрезанной поверхностью русла. Стоит отметить, что в разрезе по вертикали можно наблюдать до 4 врезов, наложенных друг на друга. Это свидетельствует о неоднократных эпизодах регрессии озера. Максимально зафиксированная глубина врезания – 30-35 м, относительная глубина самих врезов – 10 м. Вероятно, эти долины принадлежат палео-рекам, впадающим в бухту Петрокрепость – Лава, Назия и т.д. Предположительно, одно из русел может принадлежать Палео-Мге, которая, по представлениям Д.Б. Малаховского с соавторами [1993], могла иметь сток в Ладожское озеро до прорыва р. Невы.



* указано неверное расстояние в связи с ошибкой при записи координат профиля

Рис 1. Примеры интерпретации форм рельефа по материалам АПр. По горизонтали показано расстояние в метрах, по вертикали – двойное время сигнала в секундах. А – береговой бар в южной части Ладожского озера. Б – абразионная платформа с клифом, бенчем и береговым баром. Южный склон Коневецкой гряды. В – погребенная под голоценовыми осадками абразионная терраса. Юго-западный склон Мантсисаарской гряды. Г – погребенная долина с 4 этапами врезания. Бухта Петрокрепость

Помимо этого, нами были выделены абразионные террасы, окаймляющие южные и центральные склоны котловины озера. Эти поверхности выработаны в ленточных глинах, некоторые из них погребены под голоценовыми осадками. Они маркируются высокоамплитудным горизонтом, свидетельствующим об абразионном характере поверхности. В бухте Петрокрепость выделены 3 террасы на высотах 12, 14 и 20 м. В

остальной части озера были прослежены максимальные глубины залегания высокоамплитудного горизонта. Они варьируют в пределах от 30 до 65 м. Проанализировав эти данные, мы пришли к выводу, что глубиной максимальной регрессии Ладожского озера является отметка 40 м. Глубины горизонта абразии в пределах 30-35 м распространены локально в пределах склонов о. Мантсинсаари, и, вероятно, приподняты относительно других отметок вследствие вертикальных тектонических движений. Отметки в диапазоне 55-65 м приурочены к подножиям крутых склонов ледниковых гряд центральной части озера, и, следовательно, могут быть результатом проявления гравитационных процессов. Глубины горизонта около 40 м приурочены к субгоризонтальным и слабонаклонным поверхностям южной части озера, а значит, влияние на положение абразионных террас других процессов должно быть незначительным. Эта оценка регрессии несколько отличается от предполагаемых ранее Абрамовой С.А. (55 м) [1967] и Субетто Д.А. (45 м) [1998].

Заключение

По итогам проведенного исследования были идентифицированы три формы реликтового рельефа. Береговые бары, валы, а также погребенные долины приурочены к южному побережью, в то время как абразионные террасы имеют более широкое распространение. Предполагается, что эти формы относятся к раннеголоценовой регрессии Ладожского озера. Выделено 4 береговых линии, относящихся к этому этапу: 12 м, 14 м, 20 м и 40 м. 40-метровая глубина является максимальной глубиной регрессии Ладожского озера. Строение погребенных врезов и береговых баров свидетельствует о том, что данная регрессия была осложнена несколькими фазами поднятия-опускания уровня вод.

Список литературы

1. *Абрамова С.А., Давыдова Н.Н., Квасов Д.Д.* История Ладожского озера по данным спорово-пыльцевого и диатомового анализов // История озер северо-запада: Материалы первого симпозиума по истории озер Северо-Запада СССР. – 1967. – С 113-132.
2. *Малаховский Д.Б., Арсланов Х.А., Гей Н.А., Джиноридзе Р.Н., Козырева М.Г.* Новые данные по голоценовой истории Ладожского озера // Эволюция природных обстановок и современное состояние геосистемы Ладожского озера. – 1993. – С. 61-73.
3. *Gromig, R., Wagner, B., Wennrich, V., Fedorov, G., Savelivea, L., Lebas, E., Krastel, S., Brill, D., Andreev, A., Subetto, D., Melles, M.* Deglaciation history of Lake Ladoga (northwestern Russia) based on varved sediments // *Boreas*. – 2019. – Vol. 48. – P. 330-348.
4. *Subetto D.A, Davydova N.N., Rybalko A.E.* Contribution to the lithostratigraphy and history of Lake Ladoga // *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*. – 1998. – Vol. 140, No. 1. – P. 113-119.

АБИОТИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ ДОННЫХ ЛАНДШАФТОВ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В ЦЕЛЯХ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И МОРСКОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

ABIOTIC MAPPING OF BOTTOM LANDSCAPES OF THE BALTIC SEA FOR SPATIAL PLANNING AND MARINE ENVIRONMENT MANAGEMENT

Дорохов Дмитрий Владимирович^{1,2}

¹ *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва*

² *Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград*

Dorokhov Dmitriy Vladimirovich^{1,2}

¹ *Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow*

² *Immanuel Kant Baltic federal university, Kaliningrad*

Введение

Рациональное использование морских минеральных и биологических ресурсов невозможно без выявления пространственных закономерностей происхождения, развития и распространения субаквальных природных комплексов, их трансформации в условиях возрастающего техногенного воздействия. В связи с этим необходимо комплексное изучение основных физико-географических и геоэкологических процессов, протекающих на морском дне и в прибрежной зоне. В США и европейских странах на государственном уровне были разработаны стандартные ландшафтные классификации и методы (напр. СМЕКС, EUNIS, EMODNET). В России также развиты различные методы ландшафтных исследований, но до сих пор не существует государственного стандарта по картированию ландшафтов, в том числе субаквальных, в целях пространственного планирования и рационального природопользования. Актуальность работы определяется отсутствием стандартных подходов и методов районирования субаквальных ландшафтов, их слабой изученностью. Для российского сектора юго-восточной Балтики, включая Куршский и Калининградский (Вислинский) заливы предложена методика и составлены среднемасштабные карты (1:700000) субаквальных ландшафтов. Крупномасштабное картирование (1:50000) выполнено на трех ключевых участках.

Данные и методы

Методы составления среднемасштабных карт разработаны на основе европейской классификации EUNIS [Davies, Moss, 1999] и подходов, примененных в международном проекте BALANCE [Al-Hamdani, Reker, 2007]. Методика предполагает использование «первичных» параметров, которые оказывают наибольшее влияние на распределение видов донных сообществ: вертикальная зональность, типы субстрата, придонная соленость. А также «вторичных», которые имеют региональное геоэкологическое значение: придонная температура и ледовый покров. Параметры морской среды для построения среднемасштабной региональной ландшафтной карты взяты из литературных источников. Карта типов донных ландшафтов составлена в программе ArcGIS. В результате наложения абиотических компонентов сформирован производный слой типов ландшафта, где каждому полигону

соответствует уникальное сочетание компонентов ландшафта. Построенная в программе ArcGis карта изменчивости донных ландшафтов предоставляет геоэкологическую информацию о возможном расположении «горячих точек» с высоким разнообразием биотопов.

Крупномасштабное картирование выполнено по материалам экспедиционных исследований. На трех ключевых участках проведена геоакустическая съемка с использованием однолучевого эхолота Simrad EA400SP (38 и 200 кГц) с опцией бокового обзора, буксируемого интерферометрического гидролокатора бокового обзора (ГЛБО) Benthos C3D, многолучевого эхолота RESON-AS Seabat 8111 и профилографа EdgeTech 3300. Для литологической интерпретации данных ГЛБО на 104 судовых станциях был выполнен отбор проб поверхностных донных отложений на гранулометрический анализ. Помимо собственных, так же были привлечены архивные данные различных организаций. С использованием полученных цифровых моделей рельефа выделены мезо- и микроформы рельефа по результатам расчета индекса батиметрической позиции (BPI) в программе ArcGis [Lundblad et al., 2006]. Крупномасштабные ландшафтные карты участков составлены в программе ArcGIS путем совмещения ГИС-слоев нескольких компонентов: форм мезо- и микрорельефа, выделенных по ЦМР; внемасштабных элементов микрорельефа, выделенных по данным ГЛБО; типов субстрата, полученных в результате интерпретации ГЛБО; вертикальной зональности; придонной солености; придонной температуры.

Результаты

Согласно полученным результатам, донные ландшафты юго-восточной части Балтийского моря намного сложнее и разнообразнее, чем это было известно ранее. На региональном уровне сочетание выбранных параметров позволило выделить 21 тип ландшафта. Самый распространенный монодоминантный тип ландшафта приурочен к илам Гданьской впадины, где температура, соленость и концентрация растворенного кислорода у дна в большей мере зависят от интенсивности затоков североморских вод. Содержание токсичных тяжелых металлов и нефтепродуктов относительно высоко [Емельянов и др., 2012]. Однако основная причина малого видового разнообразия и численности макробентоса, представленного редкими видами двустворчатых моллюсков, полихет, олигохет и ракообразных – низкое содержание растворенного кислорода (иногда гипоксия), связанное с резким увеличением поступления биогенных веществ в 1980-е годы [Блажчишин, 1992]. Местами толща илистых отложений насыщена пузырьками углеводородных газов (преимущественно метана), которые проявляются в виде акустических аномалий и покмарков на эхолотных записях и имеют важное геоэкологическое значение, поскольку метан отнесен к парниковым газам.

Второй по распространенности тип ландшафта характеризуется песками прибрежного мелководья различного гранулометрического состава. Несмотря на близость к источникам техногенного загрязнения (портам, устьям рек и др.) содержание токсичных веществ имеет минимальные значения и подчиняется «правилу фракций» [Емельянов и др., 2012].

Наиболее разнообразные и наименьшие по площади типы ландшафта в российском секторе юго-восточной части Балтийского моря приурочены к трем участкам и определены как наиболее перспективные для создания морских охраняемых природных акваторий (МОПА).

Полидоминантный ландшафт ключевого участка в районе м. Таран находится в циркулиторальной зоне с олигогалинным II классом солености придонных вод (5-7,5‰), которые относятся к верхнему изменчивому по температуре слою. Ступенчатый рельеф

участка, обусловлен выходами на поверхность дна моноклиально залегающих коренных пород, формирующих куэстовый рельеф, а также сохранившимися в ходе трансгрессии затопленными древними береговыми уступами [Dorokhov et al., 2022]. Реликтовые клифы должны приобрести природоохранный статус как памятник природы, поскольку являются важнейшим источником для реконструкции и прогноза колебаний уровня моря в ходе глобального изменения климата. Субаквальные клифы – уникальные элементы донного ландшафта, с которыми связано увеличение численности и биологического разнообразия донных сообществ. Твердый субстрат выходов коренных пород с валунно-галечными отложениями на поверхности благоприятен для развития прикрепленных редких растений макрофитов и беспозвоночных (мидии, баянусы).

Наименьшие по площади ландшафты располагаются на подводном береговом склоне корневой части Куршской косы на глубинах 5-15 м, которые разделены между собой границей инфра- и циркулиторали. Ландшафт характеризуется максимальной изменчивостью, на котором было выделено 10 типов урочищ, состоящих из 26 фаций. Наибольшая расчлененность рельефа наблюдается в мелководной части до глубин 15-20 м, где на поверхности дна прослеживаются узкие вытянутые субперпендикулярно к береговой линии локальные возвышенности, покрытые мелкозернистыми песками. На глубинах менее 15 м в верхней части положительных форм и на их склонах обнажаются уникальные образования в виде плотных слоистых глинистых отложений, по гранулометрическому составу относящиеся к песчаным алевролитам. Характерной особенностью является наличие в их составе более 10% органического вещества. Эти плотные глины («лагунные илы») являются трансформированными илами палеолагуны Литоринового моря [Sergeev et al., 2016]. Тип ландшафта уникален как по своему генезису, так и с экологической точки зрения. По сравнению с соседними относительно безжизненными песчаными участками дна, фации древних лагунных илов являются оазисом, где высокое содержание органики в составе субстрата приводит к резкому увеличению видов бентосных организмов. Реликтовые лагунные илы являются одновременно памятником природы, объектом научных исследований и подводного туризма, так как характеризуются живописным ландшафтом. Поскольку акватория примыкает к побережью национального парка Куршская коса, она должна быть включена в его состав.

Наименьшие по площади и наиболее разнообразные ландшафты заливов выявлены в мелководной прибрежной части, характеризующиеся инфралиторальной зоной со значительной изменчивостью распределения донных отложений, сформированных под воздействием эрозионно-аккумулятивных процессов. Поверхностные осадки представлены песками различной крупности (преимущественно мелкозернистыми), которые характеризуются высокой степенью подвижности в периоды штормовой активности. Пологий подводный склон занимают урочища подводного зарастания, где произрастают мягкие водные травы, которые с одной стороны являются естественными волногасителями, а с другой – выступают как убежища планктонных организмов, нерестилища и нагула мальков промысловых видов рыб. Узкая полоса мелководной прибрежной части лагун с ее зарослями водной растительности имеет важное геоэкологическое значение. Участок инфралиторали Куршского залива, примыкающий к побережью Куршской косы также должен быть включен в состав национального парка.

На основе ландшафтного районирования предложена схема геоэкологического мониторинга российского сектора Балтийского моря и примыкающих к нему Куршского и Вислинского заливов, которая позволит минимизировать затраты на его выполнение путем

оптимизации количества станций при сохранении репрезентативности данных о состоянии морской среды.

Заключение

Составленная карта субаквальных ландшафтов российского сектора юго-восточной части Балтийского моря в дальнейшем может применяться в качестве основы для рационального природопользования, поскольку дает комплексную информацию об уникальности, изменчивости и площади их распространения. Дальнейшие усилия должны быть направлены на морские исследования в целях их уточнения и улучшения зоны покрытия. Улучшение региональной ландшафтной карты должно быть связано с добавлением и ежегодным обновлением такого важного параметра, как придонная концентрация кислорода. Для создания наиболее информативных карт морских местообитаний и обширных экологических оценок крайне важна биологическая информация. Основная проблема при картировании заключается в большой изменчивости состава донных сообществ по сравнению с абиотическими характеристиками. Поэтому состояние донных биоценозов должно оцениваться регулярно, посезонно и с учетом пространственного распределения абиотических компонентов донных ландшафтов. Разработанная методика ландшафтного районирования может быть использована в качестве основы для создания карт субаквальных ландшафтов в других регионах РФ.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН, тема №FMWE-2021-0012.

Список литературы

1. *Блажчишин А.И.* Подводные ландшафты Калининградского взморья в районе Самбийского полуострова // Геоэкология морских ландшафтов. – Калининград. – 1992. – С. 90 – 99.
2. *Емельянов Е.М., Кравцов В.А., Сивков В.В., Дорохова Е.В.* Токсичные вещества в донных осадках // Нефть и окружающая среда Калининградской области. – Калининград: Терра Балтика. – 2012. – Т. II. – С. 304-314.
3. *Al-Hamdani Z., Reker J.* Towards marine landscapes in the Baltic Sea [Электронный ресурс] // BALANCE interim report. – 2007. – № 10. – Режим доступа: <http://balance-eu.org/>.
4. *Davies C. E., Moss D.* EUNIS Habitat Classification // Final report to the European Topic Centre on Nature Conservation, European Environment Agency. – Huntingdon: Institute of Terrestrial Ecology. – 1999.
5. *Dorokhov D.V., Lugovoy N.N., Dorokhova E.V., Budanov L.M., Dudkov I.Yu.* Morphology and origin of the palaeo cliff area in the Sambia Peninsula nearshore (SE Baltic Sea) // Quaternary International. – 2022. – V. 630. – P. 17-33. – <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.03.025>.
6. *Lundblad E.R., Wright D. J., Miller J., Larkin E.M., Rinehart R., Naar D.F., Donahue B.T., Anderson S.M., Battista T.A.* Benthic Terrain Classification Scheme for American Samoa // Marine Geodesy. – 2006. – V. 29. - № 2. – P. 89-111.
7. *Sergeev A.Y., Zhamoida V.A., Ryabchuk D.V., Buynevich I.V., Sivkov V.V., Dorokhov D.V., Bitinas A., Pupienis D.* Genesis, distribution and dynamics of lagoon marl extrusions along the Curonian Spit, southeast Baltic Coast // Boreas. – 2017. – V. 46 – P. 69-82.

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ПАЛЕОЛАНДШАФТАХ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ
БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

NEW DATA ON PALEOLANDSCAPES OF THE SOUTH-EASTERN PART OF THE
BALTIC SEA

**Дорохов Дмитрий Владимирович^{1,2}, Лаломов Дмитрий Александрович³, Байдилов
Денис Владимирович⁴, Дудков Иван Юрьевич^{1,2}, Орлов Евгений Константинович^{1,2},
Меркурьева Виктория Михайловна^{1,2}, Смирнов Матвей Александрович², Дорохова
Евгения Валерьевна^{1,2}**

¹ *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

² *Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград*

³ *АО "Газпром диагностика", г. Санкт-Петербург*

⁴ *ООО «Фертонг», г. Санкт-Петербург*

**Dorokhov Dmitriy Vladimirovich^{1,2}, Lalomov Dmitriy Aleksandrovich³, Baidikov Denis
Vladimirovich⁴, Dudkov Ivan Yur'evich^{1,2}, Orlov Evgeniy Konstantinovich^{1,2}, Merkur'eva
Viktoriya Mihailovna^{1,2}, Smirnov Matvei Aleksandrovich², Dorokhova Evgeniya Valerievna^{1,2}**

¹ *Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow*

² *Immanuel Kant Baltic federal university, Kaliningrad*

³ *JSC "Gazprom Diagnostics", Saint Petersburg*

⁴ *Fertoing LTD, Saint Petersburg*

Введение

Исследования палеоландшафтов крайне актуальны, поскольку позволяют восстановить не только особенности геологического развития морских бассейнов, но и выявить условия среды формирования донных осадков и развития биоценозов. Долгосрочное прогнозирование развития донных ландшафтов в условиях глобального изменения климата может опираться на реконструкцию их эволюции в прошлом. Формирование подводных ландшафтов в юго-восточной части Балтийского моря в позднем плейстоцене и раннем голоцене происходило в ходе потепления и отступления Скандинавского ледника. В этот период происходили многократные колебания уровня зарождающегося Балтийского моря в сочетании со сменой морских и озерных стадий [Uścińowicz, 2006]. Изменения климата, гидрологии, условий седиментации и рельефообразования под воздействием аккумулятивно-абразионных процессов приводили к естественной трансформации донных ландшафтов. Основной целью работы является выявление и описание реликтовых форм рельефа дна и условий их образования.

Данные и методы

Экспедиционные исследования проводились Атлантическим отделением Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН в российском секторе юго-восточной части Балтийского моря в 47-м (16.09.2021 г.-05.10.2021 г.), 48-м (29.10.2021 г.-12.11.2021 г.) и 49-м (01-23.06.2022 г.) рейсах НИС «Академик Борис Петров» (рис. 1) и в первую очередь были направлены на изучение рельефа дна и донных осадков. Работы включали батиметрическую

съемку многолучевым эхолотом (МЛЭ) RESON Seabat T50-ER (частота 150-420 кГц, 1024 луча) и сейсмоакустическую съемку параметрическим профилографом Atlas Parasound P70 (частоты 18-24 кГц и 0,5-7 кГц). Для литологической интерпретации данных обратного рассеяния МЛЭ прицельно отбирались пробы поверхностных донных осадков дночерпателями Ван Вина и Океан-50. На участках с твердым дном, где отбор осадков невозможен, проводилась подводная видеосъемка экспериментальными телеуправляемыми подводными аппаратами (ТПА), разработанными в АО ИО РАН. Некоторые сейсмоакустические профили заверялись колонками донных осадков, отобранных геологической трубой большого диаметра.

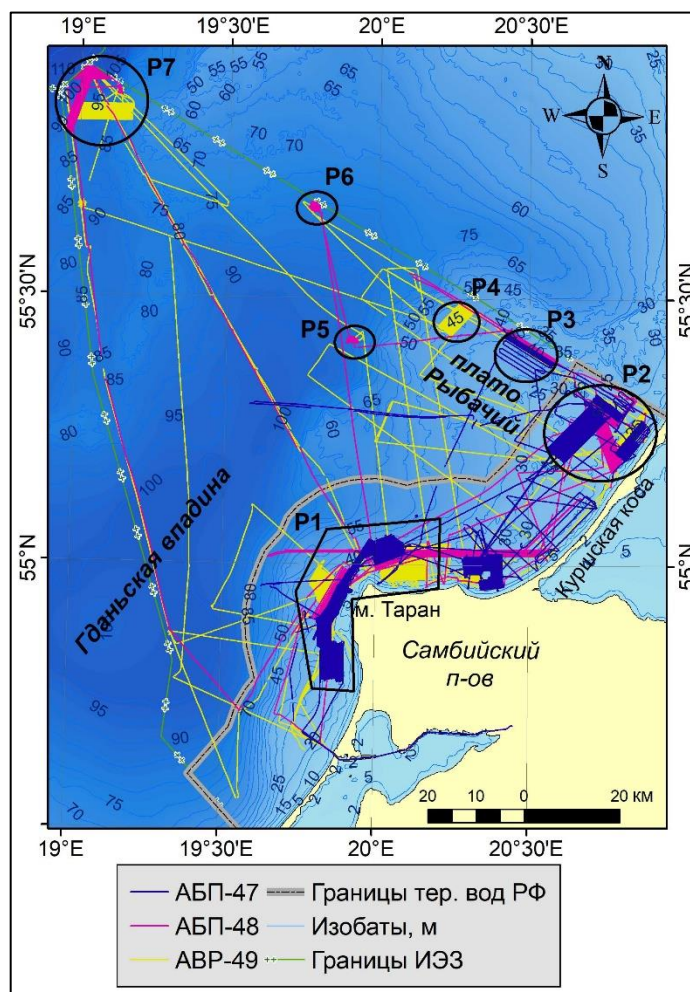


Рис. 1. Схема геофизических работ в российском секторе юго-восточной части Балтийского моря в 47-49 рейсах НИС «Академик Борис Петров». Батиметрическая основа взята из [Gelumbauskaite et al., 1999].

Результаты

Геолого-геофизические исследования палеоландшафтов проводились в 2021-2022 гг. на полигонах P1-P7 (рис. 1), каждый из которых характеризуется наличием реликтовых форм на поверхности дна или в толще осадков, образованных на различных стадиях Балтийского моря.

Продолжены исследования на подводном береговом склоне Самбийского п-ова в районе м. Таран (рис. 1, полигон P1), где на стадии Балтийского ледникового озера (БЛО) и Иольдиевого моря (ИМ) сформировались затопленные древние береговые уступы, которые были затоплены в ходе литориновой трансгрессии [Dorokhov et al., 2022]. Определена

глубина подошвы уступов на разных участках подводного берегового склона, что позволит уточнить кривую относительного изменения уровня Балтийского моря в позднем плейстоцене и голоцене. Выявлены новые геоморфологические особенности, такие как волноприбойные ниши в уступах и следы обрушения карниза, денудационные останцы и карстовые котловины, образованные вблизи бровки уступов, что еще раз подтверждает их абразионный генезис. У основания затопленного клифа отобраны пробы песков на ОСЛ датирование, которое позволит уточнить его возраст. На дне двух карстовых котловин обнаружены россыпи белемнитов, которые, вероятно, образовались в результате избирательной денудации меловых отложений и накоплении фоссилий в локальных депрессиях. Подводная видеосъемка и отбор осадков на поверхности останцов вблизи бровки уступа показали обрастание дна железомарганцевыми корками, что, вероятно, связано с выходами ожелезненных подземных вод.

Продолжены исследования крупных песчаных тел на подводном береговом склоне Куршской косы (плато Рыбачий), которые ранее [Блажчишин, 1998] были определены как реликтовые дюны (рис. 1, полигоны P2-P3). Расширение покрытия участков многолучевыми эхолотными данными и высокое разрешение нового эхолота позволили выявить новые особенности микрорельефа дна: знаки ряби на дне эрозионных долин между дюнами, россыпи валунов, формы дюн и др. Выполнена серия повторных галсов на участках, где в предыдущие годы выполнялась многолучевая эхолотная съемка для выявления динамики песчаных тел под влиянием современных литодинамических процессов. Уточнены структура, мощность и границы распространения погребенных под дюнами слоистых отложений, выявленных в 47 рейсе НИС «Академик Николай Страхов», которые предположительно являются реликтовыми лагунными илами. В структуре осадков наблюдаются многочисленные неоднородности в виде акустических окон и разрывных нарушений. В толще осадков выявлена сеть погребенных палеодолин, которые, вероятно, являются рукавами дельты пра-Немана. На глубинах около 45 м (рис. 1, полигон P4) уточнены границы распространения выходов коренных пород, которые ранее не были отмечены на картах.

Расширены исследования борозд айсбергового выпаживания (рис. 1, полигоны P5-P7), которые сформировались на стадии Балтийского ледникового озера и Иольдиевого моря [Dorokhov et al., 2018]. На полигонах P5-P6 по данным сейсмоакустики выявлены погребенные борозды айсбергового выпаживания на четырех горизонтах озерно-ледниковых отложений, которые связаны с различными этапами БЛО, когда усиливалось формирование плавающих льдов в сочетании со значительными изменениями процессов осадконакопления в условиях климатических осцилляций. По результатам магнитной съемки ООО «Фертоинг» в рамках инженерных изысканий на этих полигонах были выявлены магнитные аномалии, связанные с погребенными бороздами выпаживания. Прицельно отобранные АО ИО РАН колонки осадков над бороздами и между ними показали, что в вышележащих анциловых глинах над бороздами происходит увеличение значений магнитной восприимчивости, вероятно связанное с повышением концентрации гидротроилита. На полигоне P7 (рис. 1) уточнены границы распространения крупной палеодолины и получены новые данные о распространении борозд айсбергового выпаживания на поверхности дна.

Заключение

В результате экспедиционных исследований получены новые данные о реликтовых формах рельефа дна и осадков юго-восточной части Балтийского моря. Для полного

описания палеоландшафтов позднего плейстоцена и голоцена в дальнейшем планируется проведение датировок осадков и привлечение микропалеонтологических данных.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН, тема №FMWE-2021-0012.

Список литературы

1. *Блажчишин А.И.* Палеогеография и эволюция позднечетвертичного осадконакопления в Балтийском море // Калининград: Янтарный сказ. – 1998. – 160 с.
2. *Dorokhov D.V., Dorokhova E.V., Sivkov V.V.* Iceberg and ice-keel ploughmarks on the Gdansk-Gotland Sill (south-eastern Baltic Sea) // *Geo-Marine Letters*. – 2018. – V. 38. – № 1. – P. 83–94.
3. *Dorokhov D.V., Lugovoy N.N., Dorokhova E.V., Budanov L.M., Dudkov I.Yu.* Morphology and origin of the palaeo cliff area in the Sambia Peninsula nearshore (SE Baltic Sea) // *Quaternary International*. – 2022. – V. 630. – P. 17-33. – <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.03.025>.
4. *Gelumbaускаite L.-Z., Grigelis A., Cato I., Repecka M., Kjellin B.* Bottom topography and sediment maps of the Central Baltic Sea. Scale 1:500,000 // Vilnius-Uppsala: LGT SERIES OF MARINE GEOLOGICALS MAPS No.1. – 1999. – № 54.
5. *Uścińowicz S.* A relative sea-level curve for the Polish Southern Baltic Sea // *Quaternary International*. – 2006. – V. 145-146. – P. 86–105.

ЛАНДШАФТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ГЛУБОКОВОДНЫХ ПРОХОДАХ
ДИСКАВЕРИ И КЕЙН (СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ И ЦЕНТРАЛЬНАЯ АТЛАНТИКА)

LANDSCAPE STUDIES IN THE DISCOVERY AND KANE GAPS (NORTH-EASTERN
AND CENTRAL ATLANTIC)

**Дорохова Евгения Валерьевна^{1,2}, Дорохов Дмитрий Владимирович^{1,2}, Кулешова
Любовь Александровна¹, Родригес-Товар Франциско Хавиер³, Кречик Виктор
Антонович^{1,2}, Дудков Иван Юрьевич^{1,2}, Кондрашов Алексей Александрович¹**

¹ *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва*

² *Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград*

³ *Университет Гранады, Гранада, Испания*

**Dorokhova Evgenia Valerievna^{1,2}, Dorokhov Dmitriy Vladimirovich^{1,2}, Kuleshova Liubov
Alexandrovna¹, Rodríguez-Tovar Francisco Javier³, Krechik Viktor Antonovich^{1,2}, Dudkov
Ivan Yurievich^{1,2}, Kondrashov Alexey Alexandrovich¹**

¹ *Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow*

² *Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad*

³ *Universidad de Granada, Granada, Spain*

Введение

Исследования ландшафтов глубоководных районов океана и изучение их долговременной динамики являются сложными задачами вследствие труднодоступности этих областей. Хотя абиссальные районы занимают наибольшую площадь дна океанов, а морские глубоководные природные системы являются крупнейшим биомом на Земле, их биологические сообщества остаются малоизученными [Harris et al. 2014], [Ramirez-Llodra et al. 2010]. Одним из решений этой проблемы для районов с незначительным объемом биологической информации или ее полным отсутствием может быть создание экологически значимых карт на основе абиотических параметров [Roff and Taylor 2000].

Глубоководные проходы расположены в океанических хребтах и поднятиях, часто входят в состав трансформных разломов. Они соединяют соседние котловины и играют важную роль в обмене водой, осадками и биотой между ними (например, [Hernández-Molina et al 2008]). Отличительной особенностью глубоководных проходов является высокая изрезанность дна и специфический гидрологический режим. Они являются ключевыми районами адвекции придонных вод и служат «коридорами» для распространения придонных водных масс, течения которых усиливаются в узких проходах [Morozov et al. 2010]. В обзоре глубоководных экосистем, выполненным Е. Рамирес-Льодра с соавторами [Ramirez-Llodra et al. 2010], местообитания донных организмов представлены абиссальными равнинами, континентальными окраинами, системами срединно-океанических хребтов, подводными горами, глубоководными каналами и желобами. Глубоководные проходы среди них не упоминаются.

Глубоководные проходы Дискавери и Кейн расположены в Северо-Восточной и Центральной Атлантике в районах Азоро-Гибралтарского трансформного разлома и поднятия Сьерра-Лионе, соответственно. Оба прохода являются ключевыми районами Восточной

Атлантики с точки зрения распространения Антарктической донной воды (ААДВ) [Mogozov et al. 2010]. Данная работа посвящена абиотическому ландшафтному картированию глубоководных проходов Дискавери и Кейн и изучению влияния абиотических параметров, связанных с геоморфологией и распространением придонных вод, на бентосные организмы.

Материалы и методы

Ландшафтное картирование глубоководного прохода Дискавери выполнено на основе геологических, геофизических и гидрологических данных, полученных в экспедиции АО ИО РАН в 2019 г. Данные площадной батиметрии получены глубоководным многолучевым эхолотом Reason Sea Bat 7150 (12,5 кГц, 256 лучей) и использованы для построения геоморфологической карты путем автоматической классификации дна по рассчитанным индексам батиметрической поверхности (ИБП) по методике [Lundblad et al. 2006]. Ввиду отсутствия детального пробоотбора, для картирования типов субстратов использовались выделенные ранее типы эхофаций [Glazkova et al. 2021]. Ландшафтная карта для глубоководного района Дискавери была построена путем комбинирования геоморфологической карты, карты типов субстратов и придонной температуры, измеренной на океанологических станциях CTD-зондом.

В рамках изучения бентосных организмов выполнены исследования бентосных фораминифер (БФ) в верхних 30 см двух колонок донных осадков. Для оценки изменчивости видового состава использовались содержание раковин БФ на 1 г сухого осадка, индексы биоразнообразия Шеннона и Фишера, а также индекс фрагментации. В трех колонках донных осадках, отобранных по пути распространения ААДВ, проведен ихнологический анализ. Он представляет собой изучение следов жизнедеятельности древних организмов – ихнофоссилий – биогенных осадочных структур (в т. ч. биотурбации), характеризующих эндобентосные сообщества прошлого и среду их обитания. Кроме того, проанализированы видеозаписи поверхности дна, полученные в экспедиции АО ИО РАН в 2021 г. Видеозаписи позволяют классифицировать поверхность дна и оценить придонную динамику. Привязка видеокамеры к магнитному компасу даёт возможность определить усредненное направление движения воды.

В глубоководном проходе Кейн в рамках ландшафтному картированию по той же методике расчета ИБП [Lundblad et al. 2006] составлена геоморфологическая карта на основе батиметрических данных многолучевого эхолота Reason Sea Bat 7150 в рейсах АО ИО РАН в 2016 и 2019 гг. Разработана классификация и построена схема сейсмофаций по данным, полученным в тех же рейсах глубоководным профилографом EdgeTech 3300 (2-16 кГц). Для прохода Кейн пока не составлена аналогичная проходу Дискавери интегральная ландшафтная карта, поскольку не привлекались данные по придонной температуре. Описание ландшафтов выполнено по полученным картам форм рельефа и распределения сейсмофаций.

Результаты. Глубоководный проход Дискавери

В глубоководном проходе Дискавери по абиотическим компонентам выявлено большое разнообразие ландшафтов на относительно небольшой акватории и выделено 23 их типа [Dorokhova et al. 2021]. Наиболее гетерогенным абиотическим фактором, определяющим ландшафтное распределение, является топография, тесно связанная с мозаичностью отложений и разнообразием субстрата. Высокая неоднородность среды обитания по сравнению с окружающими абиссальными равнинами может способствовать увеличению биоразнообразия в глубоководном проходе. Выявлено специфическое распределение ААДВ в проходе обусловленное, с одной стороны, усилением донного течения из-за ограниченного

рельефа и, с другой стороны, подпорным эффектом центрального порога. Интенсификация донного течения над порогами приводит к размыву и/или неотложению наносов, а также к образованию твердого грунта даже на участках локальных впадин.

Ихнологические исследования показали пространственные и временные различия поведения эндобентоса в глубоководном проходе Дискавери. В изученных ядрах отложений преобладают ихнофоссилии рода *Zoophycos*, характеризующиеся структурами питания. Отмечено его более высокое присутствие в отложениях южной впадины в районе входа ААДВ в проход, а также в холодные ледниковые периоды, что связано с пространственно-временными вариациями ААДВ. Более высокое разнообразие и видовое богатство БФ также выявлено в колонке донных осадков, отобранной на входе ААДВ в проход на самой большой глубине, по сравнению с остальными исследованными колонками. Это отражает влияние придонного течения ААДВ на гидродинамический режим и транспорт биогенных элементов. При этом требуются дальнейшие исследования содержания биогенных элементов в воде и осадках.

Глубоководный проход Кейн

В глубоководном проходе Кейн по ИБП выделено 5 форм рельефа дна: глубинная часть эрозионного канала, полого-наклонная равнина прохода, холмистая наклонная равнина, возвышенность, склоны с максимальными уклонами дна ($>6^\circ/100$ м). Глубинная часть эрозионного канала в южной части района исследования находится на глубинах более 4600 м и является частью северного склона котловины Сьерра-Леоне, а также выделяется севернее в виде широкого канала. Наибольшей по площади является полого-наклонная равнина прохода, которая распространяется на глубинах 4550-4950 м и является продолжением глубинных частей эрозионного канала, по которому распространяется ААДВ из котловины Сьерра-Леоне в Гамбийскую котловину. Полого-наклонная и холмисто-наклонная равнины сформированы осадочным телом (контуритовым дрейфом), которое образовалось вследствие ослабления придонных течений на выходе из глубоководного канала и разгрузки осадочного материала в виде положительных форм рельефа [Sivkov et al. 2019]. Области максимальных уклонов поверхности дна распространены по всей площади контуритового дрейфа в виде узких, волнистых, вытянутых вдоль изобат относительно небольших участков. Они маркируют депрессии между седиментационными волнами на поверхности дрейфа.

В результате обработки сейсмоакустических записей выделено 9 сейсмофаций и построена схема их распространения. Жесткое дно характерно для участков, где происходит накопление или размыв осадков в наиболее узкой части прохода Кейн из-за увеличения скорости придонных течений. Неясная слоистость приурочена к центральному и западному рукавам эрозионного канала, где слоистые осадки чередуются с выходящими на поверхность плотными подстилающими контуритовый дрейфт осадками. Сейсмофации с четкой слоистостью в толще осадков распространены на участках контуритового дрейфа с наибольшей мощностью и относительно ровной поверхностью. Гиперболические отражения характерны для возвышенности Сьерра-Леоне и небольших участков северо-западной части района исследования, где изрезанность рельефа обусловлена выходами коренных пород.

Заключение

Ландшафтные исследования глубоководных проходов Дискавери и Кейн свидетельствуют о мозаичности и разнообразии ландшафтов в них, которые, в свою очередь, могут приводить к повышенному биоразнообразию по сравнению с окружающими абиссальными равнинами.

Однако подтверждение этого предположения требует дальнейших биологических исследований. Ихнологические исследования и изучение бентосных фораминифер в колонках донных осадков прохода Дискавери свидетельствуют о высокой роли ААДВ в распределении питательных веществ, сохраняющейся на протяжении позднечетвертичного времени вне зависимости от глобальной климатической цикличности. Результаты исследования подчеркивают важную роль глубоководных проходов в формировании абиссальных экосистем.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН, тема №FMWE-2021-0012.

Список литературы

1. Dorokhova, Evgenia V. et al. 2021. Landscape Mapping, Ichnological and Benthic Foraminifera Trends in a Deep-Water Gateway, Discovery Gap, NE Atlantic. *Geosciences* 11(11): 474.
2. Glazkova, T. et al. 2021. Sedimentary Processes in the Discovery Gap (Central–NE Atlantic): An Example of a Deep Marine Gateway. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 180: 103681.
3. Harris, P. T., M. Macmillan-Lawler, J. Rupp, and E. K. Baker. 2014. Geomorphology of the Oceans. *Marine Geology* 352: 4–24.
4. Hernández-Molina, F. J., A. Maldonado, and D. A.V. Stow. 2008. Chapter 18 Abyssal Plain Contourites. *Developments in Sedimentology* 60.
5. Lundblad, Emily R. et al. 2006. A Benthic Terrain Classification Scheme for American Samoa. *Marine Geodesy* 29(2): 89–111.
6. Morozov, Eugene G., Alexander N. Demidov, Roman Y. Tarakanov, and Walter Zenk. 2010. *53 Abyssal Channels in the Atlantic Ocean*. Dordrecht: Springer Netherlands.
7. Ramirez-Llodra, E. et al. 2010. Deep, Diverse and Definitely Different: Unique Attributes of the World's Largest Ecosystem. *Biogeosciences* 7(9): 2851–99.
8. Roff, John C., and Mark E. Taylor. 2000. National Frameworks for Marine Conservation - A Hierarchical Geophysical Approach. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 10(3): 209–23.
9. Sivkov, V. V. et al. 2019. Study of the Contourite Drift North of the Kane Gap (Eastern Equatorial Atlantic). *Russian Journal of Earth Sciences* 19(2): 1–9.

ПОДВОДНЫЕ ЛАНДШАФТЫ ЗАПАДНОГО ПРИБРЕЖЬЯ Г. СЕВАСТОПОЛЯ

UNDERWATER LANDSCAPES OF THE WEST COAST OF SEVASTOPOL

Панкеева Татьяна Викторовна, Миронова Наталия Всеволодовна

Федеральный исследовательский центр "Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН", г. Севастополь, Российская Федерация

Pankeeva Tatyana Viktorovna, Mironova Nataliya Vsevolodovna

Kovalevsky Institute of Marine Biological Research RAS, Sevastopol, Russian Federation

Введение

Стратегия развития морской деятельности РФ до 2030 гг. предусматривает «переход к комплексному подходу к планированию развития приморских территорий и прибрежных акваторий конкретных побережий страны путем выделения их в отдельный единый объект государственного управления». В связи с этим, для реализации предложенной стратегии необходима разработка научно-методических основ управления морским природопользованием, где ландшафтный подход становится эффективным инструментом решения задач рационального природопользования. Применение ландшафтного подхода к изучению морских экосистем широко обсуждается и приобретает научно-практическую значимость. Однако, количество научных работ, посвященных описанию ландшафтов прибрежной зоны Крыма, незначительно.

В качестве модельного региона выбрано западное побережье г. Севастополя, которое благодаря рекреационной привлекательности береговой зоны, стало объектом интереса инвесторов. Подводные ландшафты отличаются аттрактивностью и уникальностью, что выделяет исследуемую прибрежную зону среди других районов побережья г. Севастополя.

Цель статьи заключается в изучении ландшафтной структуры западного побережья г. Севастополя и картографировании подводных ландшафтов для оптимизации природопользования.

Данные и методы

Подводные ландшафтные исследования на западном побережье г. Севастополя выполняли в июле 2020 г. При изучении ландшафтной структуры использовали метод ландшафтного профилирования с детальным описанием ключевых участков [Pankeeva, Mironova, 2019]. Заложены девять ландшафтных профилей. Длина профилей варьировала в зависимости от морфометрических особенностей подводного рельефа и нижней границы обитания донной растительности. Работы в акватории побережья выполняли с применением легководолазного снаряжения и с использованием маломерных судов. Для обозначения маршрута вдоль трансект-профилей использовали фал, имеющий линейную метровую разметку, что позволяло определять удаленность контрольных точек от берега. Координаты профилей определяли при помощи портативного GPS-приемника (*Oregon 650*). Первоначально дайверы-исследователи, снабженные дайв-компьютером (*AERIS F10*), проходили вдоль мерной линии, выполняя фото- и видеосъемку, визуально описывали донные отложения, пользуясь классификацией морских

обломочных осадков по гранулометрическому составу. Для изучения состава макрофитобентоса использованы материалы гидробиотической съемки, проведенной на тех же профилях. Отбор проб проводили по стандартной фитоценотической методике [Калугина-Гутник, 1975]. На глубинах 0,5; 1; 3; 5; 10 и 15 м закладывали по четыре учетные площадки размером 25x25 см, при этом дайвер визуально определял проективное покрытие дна макрофитами (ПП). Идентификацию водорослей проводили по определителю [Зинова, 1967] с учетом последних номенклатурных изменений. Выделение фитоценозов осуществляли согласно доминантной классификации по А. А. Калугиной-Гутник [Калугина-Гутник, 1975].

Информацию о донных компонентах, полученную в ходе водолазного описания, оформляли графически в виде ландшафтного профиля. Ландшафтное картографирование на основе системы профилей, пересекающих акваторию, позволило выделить подводные ландшафты, установить их границы. Для создания ландшафтной карты использовали программный пакет *QGIS 2.18.17* и электронную основу навигационной карты. Географическую привязку границ ландшафтов осуществляли с помощью программы *QGIS*. Сопряженный анализ батиграфии, карт литологического состава и данных водолазной съемки позволили провести экстраполяцию участков дна со сходными параметрами для выделения границ ландшафтов [Pankeeva, Mironova, 2019].

Результаты

Исследуемое побережье приурочено к южному району единой аккумулятивно-абразионной литодинамической системы первого уровня Севастополь – Евпатория. Вместе с тем, для района отмечена значительная сезонная и межгодовая изменчивость направленности вдольбереговых потоков. Для побережья характерно образование небольших мысов, что связано с залеганием в их основании устойчивых к абразии пород песчаников и конгломератов, которые прослеживаются и на дне на некотором расстоянии от берега. Такое своеобразие береговой зоны определило рисунок ландшафтной структуры дна прибрежной зоны, на формирование которого оказывают влияние геолого-геоморфологическое строение, особенности лито- и гидродинамики.

Для прибрежной зоны у мысов, расположенных вдоль изучаемого побережья, на глубинах 0,5-1 м характерен **глыбово-валунный бенч с преобладанием ерикарии косматой и гонголарии бородатой (1)** (рис. 1). Характерны выходы коренных пород, сложенных песчаниками, гравелитами и конгломератами. Проективное покрытие дна макрофитами (ПП) низкое, не превышает 20–40%. Среди эпифитов преобладают кладофора беловатая (*Cladophora albida*), церамиум реснитчатый (*Ceramium ciliatum*), церамиум прозрачный (*Ceramium diaphanum*) лауренция чашевидная (*Laurencia coronopus*) и сфацелария усатая (*Sphaelaria cirrhosa*). На глубинах 1-5 м отмечен **подводный склон, сложенный грубообломочными отложениями, где доминируют ерикария косматая и гонголария бородатая (2)**. Характерен глыбовый навал. Значения ПП варьируют от 40 до 90%. Среди эпифитов доминируют вертебрата шилоносная (*Vertebrata subulifera*), лауренция тупая (*Laurencia obtusa*) и стилофора нежная (*Stilophora tenella*). Между мысами на этих глубинах формируется **подводный склон, сложенный песчаными отложениями с мелкими знаками ряби (рифели), лишенный донной растительности (на отдельных глыбах доминируют ерикария косматая и гонголария бородатая или падина павлинья и диктиота ленточная) (3)**, который занимает

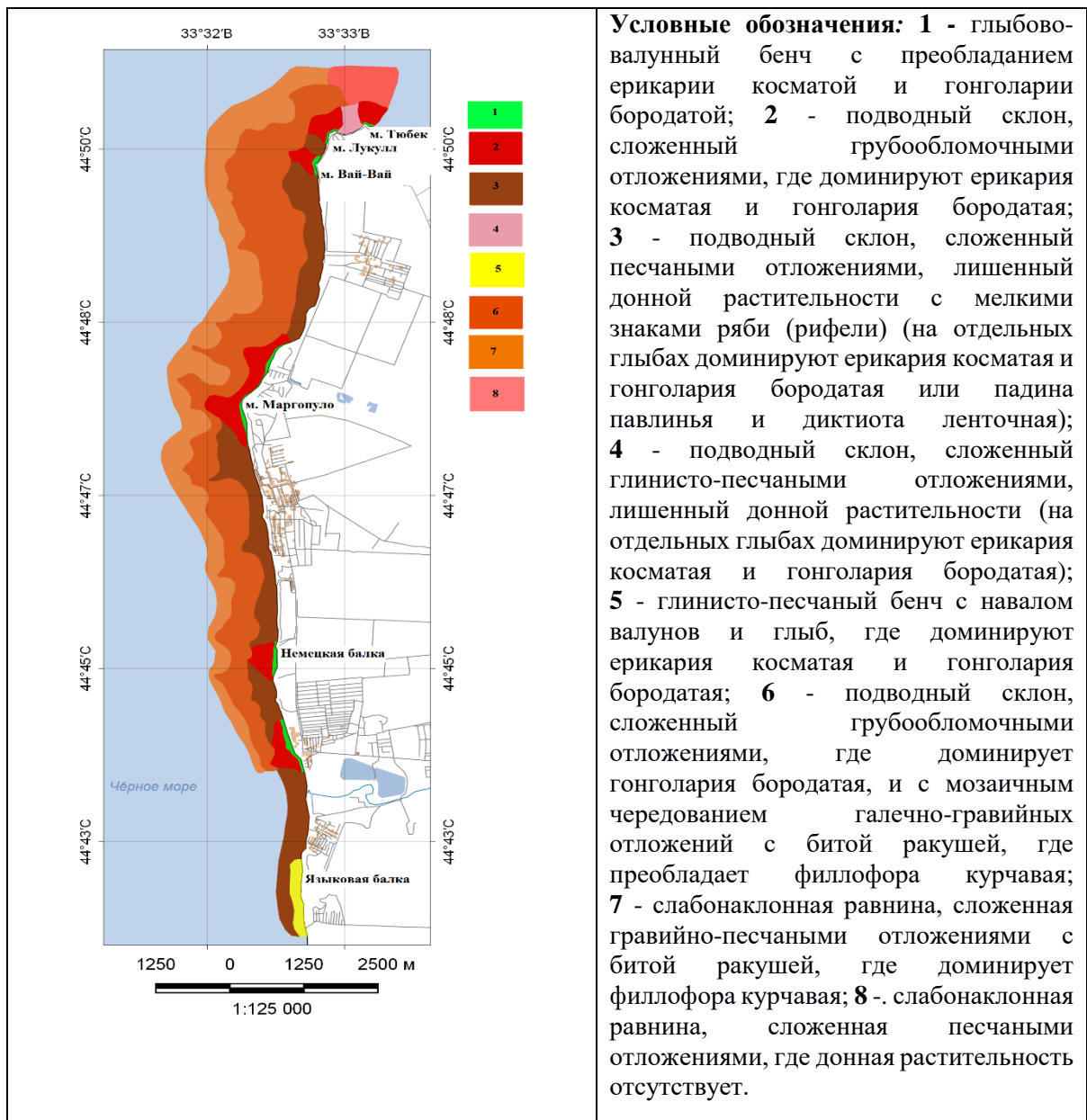


Рис. 1. Карта-схема ландшафтной структуры западного побережья г. Севастополя

прибрежную зону от м. Лукулл до Языковой балки. Подводный склон отмель, приурезовая зона представлена песчаными отложениями с незначительной примесью гальки. В прибрежье сосредоточено нагромождение хаотично расположенных плит и глыб конгломератов, которые образуют выступы дна и отдельные пятна (банки). Их вклад не превышает 10–15% общей площади этих участков. На талломах ерикарии косматой (*Ericaria crinita*) и гонголарии бородатой (*Gongolaria barbata*) произрастают водоросли-эпифиты, состоящие, в основном, из вертебраты шилоносной (*Vertebrata subulifera*) и представителей родов лауренции (*Laurencia*) и церамиум (*Ceramium*). В прибрежной зоне от м. Тюбек до м. Лукулл расположен **подводный склон, сложенный глинисто-песчаными отложениями, лишенный донной растительности (на отдельных глыбах доминируют ерикария косматая и гонголария бородатая)** (4). Подводный склон отмель. Вклад хаотично расположенных глыб на этих глубинах не превышает 5–10% общей площади этого участка. Среди зарослей преобладающих видов на глубине до 1 м встречаются куртины однолетней ульвы кишечницы (*Ulva intestinalis*). На глубинах от 1 до 5 м на слоевищах ерикарии косматой и гонголарии бородатой обильно

представлена эпифитная сингузия, где господствуют вертебрата шилоносная (*Vertebrata subulifera*), лауренция чашевидная (*Laurencia coronopus*) и представители рода церамиум (*Ceramium*). Между устьями рек Кача и Бельбек на глубинах 0,5-3 м отмечен **глинисто-песчаный бенч с навалом валунов и глыб, где доминируют ерикария косматая и гонголария бородатая (5)**. Характерен бенч, сложенный смещенными оползневыми грунтами, преимущественно глинами, отмечены хаотично разбросанные плиты и глыбы конгломератов. Значения ПП не превышают 20–40%. В составе донной растительности также обильно встречается ульва кишечница (*Ulva intestinalis*). Среди эпифитов преобладают церамиум красный (*Ceramium virgatum*), церамиум прозрачный (*C. diaphanum*), кладофора беловатая (*Cladophora albida*), кладофора ярко-зеленая (*C. laetevirens*) и вертебрата шилоносная (*Vertebrata subulifera*). Вдоль всей береговой линии от м. Лукулл до района Языковой балки на глубине от 5 до 10 м протянулся **подводный склон, сложенный грубообломочными отложениями, где доминирует гонголария бородатая, и с мозаичным чередованием галечно-гравийных отложений с битой ракушей, где преобладает филлофора курчавая (6)**. Значения ПП высокие, незначительно варьируют от 70 до 90%. Среди эпифитов, встречающихся на талломах гонголарии бородатой (*Gongolaria barbata*) и филлофоры курчавой (*Phyllophora crispa*), преобладают вертебрата шилоносная (*Vertebrata subulifera*) и лауренция тупая (*Laurencia obtusa*). На глубинах 10-15 м. от м. Лукулл до Немецкой балки зарегистрирована **слабонаклонная равнина, сложенная гравийно-песчаными отложениями с битой ракушей, где доминирует филлофора курчавая (Phyllophora crispa) (7)**. Значения ПП не превышают 30–40%. В состав альгоценоза входят глубоководные многолетние виды – нерейя нитевидная (*Nereia filiformis*) и занардиния типичная (*Zanardinia tyrus*). Эпифитная сингузия представлена, в основном, спермотамнионом прямостоячим (*Spermothamnion strictum*). Прибрежную зону от м. Тюбек до м. Лукулл на глубине 5-10 м. занимает **слабонаклонная равнина, сложенная песчаными отложениями, где донная растительность отсутствует (8)**.

Заключение

Впервые для акватории западного побережья г. Севастополя составлена ландшафтная карта. Дана характеристика ландшафтной структуры прибрежной зоны западной части г. Севастополя. Выявлено, что на распределение подводных ландшафтов оказывает влияние геолого-геоморфологическое строение береговой зоны, а также особенности гидро- и литодинамики. Ландшафтные карты являются информационной основой для разработки научно-обоснованных рекомендаций по оптимизации природопользования.

Благодарность

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме № гос. регистрации 121030300149-0.

Список литературы

1. *Зинова А. Д.* Определитель зеленых, бурых и красных водорослей южных морей СССР. М.: Наука, 1967. 400 с.
2. *Калугина-Гутник А.А.* Фитобентос Черного моря. Киев: Наук. думка, 1975. 248 с.
3. *Pankeeva T.V., Mironova N.V.* Spatiotemporal Changes in the Macrophytobenthos of Laspi Bay (Crimea, Black Sea) // *Oceanology*, 2019. - Vol. 59, iss. 1. - P. 86–98. DOI: 10.1134/S0001437019010168.

УДК 911.52

Рубрика 39.19.31

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ГЛУБОКОВОДНОЙ БУКСИРУЕМОЙ
ВИДЕОПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПОДВОДНЫХ ЛАНДШАФТОВ УЗКОГО
ШЕЛЬФА И КОНТИНЕНТАЛЬНОГО СКЛОНА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ
ЧЕРНОГО МОРЯ

USE OF TOWED UNDERWATER CAMERA SYSTEM FOR STUDYING
UNDERWATER LANDSCAPE OF A NARROW SHELF AND CONTINENTAL SLOPE OF
THE NORTH-EASTERN PART OF THE BLACK SEA

**Пронин А.А.¹, Колючкина Г.А.¹, Белевитнев Я.И.¹, Семин В.Л.¹, Симакова У.В.¹,
Любимов И.В.¹, Симаков М.И.¹, Тимофеев В.А.², Шабалин Н.В.³**

¹ *Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, Москва, РФ*

² *Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН, Севастополь, РФ*

³ *ЦМИ МГУ, Москва, РФ*

**Pronin A.A.¹, Kolyuchkina G.A.¹, Belevitnev Ya.I.¹, Syomin V.L.¹, Simakova U.V.¹,
Lyubimov I.V.¹, Simakov M.I.¹, Timofeev V.A.², Shabalin N.V.³**

¹ *Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences, Moscow, RF*

² *A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS RAS, Sevastopol, RF*

³ *Lomonosov Moscow State University Marine Research Center, Moscow, RF*

Введение

Существенной частью ландшафтов шельфа и прилегающего к нему материкового склона являются рельеф дна, с его характерными особенностями, которые во многом определяют обитающие в нем организмы бентоса. В публикациях последних десятилетий неоднократно показана тесная взаимосвязь геолого-геоморфологических составляющих ландшафтов с биоценозами их населяющими [Айбулатов, 1990; Айбулатов, Друшиц, 1985]. Деятельность биоты может, как стабилизировать состояние и изменчивость микрорельефа дна, так и служить деструктивным фактором, приводящим к размыву аккумулятивных форм за счет биотурбации [Айбулатов, Друшиц, 1985]. С другой стороны, резкое изменение обстановки осадконакопления вследствие природных катастроф может приводить к существенным изменениям и даже полной смене биоценозов. Ландшафтные исследования на акваториях шельфа внутренних морей России получают все более широкое развитие [Айбулатов, 1990; Айбулатов, Маракуев, 1982; Мокиевский и др., 2012; Глазырин, Мамаев, 2018]. Одним из современных и достаточно эффективных методов получения первичных данных о ландшафтах шельфа является подводная видеосъемка. В июле 2022 г. на глубинах от 30 до 215 м на узком шельфе и континентальном склоне Черного моря близ г. Геленджик была проведена съемка донных ландшафтов на видео разрезе, состоящем из пяти локальных участков (погружений видеоплатформы). В дальнейшем, полученные видео материалы были обработаны с целью изучения донной биоты, ихтиофауны, микро и мезорельефа дна и процессов переноса твердой составляющей осадочного материала на шельфе и верхней части материкового склона, формирующих современный облик ландшафтов. В архиве Лаборатории гидролокации дна ИО РАН хранятся материалы подводной фотосъемки дна северо-восточной части Черного моря, полученные с помощью автоматической фотокамеры ПФ-72 в 1978 г В. И. Маракуевым и Н.А. Айбулатовым [Айбулатов, Маракуев, 1982]. Один из фоторазрезов был выполнен по траектории практически совпадающей с современным видеоразрезом. В данной работе проведена оценка изменений донных ландшафтов, произошедших за эти годы.

Данные и методы

Для видеосъёмки дна использовалась буксируемая подводная видеосистема, разработанная совместными усилиями ЦМИ МГУ и ИО РАН, оснащенная камерой GoPro8 высокого разрешения, снимающей в формате 4K@30к/с (рис.1а). Данная система относится к легкому классу буксируемых необитаемых подводных аппаратов (БНПА). Она предназначена для выполнения видео разрезов на шельфе и в верхней части материкового склона. Предельная рабочая глубина нового БНПА - 500 м. Существенным отличием данной системы от других, применяемых в настоящее время в ИО РАН и других организаций, занимающихся морскими подводными исследованиями, является отсутствие кабель-троса, связывающего БНПА с судном-буксировщиком. Буксировка осуществляется на обычном стальном тросе с лебедки. Основой навигационной привязки видеоизображений являлись временные файлы трека судна, данных эхолота и показаний блока датчиков БНПА. Для записи глубины использовали портативный зонд-логгер, измеряющий и записывающий температуру (+-0.1°C) и глубину (+-1.62 м, до 270 м) - STAR:ODDI DST centi-TD, который крепили к верхней части видеоплатформы.

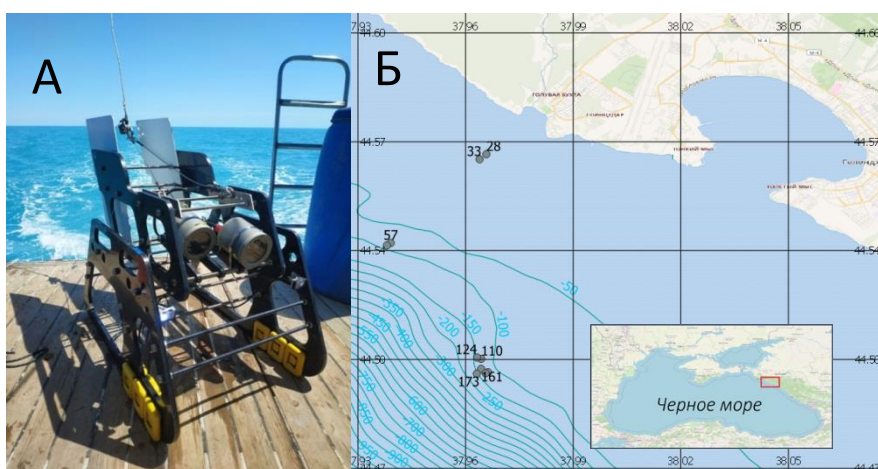


Рис.1. (а) Буксируемая видеоплатформа на борту МНИС «Ашамба», (б) схема расположения видеоразреза и мест погружений видеоплатформы (цифры – глубины разрезов, м).

Результаты и обсуждение

В июле 2022 г на шельфе и верхней части материкового склона в районе г. Геленджик была выполнена съёмка донных ландшафтов на субмеридианальном профиле на глубинах от 28 до 221 м. Положение отдельных погружений БНПА показано на схеме на рисунке 2 б.

На полученных видеозаписях четко прослеживается вертикальная зональность донных ландшафтов. В диапазоне глубин 31-33.3 м, что является нижней границей зоны волнового воздействия [Айбулатов, 1990], обнаружено большое количество створок раковин, живые мидии, водоросли и большое количество не окатанного щебня и, местами, отдельных кусков мергеля размером более 10 см (рис. 2 а).



Рис. 2. (а) Щебень на глубине 33 м, (б) след траления и (в) характерный вид поверхности дна на глубинах 59-61 м в районе бровки шельфа на траверсе Голубой бухты.

Напротив Голубой бухты на бровке шельфа, которая в данном месте находится на глубине около 60 м [Евсюков, Руднев, 2016] были отмечены траловые борозды (рис. 2 б), оказывающие существенное воздействие на устойчивость осадков и, следовательно, на донный ландшафт в целом. В местах, не затронутых тралением, дно представляло неровную поверхность с присутствием мелкой ракуши (парвикардиум, фазеолина) и мелкого щебня слегка прикрытого илистым осадком (рис. 2 в). Изредка встречались асцидии и рыбы.

К востоку от Голубой бухты на траверсе Тонкого мыса Геленджикской бухты ширина шельфа увеличивается и положение его бровки углубляется до отметки 73 м [Евсюков, Руднев, 2016]. Здесь видеозапись проводили в верхней части материкового склона от больших глубин к меньшим. В начале погружения (глуб. 137м) на видеозаписи видно большое количество характерных ямок, связанных с деятельностью биоты [Айбулатов, Друшиц, 1985] (рис. 3 а). Выше по разрезу на глубине около 117 м микрорельеф дна менялся: появлялись гидрогенные формы – рифели, образованные придонным контурным течением (рис. 3 б). Наилкок здесь был очень тонкий. Отмечены придонные рыбы, одиночные асцидии, трубки полихеты мелинны. Скорость течения здесь не постоянна, в момент съёмки она была очень небольшая, что не могло привести к образованию наблюдаемых рифелей.

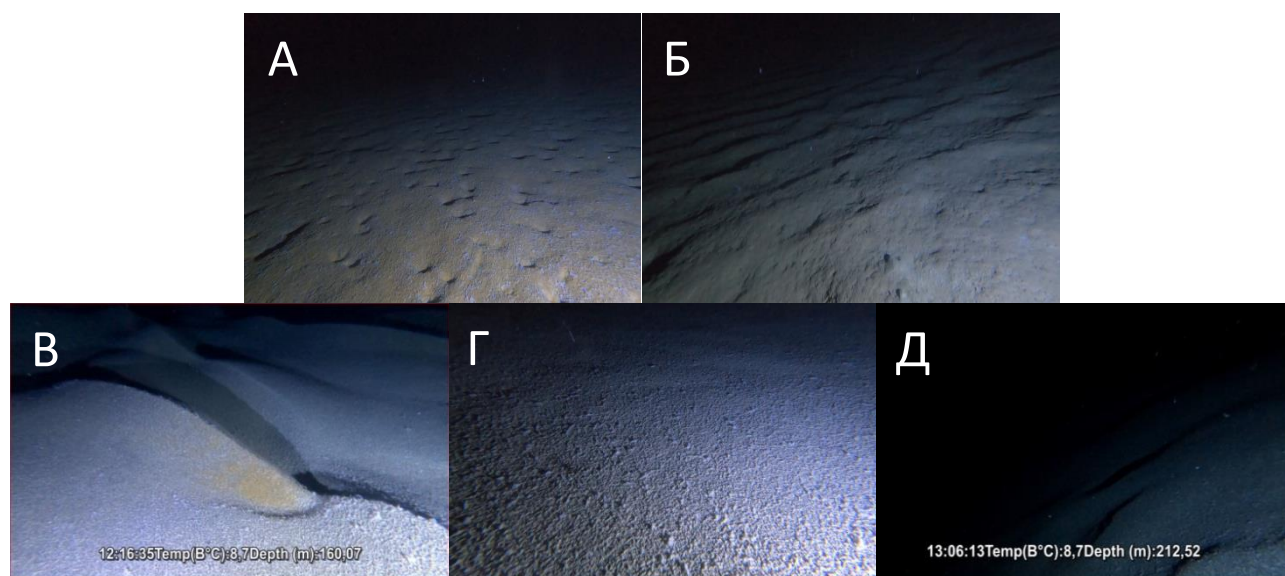


Рис. 3. (а) Биогенный микрорельеф на глубине 137 м, (б) рифели на поверхности дна на 117 м, (в) рифели на поверхности дна, хорошо видна сортировка осадочного материала по крупности на гребне и в ложбине на 160 м, (г) ровное дно, покрытое хлопьевидным наилоком, (д) – следы гравитационного оползания осадка на 212.5 м глубине.

В диапазоне глубин 160 – 214 м на траверсе Тонкого мыса Геленджикской бухты, выявлены три типа микрорельефа дна. В верхней части, на глубинах 160-170м хорошо развиты гидрогенные формы – рифели течений, вероятно, что скорость образовавшего их контурного течения значительно менялась во времени. Заметна сортировка осадочного материала по крупности на гребнях и в ложбинах ряби (рис.3 в), а так же то, что в момент съёмки скорость течения невелика. Ниже по склону встречаются практически плоские участки дна, на которых на поверхности осадка скапливается хлопьевидный наилок (рис. 3 г) и места крутого склона, на которых видно гравитационное оползание осадка (рис. 3 д). Скорость придонного течения сильно меняется во времени и пространстве, т.к. на небольших расстояниях друг от друга расположены участки с сильно развитым гидрогенным микрорельефом и где он полностью отсутствует (рис. 3 в и 3 г).

Видеоматериалы, полученные в 2022 г, показывают существенное изменение облика дна по сравнению с данными фоторазреза 1978 г. [Айбулатов, Маракуев, 1982]. Прежде всего, обращает на себя внимание присутствие в 2022 г. на глубинах от 30 до 60 м щебня различной крупности, в том числе крупных неокатанных камней, размерностью около 10-20 см. На

архивных фотоснимках отмечается ровное илистое дно с вкраплениями мелких живых моллюсков и ракуши. Второе отличие заключается в присутствии в 2022 г. на глубинах 117-125 м гидрогенных форм в виде рифелей течений, морфология которых свидетельствует о присутствии в их составе достаточно крупных фракций (песка или ракуши), которые не отмечены на архивных фото. Причиной этих изменений, по нашему мнению, послужило катастрофическое наводнение р. Ашамбы произошедшее 6-7 июля 2012 г. и вызвавшее сход суспензионного потока по локальной депрессии дна в продолжении русла реки [Евсюков и др., 2014]. Суспензионные потоки в Черном море даже в обычных условиях распространены на материковом склоне повсеместно. Одним из доказательств этого факта, является изменчивость концентрации техногенных радиоактивных изотопов цезия в верхнем слое донных отложений определенная по международной программе RER/2/003 [Есин, 2003].

Заключение

Новая установка для видеосъемки дна показала высокую эффективность в ландшафтных исследованиях шельфа и верхней части материкового склона, получен значительный объем качественных видео материалов в районе Геленджика. Сравнение полученных новых видео материалов с архивными данными фотосъемки 1978 г позволило выявить существенные изменения, в облике донных ландшафтов, произошедшие за эти годы. Наиболее вероятной причиной возникновения этих изменений является катастрофическое наводнение в долине р. Ашамбы, произошедшее 6-7 июля 2012 г.

Финансирование

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ и Минобрнауки Краснодарского края № 19-45-230012 и Госзадания ФГБУН ФИЦ ИнБИОМ (г.р. № 121030100028-0), Госзадания ИО РАН FMWE -2021-0010.

Список литературы

1. *Айбулатов Н.А.* Динамика твердого вещества в шельфовой зоне. – Л. Гидрометеиздат. – 1990. – 271 С.
2. *Айбулатов Н.А., Друшиц В.А.* Роль биогенного фактора в переносе и переотложении осадков в шельфовой зоне морей и океанов.// Геология и геоморфология шельфов и материковых склонов. – М.: Наука. – 1985. – С.194-214.
3. *Айбулатов Н.А., Маракуев В.И.* Особенности литодинамики и биотурбации осадков на северо-восточном шельфе Черного моря (по данным подводной фотографии).// Проблемы геоморфологии, литологии и литодинамики шельфа. М.: Наука. – 1982. – С.168-182.
4. *Евсюков Ю.Д., Руднев В.И.* Рельефообразующие факторы преобразования материковой окраины вблизи Геленджика // Известия РАН, серия географическая. – 2016. – №3. – С.97-109.
5. *Евсюков Ю.Д., Руднев В.И., Куклев С.Б.* Штормовые преобразования рельефа дна Голубой бухты после катастрофического наводнения на северо-востоке Черного моря // Геология, география и глобальная энергия. – 2014. – №2 (53). – С.150-162.
6. *Есин Н.В.* Вязкость суспензии в гравитационных потоках осадка // Доклады академии наук. – 2003. – Т. 393. – №1. – С.75-77.
7. Глазырин, Е. А., & Мараев, В. Л. Подводные каньоны Мзымты и Шахе // Система Черного моря. М.: Научный мир. – 2018. – С.84-105.
8. Комплексные исследования подводных ландшафтов в Белом море с применением дистанционных методов (Труды Беломорской биостанции МГУ, т.11) // Мокиевский В.О., Спиридонов В.А., Цетлин А.Б., Краснова Е.Д. (ред.). М. Товарищество научных изданий КМК. – 2012. – С. 173.
9. *Зенкович В.П.* Основы учения о развитии морских берегов // М. Издательство АН СССР. – 1962. – С. 710.

Гидрология суши

Устные доклады

Hydrology

Oral presentations

СТОК РЕК В МОРЯ ВОСТОЧНОГО СЕКТОРА РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ И ЕГО ИЗМЕНЕНИЯ**RIVER FLOW INTO THE SEAS OF THE EASTERN SECTOR OF THE RUSSIAN ARCTIC AND ITS CHANGES****Магрицкий Дмитрий Владимирович***Географический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва***Magritsky Dmitry Vladimirovich***Moscow State University M. V. Lomonosov, Moscow***Введение**

В моря восточного сектора Российской Арктики – Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское – впадает 8 больших рек (Хатанга, Анабар, Оленек, Лена, Яна, Индигирка и Колыма), множество средних по размеру и малых водотоков. Вместе с огромными водными объемами реки выносят в моря минеральные и органические взвеси, растворенные минеральные вещества и газы, среди которых газы «парниковой группы», а также благодаря аккумулярованной в речных водах теплоте обогревают речные долины, устья и прибрежные морские акватории [Геоэкологическое состояние..., 2007]. Весь этот геосток, регулируемый, прежде всего, величиной и режимом стока воды, оказывает мощное прямое и опосредованное воздействие на природные условия побережья, гидрофизические процессы и гидроэкологические условия шельфовых и ледовитых арктических морей.

Надежные количественные оценки этого выноса, в частности отдельного и суммарного притока речных вод, датируются концом XX в. – началом XXI в. [Водные ресурсы..., 2008, Геоэкологическое состояние..., 2007, Шикломанов, Шикломанов, 2003]. В последующих работах, в том числе зарубежных коллег, в основном, анализируются данные замыкающих створов рр. Лены и Колымы. Причем не учитывается, во-первых, что на этих и других постах на порядок сократилось число реальных измерений расходов воды, или они вовсе прекратились – на посту Колымское с середины 1990х гг., на посту Кюсюр – с 2003 г. А те расходы, которые публиковались после в гидрологических ежегодниках и на сайте АИС ГМВО [<https://gmvo.skniivh.ru/>], определены по старым кривым расходов. Качество первичных данных ухудшилось [Магрицкий, 2019б, Третьяков и др., 2022]. Во-вторых, между замыкающим створом и морем сток арктических рек увеличивается и порой значительно. В-третьих, часто используются не фактические данные, а расчетные – с сайта Arctic Great Rivers Observatory (Arctic-GRO) [<https://www.arcticrivers.org/data>]. Таким образом, вне сферы научного внимания остается сток таких рек как Хатанга, Анабар, Оленек, Омолой, Яна, Индигирка, Алазея и Амгуэма и сток рек, впадающих в моря на участках между устьями этих рек. Причем на ряде из них замыкающие створы – стоковые посты были закрыты. А то, что сток воды рек, впадающих в моря Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское не просто изменился, а существенно вырос, напрямую и косвенно свидетельствуют материалы фундаментальных работ [Геоэкологическое состояние..., 2007, Научно-прикладной справочник, 2021, Фролова и др., 2022, Arctic hydrology..., 2021, Magritsky et al., 2018] и др.

Главной задачей настоящего исследования было, во-первых, уточнение или получение новых оценок годового притока речных вод в моря, поступающих как через устья больших и крупных средних рек, так и с местных водосборов морей. Во-вторых, анализ характера многолетних колебаний речного стока и современных тенденций. Решение этой задачи не было возможным без обновления старых и разработки новых материалов для расчета стока

рек на территориях, не охваченных стационарной сетью наблюдений. В итоге такие оценки были получены. Впервые оценен приток речных вод в моря с участков побережья между устьями больших и крупных средних рек, установлены закономерности изменчивости стока по территории. На основе приведенных (к единому периоду до 2017/2018 г. включительно) рядов среднегодовых расходов воды получены многолетние ряды суммарного годового стока в моря, определены доминирующие тенденции в многолетних колебаниях водности.

Данные и методы

Для расчета стока на замыкающих створах рек, величины его нарастания к морю, стока с участков побережий между крупными реками, во-первых, в ArcMap был создан многослойный ГИС-проект на Северо-восток АТР, охватывающий северные улусы Республики Саха (Якутия) – к северу от 60° с.ш., Чукотский АО, север Магаданской обл., первичную основу которого составили топокарты масштаба 1:500 000 и ЦМР ArcticDEM. В пределах этой огромной территории были отобраны 263 гидрологических поста с данными по расходам воды, проверена их достоверность, устранены ошибки, часто встречающиеся в гидрологических справочниках. Следующим шагом стало приведение рядов к единому многолетнему периоду (для большинства рек – это 1936–2017 гг., а для рек Чукотского АО – с 1940–1950х гг.) и восстановление пропусков. Оно производилось методом одномерной и множественной регрессии по связям либо с сезонными расходами воды этого же поста, либо с расходами створов-аналогов (при $R > 0,7$), а также методом отношений (для постов <6 лет). Для нескольких постов в Чукотском АО в качестве аналогов привлекались исправленные во ВНИИГМИ-МЦД суммы осадков [<http://meteo.ru/>]. Поиск аналогов проводился на основе матрицы парных коэффициентов корреляции и районных пространственных корреляционных функций (ПКФ), в пределах гидрологически однородных районов, назначаемых по подобию хронологического хода (см. ниже). Относительные ошибки выборочных оценок годового стока для подавляющего числа постов с восстановленными рядами оказались <10%. Процедура удлинения рядов выполнялась не для всех постов, а только на зональных реках, для которых средний модуль стока практически не меняется с нарастанием площади водосбора, а сама площадь водосбора < 50–75 тыс. км². Оказалось, что для годового стока и рассматриваемого региона критическая площадь (между малыми (азональными) и средними (зональными) реками) варьирует от 1000 до 3000 км². Тем не менее, данные по «отсеянным» постам также были рассмотрены.

На основе отобранных и улучшенных рядов, а также определенных с помощью ГИС морфометрических параметров водосборов, статистического и географического анализа было выделено 14 районов однородного изменения величины модуля годового стока (M_{cp}) со средней высотой водосбора (H_{cp} , м), построены зависимости вида $M_{cp}=f(H_{cp})$ (рис. 1). Они сами по себе инструмент расчета стока для неизученных рек гористых территорий. На предпоследнем этапе значения среднемноголетнего годового стока относились к центру каждого из водосборов, замыкаемых постом. Затем производилась графическая аппроксимация этих значений изолиниями методом линейной интерполяцией и с учетом изогипс (на территориях с высотами свыше 200–400 м БС), которые пересчитывались в сток по ранее полученным зависимостям $M_{cp}=f(H_{cp})$. Также было осуществлено расширение объема исходных данных для построения карты модуля стока за счет определения величин стока для частей водосборов между постами на крупных реках (31 значение, привязанное к своему водосбору с известной площадью и H_{cp}). Итогом всех этих действий стала новая «Карта модуля годового стока» (рис. 2), надежность которой удалось проверить лишь на зависимом

материале и по стандартным формулам $\Delta S = y_{\text{факт}} - y_{\text{расч}}$, $S^* = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [y_i - y_{i,\text{карт}}]^2}$.

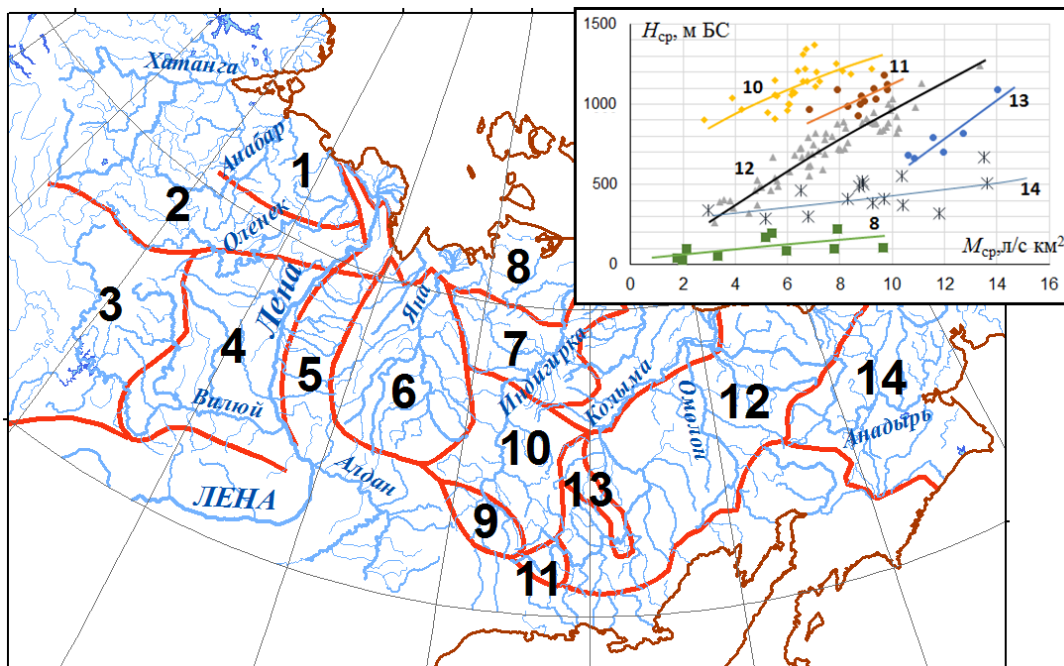


Рис 1. Пример зависимости вида $M_{cp}=f(H_{cp})$. Номера зависимостей соответствуют номерам высотных зон на карте.

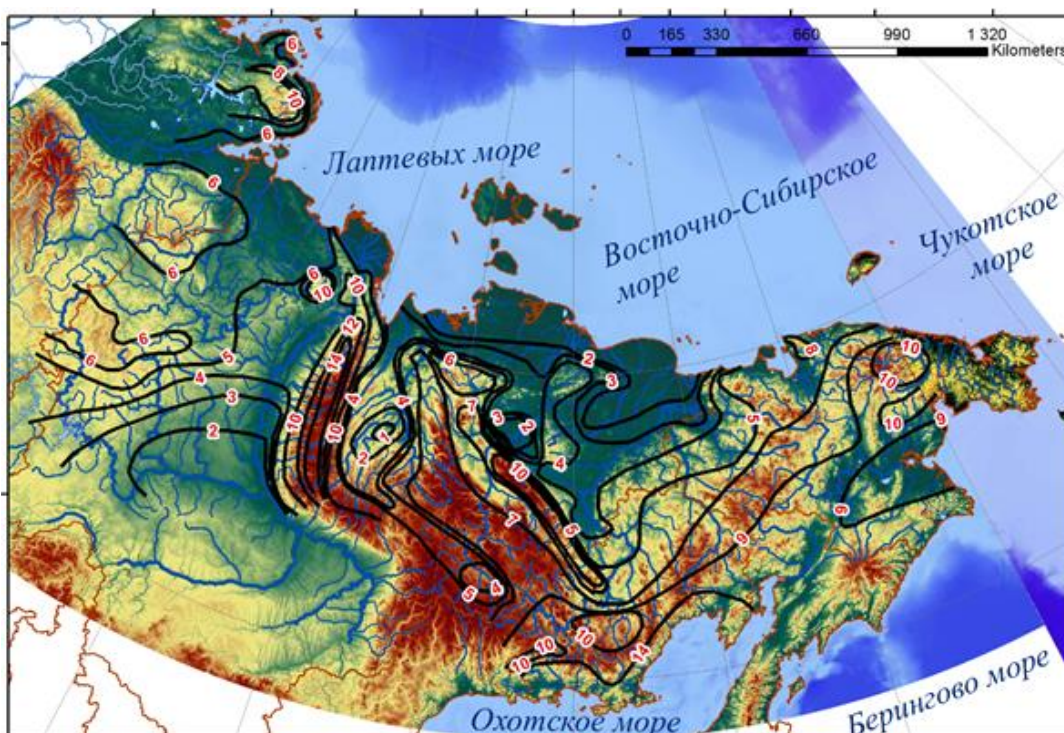


Рис 2. Карта модуля среднемноголетнего годового стока рек Северо-востока Азиатской части России.

Чтобы реализовать задачу получения многолетних рядов притока речных вод в моря, необходимо было получить суммарные среднегодовые расходы боковой приточности на участках больших рек ниже замыкающего створа и для участков побережий между устьями этих рек. Логика расчетов была следующей. Подбирались опорные посты на средних (зональных) реках в низовьях главных рек региона и на побережьях морей, с надежными, продолжительными и репрезентативными (по нескольким показателям) рядами наблюдений. Выбор таких рек потребовал провести гидрологическое районирование территории. В один и тот же гидрологический район объединялись зональные реки с синхронными и синфазными колебаниями годового стока, а также с учетом дополнительных доводов. В итоге, было

выполнено разделение исследуемой территории на 12 районов с большим числом подрайонов (рис. 3). Дефицит информации и сложность строения и природных условий региона не позволяет однозначно утверждать, что границы районов проведены везде безупречно. Тем не менее, это самое актуализированное на данный момент районирование.

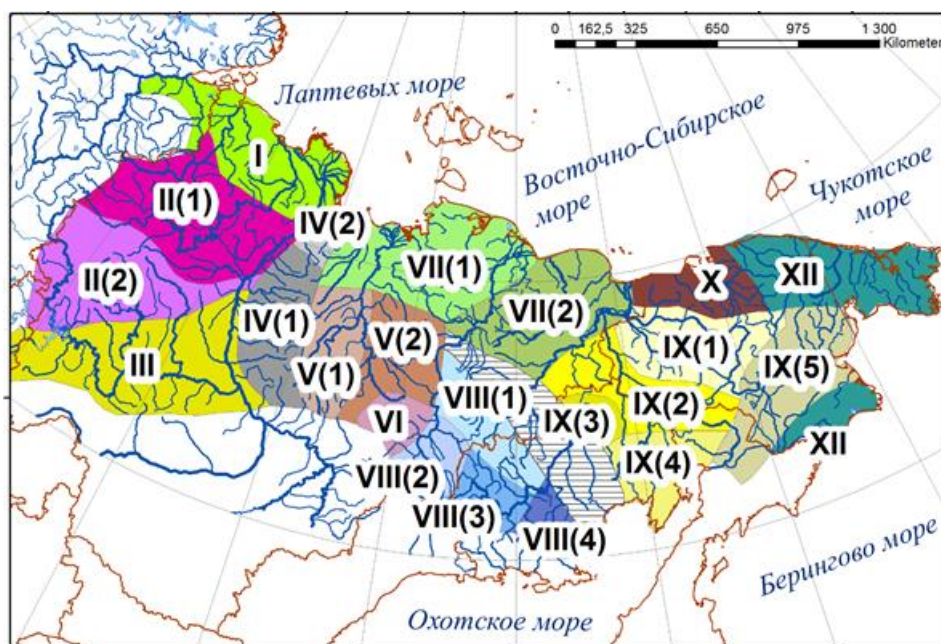


Рис 3. Гидрологически однородные районы и подрайоны Северо-востока АТР. Номер района обозначен римской цифрой, подрайона – арабской. Заштрихована переходная зона.

Для каждого из районов и подрайонов были выбраны 1–2 опорных поста, продолжительные и надежные ряды наблюдений на которых были проверены с помощью критериев Фишера (*F-test*), Стьюдента (*t-test*) и Манна-Уитни (*U-test*) на соблюдение однородности при $\alpha=5\%$, а также коэффициента ранговой корреляции Спирмена (*Spearman RCC*) на тренд. Выбор опорных постов позволил пересчитать ранее определенные среднемноголетние величины стока с территорий, неохваченных стационарным мониторингом, используя модульные коэффициенты стока за каждый год, в ежегодные величины стока, суммирование которых с величинами измеренного на постах стока дало многолетние ряды суммарного притока речных вод в моря.

Результаты. Суммарный приток речных вод в моря

Построенная «Карта модуля годового стока рек Северо-востока АТР» позволила уточнить приток речных вод в моря Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское, боковой приток в большие реки ниже замыкающего створа и коэффициенты приведения среднемноголетнего стока на замыкающих створах к устьевым створам и морскому краю дельт, рассчитать приток для более дробных участков побережий этих морей и вклад отдельных рек и межбассейновых территорий (МБВТ) в формирование суммарной величины стока (табл. 1). Согласно новым результатам континентальный (т.е. без учета рек арктических островов) приток речных вод в моря Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское равен соответственно 785, 215 и 27,9 км³/год. 91% этого объема формируют большие реки, такие как Хатанга, Анабар, Оленек, Лена, Яна, Индигирка и Колыма.

Таблица 1. Речной сток в моря Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское, приведенный к периоду 1936-2017 гг.

Реки	Речной сток, км ³ /год		Коэффициент перерасчета величины стока на ЗС	Доля от суммарного стока в море, %
	на замыкающем створе	в море*		

Море Лаптевых				
Хатанга	73,1	92,4	1,26	11,8
Анабар	14,7	18,6	1,27	2,37
Оленек	34,5	38,7	1,12	4,93
Лена	552	563	1,02	71,7
Омолой	1,24	6,52	5,26	0,83
Яна	34,6	35,4	1,02	4,51
МБВТ		30,4		3,86
Всего в море		785		100
Восточно-Сибирское море				
Р.Индигирка	52,3	57,7	1,10	26,8
Р.Алазея	1,70	4,50	2,65	2,1
<u>Р.Колыма</u>	105	125	1,19/1,71**	58,1
Р.Паляваам	1,36	1,95	1,43	0,9
МБВТ		25,85		12,1
Всего в море		215		100
Чукотское море				
Р.Амгуэма	8,57	9,10	1,06	31,7
Всего в море с учетом МБВТ		28,7		100

*с учетом положительного водного баланса дельты и притока с водосбора дельты в пограничные рукава, **в знаменателе - для поста г.Среднеколымск

Многолетние колебания годового стока рек

На основе приведенных (к единому периоду) рядов среднегодовых расходов воды больших и репрезентативных средних рек получены ряды суммарного годового стока в моря, определены доминирующие тенденции в многолетних колебаниях водности. Сток рек в моря 1976–2017 гг. превышает величину в 1936–1975 гг. на 12,2% (Лаптевых), 9,3% (Восточно-Сибирского) и минус 2,8% (Чукотское – в сравнении с 1944–1975 гг.). Буквально «взрывной» рост с нарушением стационарности стока по среднему (по t-test) характерен для водосбора моря Лаптевых (с конца 1980-х гг.), главным образом за счет увеличения стока р.Лены (рис. 4). Приток речных вод в Восточно-Сибирское начал серьезно расти с середины 1990-х гг. и особенно с середины 2000-х гг.

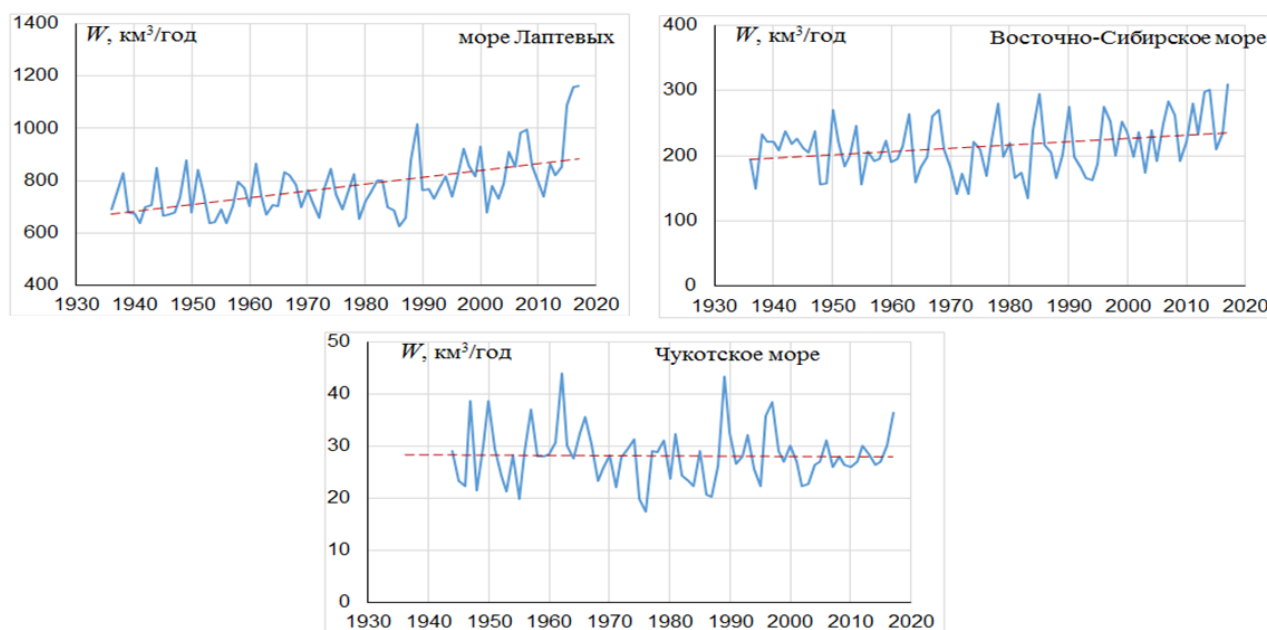


Рис 4. Многолетние колебания годового притока речных вод в арктические моря.

Статистический анализ рядов стока на опорных постах каждого из районов (см. рис. 3) показал, что почти в половине подрайонов наблюдается статистически значимое нарушение

стационарности колебаний годового стока по дисперсии (при сравнении периодов до и после 1975 г.). В основном это характерно для рек, относящихся к южным районам. *T-test* и *U-test* показали, что у 4-х подрайонов имеет место значимое нарушение по среднему. Значимый и возрастающий тренд обнаружен в 9 подрайонах. Основной рост стока отмечен с 1986 г.

Заключение

Континентальный речной сток в моря Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское равен соответственно 785, 215 и 27,9 км³/год. Новые оценки водных ресурсов рек региона получены по данным до 2017 г., приведенных к морскому краю дельт или устьевым створам. Благодаря новой карте Модуля годового стока и зависимостям его от средней высоты водосбора впервые оценен приток речных вод в моря с участков побережья между устьями больших рек, обоснованы закономерности изменчивости водных ресурсов рек по территории Северо-востока АТР. На основе удлиненных рядов среднегодовых расходов воды больших и репрезентативных средних рек получены ряды суммарного годового стока в моря, определены доминирующие тенденции в многолетних колебаниях водности. Сток рек в моря 1976-2017 гг. превышает величину в 1936-1975 гг. на 12,2% (Лаптевых), 9,3% (Восточно-Сибирского) и минус 2,8% (Чукотское море). Основной прирост стока с водосбора моря Лаптевых наблюдается с конца 1980х гг., в Восточно-Сибирское – с середины 1990х гг.

Водохозяйственная деятельность на годовой сток рек региона и его изменчивость никак не влияет. Согласно более ранним данным автора [Магрицкий, 2019а], современный водозабор на водосборах морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского равен примерно 0,32, 0,07 и 0,001 км³/год, а только в пределах Арктической зоны России – 0,01, 0,012 и 0,001 км³/год. При сопоставимых с водозабором обратным сбросом использованных вод в водные объекты (0,28, 0,05 и ~0 км³/год) и приводимыми в табл. 1 величинами стока рек это совершенно несущественно и меньше погрешностей оценки стока.

Финансирование

Исследование/проект выполнен при поддержке гранта РФФ № 21-17-00181

Список литературы

1. Водные ресурсы России и их использование. – СПб., 2008. – 600 с.
2. Геоэкологическое состояние арктического побережья России и безопасность природопользования. – М.: ГЕОС, 2007. – 585 с.
3. *Магрицкий Д.В.* Водопотребление на водосборах арктических рек и в Арктической зоне Российской Федерации: параметры, структура, многолетняя динамика // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2019. – №3. – С.20-37.
4. *Магрицкий Д.В.* Изменение стока арктических рек России и информационное обеспечение исследований // «Глобальные климатические изменения». Материалы междунаучно-практической конференции. – Том 1. – Воронеж, 2019. – С.452-459.
5. Научно-прикладной справочник: Многолетние колебания и изменчивость водных ресурсов и основных характеристик стока рек Российской Федерации. – СПб., 2021. – 190 с.
6. *Третьяков М.В., Муждаба О.В., Пискун А.А., Терехова Р.А.* Состояние гидрологической сети наблюдений Росгидромета в устьевых областях рек АЗРФ // Водные ресурсы. – 2022. – Том 49. – № 5. – С. 583-595
7. *Фролова Н.Л., Магрицкий Д.В., Киреева М.Б., Григорьев В.Ю., Гельфан А.Н., Сазонов А.А., Шевченко А.И.* Сток рек России при происходящих и прогнозируемых изменениях климата: обзор публикаций. 1. Оценка изменений водного режима рек России по данным наблюдений // Водные ресурсы. – 2022. – Том 49. – № 3. – С.251-269.
8. *Шикломанов И.А., Шикломанов А.И.* Изменения климата и динамика притока речных вод в Северный Ледовитый океан // Водные ресурсы. – 2003. – Том 30. – №6. – С.645–654.
9. Arctic hydrology, permafrost and ecosystems. – Springer Nature Switzerland, 2021. – 906 p.

10. *Magritsky D.V., Frolova N.L., Evstigneev V.M., Povalishnikova E.S., Kireeva M.B., Pakhomova O.M.* Long-term changes of river water inflow into the seas of the Russian Arctic sector // *Polarforschung*. – 2018. – No 87(2). – P. 177–194.

11. <https://gmvo.skniivh.ru/>

12. <http://meteo.ru/>

13. <https://www.arcticrivers.org/data>

УДК 556.165

Рубрика 37.27.21

ВЛИЯНИЕ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ НА 1.5 И 2°С НА СТОК ДОНА И КУБАНИ

IMPACT OF 1.5 AND 2°С GLOBAL WARMING ON THE DON AND KUBAN RUNOFF

Калугин Андрей Сергеевич

Институт водных проблем Российской академии наук, Москва

Kalugin Andrey Sergeevich

Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences

Введение

Целью исследования является оценка влияния будущих изменений климата, соответствующих глобальному потеплению на 1.5 и 2°С относительно доиндустриальных значений, на сток рек Дона и Кубани. Для проведения расчетов используется модель формирования стока ECOMAG [Мотовилов, Гельфан, 2018], которая протестирована за многолетний период наблюдений по среднесуточному стоку в различных створах речной сети. При проведении численных экспериментов по оценке влияния будущих изменений климата на сток Дона и Кубани в гидрологической модели в качестве граничных условий использованы ряды метеовеличин, рассчитанные по ансамблю моделей общей циркуляции атмосферы и океана проекта CMIP5 при достижении указанных выше пороговых значений глобального потепления.

Данные и методы

Модели формирования речного стока в бассейнах Дона и Кубани, построенные на основе глобальных баз данных о подстилающей поверхности и среднесуточных данных мониторинга за температурой и влажностью воздуха, количеством осадков на 75 и 21 метеостанциях соответственно описывают основные процессы гидрологического цикла суши: формирование снежного покрова и снеготаяние, инфильтрацию воды в почву и испарение, термический и водный режим почвы с учетом процессов ее промерзания и оттаивания, формирование склонового, внутриводосборного и грунтового стока, движения воды по русловой сети.

Для бассейна Дона калибровка модели за многолетний период выполнялась по створам на Дону, контролирующим верхнюю часть водосбора (Задонск) и створа Беляевский, который определяет около 95% притока воды в Цимлянское водохранилище и рассмотрен как замыкающий, а также на основном притоке – р. Хопер. Для бассейна Кубани за многолетний период калибровка модели формирования стока проведена для створов Армавир и Ладожская, расположенных выше Краснодарского водохранилища и определяющих приток воды в него по Кубани, а также замыкающем створе на главном притоке Кубани – р. Лаба. Верификация моделей проводилась для тех же створов на независимых данных измерений.

С помощью разработанных моделей формирования стока в бассейнах Дона и Кубани исследованы возможности воспроизведения характеристик водного режима рек за исторический период на основе данных ансамбля моделей общей циркуляции атмосферы и

океана. Для двух рек в качестве базового исторического периода рассматривался период 1970–1999 гг.

Для проведения численных экспериментов исследования гидрологических последствий глобального потепления в XXI веке на 1.5 и 2°C относительно доиндустриальных значений с моделью формирования стока в бассейнах Дона и Кубани привлечены среднесуточные данные о приземных полях метеорологических характеристик моделей общей циркуляции атмосферы и океана GFDL-ESM2M и MIROC5 CMIP5 по результатам проекта ISIMIP (Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project) [Калугин, 2021]. Сначала были определены периоды достижения пороговых значений глобального потепления на 1.5 и 2°C относительно доиндустриальных величин для каждой модели и каждого RCP-сценария. Затем каждая из 7-ми возможных реализаций глобального потепления на 1.5°C и каждая из 5-ти возможных реализаций глобального потепления на 2°C задавались в качестве граничных условий в модели формирования стока в бассейнах Дона и Кубани, после чего результаты расчетов усреднялись для пороговых значений 1.5 и 2°C по соответствующим наборам. Согласно используемым данным в среднем глобальное потепление на 1.5°C будет достигнуто к 2045 г. и на 2°C к 2064 г. [Kalugin, 2022]. Аномалии стока вычислены как отношение рассчитанной величины для условий увеличения глобальной температуры воздуха на 1.5 и 2°C к соответствующему значению, определенному по данным моделей общей циркуляции атмосферы и океана для базового периода 1970–1999 гг.

Результаты

Согласно статистическим критериям KGE и BIAS результаты модельных расчетов среднесуточного стока за периоды калибровки и верификации относятся к градациям удовлетворительных и хороших ($0.52 \leq KGE \leq 0.83$ и $1\% \leq |BIAS| \leq 19\%$) (табл. 1).

Таблица 1. Значения статистических критериев рассчитанного среднесуточного стока в бассейнах рек Дона и Кубани за период калибровки и верификации моделей

Река-гидропост	F, тыс. км ²	Калибровка		Верификация	
		KGE	BIAS,%	KGE	BIAS,%
Дон-Беляевский	204	0.75	2.1	0.68	-12
Дон-Задонск	31.1	0.52	4.4	0.67	-19.2
Хопер-Поворино	19.1	0.57	-5.3	0.68	-11.5
Хопер-Барминский	57.3	0.76	-3.7	0.66	-18
Кубань-Армавир	16.9	0.81	-4.1	0.78	-4
Кубань-Ладожская	12	0.83	4.4	0.72	0.6
Лаба-Догужиев	19.8	0.66	-9.8	0.72	-16

Гидрологическая модель по данным МОЦАО воспроизводит годовой сток рек с погрешностью в пределах 3% относительно расчета по данным метеостанций. При этом относительные ошибки расчета зимнего стока варьируют от 1% (Кубань) до 16% (Дон), стока за период весеннего половодья – от 10% (Дон) до 15% (Кубань), летне-осеннего стока от 1% (Кубань) до 7% (Дон) (рис. 1).

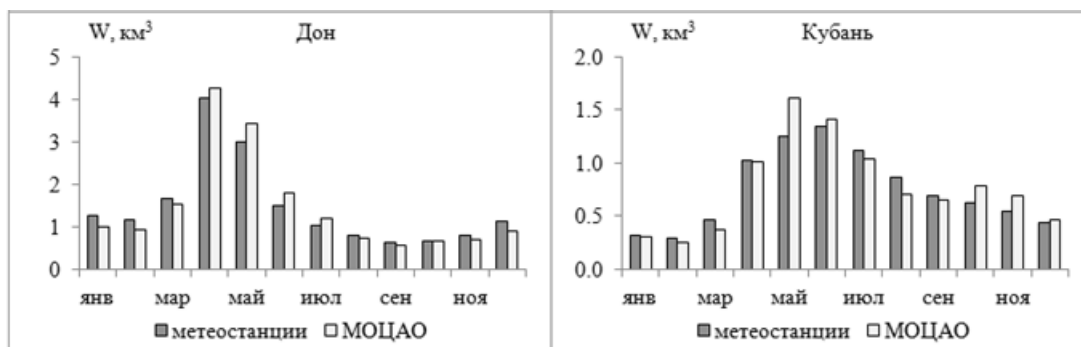


Рис 1. Рассчитанная по данным метеостанций и моделей общей циркуляции атмосферы и океана норма среднемесячного стока Дона и Кубани за период 1970–1999 гг.

В итоге при глобальном потеплении на 1.5 и 2°С годовой сток Дона сократится на 21% и 24%, Кубани – на 9% и 22% соответственно относительно периода конца XX века. При этом характерна слабая изменчивость зимнего стока Дона и Кубани, снижение стока за период весеннего половодья на Дону (28–37%) при изменчивости для Кубани в пределах 7%, снижение летне-осеннего стока Дона на 35–40% и Кубани на 23–44% (рис. 2). Глобальное потепление с 1.5 до 2°С сильно выражено в темпе сокращения годового стока Кубани за счет летне-осеннего периода, что объясняется значительным уменьшением доли ледникового питания реки и снижением летне-осенних осадков. Глобальное потепление с 1.5 до 2°С выражено в темпе сокращения годового стока Дона за счет периода весеннего половодья в результате увеличения продолжительности зимних оттепелей и раннего снеготаяния. Аналогичные результаты ожидаемых изменений внутригодового стока в XXI веке были получены для бассейна р. Оки [Kalugin, 2019; Гельфан и др., 2022].

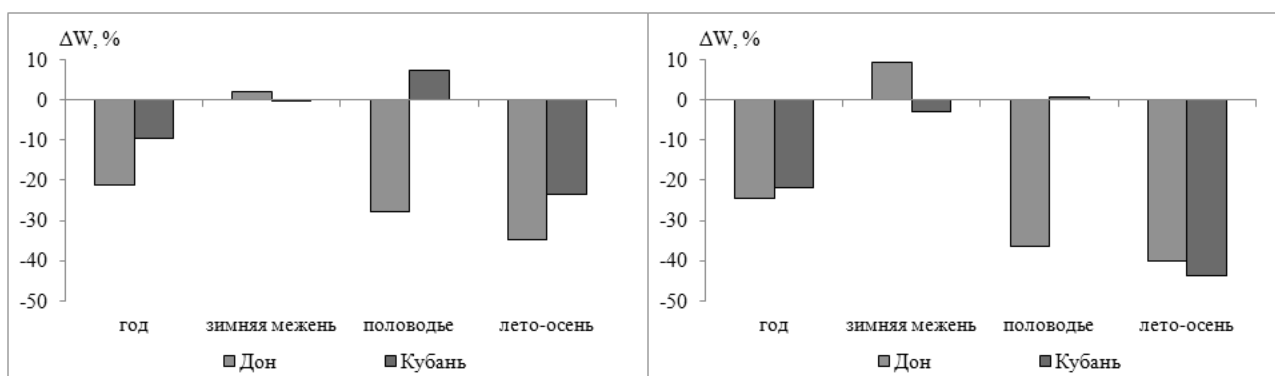


Рис 2. Аномалии годового и сезонного стока Дона и Кубани при глобальном потеплении на 1.5°С (слева) и 2°С (справа) в XXI веке относительно базового периода 1970–1999 гг.

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда: проект № 20-77-00077 (для бассейна Дона) и проект № 22-27-00808 (для бассейна Кубани).

Список литературы

1. Гельфан А.Н., Гусев Е.М., Калугин А.С., Крыленко И.Н., Мотовилов Ю.Г., Насонова О.Н., Миллионщикова Т.Д., Фролова Н.Л. Сток рек России при происходящих и прогнозируемых изменениях климата: обзор публикаций. Часть 2: Влияние изменения климата на водный режим рек России в XXI веке // Водные ресурсы. – 2022. – Т. 49, № 3. – С. 270–285.

2. *Калугин А.С.* Влияние глобального потепления на 1.5 и 2 градуса на изменчивость естественного стока Волги в Каспийское море // Труды X Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование. MARESEDU-2021». – Тверь: ООО «ПолиПРЕСС». – 2021. – С. 290–292.
3. *Мотовилов Ю.Г., Гельфан А.Н.* Модели формирования стока в задачах гидрологии речных бассейнов. – М.: РАН. – 2018. – 300 с.
4. *Kalugin A.* Hydrological and meteorological variability in the Volga River basin under global warming by 1.5 and 2 degrees // *Climate*. – 2022. – Vol. 10(7), No. 107.
5. *Kalugin A.S.* The impact of climate change on surface, subsurface and groundwater flow: a case study of the Oka River (European Russia) // *Water Resources*. – 2019. – Vol. 46, No. S2. – P. S31–S39.

УДК: 504.453

Рубрика: 37.27.00

ФОРМИРОВАНИЕ МАЛОВОДИЙ НА РЕКАХ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

EVALUATION OF LOW FLOW ON THE RIVERS OF EUROPEAN PART OF RUSSIA

Ширшова Ирина Юрьевна, Фролова Наталья Леонидовна

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва

Shirshova Irina Yurievna, Frolova Natalia Leonidovna

Moscow State University M. V. Lomonosov, Moscow

Введение

В настоящее время происходящие изменения климата оказывают значительное влияние на изменение водного режима рек. С изменением климата связаны и экстремальные гидрологические явления, в том числе формирование глубоких маловодий, способных охватить огромную по площади территорию. В связи с этим для исследования были выбраны реки европейской территории России (ЕТР), для которой характерна наибольшая плотность населения, развитое промышленное и сельскохозяйственное производство, гидроэнергетика и т.д. Возрастает потребность в адаптации водного хозяйства к современным изменениям климата и условиям формирования водных ресурсов. В работе экстремальная низкая водность исследовалась с помощью модульных коэффициентов, на основе метода пороговых значений (TLM), с помощью индексов гидрологической и метеорологической засух SDI и SPI соответственно.

Данные и методы

Пространственно-временное распределение маловодий на территории ЕТР было проанализировано для периода 1946-2019 гг. К рассматриваемым регионам относятся бассейны таких крупных рек, как Волга, Дон, Днепр, Терек, Кубань, Урал и др. Были рассмотрены данные 169 гидрологических постов (рис. 1). В качестве метеорологической информации использовались глобальные данные реанализа ERA5 (Hersbach, 2020).

Для оценки временной изменчивости на основе исследований прошлых лет было принято решение разделить временной ряд по переломному году на два периода 1946-1977 и 1978-2019 гг., так как для ЕТР к 1977–1978 гг. относят нарушение стационарности рядов стока (Джамалов и др., 2012, Фролова и др., 2013).

В работе определялись группы с экстремальной низкой водностью с помощью модульных коэффициентов, которые соответствовали определенной обеспеченности (P). Согласно СП 33-101-2003 выделяют маловодные годы ($66,7\% < P < 83,3\%$) и очень маловодные годы ($P > 83,3\%$). Для выделения маловодных групп по кривой обеспеченности были рассчитаны модульные коэффициенты для маловодных лет и для очень маловодных лет для двух обрабатываемых периодов до и после 1977 г. Для расчетов использовались среднегодовые расходы по всем гидрологическим постам.

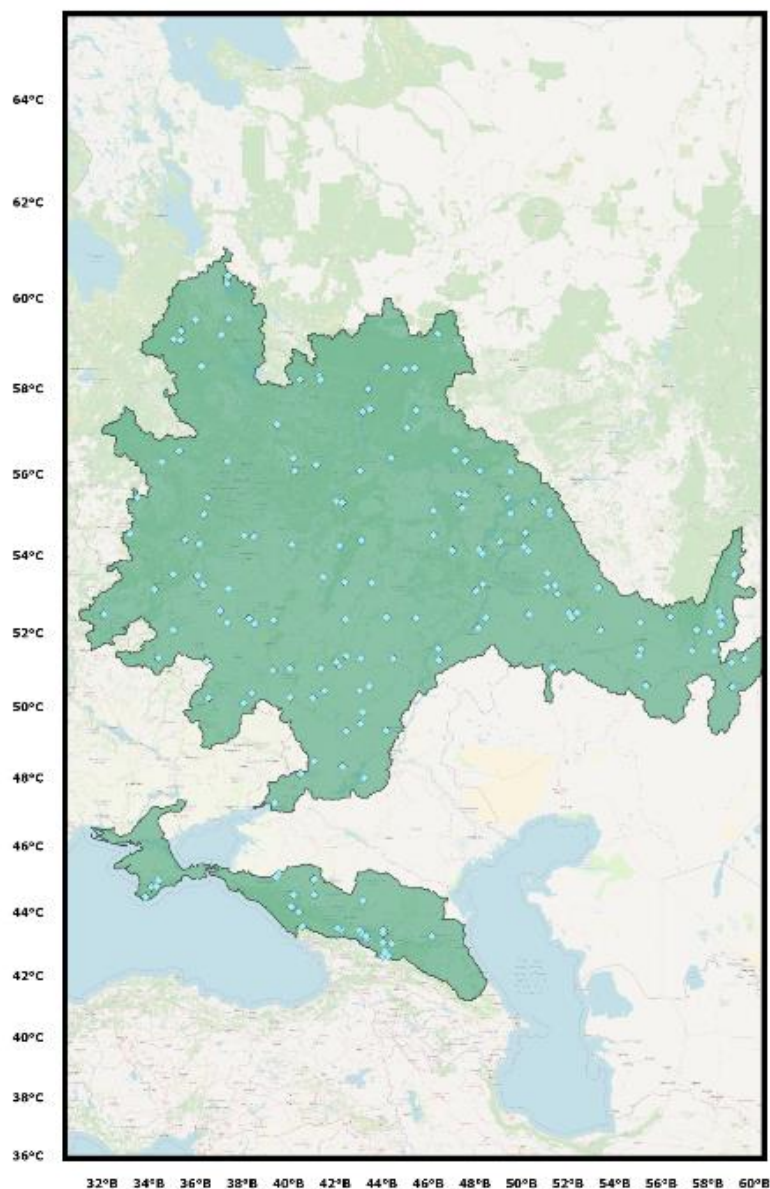


Рис.1. Расположение гидрологических постов, данные по которым использованы в исследовании

Для исследования дефицита стока был использован метод порогового уровня (TLM) — наиболее часто применяемый количественный метод, при котором важно определить начало и конец засухи. Он основан на определении порогового значения Q_0 , ниже которого наблюдается период низкого стока.

В данном случае анализ проводился для 19 гидрологических постов на основе имеющихся рядов среднемесячных расходов. Для определения пороговых значений была построена абсолютная кривая продолжительности расходов воды, с которой снимались величины расходов соответствующей обеспеченности. Далее проводился анализ, в какой год и месяц отмечались периоды, которые были ниже 90% обеспеченности – дефицитные и выше 10% - экстремальное увеличение водности. Затем для этих периодов были определены объемы дефицита или избытка воды. Также был рассмотрен интегральный показатель «суровости», который представляет собой отношение дефицита или избытка к продолжительности этого явления.

Для идентификации метеорологических и гидрологических засух применялись два широко известных и часто используемых во всем мире количественных показателя засух:

1. Стандартизированный индекс осадков (SPI)
2. Индекс стока в период засухи (SDI)

Подробный алгоритм получения индекса SPI был описан у (Edwards, McKee, 1997). Для определения гидрологической засухи был выбран SDI, который был разработан Налбантисом и Цакирисом (Nalbantis, 2009), в основу которого была положена методология и расчет SPI.

Результаты

По результатам вычислений были построены графики, отражающие динамику засушливых и влажных периодов для гидрологической (SDI) и метеорологической (SPI) засух. В каждом графике реализован индекс со всеми рассматриваемыми временными шагами (3, 6, 9, 12, 24 мес. сверху вниз). Все значения индекса основаны на сравнении за определенный период (3, 6, 9, 12, 24-месячный) с объемом стока того же периода за все годы, включенные в анализ. На графиках положительные значения указывают на объем стока выше среднего, а отрицательные – ниже среднего (рис. 3).

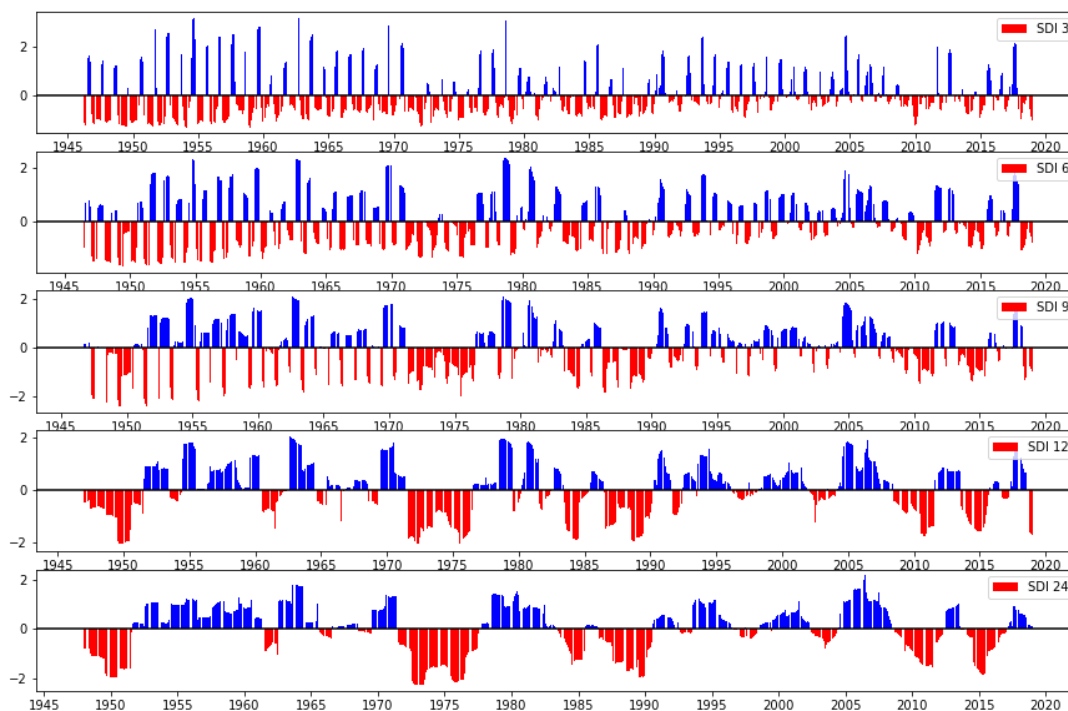


Рис.3. Пример реализации графиков для индекса SDI для реки Воронеж пост Липецк 2 (синим цветом обозначены положительные значения индекса, красным - отрицательные значения)

Определенные группы маловодных и очень маловодных лет по модульным коэффициентам, снятым с кривой обеспеченности, позволили рассчитать такие характеристики, как частоту и среднюю продолжительность явления. Первая рассматривалась как повторяемость маловодных периодов больше 2-х лет. Продолжительность маловодных лет для рек Донского бассейна может достигать 6-7 лет. Максимальные по продолжительности периоды (11 лет) прослеживаются для р. Северский Донецкий с 2007 по 2017 г. Высокой частотой обладает р. Аксай Есауловский, где

маловодные периоды наступают через 1 или 2 года и повторяемость таких случаев за период с 1977-2019 гг. составляет 8 раз. В 2014, 2015 и 2019 г. почти на всем бассейне р. Дон наблюдалось сильное маловодье (рис. 2).



Рис. 2. Средняя продолжительность маловодных лет для рек бассейна Дона в период 1978-2019 гг.

Наибольшие площади ЕТР метеорологические и гидрологические засухи охватывали в течение 3–4 мес. в 1971, 1972, 2010 и 2015 гг. Обычно крупномасштабные метеорологические засухи четко прослеживаются в период с мая по август. Гидрологические засухи имеют более продолжительный характер и могут проявлять себя не сразу, как возникает атмосферная аномалия, поэтому в 1972 и 2015 г. заметен сдвиг по времени от метеорологической засухи. Иногда гидрологическая засуха охватывает больше территорию, как например, в 1983 г. (рис. 4).

Коэффициент корреляции в летне-осенний период между метеорологической и гидрологической засухой колеблется от 0,4 до 0,8. Чаще всего высокая связь прослеживается для южной части ЕТР. Так как засуха отчетливо проявляет себя в индексах SPI и SDI в период с июня по октябрь, то именно этот сезон был взят для изучения связи между ними (рис. 6). Анализ показывает, что гидрологическая засуха не полностью объясняется метеорологической засухой. И действительно, геологические, физические характеристики бассейна, почвенный, растительный покров, землепользование, а также взаимосвязь между реками и грунтовыми водами играют немалую роль в формировании маловодий.

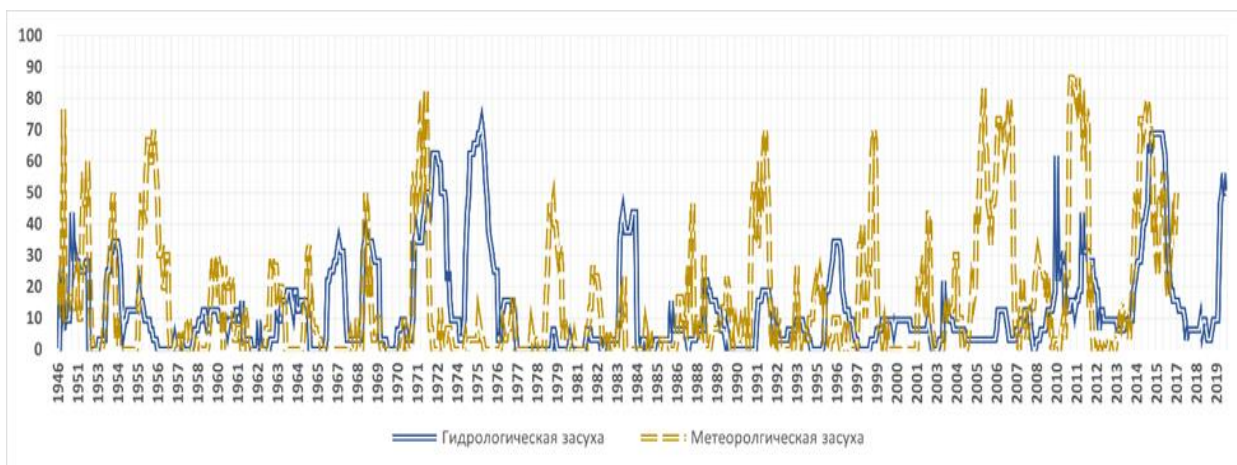


Рис. 4. Динамика площади метеорологической и гидрологической засух (%) на территории ЕТР в течение 1946–2019 гг. по данным индекса SPI₁₂ (пунктирная линия) и SDI₁₂ (сплошная линия)

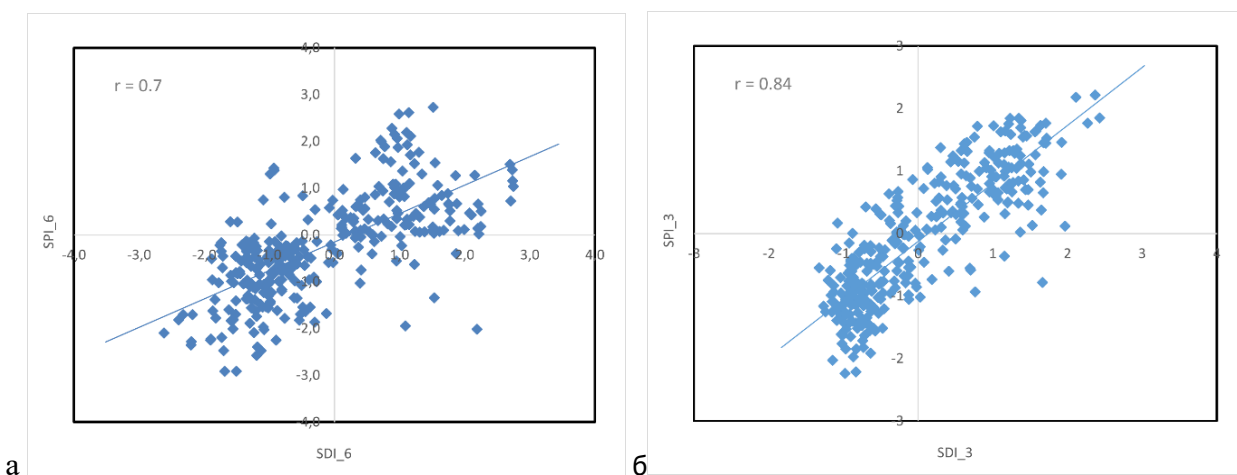


Рис. 5. Связь между SPI и SDI (р. Аксай (а) и р. Терек (б))

В пространственном распределении большими значениями модуля стока 10% обеспеченности P характеризуется самая северная часть ЕТР (р. Волга – ст. Старица, где модуль стока равен $16,1 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$) и самая южная часть ЕТР (р. Терек – ст. Котлярово и ст. Орджоникидзе, где модуль стока соответственно равен $25,4 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$ и $49,5 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$, р.Кубань – ст.Ладожская со значениями $15 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$ и ее левого притока р.Уруп $12,9 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$). Минимальные величины наблюдаются для Донского бассейна (р. Хопер – ст. Балашов и р. Дон Задонск с модульными значениями $6,8 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$ и $6,1 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$ соответственно), у рек Самара ($4,3 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$) и Свяга ($4,2 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$).

Аналогичная ситуация прослеживается для модулей $P=90\%$. Наибольшие значения характерны для р. Терек ст. Орджоникидзе ($6,4 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$) и ст. Котлярово ($7 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$). Наименьшие показатели - р.Крымза - ст. Сызрань ($0,5 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$), р. Самара - ст. Елшанка ($0,5 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$), р. Большой Черемшан ст. Новочеремшанск ($0,6 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$), р.Хопер ($0,6 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$).

Для реки Терек тенденция происходит сокращение объемов превышений и увеличение объемов дефицитов (рис. 6).

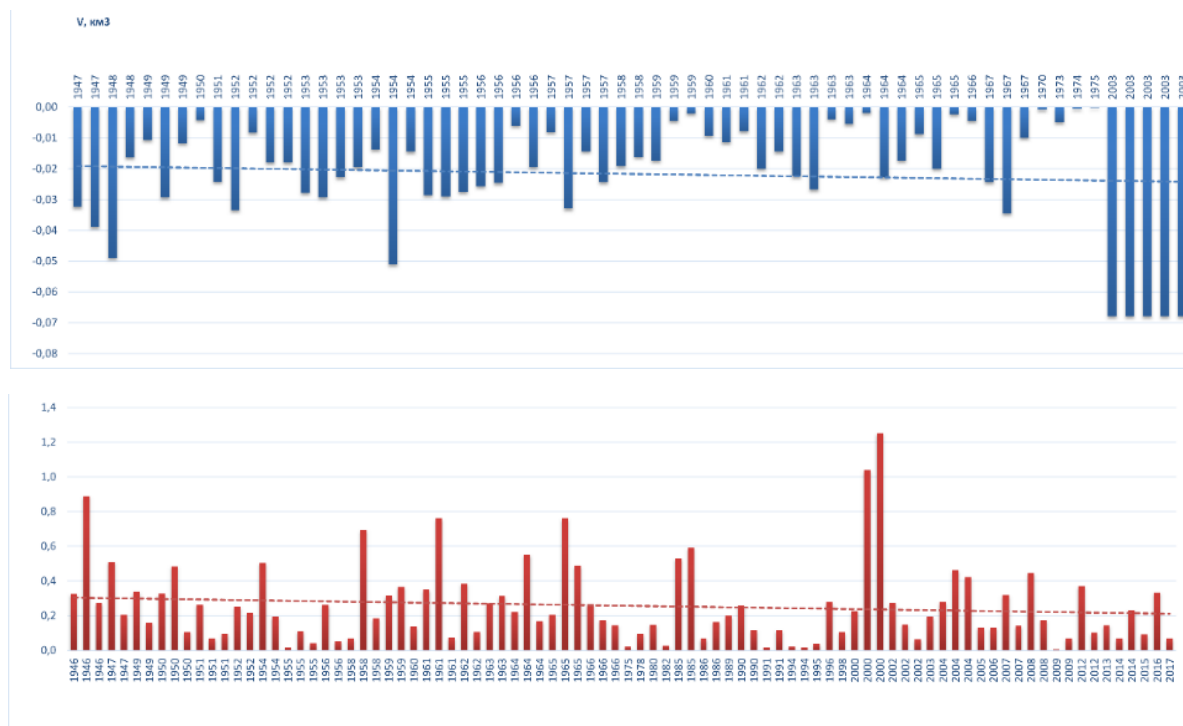


Рис. 6. Изменение объема дефицитов (вверху) и превышений (внизу) для р.Кубань - ст.Ладожская

Заключение

В результате анализа пространственно-временных изменений характеристик маловодий можно отметить, что наибольшие по продолжительности периоды экстремальной водности характерны до 1977 года. Однако, и в период после 1977 г. отмечаются затяжные маловодья в разных частях ЕТР, хоть их количество заметно снизилось, аномалии стока продолжают возникать в Волжском, Уральском, Донском бассейне. В последнее десятилетие случались крупномасштабные гидрологические засухи, охватившие большую территорию ЕТР. Также для рек южной части ЕТР выявлена тенденция формирования многолетних маловодий, в Центральной части - сезонных маловодий. Высокая связь между метеорологической и гидрологической засухой была выявлена в летне-осеннюю межень. Исследование влияния метеорологических факторов, а именно дефицита осадков, показало, что недостаточно рассмотреть только один фактор для понимания природы маловодий на реках ЕТР, так как гидрологическая засуха может наступать и в случае их достаточного количества.

Список литературы

1. *Hersbach H., Bell B., Berrisford P. et al.* The ERA5 global reanalysis // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2020, V. 146, № 730, pp. 1999–204
2. *Джамалов Р. Г. и др.* Формирование современных ресурсов поверхностных и подземных вод Европейской части России // Водные ресурсы. – 2012. – Т. 39. – №. 6. – С. 571-571.
3. *Nalbantis I., Tsakiris G.* Assessment of hydrological drought revisited // Water resources management. – 2009. – Т. 23. – №. 5. – С. 881-897.
4. *Edwards D.C., McKee T.B.* 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. Climatology Report No. 97 - 2. Colorado State University, Fort Collins Colorado, 155 pp.

РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ В МЕТОДАХ УЧЕТА СТОКА.

REGRESSION ANALYSIS IN THE METHODS OF RUNOFF ACCOUNTING

Байгубеков Кирилл Русланович, Векшина Татьяна Викторовна

Российский Государственный Гидрометеорологический Университет, Санкт-Петербург

Baygubekov Kirill Ruslanovich, Vekshina Tatyana Viktorovna

Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg

Введение

Важной задачей для современных гидрологов является определение стока реки за год, решением этой задачи является построение гидрографа расходов воды от времени. Текущие методы были разработаны более полувека назад и, согласно методическим рекомендациям, для получения надежных данных измерения надо производить не менее 5 раз в месяц, что является очень трудоемким и экономически невыгодным процессом, поэтому все чаще ставится вопрос о поиске новых методов расчета с использованием современной вычислительной техники. При выборе параметров для расчета более предпочтительны те, что можно измерить или вычислить непосредственно по натурным данным.

Сравнение результатов расчетов с исходными данными о расходах воды, опубликованных в гидрометеорологических ежегодниках, показало, что использование регрессионных моделей существенно сокращает время производства расчетов по сравнению с методами, разработанными более полувека назад. Расходы воды хорошо воспроизводятся в отдельные периоды года.

Текущие методы учета речного стока

Одними из важнейших знаний о реке для гидрологов являются сток и пропускная способность русла, ее можно представить в такой характеристике, как расход воды. Расход воды – это объем воды, протекающий через определенный створ за определенное время, выражается в м³/с. Это определение вытекает из принципа неразрывности жидкости, сформулированного еще Леонардо да Винчи.

Главной проблемой и сложностью учета стока является его неравномерность в различные периоды года и нарушение однозначной связи расходов и уровней, поэтому необходимы различные методики для расчета стока в период свободного русла и в переходные периоды, такие как период зарастания русла, период ледостава или период начала и конца ледовых явлений.

Еще одной проблемой определения стока является то, что на гидрологических постах не выполняются измерения уклона J и не определяются коэффициенты шероховатости n , а в гидрологических ежегодниках указывается только наличие растительности, без данных о стадии ее развития в русле.

Текущие методы расчета речного стока предполагают знания о виде зависимости расходов от уровней воды – однозначной или неоднозначной.

В случаях, когда зависимость однозначная и есть большое количество измеренных расходов воды, строятся кривые для каждого периода русла:

- 1) Зависимость расходов от уровней $Q = f(H)$
- 2) Зависимость площадей поперечных сечений от уровня $\omega = f(H)$
- 3) Зависимость средних скоростей течения от уровня $\bar{U} = f(H)$

Затем кривая $Q = f(H)$ экстраполируется до максимальных значений уровней воды, и для каждого уровня воды снимается значение расхода воды, поскольку получение ежедневных уровней воды (ЕРВ) менее трудоемкий процесс, нежели измерение ежедневных расходов воды.

В случаях, когда зависимость неоднозначная (обычно в период зарастания русла, ледостава или ледовых явлений), но есть большое количество измеренных расходов воды, основным является метод интерполяции между расходами воды. Суть этого метода заключается в том, что на график наносят расходы воды и проводят сглаживающую кривую – гидрограф, если же есть резко отклоняющиеся точки, то причину их отклонения определяют, используя комплексный график гидрометеорологических наблюдений. Ежедневные расходы воды определяют по полученному гидрографу.

В случаях малого количества измерений и когда зависимость неоднозначная, используют метод построения хронологического графика переходных коэффициентов.

Его суть заключается в том, что для каждого измеренного расхода воды определяется переходной коэффициент K :

$$K = \frac{Q_{\text{изм}}}{Q_{\text{св}}},$$

где $Q_{\text{изм}}$ – измеренные расходы воды; $Q_{\text{св}}$ – значения расхода воды, снятое с кривой $Q = f(H)$ при свободном русле при одинаковых значениях уровней.

После определения переходных коэффициентов K по получившимся значениям строят хронологический график $K = f(t)$. В периоды, недостаточно освещенные расходами воды, значения K экстраполируются, принимая, что $K = 1$ в первый день весеннего и в последний день редкого осеннего ледоходов или в первый и последний день зарастания русла [2].

Затем для каждого уровня снимается значение расхода воды в период свободного русла и умножается на переходной коэффициент, значения которого снимаются с полученного хронологического графика $K = f(t)$:

$$Q = Q_{\text{св}} * K$$

Данный способ возможно применять только в случае, когда колебания уровня происходят плавно и связаны с изменениями расхода воды.

Минусом данного способа является то, что может наблюдаться неоднозначная связь расходов и уровней, например, при подпорных явлениях, связанных с заторами и зажорами, тогда полученные результаты будут неверными.

Для любого способа, где используются сведения об уровнях воды, необходимо проанализировать ход уровней и срезать пики, которые не являются следствием повышения водности. Также сразу необходимо производить в случае заторов или зажоров. Если же причину повышения уровней не удастся установить, используя графики метеорологических наблюдений, то можно воспользоваться данными близко расположенного гидрологического поста, при условии, что на посту не было подпорного явления и при наличии графика связи уровней.

Усовершенствованные методы учета речного стока

На данный момент главным нормативным документом, содержащим рекомендации по выбору методов и способов вычисления ежедневных расходов воды, остается «Наставление гидрологическим станциям и постам, вып.6, ч.3», выпущенное в 1958 году [6], и не подвергавшееся каким-либо изменениям или переработке. Очевидно, что данный регламентирующий документ устарел несмотря на то, что в нем содержится более 20 методов учета стока, поскольку все предложенные методы и методики направлены на обработку данных наблюдений и измерений вручную, а результаты, соответственно, зависят от опыта и навыков специалиста, проводящего расчеты.

Поэтому с развитием вычислительной техники все чаще ставится вопрос о ее применении для получения надежных и достоверных сведений о речном стоке. Для этого в ГГИ были разработаны усовершенствованные модели учета речного стока, основанные на регрессионно-гидравлических моделях.

Для расчета речного стока при зарастании русла можно использовать параметр Великанова, который может быть определен только по данным измерений, при отсутствии данных об уклоне:

$$m = \frac{QB^{2/3}}{\omega^{5/3}},$$

где Q , B , ω - соответственно расход воды и отвечающие ему ширина русла и площадь живого сечения.

Параметр m сначала уменьшается, а затем увеличивается (рис. 1).

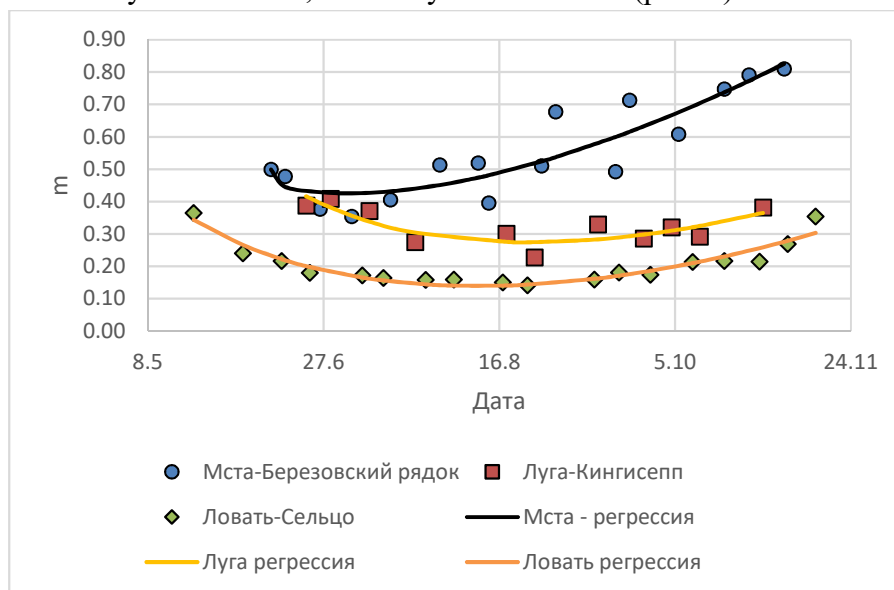


Рис. 1. Хронологический график изменения параметра m .

Так как процессы развития, старения и срыва водной растительности следуют друг за другом, то m можно представить в виде функции, с учетом, что $m=m_0$ при $\tau=0$, когда эффект зарастания еще не влияет на сток:

$$m = a_0 + a_1\tau + a_2\tau^{4/3},$$

где τ - отношение времени от начала вегетации к общей продолжительности периода зарастания; a_0 , a_1 , a_2 – коэффициенты.

Параметры этого уравнения определяются методом наименьших квадратов по совокупности измерений расходов воды.

В случае, когда на реке наблюдаются ледовые явления, в ГГИ, рекомендуется использовать регрессионно-гидравлическая модель (РГМ), учитывающая закономерность изменения гидравлических сопротивлений в зимний и переходные периоды.

В самом начале замерзания реки нижняя поверхность льда является наиболее неудобообтекаемой. Коэффициент шероховатости n_l превышает n_0 в 2 – 2,5 раза.

С течением времени нижняя кромка льда сглаживается и коэффициент шероховатости снижается до 0,008 – 0,012 при ледоставе T_l суток.

Фактор времени отражает отношение $n_0/n_{зим}$. Это отношение в начале ледообразования и после вскрытия реки равно 1. При устойчивом ледоставе оно сначала снижается до 0,4 – 0,6, а затем экспоненциально возрастает, приближаясь к максимальному значению.

Расходы получают с помощью уравнения множественной регрессии:

$$y = K_{зим} = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4 + a_5 x_5,$$

$$\text{где } x_1 = \frac{T}{T_l} e^{-5\frac{T}{T_l}}; x_2 = \frac{\omega_l}{\omega_0}; x_3 = \frac{\omega_l T}{\omega_0 T_l} e^{-5\frac{T}{T_l}}; x_4 = \frac{\omega_l^2}{\omega_0^2}; x_5 = \frac{\omega_l^2 T}{\omega_0^2 T_l} e^{-5\frac{T}{T_l}};$$

где T – время в сутках от начала ледообразования; T_l – продолжительность зимнего периода; ω_l – площадь погруженного льда; ω_0 – соответственно полная площадь сечения (с погруженным льдом); $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ – коэффициенты уравнения.

При свободном русле также используют регрессионные уравнения. Они основаны на следующих положениях:

- 1) В качестве опорной характеристики пропускной способности русла принимается уравнение регрессии расходов по уровням воды $Q(H)$, которое устанавливается по совокупности измеренных расходов воды (ИРВ).
- 2) Относительные отклонения ИРВ рассматриваются как случайные величины в случае, если зависимость однозначна, или как неслучайные, в условиях деформаций русла, переменного подпора, нарушения стационарного режима движения потока, зарастания или ледообразования.
- 3) Ряд отклонений носит циклический характер и может быть представлен в виде периодической тригонометрической функции, например, косинусоиды. Это позволяет определить характеристики корреляционной связанности и оптимальную интерполяцию отклонений в промежутках между измерений и получить корректную оценку погрешностей расчетов.

Задача по подбору аналитического выражения, отражающее связь расходов и уровней воды, оптимальным образом, является наиболее важной. Для этого используются пять алгоритмов: полиномы первой, второй и третьей степени ($Q = a_0 + a_1 H_1 + a_2 H_2 + \dots + a_m H_m$), полином с ограничениями (от первой до третьей степени) и парабола Глушкова ($Q(H) = a (H - H_0)b$).

Хронологические графики хода расходов воды, полученные с использованием регрессионно-гидравлических моделей

Расчет речного стока сводится к построению гидрографа как функции зависимости расходов воды в течение года при ежедневных наблюдениях за уровнями.

Расчет производился по трем моделям для трех периодов:

- 1) Период ледовых явлений и ледостава,
- 2) Период свободного русла,
- 3) Период зарастания.

В качестве исходных данных были взяты измеренные расходы воды и ежедневные уровни р. Мста – с. Березовский рядок, р. Луга – г. Кингисепп, р. Ловать – д. Сельцо за 1967 год. Для сравнения результатов, полученных по моделям, в качестве истинных значений были взяты значения ежедневных расходов воды, опубликованные в ежегоднике.

По данным ежедневных уровней воды и измеренных расходов воды были рассчитаны ежедневные расходы воды и построены гидрографы. На рисунке 2 представлен гидрограф ежедневных расходов воды р. Мста – с. Березовский рядок.

Среднее отклонение от данных ежегодника за весь календарный год составило 9%, несмотря на это, я считаю, что модели показали хороший результат, поскольку в ежегоднике могли быть допущены ошибки. Большое отклонение связано с тем, что уравнения хорошо описывают совокупность точек, а не отдельные точки.

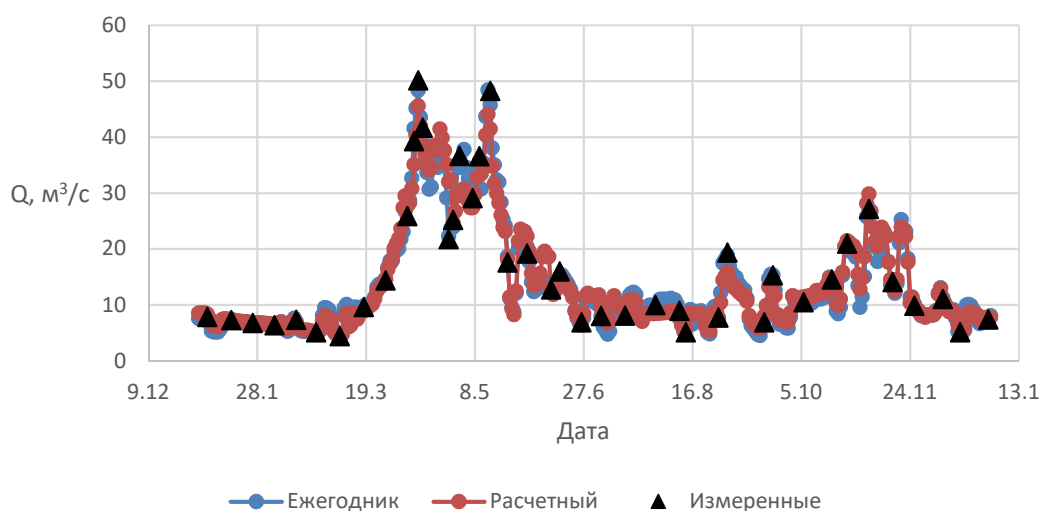


Рис. 2. Хронологический ход ежедневных расходов воды р. Мста – с. Березовский рядок

На рисунке 3 представлен гидрограф ежедневных расходов воды р. Луга – г. Кингисепп. Среднее отклонение за весь календарный год составило 12,1 %, но как видно из гидрографа, наибольшие отклонения возникли в периоды, неосвященные наблюдениями за расходами.

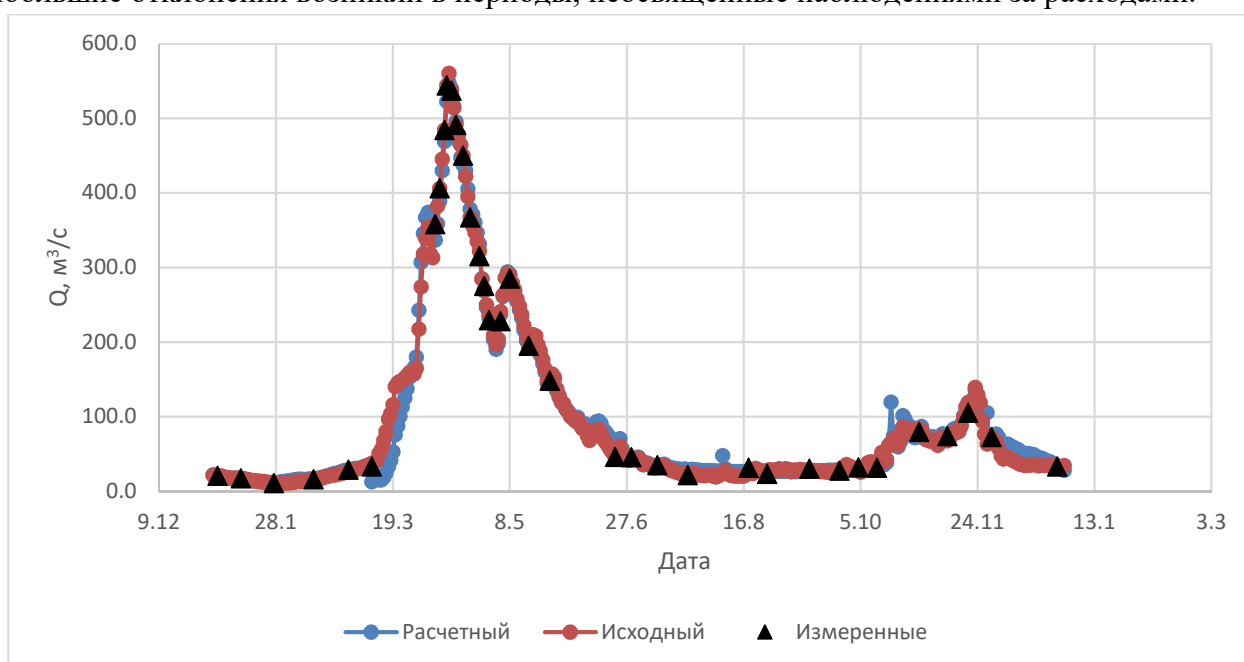


Рис. 3. Хронологический ход ежедневных расходов воды р. Луга – г. Кингисепп

На рисунке 4 представлен гидрограф ежедневных расходов воды р. Ловать – д. Сельцо. Среднее отклонение за весь календарный год составило 9%, однако можно заметить, что наибольшие отклонения возникают в периоды, где не было измерений расходов воды.

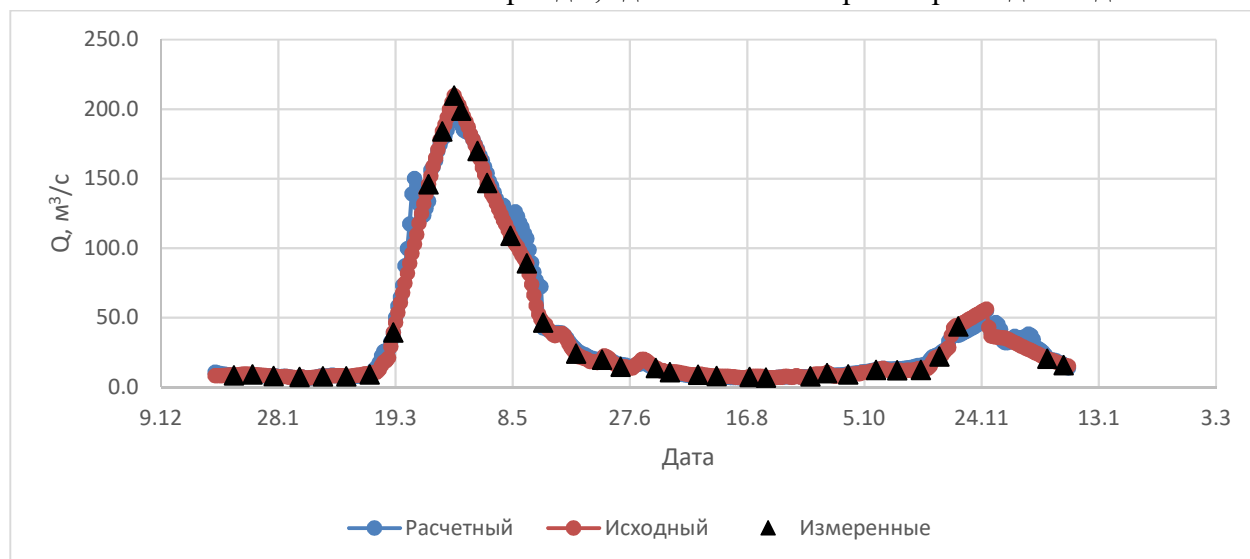


Рис. 4. Хронологический ход ежедневных расходов воды р. Ловать – д. Сельцо

Заключение

По результатам проведенных вычислений модели показали хороший результат, по двум из трех выбранных постов среднее отклонение составило не более 10 %, а значит полученные ежедневные расходы воды могут считаться достоверными, и предложенные методики использоваться в работе, однако для большей эффективности следует использовать комбинированные методы.

Преимуществом моделей является то, что их легко можно реализовать на ЭВМ, процесс получения ежедневных расходов воды становится быстрее и меньше зависит от человеческого фактора и опыта специалиста, производящего расчет, также модели позволяют использовать данные прошедших лет наблюдений, коэффициенты могут быть получены по натурным данным, а использование параметра Великанова позволяет изучить влияние других факторов на пропускную способность русла

Недостатком моделей является то, что некоторые данные трудно, а иногда невозможно получить, и то, что модели сглаживают значения во время паводков, так как описывают совокупность точек.

Список литературы

1. Байгубеков К.Р., Векшина Т.В. Современные методы учета речного стока // Наука в современном обществе: Закономерности и тенденции развития, сборник статей Международной научно-практической конференции, Уфа, 2021. С. 268 – 270.
2. Быков В.Д., Васильев А.В. Гидрометрия – Л.: Гидрометеиздат, 1972.
3. Векшина Т.В «Гидрометрический учет стока на основе параметра Великанова»
4. Векшина Т.В., Большаков В.А., Коринец Е.М. «Математическая статистика и информационные технологии в современных методах гидрометрического учета стока»
5. Гидрологический ежегодник 1967 г: том 1 бассейн Балтийского моря. Вып. 0 – 5 бассейн Балтийского моря от р. Нева до р. Неман

6. Наставление гидрометеорологическим станциям и потам, вып.6, ч. 1-3 - Л.: Гидрометеиздат, 1978.
7. Универсальная модель гидрометрического учета стока при свободном русле

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНОГО РЕЖИМА РЕКИ ОЛЕНЕК В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

ANALYSIS OF CHANGES IN CHARACTERISTICS OF THE WATER REGIME OF THE OLENEK RIVER UNDER A CHANGING CLIMATE

Козьмин Григорий Григорьевич, Грязнова Елизавета Антоновна

Российский Государственный Гидрометеорологический Университет, Санкт-Петербург

Kozmin Grigoriy Grigorievich, Gryaznova Elizaveta Antonovna

Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg

Введение

Постоянно изменяющийся климат оказывают непосредственное влияние на многие гидрологические характеристики, в число которых входят уровень и расход воды. В данной статье представлены расчеты и анализ изменения расходов и уровней воды на реке Оленёк, расположенной на северо-западе Якутии за полярным кругом и берущей своё начало на склонах горы Янгкан и впадающей в Оленёкский залив моря Лаптевых.

Физико-географическая характеристика

Река Оленёк находится в России, в Якутии, и является одной из самых длинных рек Сибири. Вся протяжённость реки находится за Северным полярным кругом. Длина Оленька равна 2292 км, площадь его бассейна составляет 219 тыс. км². Истоком реки является небольшое озеро на северных склонах кряжа Букочан. Впадает в Оленёкский залив моря Лаптевых. Основные притоки реки Оленёк: Силигир, Кютюнгде, Арга-Сала, Укукит, Пур.

Питание реки Оленёк – снеговое и дождевое. Половодье приходится на период с июня по сентябрь, межень – с октября по май, дождевые паводки – в летне-осенний период.

Климат республики Саха (Якутия) субарктический, резко-континентальный. Вся территория республики относится к районам Крайнего Севера. Здесь - длинная зима и короткое лето. Амплитуда средних температур января и июля превышает 90°C. Минимальная температура зимой здесь составляет -72°C. Почти вся территория Якутии расположена в зоне вечной мерзлоты, которая имеет самую большую мощность в мире. Средняя температура воздуха в республике: в июле +20°C, в январе – -39°C. Осадки распределены по территории республики Саха неравномерно. Наименьшее количество наблюдается на арктическом побережье, а максимум – в горах.

Водный режим реки Оленек

Режим реки Оленек определяется климатическими условиями региона, по которому она протекает. Как и все реки Сибири, Дальнего Востока, Оленек имеет летнее половодье, которое отмечается с июня и до сентября. Питается река в основном дождями, выпадающими в летний период, и талыми водами. Расход воды в среднем составляет 1210 м³/с, в нижнем течении

перед вскрытием расход может составлять 1 м³/с и менее. Сплошная многолетняя мерзлота в бассейне реки Оленек оказывает большое влияние на температуру воды, которая в период с сентября и до конца мая отмечается как очень близкая к нулю. Среднегодовая температура воды составляет 3,4°С. Максимальная толщина льда, которым покрывается река Оленек с осени и до весны, составляет 244 см.

Задачи работы и проведение анализа

Главной нашей задачей является установление зависимости изменения основных характеристик водного режима реки Оленек от меняющихся климатических факторов. В качестве исследуемого поста, был выбран гидрометрический пост на реке Оленек под названием “7,5 км ниже реки Буур”. Использовались данные с 1962 года по 2019.

В условиях постоянно изменяющегося климата важно непосредственно зафиксировать эти изменения. Для этого был проведен анализ значимости тренда для параметров температуры воздуха и количества осадков. Очевиден вывод, что среднее многолетнее значение температуры воздуха растет.

Аналогичный анализ был проведен и для данных по количеству осадков на исследуемой территории. Исходя из полученных результатов, можно сделать выводы, что несмотря на значительное повышение среднегодовых температур, среднегодовое значение количества осадков остается неизменным.

Данные, свидетельствующие об изменении климата, предполагают и изменение основных характеристик водного режима реки, ведь они непосредственно связаны друг с другом. По данным за исследуемый период был проведен анализ значимости трендов, который показал отсутствие каких-либо значимых изменений в водном режиме реки Оленек. Анализ представлен в сопутствующих таблицах.

Заключение

Проведенный анализ позволяет сказать, что ни одна из основных характеристик водного режима реки Оленек не показала значимого тренда к росту. Из этого можно сделать вывод, что, несмотря на значительные изменения некоторых климатических характеристик в регионе, а именно температуры воздуха, водный режим реки Оленек остается неизменным.

Список литературы

1. Гидрологический ежегодник 1962-1979 годы, Бассейны морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского, Бассейны морей Лаптевых, Восточно-Сибирского до р. Колымы/ Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Якутское упр. гидрометеорол. службы. - Ленинград: Гидрометеоздат.
2. Государственный водный кадастр, Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхности вод суши 1980-1992 годы, Бассейны морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского, Бассейны морей Лаптевых, Восточно-Сибирского до р. Колымы / Якут. террит. упр. по гидрометеорологии и контролю природ. среды; [Сост. Л.С. Резванцевой и др.]. - Якутск: ЯГУС.
3. Река Оленек: устье, исток, характеристика. Где находится река Оленек? [Электронный ресурс] - <https://fb.ru/article/229706/reka-olenek-uste-istok-harakteristika-gde-nahoditsya-reka-olenek> (дата обращения 06.07.22)
4. Большая российская энциклопедия, Оленёк [Электронный ресурс] - <https://bigenc.ru/geography/text/2684678> (дата обращения 06.07.22)

ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВОДНОГО И ЛЕДОВОГО РЕЖИМА РЕКИ ПУР.

TEMPORARY VARIABILITY OF THE WATER AND ICE REGIME OF THE PUR RIVER

Азарян Виктория Сергеевна, Саноцкая Надежда Александровна

Российский государственный гидрометеорологический университет

Azaryan Viktoria Sergeevna, Sanotskaya Nadezhda Alexandrovna

Russian State Hydrometeorological University

Введение

Работа направлена на исследование такого актуального вопроса, как изменение качественных и количественных характеристик водного и ледового режима арктических рек Западной Сибири на примере реки Пур. Особую значимость данное исследование приобретает в современных условиях, когда одновременно происходят процессы изменения климата и сокращения количества гидрологических постов в арктической зоне России, помимо этого в условиях изменяющегося климата для повышения безопасности судоходства необходимо проводить анализ водных и ледовых условий реки.

Основной задачей является исследование водного и ледового режима р. Пур в условиях изменяющегося климата. Для достижения данной цели поставлены следующие задачи:

1. Описать физико-географические условия бассейна реки Пур: рельеф, геологическое строение, почвенно-растительный слой, климат.
2. Собрать исходные данные по расходам и уровням воды и ледовым явлениям в исследуемых створах за период наблюдений (1962 – 2019 гг.)
3. Собрать исходные данные по температуре воздуха
4. Описание гидрометеорологической изученности бассейна реки Пур.

Максимальный и минимальный сток

По данным ежедневных расходов воды за период наблюдений 1962 – 2019 гг. определены среднегодовые и максимальные расходы воды за каждый год [1].

По среднегодовым и максимальным значениям расхода воды были построены графики и линия тренда (рис. 1, 2).

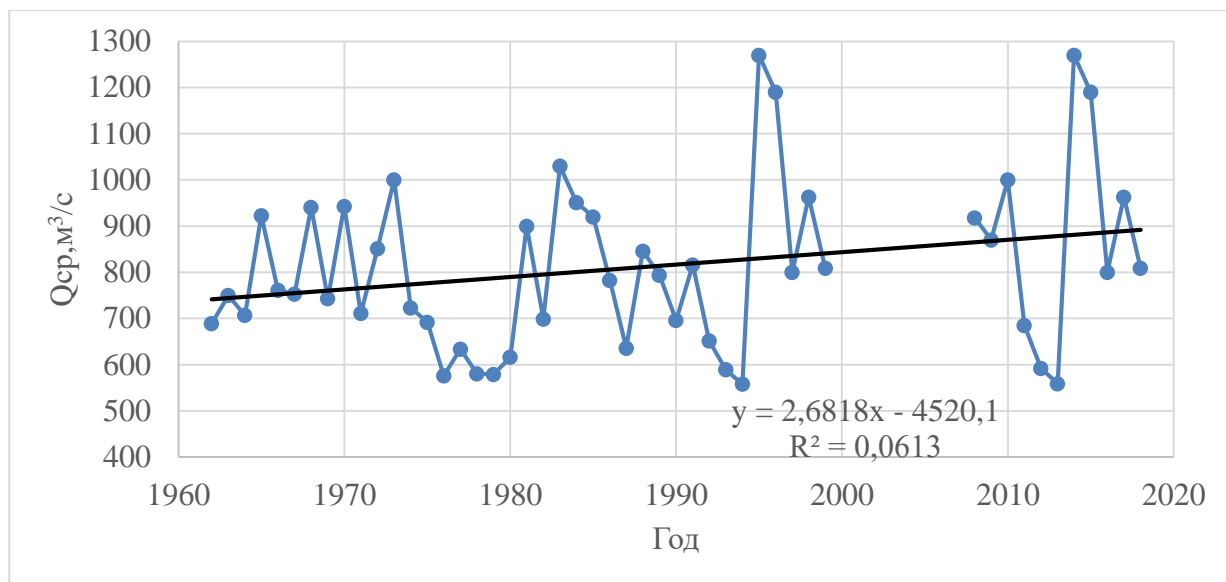


Рисунок 1 – Ряд данных среднегодовых расходов воды р. Пур – г. Уренгой за весь период наблюдений 1962 – 2019 гг.

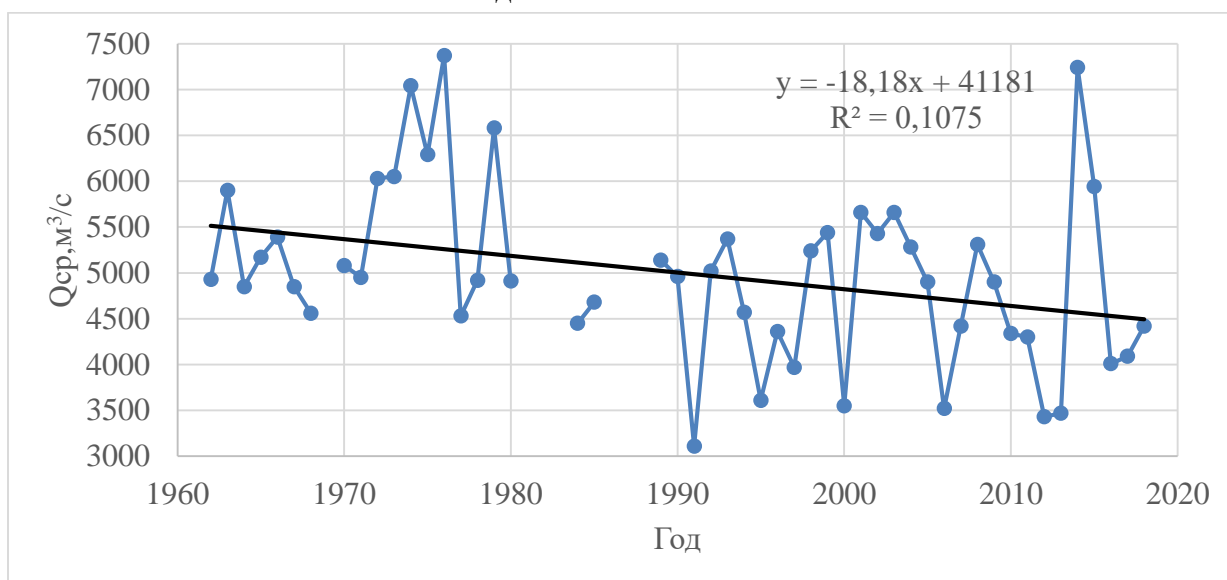


Рисунок 2 – Ряд данных максимальных расходов воды р. Пур – г. Уренгой за весь период наблюдений 1962 – 2019 гг.

Как видно из графика на рис. 4 среднегодовой сток за отдельные годы колеблется, однако общая тенденция говорит об увеличении стока. Колебания максимальных расходов воды о наличии тренда на понижение. Следовательно, увеличение среднегодовых расходов происходит за счет меженного стока.

По результатам обработки и анализа данных (1962 – 2019 гг.) о датах начала, пика и окончания половодья, получились следующие данные: за период наблюдений начало половодья сместилось с 17 мая в среднем на 7 мая (стало наступать на 10 дней раньше), пик половодья – с 3 июня на 31 мая (на 3 дня раньше), окончание половодья – с 23 июля на 16 июля (на 7 дней раньше).

Ледовые явления

Для определения продолжительности ледовых явлений на реке Пур были проанализированы пост Уренгой по продолжительности ледостава [2]. На графике (рис. 3а)

представлена продолжительность ледостава р. Пур г. Уренгой за 1962 – 2019 гг. Как видно из графика, период ледостава за период наблюдений сократился в среднем с 230 дней до 190.

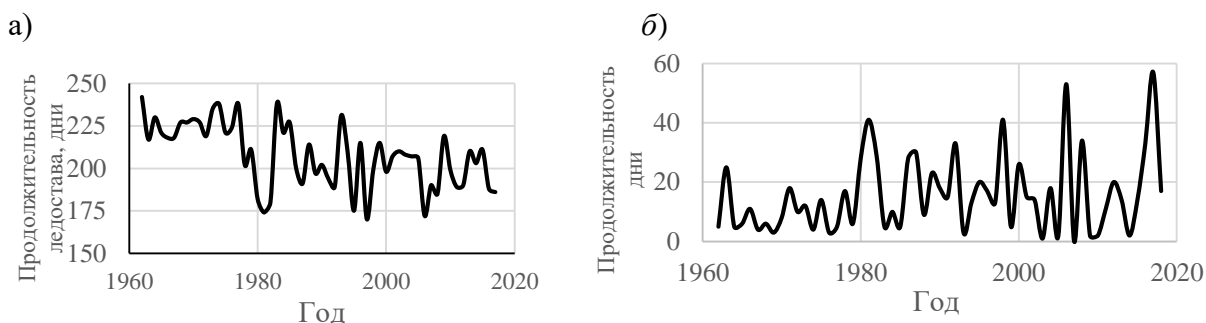


Рисунок 3. Продолжительность ледостава (а) и разница между появлением ледовых явлений и началом ледостава (б) за период 1962 – 2019 гг.

На графике (рис. 3 б) представлена разница между появлением ледовых явлений и началом ледостава р. Пур. г. Уренгой за 1962 – 2019 гг. Как видно из графика, в первые 15 лет наблюдений разница была незначительна (8-10 дней), а к 2019 году разница увеличивалась до 20-25 дней, зафиксированное максимальное значение – 53 дня [3].

По каждому году были также рассчитаны среднегодовые значения по высоте снежного покрова. По данным среднегодовой высоте снежного покрова был построен график (рисунок 4).

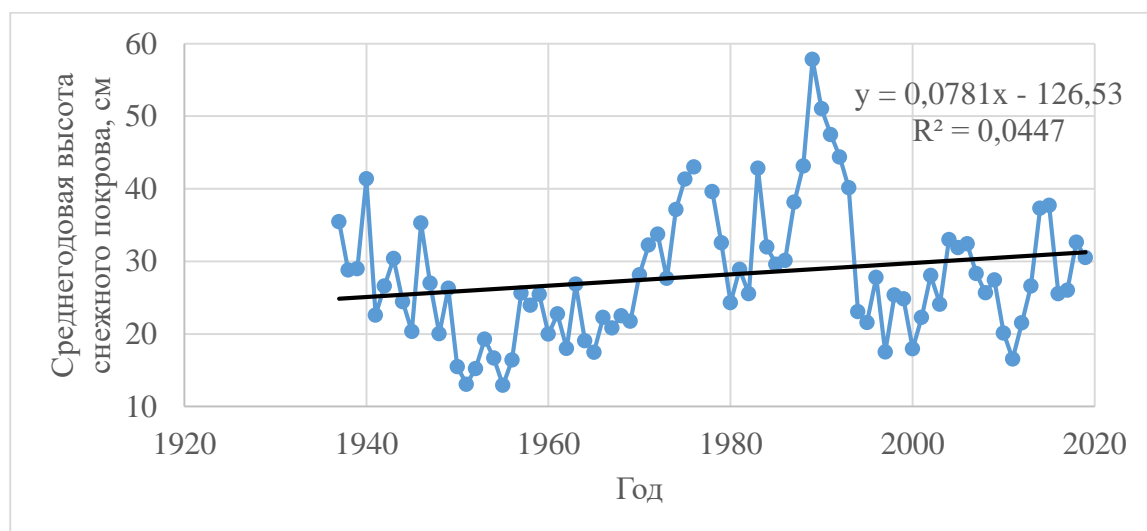


Рисунок 4 – Среднегодовая высота снежного покрова за период наблюдений 1962 – 2019 гг.

В ходе расчетов была проведена проверка тренда на значимость, в результате расчетов отношение корреляции и стандартной ошибки меньше статистики Стьюдента при уровне значимости 5 процентов $\frac{R}{\sigma R} < t_{2\alpha}$, то есть $\frac{0,211}{0,109} < 1,99$, следовательно, тренд оказался статистически не значим [4].

Заключение

В результате проделанной работы были отмечены основные изменения в водном и ледовом режиме, которые доказывают наличие тренда на увеличение среднегодовой температуры воздуха, а именно увеличение среднегодового стока; уменьшение максимального стока; уменьшение продолжительности ледостава за период наблюдений сократился в среднем с 230 дней до 190; увеличение разницы между появлением ледовых явлений и началом ледостава до

20-25 дней к 2019 году; смещение дат начала, пика и окончания половодья на более ранние, а именно за период наблюдений начало половодья стало наступать на 10 дней раньше, пик половодья на 3 дня раньше, окончание половодья на 7 дней раньше; уменьшение продолжительности ледовых явлений в среднем на 9 дней; уменьшение высоты снежного покрова на 15 см.

Данные изменения водного и ледового режима арктических рек Западной Сибири на примере реки Пур, а именно увеличение среднегодовой температуры, безледоставного периода и уменьшение продолжительности ледовых явлений необходимы для повышения безопасности Северного морского пути и транспортных артерий судоходных рек, данное изучение позволяет прогнозировать последствия глобального потепления климата и является основой появления новых методов сбора и обработки данных, физико-математического моделирования гидрологических процессов.

Список литературы

1. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО), официальная страница: <https://gmvo.skniivh.ru/>
2. Азарян В.С., Саноцкая Н.А. Изменение ледового режима реки Пур в современных условиях//Сборник материалов участников XVIII Большого Географического фестиваля, Санкт-Петербург, 2022.С.82 – 85.
3. Государственный водный кадастр. Раздел 1. Поверхностные воды. Серия 2. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Часть 1. Том 1. Выпуск 10. Бассейн Оби (без бассейна Иртыша), Надыма, Пура, Таза. 1962 – 2012 годы. – Новосибирск, Омск.
4. Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. - СПб: изд. РГГМУ, 2007.

УТОЧНЕНИЕ ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СТОКА РЕКИ ПУР В СТВОРЕ
Г. УРЕНГОЙ

REFINED PROGNOSTIC FLOW MODEL OF PUR RIVER AT URENGOY

Кочеткова Елизавета Дмитриевна¹, Саноцкая Надежда Александровна^{1,2}

¹ *Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург*

² *Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург*

Kochetkova Elizaveta Dmitrievna, Sanotskaya Nadezhda Alexandrovna^{1,2}

¹ *Russian Hydrometeorological State University, St. Petersburg*

² *Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg*

Введение

Река Пур имеет значительную протяженность – 1020 км, ориентирована с юга на север, где впадает в Тазовскую губу, площадь водосбора составляет 112 000 км². Пространственное распределение одной из основных климатических характеристик – температуры воздуха – на территории водосбора несколько изменяется от сезона к сезону. Температурная изменчивость представлена типичным для территории России образом: зимой температуры убывают с юго-запада на северо-восток, летом – с юга на север. В то же время, по данным [1], количество осадков на протяжении всего года убывает с юга на север, однако данные приведены за период осреднения 1936-1963 гг. без поправок на смачивание осадкомерного ведра и ветровой недоучет.

В предыдущих исследованиях [2] предпринята попытка прогнозирования максимальных расходов воды в период половодья на р. Пур и в качестве источника гидрологических данных используется информация постов р. Пур – Уренгой и р. Пякупур – Тарко-Сале, метеорологических – ст. Тарко-Сале, находящейся южнее по течению от г. Уренгой.

В данной работе предлагается уточнение прогностической модели посредством изменения набора входных статистических данных.

Выбор используемых данных

В настоящий момент на территории водосбора р. Пур располагается всего две действующие метеорологические станции, по которым есть данные в открытом доступе: Халясавэй (Хелесовая) – на слияние притоков р. Пур рек Халясавэй и Еркаландейпур (правые притоки), и Тарко-Сале – на слиянии р. Пур и ее притока Пякупур. Еще две станции – Тазовский и Ноябрьск расположены вблизи водосбора (у устья и в верховьях левого притока, соответственно), однако станция Ноябрьск была открыта значительно позже других (2005 г.). Продление ряда наблюдений Ноябрьска, например методом регрессионного анализа, не представляется возможным, поскольку наиболее важные для прогнозирования

стока значения осадков сильно неоднородны и при восстановлении будут иметь значительную погрешность. Использование данных указанных станций позволило бы описать как широтное, так и долготное распределение метеорологических величин на всем водосборе, однако при использованные нейросетей результат прогнозирования будет тем выше, чем по большему количеству экспериментов будет осуществляться обучение сети, т. е., в данном случае, чем длиннее будут временные ряды. Т. о. включение в модель станции Ноябрьск – неэффективно.

По данным сайта [3] проведен статистический анализ временных рядов (1961–2020 гг.) температур и осадков станций, представленных в табл. 1.

Таблица 1. Перечень метеостанций региона.

Номер	Название	Широта	Долгота	Высота над уровнем моря, м БС	Бассейн реки
23256	Тазовский	67,47	78,72	23	Таз
23445	Надым	65,48	72,70	7	Надым
23552	Тарко-Сале	64,92	77,82	27	Пур
23656	Халясавэй	63,38	78,33	66	Пур
23662	Толька	64,00	82,05	35	Таз

Для получения более точных значений пропуски в рядах заполнены по данным метеорологических ежемесячников и методом регрессионного анализа. Полученные данные для температур хорошо согласуются с [1], наблюдается лишь общее повышение значений, причем тем более интенсивное, чем севернее расположена исследуемая станция.

В случае с осадками рассчитанная авторами климатическая норма 1961–2020 гг. сильно отличается от данных [1]. Перераспределение осадков по территории произошло таким образом, что годовые суммы теперь убывают с севера на юг, особенно такое изменение заметно в зимние месяцы (например, в январе, рис. 1), когда происходит снегонакопление.

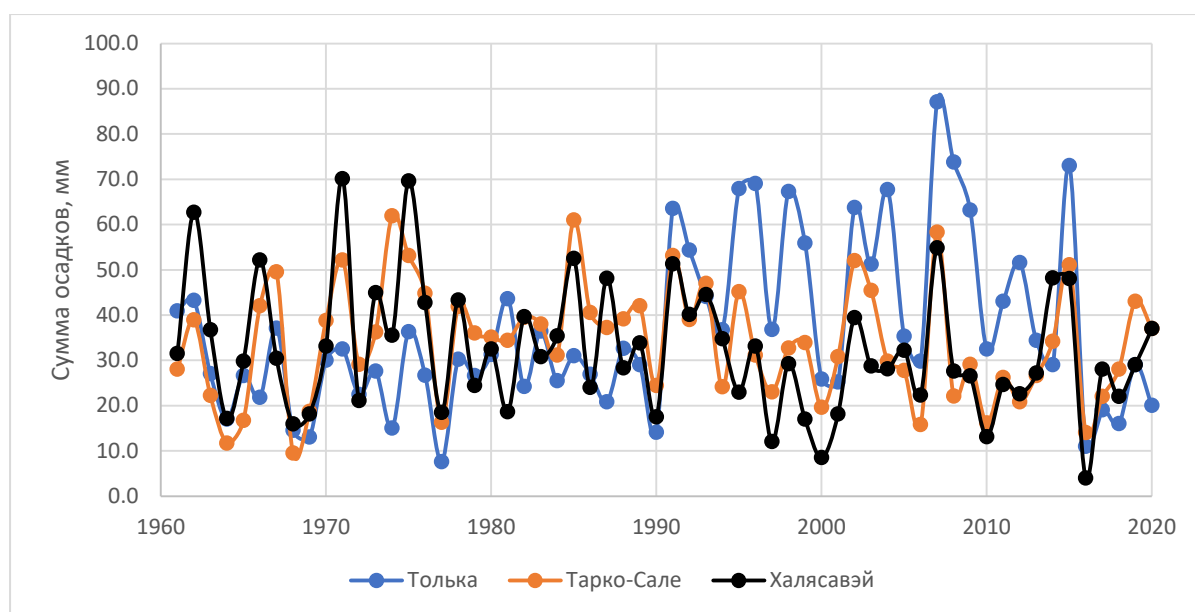


Рис. 1. Временные ряды осадков с устраненными погрешностями за январь по станциям.

Для лучшего представления о характере перераспределения осадков по данным станций проведена интерполяция методом обратно-взвешенных расстояний (использована программа QGIS 3.24.2), результаты представлены на рис. 2.

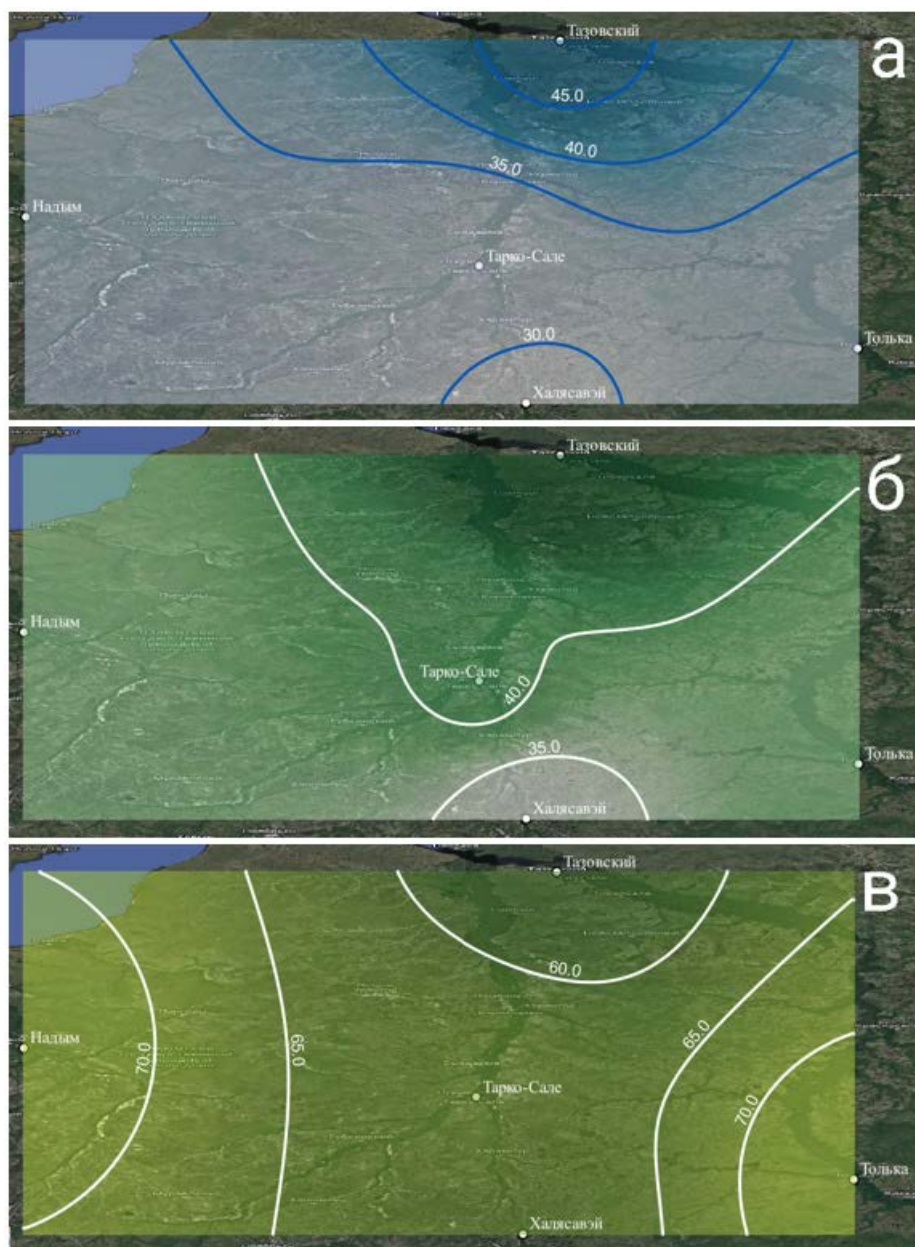


Рис. 2. Распределение осадков на территории бассейнов рек Надым, Пур и Таз по данным метеорологических станций, осредненных за период 1961–2020 гг. по месяцам; а – январь, б – апрель, в – июль.

Именно вследствие сезонной изменчивости распределения осадков на территории водосбора за период снегонакопления прогноз максимального расхода воды по данным одной метеостанции может иметь значительную погрешность.

Ожидаемые результаты

Створ г. Уренгой расположен ниже по течению от Тарко-Сале, поэтому для уточнения прогностической модели может быть целесообразно использование данных станций Халыасвай и Тазовский. С одной стороны, это увеличит количество входных данных, что усложнит обучение нейросети, с другой позволит уточнить прогноз, поскольку будут использованы данные и с центральной части водосбора, и с верховьев р. Пур. Помимо этого, вторым этапом работы [2] указано создание двухэтапной модели нейронной сети с реализацией процедуры восстановления пропусков в рядах для увеличения количества обучающих пар векторов. Наличие в схеме данных с близлежащих метеостанций позволит

упростить процесс восстановления пропусков как минимум в рядах, отличающихся относительно небольшой дисперсией, например в рядах температур.

Список литературы

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 15. Алтай и западная Сибирь. Вып. 3. Нижний Иртыш и Нижняя Обь / под ред. к. т. н В. Е. Водогрещкого. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 426 с.
2. Саноцкая Н.А., Лоскутов Д.А., Ромашова К.В. Прогнозирование максимального уровня воды рек как обобщенного параметра состояния сложной нелинейной системы на основе использования многослойной нейронной сети // Технологии гражданской безопасности. 2022. Т. 19. № 2 (72). С. 14-20.
3. <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/>

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА АТМОСФЕРНЫХ ВЫПАДЕНИЙ ВАЛДАЙСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА

SEASONAL DYNAMICS OF CHANGES IN THE COMPOSITION OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION OF THE VALDAI NATIONAL PARK

Баранов Дмитрий Юрьевич

Институт геохимии и аналитической химии имени В.И. Вернадского РАН, Москва

Baranov Dmitry Yur'evich

Vernadsky Institute, Moscow

Введение

Химический состав дождевой воды формируется на протяжении всего периода развития облаков и выпадения осадков [Пруппахер и др., 1976]. Формирование состава атмосферных осадков происходит в результате внутриоблачного вымывания за счет адсорбции частиц и газов облачными каплями, а также подоблачного вымывания за счет растворения аэрозолей и газов приземного слоя атмосферы [Петренчук, Селезнева, 1962]. Эти процессы отражают общий региональный перенос воздушных масс и локальный перенос, связанный с состоянием приземного слоя атмосферы, влиянием местной циркуляции и поступлением аэрозольного материала за счет природных и антропогенных источников. Пространственное распространение пылегазовых эмиссий ограничивают температурные инверсии в зависимости от времени года. Сильные ветра обеспечивают перенос дисперсного материала на значительные расстояния, вызывая загрязнение тех регионов, где отсутствуют локальные источники. В мировой науке изучению влияния трансграничных воздушных переносов на водные и наземные экосистемы уделяется огромное внимание [Garmo et al., 2014; Moiseenko et al., 2016].

Существенное влияние на формирование состава атмосферных осадков оказывает растительность. Многие специалисты [Balestrini et al., 2007; Лукина и др., 2008] доказали, что состав дождевых вод сильно изменяется при их взаимодействии с пологом леса. При контакте атмосферных осадков с кронами деревьев смывается осевшая пыль, происходит насыщение продуктами метаболизма и выщелачивание элементов из живых клеток [Робакидзе и др., 2013].

Исследование химического состава атмосферных осадков проводили с целью изучения процессов подкисления и сезонной вариабельности состава выпадений. При повышении кислотности атмосферных выпадений возможно высокий рост интенсивности процессов выщелачивания основных катионов и тяжелых металлов, что может привести к превышению концентраций, нормирующих экологические показатели, и вызвать риск негативного влияния на окружающую среду.

Методика исследования

На территории исследования были выбраны 2 экспериментальных участка для изучения формирования атмосферных выпадений, оборудованные осадкоборниками. Исследования проводились с 2015 по 2019 гг. Первый участок располагался в 20 км северо-западнее г. Валдай, в лесной зоне, осадкоборник располагался под кронами преимущественно хвойных деревьев. Второй участок расположен в черте г. Валдай у о. Валдайское и оборудован осадкоборниками, которые располагались на открытых пространствах. Экспериментальный участок №1 был расположен вдали от населенных пунктов для того, чтобы исключить влияние

антропогенного фактора на химический состав атмосферных осадков и учесть изменения при взаимодействии с кронами деревьев. Участок №2 был расположен на открытом пространстве, чтобы исследовать региональный и локальный фон, а также возможное антропогенное влияние.

Пробоотбор проб атмосферных осадков осуществляли согласно методике Eaton et al. (1992). Измерение pH, Eh, электропроводности, (приборы MettlerTolledo) проводили в полевых условиях на месте отбора проб. В лаборатории Валдайского филиала Государственного гидрологического института (ГГИ) проводили химические анализы проб атмосферных осадков и почвенных вод сразу после их отбора. Пробы фильтровали через фильтры «Merck (Millipore)» 0,45 мкм для всех анализов, кроме определения мутности. Перманганатную окисляемость определяли титриметрическим методом; щелочность – методом потенциометрического титрования. Катионо-анионный состав (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} , HCO_3^- ; Cl^- ; NO_3^- ; PO_4^{3-}) измерялся с помощью ионного хроматографа Dionex ICS-6000EG (ГЕОХИ РАН), а также спектрофотометрическими методами в сразу после отбора проб. Микроэлементный состав (Si, Al, Fe, Cu, Ni, Co, Zn, Mn, Pb, Cd др.) определяли методами ICP AES, ICP MS в Институте геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского (ГЕОХИ РАН).

Результаты

Годовые суммы осадков за период наблюдения (2015-2019 гг.) составляют 580-970 мм (Рис. 3.1). Это близко к многолетним среднегодовым значениям, равным для последних 10 лет 825 ± 180 мм [Недогарко, 2021]. Среднее отклонение от среднегодовой величины составляет 19,7%, что меньше средних колебаний осадков за долговременный период (27,3%-40,1%).

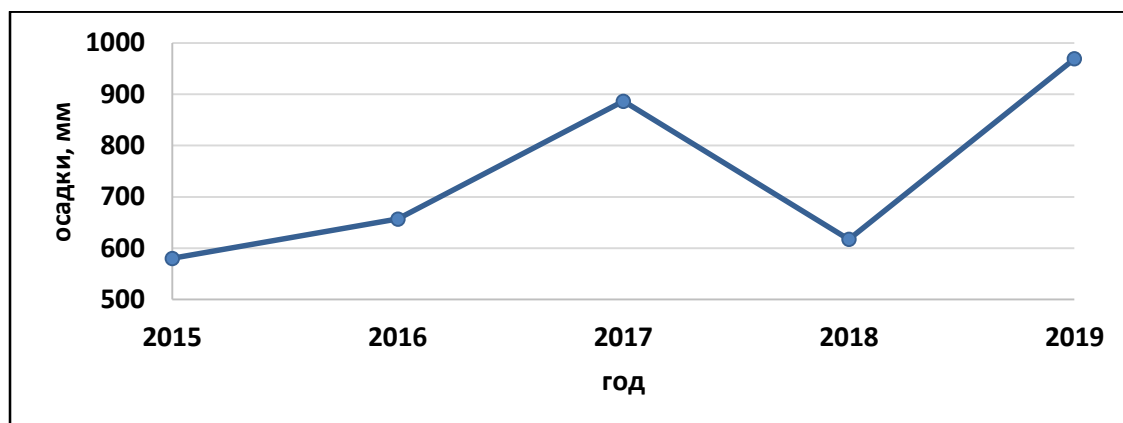


Рис.1. Динамика изменения количества атмосферных осадков за период исследования.

В летний период регистрируются наиболее обильные атмосферные выпадения, которые составляют более 20% от среднегодовых выпадений. Весной и осенью среднее количество выпадений за период исследований варьирует от 112 до 117 мм, что составляет 25% и 30% соответственно от среднелетних выпадений. Наиболее заметные колебания доли сухих дней отмечаются летом: от 11% до 67%.

Дождевые осадки открытых осадкосборников являются околонеutralными водами $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ состава с высокой долей участия Na^+ и SO_4^{2-} . Общая минерализация уменьшается от весны к осени. Подкроновые осадки являются подкисленными водами $\text{HCO}_3\text{-K}$ состава. Летом подкроновые воды имеют сульфатно-гидрокарбонатно-калиевый состав. Общая минерализация атмосферных осадков подкроновых и открытых участков снижается от весеннего периода к осеннему. Независимо от сезона минерализация подкроновых вод выше минерализации атмосферных осадков открытых участков. За счет смыва элементов с крон деревьев происходит обогащение подкроновых осадков (следствием этого является повсеместная более высокая минерализация, чем в осадках открытых пространств).

Преобладание Ca^{2+} и HCO_3^- в атмосферных осадках открытых пространств свидетельствует о привносе минеральной пыли и частичным ее растворении, а присутствие нитрат-ионов, как одного из основных компонентов анионного состава атмосферных осадков открытых пространств, может указывать антропогенное поступление азота в окружающую среду. Калиево-гидрокарбонатный состав подкроновых осадков свидетельствует о значительном вкладе биогенной составляющей, наряду с геохимической. При увеличении количества дней без осадков содержание основных ионов в атмосферных осадках открытых пространств и в подкроновых водах растет, что связано с накоплением пыли в приземном слое атмосферы. Исключение составляют гидрокарбонат-ионы, концентрация которых растет с увеличением количества осадков. Вероятно, это связано с временем взаимодействия дождевых вод и углекислого газа атмосферы.

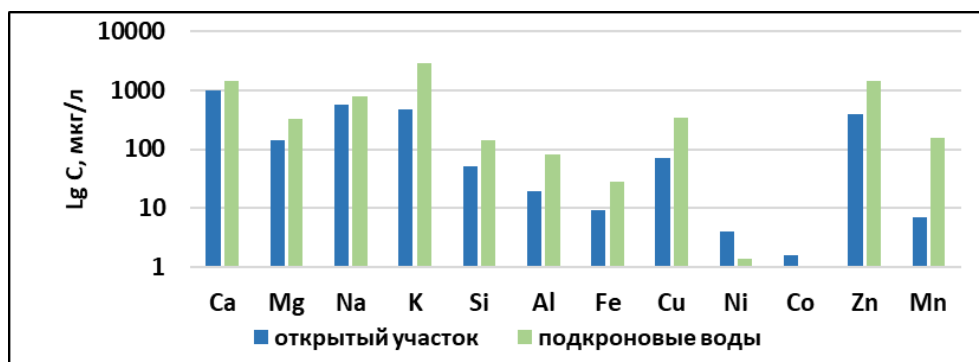


Рис. 2. Содержание элементов в подкроновых водах и атмосферных осадках.

На рисунке 2 представлены данные о среднем содержании элементов в атмосферных осадках открытых участков и подкроновых вод независимо от смены сезона года. Полученные результаты указывают на обогащение подкроновых вод большинством исследуемых элементов. Исключением являются данные о содержании Ni. Повышение концентрации никеля в атмосферных осадках фоновых участков связано с возрастанием содержания поллютантов в аэрозолях, распространяющихся на значительные расстояния [Ершов, 2020]. Можно предположить, что на поступление Ni в атмосферные осадки влияет локальный и общерегиональный перенос. Количество K, Si, Cu, Zn в подкроновых водах превышает их содержание в атмосферных осадках открытых пространств более чем на порядок, а для Mn разница между концентрациями достигает двух порядков. Mn является эссенциальным элементом и контрастнее отражает аутигенное влияние древесного полога на состав атмосферных осадков. По сезонам наблюдаются вариабельность содержаний элементов в подкроновых водах и осадках открытых участков, однако общий тренд обогащения подкроновых вод большинством исследуемых элементов не изменяется.

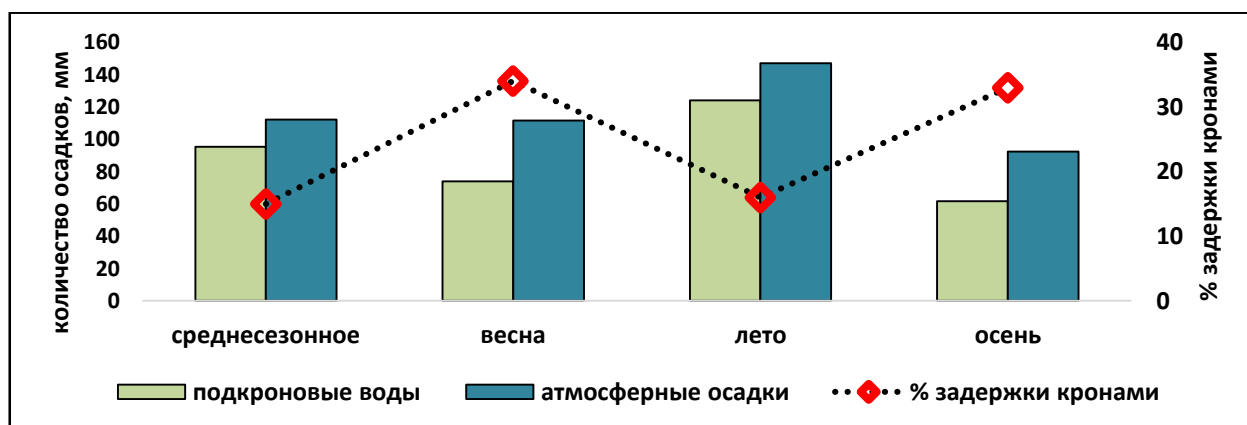


Рис. 3. Количество атмосферных выпадений на открытом пространстве и под кронами деревьев.

На протяжении всего периода исследований наблюдается снижение количества осадков, достигающих поверхность почвы в лесной зоне (рис. 3), по сравнению с открытыми площадками, за счет задержки влаги кронами деревьев. Разница в количестве дождевых вод колеблется от 15 до 34%, полученные нами данные подтверждают исследования, проводимые ранее [De Vries et. al., 2003].

Заключение

По результатам проведенных исследований установлено, что с увеличением сухих дней содержание основных ионов увеличивается. В длительные засушливые периоды в приземном слое воздуха происходит скопление пыли, вследствие чего содержания основных ионов после промывки атмосферными осадками становится максимальным.

Во временном масштабе, по сезонам, состав атмосферных осадков имеет широкую вариабельность. Пространственные различия характеризуются повышением содержания Ni, Co, Pb в атмосферных осадках на территории города Валдай. Статистический анализ показал доминирующее влияние факторов биогенного характера на содержания большинства элементов в осадках в лесу и высокий вклад сульфат-ионов на концентрации элементов в атмосферных осадках безлесной территории.

Атмосферные осадки, контактируя с пологом хвойного леса значительно обогащаются Mn, K, Si, Cu, Zn, содержание элементов увеличивается на порядок. Тип вод приобретает аутигенный генезис (НСОЗ-К), а нейтральные значения рН снижаются до слабокислых.

Список литературы

1. *Ершов В.В.* Мониторинг состава атмосферных и почвенных вод в лесных экосистемах: достижения и перспективы // Вопросы лесной науки, выпуск «Лесное почвоведение». – 2020 – Т. 3 – № 2 – с.1-34.
2. *Лукина Н.В., Полянская Л.М., Орлова М.А.* Питательный режим почв северотаежных лесов // М.: Наука – 2008, 342 с.
3. *Недогарко И.В.* Валдайские озера (обзор результатов наблюдений за 1946-2018 гг.) // Санкт-Петербург: РИАЛ, – 242 с.
4. *Петренчук О.П., Селезнева Е.С.* Изменение концентраций основных химических примесей в осадках в зависимости от метеорологических условий // Тр. ГГО – 1962 – № 134 – с. 14-25.
5. *Прунпахер Г. Р., Кэдл Р. Д., Хайди Г. М.* Химия нижней атмосферы // М.: Мир – 1976, 408 с.
6. *Робакидзе Е.А., Гормонова И.В., Бобкова К.С.* Химический состав жидких атмосферных осадков в старовозрастных ельниках средней тайги // Геохимия. – 2013. – № 1. С. 72-83.
7. *Balestrini R., Arisci S., Brizzio M.C., Mosello R., Rogora M., Tagliaferri A.* Dry deposition of particles and canopy exchange: comparison of wet, bulk and throughfall deposition at five forest sites in Italy // Atmospheric Environment. – 2007. – Vol. 41. – p. 745-756.
8. *De Vries W, Reinds G.J, Vel E.* Intensive monitoring of forest ecosystems in Europe 2: atmospheric deposition and its impacts on soil solution chemistry // Forest Ecology and Management. – 2003 – Vol. 174. – p. 97- 115.
9. *Garmo Ø.A., Skjelkvåle B.L., de Wit H.D., Colombo L., Curtis C., Fölster J., Hoffmann A., Hruška J. et al.* Trends in Surface Water Chemistry in Acidified Areas in Europe and North America from 1990 to 2008 // Water, Air, Soil Pollut. – 2014 – p. 1-14.
10. *Moiseenko T.I., Gashkina N.A., Dinu M.I.* Enrichment of Surface Water by Elements: Effects of Air Pollution, Acidification and Eutrophication // Environ. Process. – 2016 – № 3. – p. 39-58.

УДК 551.513 (551.461)

Рубрика 37.27.17.

ВЗАИМОСВЯЗЬ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ И УРОВНЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

INTERRELATION OF ATMOSPHERIC CIRCULATION AND THE CASPIAN SEA LEVEL

Наурызбаева Жанар Куанышевна, Ивкина Наталья Ивановна

Республиканское государственное предприятие «Казгидромет», Управление гидрометеорологических исследований Каспийского моря, Алматы, Казахстан

Naurozbayeva Zhanar Kuanyshevna, Ivkina Natalya Ivanovna

Republican State-owned Enterprise "Kazhydromet", Caspian Sea Hydrometeorological Research Department, Almaty, Kazakhstan

Введение

Каспийское море по естественным условиям делится на три части: Северная, Средняя и Южная. Условная граница между Северным и Средним Каспием проходит по линии от острова Чечень до Тюб-Караганского мыса, а граница между Средним и Южным Каспием — по линии остров Жилой — мыс Ган-Гулу. Восточная часть Северного Каспия мелководна с низменным побережьем и малыми уклонами дна. Здесь средняя глубина составляет 2 м, а максимальная, в районе Уральской Бороздины, 8-10 м. Рельеф дна осложнен наличием банок, островов. Она является полузамкнутым водоемом, гидрологический режим которого формируется в условиях континентального, аридного климата и определяется стоком вод рек Урала и Волги. Она практически изолирована от непосредственного влияния вод Среднего Каспия. Для данного района характерна постоянная миграция береговой линии, вызываемая периодическими повышениями и понижениями уровня воды под действием ветра, так называемые сгонно-нагонные явления.

Колебания уровня Каспийского моря могут быть краткопериодные и длиннопериодные. Процесс колебания уровня оказывает непосредственное влияние на деятельность человека и экологическую обстановку региона. В прошлом столетии уровень Каспийского моря претерпел два длительных экстремальных изменения: понижение на 3 м в период с 1930 по 1977 гг. и повышение на 2.5 м с 1978 по 1995 гг. Данные изменения заинтересовали многих ученых, проводились исследовательские работы, а также попытки прогнозирования дальнейшего колебания уровня моря [1,5, 7, 9-10]. Кроме, того стоит отметить, что уровень моря обрел тенденцию снижения, что определяет актуальность работы [2].

На колебание уровня моря оказывают влияние прежде всего климатические изменения, антропогенные факторы, в большей степени зарегулированность стока рек, и тектонические процессы [1, 7]. Более того, данные факторы непрерывно изменяются в пространстве и во времени, и вступают в сложные взаимодействия друг с другом. Безусловно, определить какой фактор влияет в большей или в меньшей степени крайне сложно. Таким образом, рассмотрение факторов влияющих на колебание уровня моря должно быть разносторонним и обновляться с некоторой периодичностью.

В работе проведена оценка воздействия атмосферных процессов в Атлантико-Европейском секторе северного полушария на уровень Каспийского моря на основании данных дней с формами общей циркуляции атмосферы Вангенгейма-Гирса. Исходные данные охватили временной промежуток с 1900 по 2021 гг. Значения уровня моря и ледовые явления были использованы с пунктов наблюдений Казахстана и России. Проведен статистический и сравнительный анализ данных, оценка климатического изменения. В ходе исследования отмечена устойчивая зависимость между уровнем моря и циркуляцией атмосферы.

Цель работы, исходная информация и метод исследования

Цель: оценка изменений уровня Каспийского моря в зависимости от количества дней разных форм циркуляции атмосферы по Вангенгейму-Гирса и особенности ледового режима в связи с климатическими изменениями.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- выявление современных тенденций временного хода уровня Каспийского моря и оценка их устойчивости;
- анализ изменений климатических параметров во временном интервале 1900-2021 гг.;
- оценка значимости статистической связи между изменениями уровня моря и общей циркуляции атмосферы за весь период исследования и за отдельные промежутки;
- оценка изменений ледового режима.

Исходными данными послужили значения станций и постов Северного и Среднего Каспия: фоновый уровень Каспийского моря; среднемесячный уровень моря по морским станциям и постам; количество дней с формами общей циркуляции атмосферы Вангенгейма-Гирса; максимальная толщина льда на морских станциях Северного Каспия; характерные даты ледового режима, атмосферные осадки. Временной период охватил 1900-2021 гг.

При проведении исследования были использованы методы статистического анализа [3-4]. Методика решения первой и второй задач предполагала оценку средних скоростей межгодовой изменчивости среднегодовых уровней Каспия, форм ОЦА. При этом, как средняя скорость подобного процесса рассматривалось значение углового коэффициента линейного тренда соответствующего временного ряда, которое вычислено в «скользящем окне» 10 лет. При решении 3-4 задачи применен метод корреляционного анализа и критерий Стьюдента [3-4].

Результаты исследования

С начала проведения инструментальных наблюдений до настоящего времени выделяются три характерных периода в многолетнем ходе уровня: аномально продолжительное падение уровня (1930-1977 гг.), аномально продолжительный подъем (1978-1995 гг.) и медленное снижение (2005 г. - по настоящее время) [1, 5, 7]. История Каспийского моря характеризуется сложным ходом природных процессов. В историческое время происходила неоднократная смена низких и высоких стояний уровня Каспия.

Наиболее достоверные сведения об уровне Каспийского моря имеются с 1900 г. На рисунке 1 приведен гидрограф колебаний уровня за период инструментальных наблюдений, который еще раз подтверждает, что уровень Каспийского моря, как замкнутого водоема, в отличие от колебаний уровня в морях, подвержен значительным многолетним, межгодовым и сезонным колебаниям.

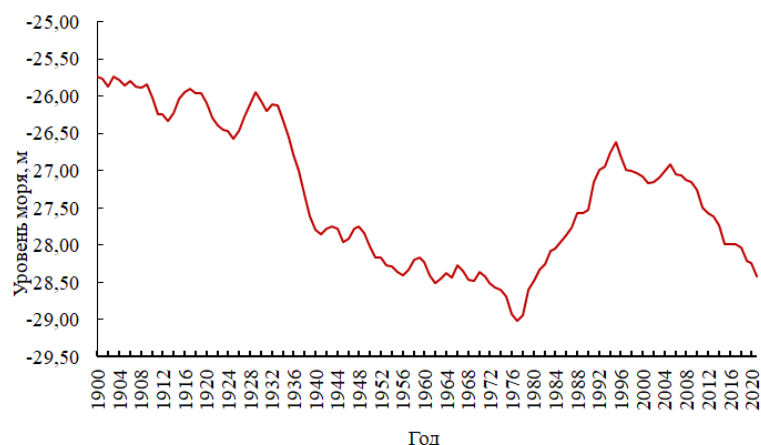


Рис. 1. Многолетние колебания уровня Каспийского моря

Современное падение уровня моря привело к негативным последствиям:

- обмеление протоков, сокращение нерестилищ, увеличение засоления приводит к сокращению площадей кормовых угодий для рыбного стада, что приведет к снижению уловов, и как следствие, создаст проблему рыбодобывающим предприятиям;
- осложнение хозяйственной деятельности в прибрежной и мелководной зонах, особенно уязвимыми стали хозяйствующие субъекты, связанные с работой портовых сооружений и морскими перевозками;

Последствия колебаний уровня Каспийского моря наиболее сильно выражены в северо-восточной, мелководной части. Уже сейчас, снижение уровня моря более чем на 1 м способствовало изменению положения береговой линии Каспийского моря, особенно в казахстанском секторе.

За последний период площадь водной поверхности моря уменьшилась более чем на 23 тыс. км², причем половина приходится на казахстанскую часть Северного Каспия [2].

Начиная с 2006 г., уровень Каспийского моря имеет тенденцию к снижению. В 2021 г. его отметка составила –28,43 м БС, а в декабре 2021 г. уровень доходил до отметки –28,68 м БС. За этот период площадь водной поверхности моря уменьшилась на 23 тыс. км², причем половина приходится на казахстанскую часть Северного Каспия. В казахстанском северо-восточном секторе диапазон колебаний уровня в 2021 г. находился в пределах от минус 29,10 до минус 27,79 м БС, а средний уровень составил минус 28,43 м БС.

В данной работе проведен статистический анализ временного хода числа дней общей циркуляции атмосферы форм E, C, W с 1900 по 2021 гг., рассмотрены зависимости с колебаниями уровня моря. В ходе исследования выявлено, что в последние десятилетия наблюдается увеличение повторяемости типа циркуляции E, доля вклада типа W, также имеет вес. И не редко наблюдаются смешанные типы: W + E, E + W.

Изменения в интенсивности типов W и E существенно влияют на температурный фон, ветровой режим и в следствие на толщину льда и распределение ледового покрова. Как уже было отмечено в ранее выполненных работах [6], ветровой режим сменил основные сектора, среднемесячная температура воздуха претерпела существенные изменения, в особенности в марте, сумма отрицательных температур уменьшилась и зимы перешли в разряд умеренных и мягких. Все это привело к уменьшению толщины льда, кромка льда смещена в более высокие широты. Эти изменения нашли отражение в изменениях циркуляции атмосферы. Западный перенос способствует притока теплого воздуха с Атлантики, Черного моря. Меридиональная

циркуляции способствует частым выходам южным теплым воздушным массам. А заливы с Арктики, Сибири и Монголии ослабли.

При рассмотрении периода с 1970-2021 гг., можно заметить, что повышение уровня моря в период с конца 70-х до конца 90-х годов совпадает с тенденцией увеличения количества дней с формами циркуляции W и С. При интенсивном проявлении формы W циклоническая деятельность с Атлантики смещается на восток, так же смещается и Азорский максимум. При такой ситуации в северных частях водосбора р. Волга количество осадков превышает норму. Увеличение выпадения атмосферных осадков, приводит к росту стока, уменьшению испарения – соответственно увеличению уровня моря. Ситуация от начала 2000 по 2021 год совсем другая, наблюдается сочетание господства форм E и С. При этом чаще наблюдается антициклональная погода, значительный дефицит осадков и, как следствие, уменьшение стока и уровня воды. Некоторые колебания в уровень вносит форма С, при выходах средиземноморских циклонов, богатых осадками.

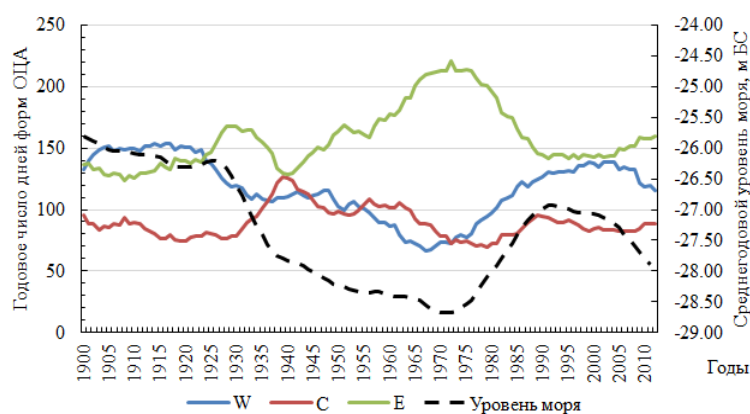


Рис. 2. Временной ход годового числа дней форм ОЦА и среднегодового уровня моря по скользящим десятилетиям за период 1900-2021 гг.

При рассмотрении скользящих десятилетий (рисунок 2) коэффициент корреляции между зависимостями уровня с формой W равна 0,97, а с формой E = 0,84, что говорит о хорошей устойчивой связи. Что согласуется с ранее полученными выводами [5, 7-10].

Ввиду сложного рельефа поверхности уровень моря были привлечены данные среднемесячных уровней моря по станциям Северного (Пешной, о. Тюлений и о. Кулалы) и Среднего Каспия (Актау, Форт-Шевченко и Махачкала), а также количество дней форм циркуляции по месяцам за тот же период.

В результате, за период с 1970 по 2021 гг. средний уровень Северного и Среднего Каспия в холодный и теплый период в стадии увеличения соответствует росту числа дней с формой циркуляции W и падению числа дней с E, а в стадии падения – наоборот. При этом форма циркуляции С способствует некоторым колебаниям уровня.

В условиях быстрого климатического изменения процессы формирования ледового покрова, продолжительность фаз ледового периода претерпевают изменения. Проведен статистический анализ данных, согласно классификации суровости зим по сумме градусо-дней, определены типы зим и даны сравнительные характеристики параметров ледового режима. В 40-50-х гг. толщина не редко превышала 1 метра, а в последние десятилетия на северо-востоке Каспийского моря не превышает даже 50 см. Таким образом, толщина уменьшилась на северо-востоке на 20-28 см; на северо-западе Северного Каспия на 20-25 см; в Среднем Каспии – на 13-17 см. Толщина льда на Среднем Каспии уже достигла критических значений, участились годы безледного зимнего периода.

Соответственно изменились и характерные даты: период ледостава уменьшился на 18 дней в Северном Каспии и на 27 дней в Среднем. Дата максимальной толщины льда в Пешном сместилась на 13 дней к началу года, а на о. Кулалы не изменилась. Полное очищение в Среднем Каспии наступает раньше в последние годы, уже к концу первой декады января льда нет.

Причина данных изменений заключена в глобальных процессах, в изменениях циркуляции атмосферы. Как показали результаты исследований изменений общей циркуляции атмосферы, представленные в работах [5-6], отмечается увеличение западного переноса до 20 дней за зимний период, индекса *W* по классификации Вангенгейма-Гирса, и уменьшение циркуляции формы *E*. Подобный процесс приводит к ослаблению влияния отрогов Сибирского антициклона, влиянию западного переноса, притока теплых воздушных масс.

Выводы

В ходе исследования отмечена устойчивая зависимость между уровнем моря и циркуляцией атмосферы, выявлены закономерности изменения ледового режима моря. Максимальные толщины льда уменьшились на 13-28 см, в зависимости от акватории, характерные даты смещены, ледовый период сократился в среднем на 10-14 дней.

Практическая значимость исследования состоит в обосновании целесообразности учета при планировании судоходства и рыболовства в Северном Каспии, фактора изменений климата в области питания реки Волга, который влияет на изменения, как его уровня, так и ледовых условий. Указанный фактор в дальнейшем способен вызвать существенное усложнение ледовых условий в Северном Каспии и повлиять на безопасность жизнедеятельности населения прибрежных территорий России и Казахстана.

Список литературы

1. Гидрометеорология и гидрохимия морей, том VI. Каспийское море. Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометеоиздат. - 1992. - Вып. 1. - 359 с.
2. Генеральный каталог уровня Каспийского моря. Официальный сайт КАСПКОМ. – [Электронный ресурс]. 2020. Режим доступа – <http://www.caspcom.com/index.php?razd=sess&lang=1&sess=17&podsess=61>
3. *Закс Л.* Статистическое оценивание. М.: Статистика. - 1976. - 598 с.
4. *Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е.* Практикум по климатологии. Часть 1. (учебное пособие). Санкт-Петербург. - 2011. - 144 с.
5. *Мещерская А.В., Голод М.П., Белянкина И.Г.* Колебания уровня Каспийского моря в связи с особенностями общей циркуляции атмосферы в XX веке. Материалы специальной сессии Ученого совета Центра международного сотрудничества по проблемам окружающей среды, посвященной 80-летию академика М.И. Будыко. Санкт-Петербург. Наука. 2002. - С. 180-194.
6. *Наурузбаева Ж.К., Лобанов В.А.* Изменение ветрового режима северного и среднего Каспия в холодное полугодие. // Ежеквартальный научно-технический журнал «Гидрометеорология и экология». - 2020 г. - № 4. - С. 36-45.
7. *Никонова Р.Е.* О причинах и последствиях многолетних колебаний уровня Каспийского моря в XX-XXI столетиях // Труды ГОИН.- 2008.- Вып. 211. С.127-151.
8. *Огородов С.А., Архипов В.В., Землянов И.В., Цветинский А.С.* Воздействие ледяного покрова на дно северного Каспия в условиях колебания уровня и ледовитости // Труды государственного океанографического института. - № 215. - 2014. - С. 170-182.

9. *Фролов А.В.* Особенности механизма многолетних колебаний уровня Каспийского моря. // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. - № 55. - 2019. - с. 120-128.
10. *Яготинцев В.Н., Поставик П.В.* Уровень Каспийского моря в прошлом и настоящем. // Труды географического общества Республики Дагестан. - № 41. - 2013. - С. 26-40.

УДК 551.5

Рубрика 37.27.31

ЛЕДОВЫЙ РЕЖИМ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ РЕКИ ПЕЧОРЫ ПО ДАННЫМ
НАБЛЮДЕНИЙ ЗА 1980–2020 ГОДЫ

THE ICE REGIME OF THE MOUTH OF THE PECHORA RIVER ACCORDING TO
OBSERVATIONS FOR 1980–2020

Севастьянова Людмила Юрьевна

ОГМС Нарьян-Мар, Нарьян-Мар

Sevastyanova Ludmila Yurievna

OGMS Naryan-Mar, Naryan-Mar

Введение

Ледовый режим характеризуется повторяющимися процессами образования, развития и разрушения ледяного покрова на водных объектах.

Объектом исследования данной работы является ледовый режим устьевой области реки Печоры и Печорской губы.

Цель работы – обобщение результатов материалов наблюдений группы гидрологии устья реки Печоры объединенной гидрометеорологической станции Нарьян-Мар за период 1980 – 2020 годов.

В ходе работы были выполнены следующие задачи:

1. Изучен и проанализирован материал за многолетний период наблюдений;
2. Организованы экспедиционные выезды на объект наблюдения;
3. Выполнены стандартные наблюдения за ледовыми явлениями и толщиной льда на водном объекте.

Группа гидрологии устья Печоры объединенной гидрометеорологической станции Нарьян-Мар изучает гидрологический, ледовый и гидрохимический режимы устьевой области реки Печоры с 1968 года [Справочно-аналитический обзор, 2015]. Все работы выполняются согласно Государственному заданию.

Таблица 1. Список постов и створов, расположенных в устьевой области реки Печора

Номер поста, створа по схеме	Водный объект	Название поста	Период действия	
			открыт	закрыт
1	р. Печора	гидроствор № 10	01.03.1979	действует
2	р. Печора	ГП-1 с. Оксино	1916 12.07.1968	15.03.1964 действует
3	р. Печора	гидроствор № 1	20.05.1973	действует
4	Рукав Большая Печора	МГП-2 д. Осколково	03.08.1968	действует
5	Рукав Малая Печора	МГП-2 д. Андег	11.06.1974	действует
6	Прот. Городецкий Шар	гидроствор № 11	24.05.2011	действует
7	Прот. Городецкий Шар	МГП-2 г. Нарьян-Мар	16.07.1927	действует
8	Прот. Голубковский Шар	гидроствор № 2	20.05.1973	действует

В работе обобщены данные с постов ГП-1 с. Оксино, МГП-2 д. Осколково, МГП-2 д. Андег, МГП-2 г. Нарьян-Мар, МГ-2 Мыс Константиновский и МГ-2 Ходовариха (табл. 1).

Гидрологические наблюдения проводились в закрепленных местах за одними и теми же элементами в единые сроки.

Данные и методы

С 1 июля 2022 года подведомственные учреждения Росгидромета перешли на использование в оперативно-производственной практике климатических норм, рассчитанных за период 1991-2020 годы [<https://www.meteorf.gov.ru>].

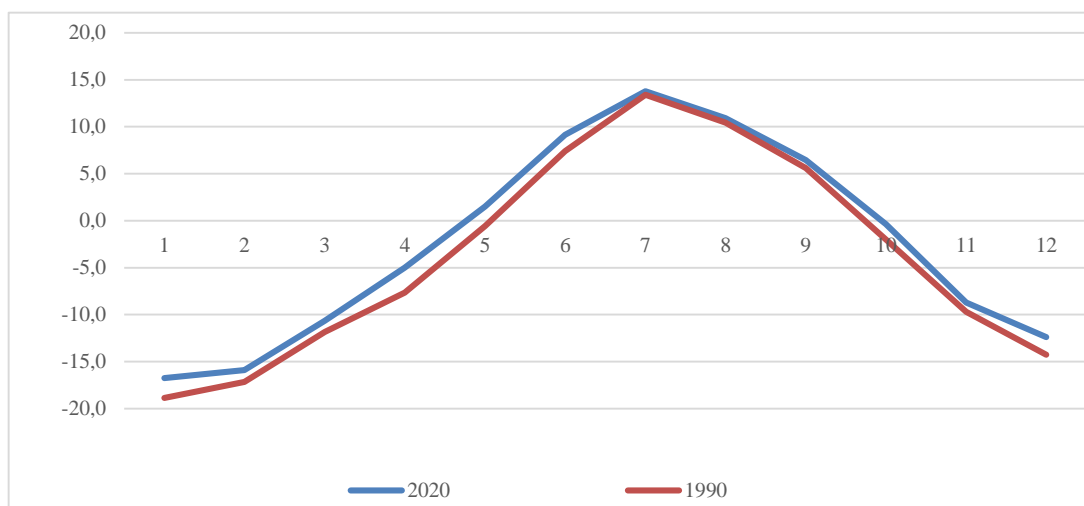


Рис 1. График среднемесячных температур по данным метеостанции г. Нарьян-Мар

Нормы среднемесячных температур и сумм осадков посчитаны за период 1991-2020гг. Согласно данным по среднемесячной температуре воздуха и осадков по г. Нарьян-Мар построены графики, которые показывают, что с увеличением температуры воздуха доля жидких осадков увеличивается в годовой сумме (Рис. 1, 2). Средние температуры воздуха

превышают среднемноголетние значения и способствуют более позднему ледообразованию на акватории дельты реки Печора.

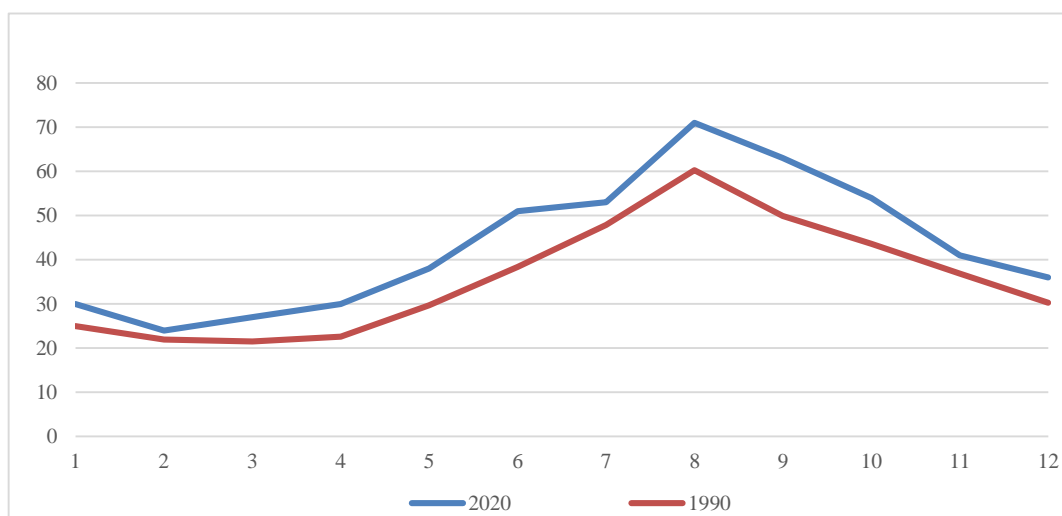


Рис 2. График суммы осадков по данным метеостанции г. Нарьян-Мар

Результаты

Прирост толщины льда в дельте реки Печора начинается с переходом температур воздуха через отрицательные значения и, варьируется, в зависимости от месяца в зимний период. Максимум достигается в марте и апреле по всем постам наблюдений (табл.2). По всем постам наблюдений толщина льда фиксируется меньше среднемноголетней нормы. За многолетний период достижение максимального значение в 104 см достигнуто лишь на МГ-2 Ходовариха в 2009 году.

Таблица 2. Толщина льда и высота снега на льду (см) на акватории дельты реки Печоры в зиму 2019-2020 года (факт/норма)

Месяц	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Наибольшая толщина льда
с.Оксино	35/31	40/49	70/66	64/78	66/86	74/90		130 см 20.05.1998г.
г.Нарьян-Мар	40/34	47/51	63/69	14/22	92/91	80/91		141 см 31.03.1985г.
д. Андег	30/33	39/50	53/68	69/79	76/89	78/93		134 см 30.04.1979г.
д.Осколково	32/29	47/47	56/64	69/75	78/83	73/84	71/78	117 см 10.03.1987г.
Мыс Константиновский			54/76	60/90	67/98	71/104		160 см 20.05.1981
Кузнецкий залив	13/29	70/44	79/64	82/79	101/86	104/88	104/67	104 см 10.05.2009

В апреле повышение температур воздуха способствуют образованию водяных заберегов, первых подвижек льда и разрушению припая или прохождению ледохода. Первые признаки разрушения льда по всем постам наблюдается раньше среднемноголетней нормы на

1-14 дней. Первая подвижка или взлом припая фиксируются на 6-23 дня раньше нормы. Полное очищение ото льда происходит на 9-23 дня раньше многолетних значений (Рис. 3).

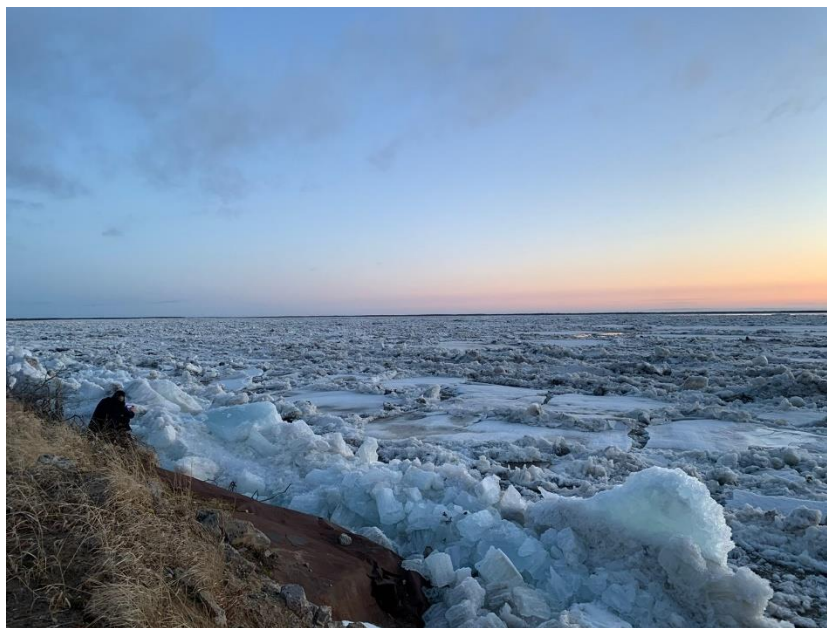


Рис 3. Ледоход на реке Печора, 2022 г.

Продолжительность ледостава и периода со всеми ледовыми явлениями сокращается на всех постах наблюдений в зависимости от года и среднемесячных температур (табл.3).

Таблица 3. Даты начала разрушения и очищения ото льда акватории дельты реки Печоры

Станция	Период	Первые признаки разрушения льда	Образование водяного заберега	Первая подвижка (взлом)	Полное разрушение припая/ледоход	Окончательное очищение ото льда	Число дней со льдом
с.Оксино	2020	08.05	08.05	13.05	16.05	17.05	205
	1940-2020	09.05	09.05	20.05	22.05	25.05	218
г.Нарьян-Мар	2020	10.05	10.05	14.05	25.05	17.05	209
	1910-2020	16.05	16.05	24.05	26.05	28.05	222
д. Андег	2020	10.05	10.05	16.05	16.05	19.05	200
	1975-2020	11.05	11.05	23.05	24.05	27.05	199
д.Осколково	2020	12.05	12.05	17.05	17.05	19.05	213
	1975-2020	14.05	14.05	25.05	26.05	29.05	220
МГ-2 Мыс Константиновский	2020	05.05	н/б	23.04	24.05	31.05	220
	1959-2020	19.05	24.05	08.06	16.06	22.06	245
МГ-2 Ходовариха	2020	20.05	н/б	04.06	07.06	07.06	221
	1971-2020	28.05	7.06	19.06	19.06	23.06	246

Заключение

Полученные результаты показали, что практически все фазы ледового режима в дельте реки Печора происходят в срок или раньше среднемноголетних значений. Толщина льда уменьшается в сравнении с многолетними значениями и не достигает максимальных исторических значений. Этому способствует изменения температур воздуха в сторону положительных значений и погодные условия, которые оказывают влияние на прирост толщины льда и его максимальные значения.

Данные примеры являются конкретным вкладом в изучение ледового режима устьевой области реки Печоры. Анализ данных может быть применен для проектирования и строительства, для развития судоходства в дельте Печоры, при разведке и добыче нефти и газа на шельфе, для развития рыбной ловли, для сельского хозяйства и других отраслей экономики.

Финансирование

Все виды наблюдений осуществлены при выполнении государственного задания в системе Росгидромета.

Список литературы

1. Справочно-аналитический обзор гидрологического режима устьевой области реки Печора / Е.В. Борщенко, Д.В. Мишин, Г.С. Ермакова [и др.]: под ред. Е.В. Борщенко, О.В. Горелиц. – Москва – Иваново: ПресСто, 2021. – 152 с.
2. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам/ Вып. 3. Часть 1. – Лениздат, 1985. – 300 с.
3. <https://www.meteorf.gov.ru>

УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ РЕВЕРСИВНЫХ ВОДНЫХ ПОТОКОВ В ПРИЛИВНЫХ РЕКАХ

EQUATION OF REVERSIBLE WATER FLOWS IN TIDAL RIVERS

Алабян Андрей Михайлович^{1,2}¹ *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва*² *Институт водных проблем РАН, Москва***Alabyan Andrei Mikhailovich**^{1,2}¹ *Lomonosov Moscow State University, Moscow*² *Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow*

Уравнение неустановившегося движения водных потоков в 1D представлении (первое уравнение в системе уравнений Сен-Венана) обычно записывают в виде

$$\frac{\alpha_0}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\alpha v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + J_{\text{тр}} = J \quad (1)$$

где v – скорость потока, осредненная по поперечному сечению; g – ускорение свободного падения; x – продольная координата вдоль динамической оси потока, направленная на устьевых участках рек в сторону моря; t – время; $J = -\frac{\partial z}{\partial x}$ – «геометрический» уклон, где z – отметка водной поверхности; $J_{\text{тр}}$ – «уклон трения»; α_0 – коэффициент Буассинеса или корректив количества движения; α – коэффициент Кориолиса или корректив кинетической энергии. Для «обычных» рек считается, что коррективы скорости не изменяются ни во времени ни в пространстве (поэтому они вынесены за дифференциал), и вообще их значение близко к единице, ввиду чего при расчетах ими часто пренебрегают.

Уклон трения в уравнении (1) при неустановившемся движении воды определяется исходя из допущения, что он соответствует уклону установившегося равномерного потока, имеющего такие же гидравлические параметры и морфометрические характеристики, как и рассматриваемый неустановившийся поток. Для его определения обычно используются формулы Шези, Шези-Маннинга или Дарси-Вейсбаха:

$$J_{\text{тр}} = \frac{v^2}{C^2 R} = \frac{n^2 v^2}{R^{4/3}} = \frac{\lambda v^2}{8gR} \quad (2)$$

где R – гидравлический радиус русла; C – коэффициент Шези, n – коэффициент шероховатости; λ – безразмерный коэффициент гидравлического трения.

Для реверсивных потоков на приливных участках рек, где направление течения может меняться, в формулах (2) для уклона трения вместо квадрата скорости v^2 используется выражение $v|v|$. Это дает возможность задать направление действия силы гидравлического сопротивления против направления течения [Михайлов, 1970]. Такая параметризация в настоящее время является общепринятой при 1D моделировании приливных рек.

Однако наши исследования последних лет, выполненные в приливных устьях рек Беломорского бассейна с использованием современного гидрометрического и геодезического оборудования, показали, что в реверсивных потоках в определенные фазы приливного цикла

гидравлическое сопротивление может принимать отрицательные значения [Алабян, Панченко, 2017] (рис. 1).

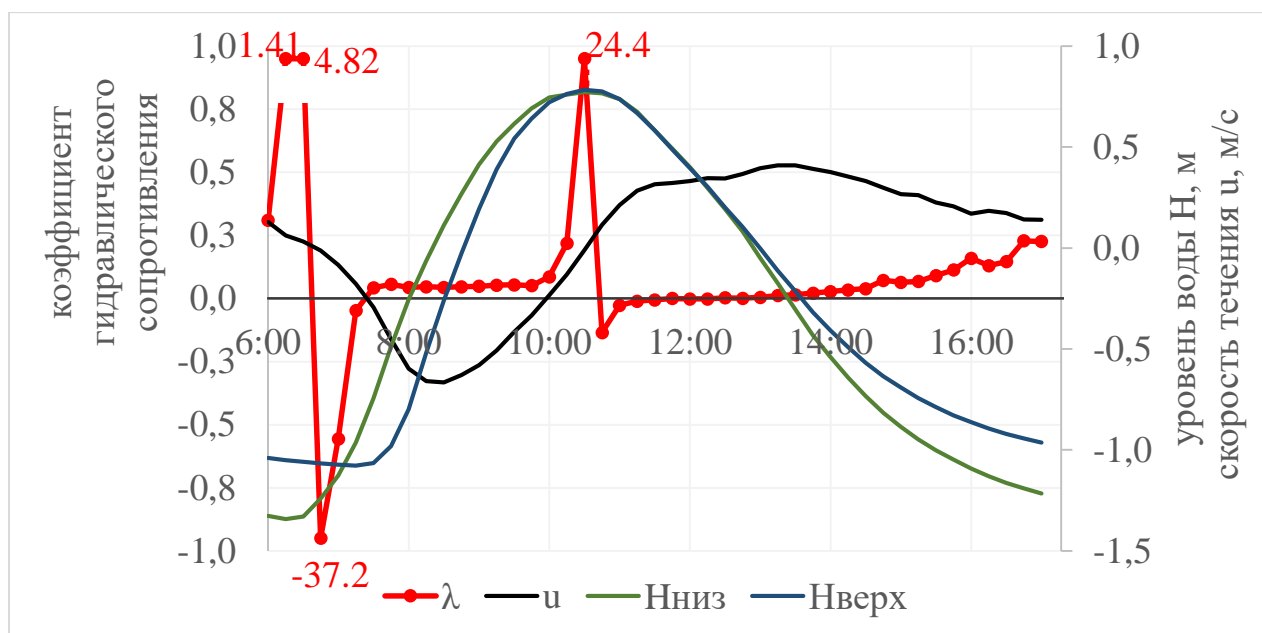


Рис 1. Изменение коэффициента гидравлического сопротивления λ , средней скорости течения (u) и уровней воды в верхнем (Нверх.) и нижнем (Нниз.) створах в ходе приливного цикла на р. Кянде 04.08.2016 г. [Panchenko, Alabyan, 2022]

Этот феномен не имеет «противопоказаний» с точки зрения гидродинамики, и может быть объяснен проявлением отрицательной турбулентной вязкости, присущей пульсирующим потокам [Старр, 1971]. В приведенных выше наиболее распространенных формулах для расчета уклона трения только для коэффициента λ принятие отрицательных значений будет приводить к отрицательным значениям уклона трения. Значения коэффициента шероховатости в «обычных» формулах для уклона трения возводятся в квадрат, следовательно для того, чтобы при его отрицательном значении уклон трения становился бы отрицательным, вместо квадрата надо использовать произведение $n|n|$ (аналогично тому, как это делалось для скорости течения). Таким образом, значение уклона трения при реверсивном характере потока, допускающем возникновение отрицательного сопротивления должен иметь вид:

$$J_{\text{тр}} = \frac{nv|nv|}{R^{4/3}} \quad (3)$$

Коррективы скорости отражают неравномерность распределения скоростей течения по поперечному сечению русла, при этом коэффициент Буссинеска рассчитывается по формуле $\alpha_0 = 1 + \frac{\int \Delta v^2 d\omega}{v^2 \omega}$, а коэффициент Кориолиса $\alpha = 1 + 3 \frac{\int \Delta v^2 d\omega}{v^2 \omega}$, где ω - площадь поперечного сечения, а Δv - отклонение местной скорости от средней по сечению. Исследование вариации коррективов скорости в приливных реках Беломорского бассейна, выполненные по записям акустических доплеровских профилографов, показали, что их значения существенно изменяются в течение приливного цикла (рис. 2). Вследствие этого в уравнении (1) их нельзя выносить за дифференциал, как это делалось при допущении их неизменного значения [Христианович и др., 1938], и уравнение движения с учетом (3) примет вид

$$\frac{1}{g} \frac{\partial(\alpha_0 v)}{\partial t} + \frac{v}{g} \frac{\partial(\alpha v)}{\partial x} + \frac{nv|nv|}{R^{4/3}} = -\frac{\partial z}{\partial x} \quad (4)$$

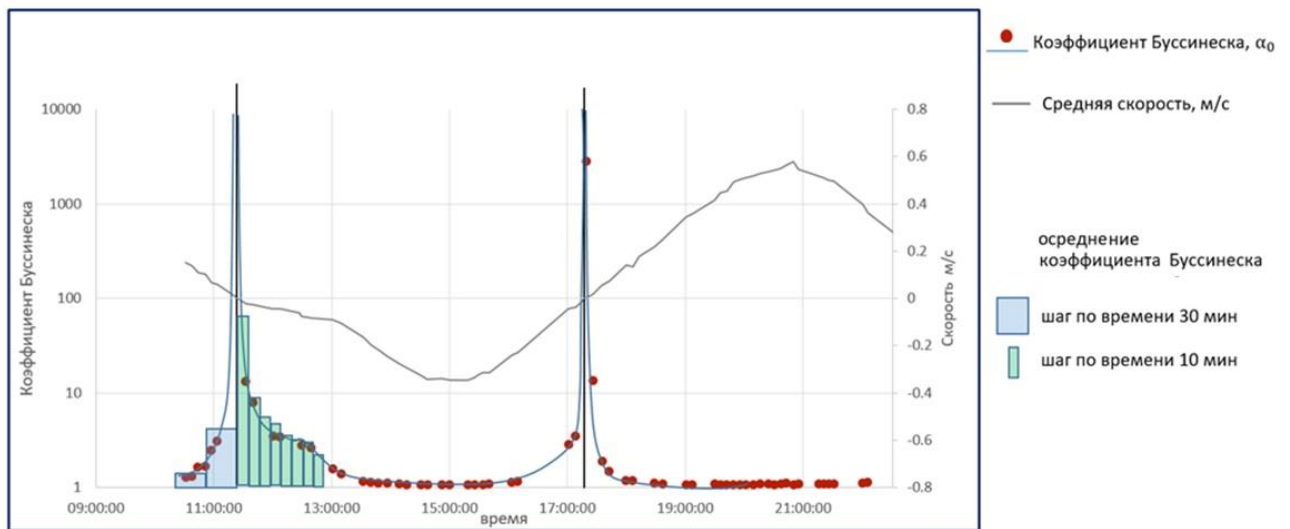


Рис 2. Изменение коэффициента Буссинеска в течение приливного цикла в протоке Маймакса в дельте Северной Двины 30.07.2016

Исходя из самих формул для расчета коррективов скорости видно (средняя скорость течения стоит в знаменателе), что при смене направления течения их значения становятся бесконечно большими, и при расчетах существенное значение приобретает период времени, за который производится осреднение. Таким образом, принимая во внимание, что $\int_{\omega} \frac{\Delta v^2 d\omega}{\omega} = \overline{\Delta v^2}$ коррективы скорости могут быть записаны как $\alpha_0 = 1 + \frac{\Delta v^2}{v}$ и $\alpha = 1 + 3 \frac{\Delta v^2}{v}$, а уравнение (4) может быть приведено к виду

$$\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\Delta v^2}{v} \right) + \frac{3v}{g} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\Delta v^2}{v} \right) + \frac{nv|nv|}{R^{4/3}} = -\frac{\partial z}{\partial x} \quad (5)$$

Появление дополнительной неизвестной функции $\frac{\Delta v^2}{v}$ делает систему уравнений Сен-Венана незамкнутой, ввиду чего очередным этапом исследований должен стать поиск выражения для этой функции, а также вклада «дополнительных членов» уравнения в течение приливного цикла.

Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-01184,

Список литературы

1. Алабян А. М., Панченко Е. Д. Гидравлическое сопротивление в приливных устьях и феномен отрицательного трения в речной гидравлике // *Инженерные изыскания*. — 2017. — № 3. — С. 24–32.
2. Михайлов В.Н. О кинематике потока в устье реки // *Труды ГОИН*, 1970, вып. 98, с. 5-22.
3. Старр В. Физика явлений с отрицательной вязкостью. М.: Мир. 1971. 261 с.

4. *Христианович С. А., Михлин С. Г., Девисон Б. Б.* Некоторые новые вопросы механики сплошной среды. М.-Л.: Изд-во АН СССР. 271 с.
5. *Panchenko E., Alabyan A.* Friction factor evaluation in tidal rivers and estuaries // METHODSX. 2022. Vol. 9. P. 101669. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mex.2022.101669>

ДИНАМИКА ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА И ПРОЦЕССЫ СЕДИМЕНТАЦИИ
В МАКРОПРИЛИВНОМ ЭСТУАРИИ КУЛОЯ
SUSPENDED SEDIMENT DYNAMICS AND SEDIMENTATION PROCESSES IN
MACROTIDAL ESTUARIES OF MEZEN AND KULOY

Демиденко Николай Александрович¹, Алабян Андрей Михайлович²

¹ *Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва*

² *Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва*

Demidenko Nikolay Aleksandrovich¹, Alabyan Andrey Michailovich²

¹ *Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow*

² *Moscow State University M. V. Lomonosov, Moscow*

Введение

Гидродинамические и геоморфологические процессы, происходящие в макроприливном эстуарии Кулоя, полностью подчиняются воздействию приливной волны. Основная цель изучения динамики взвешенного вещества и процессов седиментации состоит в определении речных и морских факторов, влияющих на динамику наносов и особенностей литодинамических процессов.

Экспедиционные исследования эстуария Кулоя, которые проведены авторами в 2007–2022 гг. показали, что высокая концентрация взвешенных наносов по сравнению с прилегающими районами реки и моря, наблюдается на участках реверсивных течений. Концентрация наносов определялась весовым методом посредством фильтрования проб, отобранных в течение приливного цикла, при одновременной регистрации гидравлических параметров водного потока.

Максимальная величина сизигийных приливов в эстуарии Кулоя достигает 10 м, в квадратуру – 4.8 м. Скорости приливных течений во время сизигии равны 2.5 м/с. Соленость воды изменяется от 3.5 до 24.0 епс. Максимум мутности в нижней части эстуария Кулоя достигает 8,7 кг/м³ в малую воду за счет концентрации взвешенных наносов в придонном горизонте. В поверхностном горизонте, даже при смене направления течения и в период стоячей воды, мелкие глинистые частицы находятся во взвешенном состоянии. Мутность воды в поверхностном горизонте сохраняется в пределах 0,05–0,10 кг/м³. Увеличению мутности способствует ветровое волнение на взморье и интенсивная абразия берегов в эстуариях. Условия хозяйственного использования устья реки Кулоя зависят от приливов. Судоходство может осуществляться лишь в период полной воды, и требует учета динамики фарватера.

Объект исследования

Мезенский залив и устьевые области рек Мезени и Кулоя расположены в Архангельской области, в юго-восточной части Белого моря. Устьевая область Мезени и Кулоя относится к эстуарному типу. Она имеет сложную структуру, которая включает два речных устьевых участка, два расширяющихся вниз по течению приливных эстуария и общее устьевое взморье – южную часть Мезенского залива (рис. 1). Вершина устья р.Кулой располагается в районе д.Карьеполье, в 100 км от устьевого створа. Вершина эстуария Кулоя расположена в

40 км от УС, в 8 км выше по течению от с.Долгощелье, у м.Заячий Нос. За устьевой створ этой реки принимается линия по траверсу м.Карговский–м.Харин Нос. Воронкообразный эстуарий Кулоя имеет площадь 80 км². Ширина эстуария Кулоя в устьевом створе в полную воду составляет 4.5 км, в вершине эстуария выше с.Долгощелье – 0.5 км. Длина устьевое участка Кулоя выше эстуария составляет около 60 км [Система..., 2012].

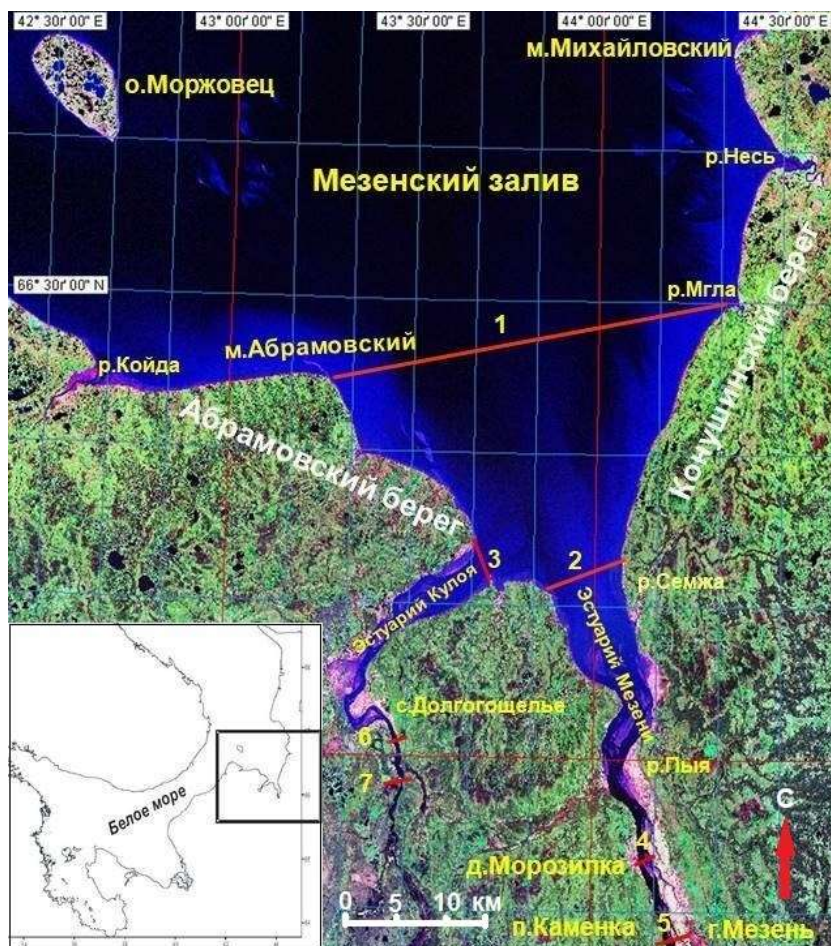


Рис. 1. Схема Мезенского залива и устьевой области рек Мезени и Кулоя. 1 – граница устьевое взморья: м.Абрамовский – р.Мгла; 2 – устьевой створ эстуария Мезени; 3 – устьевой створ эстуария Кулоя; 4 – граница проникновения морской воды в эстуарий Мезени; 5 – вершина эстуария Мезени у м.Белый Нос; 6 – граница проникновения морской воды в эстуарий Кулоя выше с.Долгощелье; 7 – вершина эстуария Кулоя у м.Заячий Нос.

Данные и методы исследований

Для исследования гидрологического режима эстуария Кулоя использовались как стандартные приборы, принятые для наблюдений в Росгидромете, так и современные измерительные комплексы. Для измерения приливных колебаний уровня использовались автономные записывающие устройства – логгеры двух типов: Levelogger Solinst модель 3001 LT F15/M5, Levelogger Edge модель 3001, записывающие показания уровня и температуры воды при длительном мониторинге подземных и поверхностных вод и датчики модели DST-senti-TD для измерения уровня моря, температуры и солености. Высотная и плановая привязка мгновенных уровней над средним уровнем моря и места отбора проб воды проводилась с помощью приемников DGPS Trimble 5700, являющейся базовой станцией на реперах, принадлежавших ГМС Семжа и порту Каменка, и переносным приемникам JavadTriumph-VS и JavadTriumph-1.

Измерение скоростей течения и приливных расходов воды в эстуариях Мезени и Кулоя производились с помощью измерителей скорости течения ИСП-1 в зоне пресных речных вод, акустических доплеровских измерителей расхода воды ADCP 1200 Rio Grande в зоне смешения пресных и соленых вод и измерителя ADCP серия RiverRay в морской части эстуариев. Точность измерений расходов не превышал 5%. Синхронно в расходном створе с помощью логгера измерялись приливо-отливные колебания уровня.

Для измерения температуры и солености воды на суточных станциях и при производстве продольных разрезов вдоль эстуариев применялся многопараметровый зонд YSI серии 6600. Отбор проб воды для определения концентрации взвешенного вещества в различных зонах эстуариев производился с помощью пластиковой емкости с поверхностного горизонта и батометром Нискина объемом 3 л с глубинных горизонтов. Для определения весовой концентрации вещества – при мутности воды свыше 1 кг/м^3 , пробы фильтровались через плотные бумажные фильтры на вакуумном приборе Куприна, при более низких концентрациях взвеси – через мембранные фильтры с диаметром пор $0.45\ \mu\text{м}$ на фильтровальной установке. Погрешность измерений не превышала $\pm 3\%$. Грунтовые съемки с отбором поверхностного слоя наносов (5–10 см) производились синхронно с промером и во время остановки судна при помощи дночерпателей различных конструкций.

Обсуждаемые результаты

Гидрологический режим устья реки Кулоя

Режим уровней воды в устьевой области реки Кулоя зависит от водоносности, заторов и зажоров, сгонов и нагонов, приливо-отливных колебаний уровня и течений. Годовой ход уровня воды характеризуется хорошо выраженным подъемом весной и низкими уровнями воды в периоды летней и зимней межени [Ресурсы..., 1972]. Амплитуда стоковых колебаний уровня воды в низовьях Кулоя – 3.5–4 м. Сток по устью Кулоя получен расчетным путем и средний расход в вершине устьевой области р.Кулой у д.Карьеполье равен $180\ \text{м}^3/\text{с}$, объем стока – $6.76\ \text{км}^3/\text{год}$ [Геоэкологическое..., 2007]. Коэффициент вариации годового стока равен 0.19. Сток наносов в устье р.Кулой не исследован.

Гидрологический режим эстуария Кулоя

Наиболее ярко выражены в Мезенском заливе приливные полусуточные колебания уровня. Максимальная величина полусуточных приливов в Мезенском заливе с севера на юг возрастает в сторону эстуария Кулоя от о.Моржовец до м.Карговский и равна 10.1 м. По мере продвижения приливной волны к вершине мелководного залива она трансформируется. Время роста уровня быстро уменьшается по сравнению со временем падения уровней воды. Приливные колебания уровня воды в устьевой области р.Кулой распространяются на расстояние до 100 км от устьевого створа [Система..., 2012].

В эстуарии Кулоя среднемноголетнее значение сизигийных приливов у м.Харин Нос (устьевой створ) составляет 7.9 м и квадратурных – 5.8 м. В период равноденственных приливов в сизигию величина прилива достигает 9.5 м и в квадратуру – 4.8 м. Продолжительность подъема уровня воды равна 5.1 ч, падения уровня воды – 7.3 ч, коэффициент асимметрии приливной волны $K_{ac}=0.34$. Начиная от устьевого створа м.Харин Нос – м.Карговский, вверх по эстуарию Кулоя, приливы уменьшают свою величину незначительно и в районе м.Бараний (13 км от УС) прилив уменьшается на 10%, достигая величины 7.1 м в сизигию и 4.1 м в квадратуру. Значительная трансформация приливной волны происходит в средней части эстуария на осыхающих отливных отмелях и осередках в районе м.Митинского и с.Долгощелье. В вершине эстуария Кулоя, в районе м.Заячий Нос, в 8 км выше по течению от с.Долгощелье, величина прилива в промежутки достигает значения

3.1 м, что составляет 45% от величины прилива на устьевом створе у м.Харин Нос (в промежутке величина прилива равна 6.8 м).

Во время сизигийных приливов наибольшие скорости приливного течения на устьевом створе Кулоя отмечаются через 3 ч после МВ и за 1.5 ч до ПВ и достигают 1.4 м/с. Наибольшие скорости отливного течения наблюдаются через 2.5 ч после ПВ и достигают 1.2 м/с. При смене течений в ПВ и МВ скорости падают до нуля. Главной особенностью режима приливных течений в эстуариях Мезени и Кулоя является то, что наибольшие скорости на приливе превышают максимум отливных скоростей, что объясняется большой интенсивностью приливного подъема уровней и образованием больших обратных уклонов водной поверхности за сравнительно короткое время после смены течения (рис. 2).

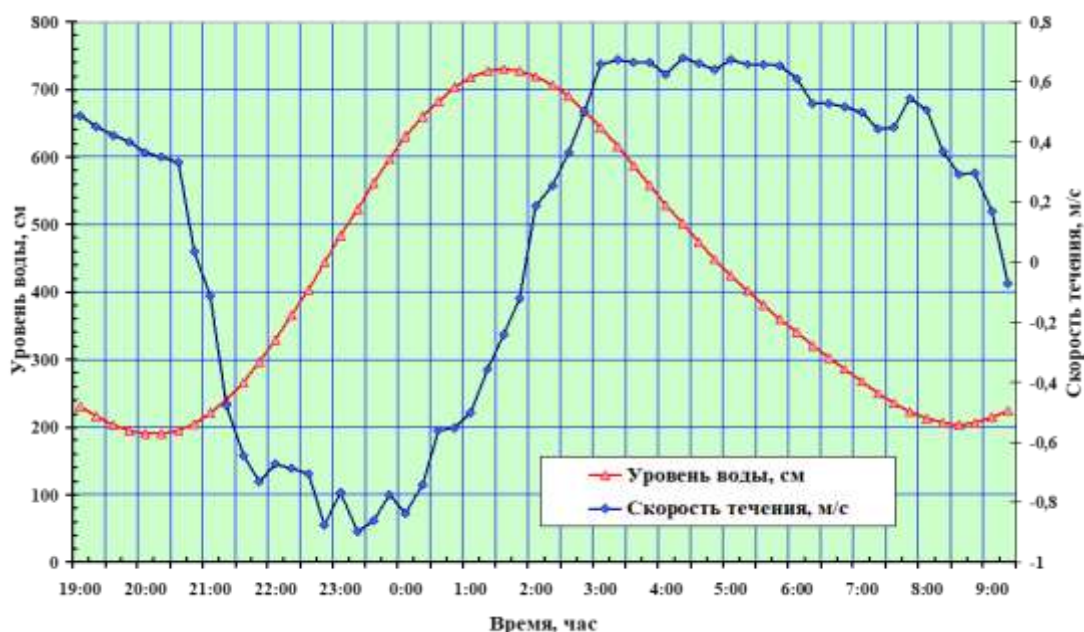


Рис. 2. График изменения уровня воды и скорости течения на горизонте 2.0 м в эстуарии Кулоя за приливный цикл на станции 5 (створ м.Лиственичный) 28-29 июля 2007 г.

В других частях эстуария, скорости приливных и отливных течений больше, чем в нижней части эстуария Кулоя. На участке с.Долгощелье скорость течения во время прилива достигает наибольших для эстуария Кулоя значений до 2.5 м/с. Далее в сторону вершины эстуария скорости приливных течений уменьшаются до 1.25 м/с, отливного – 1.1 м/с. Смена течений в этом месте происходит через 10 мин после МВ. Продолжительность приливного течения здесь 2.6 ч, отливного – 9.8 ч.

Максимальный приливной расход на устьевом створе эстуария Кулоя достигает 40000 м³/с. Максимальный расход воды в период промежуточных приливов в вершине эстуария Кулоя, измеренный в августе 2018 г., изменялись за приливный цикл более чем в 2 раза, составляя 1045 м³/с в отлив и 2256 м³/с в период прилива).

В эстуарии Кулоя формируется зона смешения речных и морских вод. Протяженность зоны смешения в эстуарии Кулоя составляет 34 км. Максимальные значения солёности воды в устьевых створах эстуариев (26 епс) наблюдаются при сизигийных приливах и штормовых нагонах в маловодную летнюю межень. В эстуарии Кулоя дальность проникновения солёных вод с солёностью 1 епс составляет 34 км от УС. Средняя величина продольных градиентов солёности составляет 1.5–2.0 епс на 1 км, достигая на отдельных участках значений 3.0–4.0 епс. Вертикальный градиент солёности не превышает 0.1–0.4 епс на 1 м.

Наблюдения на суточных станциях в устьевом створе эстуария Кулоя (станция – траверз м.Лиственичный) в летнее время 2007 г. показали, что соленость воды на устьевом створе эстуария Кулоя при квадратурных приливах изменяется за приливный цикл в пределах 17.0–23.0 епс. В устьевом створе эстуария Кулоя соленость воды изменяется в пределах 6.0–24.0 епс в зависимости от фазы прилива [Система..., 2012].

Динамика взвешенных наносов в эстуарии Кулоя

Эрозионно-аккумулятивные процессы в прибрежной зоне моря и эстуарии Кулоя обусловлены приливными течениями, речными расходами воды и стоком наносов, ветровым волнением и вдольбереговым потоком наносов за счет абразии морских берегов. В балансе наносов, поступающих в эстуарий Кулоя, преобладают наносы морского происхождения. Наносы, перемещаемые вдольбереговыми течениями ветрового происхождения, составляют около 30% объема абразии. Остальная часть этого объема, преимущественно илистые частицы, переносятся приливными течениями.

В зоне смешения речных и морских вод из-за различной плотности и солевого состава наблюдаются различные механизмы, которые способствуют образованию крупных хлопьев из мелких взвешенных частиц: соленостная флокуляция, склеивание частиц органическим веществом, столкновение частиц в процессе их переноса, захват более крупными частицами более мелких при осаждении в спокойных условиях [Мак-Доуэлл, О'Конор, 1983; Dyer, 1986]. Очень часто трудно выделить главный механизм, ответственный за образование и разрушение хлопьев. Поэтому этот дискуссионный вопрос стимулирует исследования в других эстуариях и с применением новых методов [Гордеев, 2012; Демиденко, 2009; Мискевич и др., 2022]. В устье реки взвешенные наносы существуют в виде отдельных частиц, микрохлопьев и макрохлопьев. В переносе и разрушении хлопьев велика роль турбулентности воды. Скорость осаждения взвешенных хлопьев сильно зависит от концентрации взвешенных частиц в воде и изменяется в эстуариях с различием физико-химических свойств наносов [Гордеев, 2012].

Характерной особенностью динамики взвешенных наносов в зоне смешения речных и морских вод является формирование зоны максимальных значений мутности или “литоклина” [Мак-Доуэлл, О'Конор, 1983; Dyer, 1986]. Возникновение этой зоны обусловлено процессами флокуляции глинистых частиц и органического вещества, а также особенностями эстуарийной циркуляции воды [Демиденко, 1991, 2009; Dyer, 1986]. В ее пределах мутность воды значительно превосходит мутность в речных и морских водах. Образование максимума мутности в эстуариях Мезени и Кулоя зависит от трансформации и асимметрии приливной волны при ее проникновении к вершине эстуариев. Волна в прилив распространяется здесь с большей скоростью, чем во время отлива. В результате наносы в основном перемещаются в сторону приливног участка реки. Период смены течения в полную воду имеет большую продолжительность по сравнению с малой водой. Поэтому существуют предпосылки для аккумуляции части взвешенных частиц и увеличения объема отложений. При понижении уровня в малую воду взвешенные частицы концентрируются в стоково-отливных ложбинах, создавая максимум мутности (т.н. “пробки мутности”).

В период наблюдения на суточной станции в июле 2007 г. на фарватере эстуария Кулоя по траверзу м.Лиственичный (5 км от УС) при квадратурных приливах мутность воды в поверхностном горизонте изменялась от 0.06 кг/м³ в ПВ до 0.12 кг/м³ в МВ. Максимальное значение мутности в поверхностном горизонте достигало 0.32 кг/м³ и наблюдалось продолжительностью 1 ч при максимальных скоростях течения на фазе прилива. В период наблюдения в августе 2018 г. вблизи вершины эстуария Кулоя (34 км от УС) мутность воды

в поверхностном горизонте в ПВ составляла 0.6 кг/м^3 . В придонном горизонте, при подходе “пробки мутности”, концентрация взвешенного вещества в воде изменялась от 1.77 кг/м^3 в фазу прилива при максимальных скоростях течения 1.25 м/с и солености 2.53 епс до 5.75 кг/м^3 в ПВ при смене течений и солености $3,98 \text{ епс}$.

Эрозионно-аккумулятивные процессы в эстуарии Кулоя

Высокая мутность воды и транспорт наносов во всем Мезенском заливе и эстуарии Кулоя активно влияют на переформирование донных форм рельефа и морфологии всей устьевой области и береговой зоны залива. Песчаные отложения образуют вытянутые узкие приливные гряды в центральных частях эстуариев. Алевриты и илы отлагаются на береговых отмелях и на приливных осушках (приливных ваттах). В целом в эстуариях формируется так называемая “система удержания” осадков внутри эстуария, границы которых определяются с речной стороны пределом проникновения верхней части галоклина, а со стороны моря – зоной резкого снижения транспортирующей способности потока вследствие уменьшения скоростей течения.

Процессы интенсивного заполнения эстуария Кулоя морскими наносами происходит в его средней части. Показателем этого служит, например, блокирование русла и образование излучины ниже по течению от с.Долгощелье в районе о.Осередок – о.Старая Кошка ($29\text{--}31 \text{ км}$ от УС). В средней части эстуария Кулоя приливные и отливные течения избирают себе разные “каналы”. Приливный поток создает результирующий перенос вод и наносов в правых боковых “каналах”. На участке впадения в эстуарий Кулоя левых притоков р.Оленица–р.Поча ($20\text{--}25 \text{ км}$ от УС) была сформирована о.Середовая Кошка, которая постепенно соединилась с коренным берегом за счет заполнения илистыми наносами и превращением приливных осушек в обширные заболоченные лайды, затапливаемые в периоды сизигийных приливов и штормовых нагонов со стороны моря. У правого берега эстуария между северной оконечностью с.Долгощелье и м.Митинский сформировался огромный побочень, заросший травяной и кустарниковой растительностью, превратившийся в полого выпуклое урочище Чалковский Нос (27 км от УС) (рис. 3).

На устьевом взморье реки Кулоя перенос взвешенных наносов и прогрессирующая эрозия усиливаются при совместном воздействии волн и суммарных течений (как приливных, так и дрейфовых), которые трудно разделить. Поэтому, при исследовании переноса наносов на устьевом взморье необходимо рассматривать комбинацию двух процессов. Сильные приливные течения и ветровые волны на мелкой воде взаимодействуют нелинейно. Кроме того, сам поток наносов не совпадает с направлением приливных течений. Наносы, особенно песок, перемещаются сериями возвратно-поступательных движений во время следующих друг за другом приливов, и результирующий перенос будет векторной суммой всех таких движений за несколько приливов.

Приливные осушки нижней части эстуария Кулоя и Мезенского залива имеют полого выпуклую форму с уклоном в сторону моря $2\text{--}3^\circ$. Ширина приливной осушки составляет $700\text{--}800 \text{ м}$ и более. Средняя часть осушки занята окатанными валунами и щебнем, образующими небольшие гряды. Ближе к морскому краю осушки формируются илистыми отложениями, разделенными стоково-отливными бороздинами. По этим бороздинам перемещается осолоненная в зоне смешения вода в период отлива. Вязкие консолидированные илистые отложения покрывают поверхность морского края осушки толщиной до 1 м [Римский-Корсаков и др., 2018].

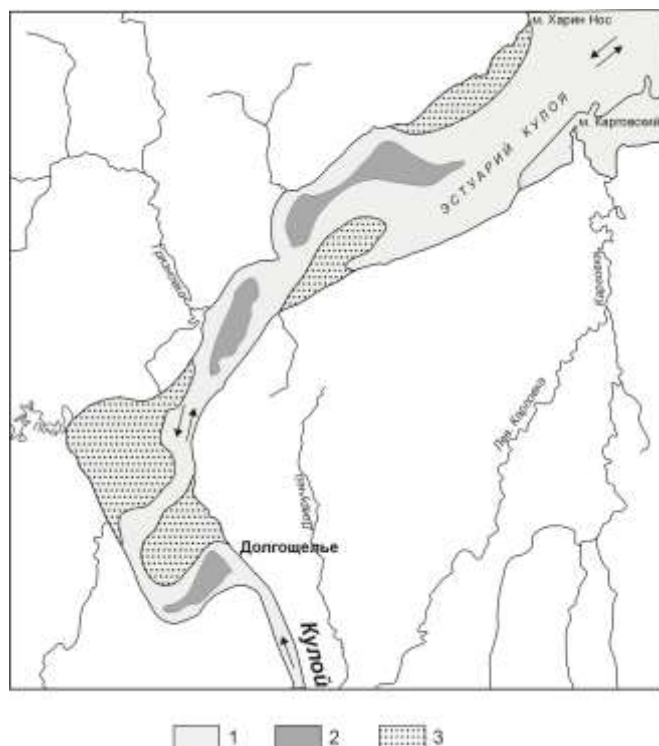


Рис. 3. Схема приливных осушек и осередков в малую воду в эстуарии Кулоя. 1 – водные объекты, 2 – осередки и острова, 3 – прибрежные отмели (осушки).

Верхняя прибрежная часть приливной осушки сложена из песка с обильным включением валунов. Средний размер окатанных моренных валунов составляет около 20 см в диаметре, максимальный – более 1.0 м. Если верхняя часть осушки слабо подвержена эрозии даже при сизигийных приливах и в период штормовых нагонов, она закрепляется солонатовалюбивой растительностью, формируя заболоченные “лайды” или марши [Эстуарно-дельтовые..., 2007].

В средней части Мезенского залива песчано-илистые осушки (ватты) переходят в подводные гряды и песчаные волны, фронт которых располагается почти нормально к генеральному направлению приливных течений. Наиболее распространенными являются песчаные волны или гигантская рябь (т.н. “кошки”) – серия гряд высотой 1–2 м. Шаг этих волн составляет 400–500 м, они образуются на отмелом дне при скоростях течения 0.3–0.8 м/с. Профиль песчаных волн асимметричный [Римский-Корсаков и др., 2018].

Таким образом, северо-восточная часть Белого моря, где расположен Мезенский залив и эстуарии Мезени и Кулоя, по геологическому строению и гидродинамическим условиям исключительно благоприятна для развития абразионных процессов в северных и средних частях и аккумуляции наносов морского происхождения в южной части залива и эстуариях.

Заключение

Динамика воды, солей и взвешенных наносов в устьевой области реки Кулоя тесно связаны с приливными и сгонно-нагонными явлениями в эстуариях, с величиной речного стока на устьевом участке реки и волновыми процессами на устьевом взморье. Изменчивость речных расходов воды, стоковых и приливных колебаний уровней и течений, ветрового волнения являются причиной изменения мутности и расхода наносов в эстуариях. Важную роль в пространственно-временном распределении наносов играют процессы смешения речных гидрокарбонатно-кальциевых и морских хлоридно-натриевых вод и наличие в эстуариях вод с различной плотностью.

На границе раздела вод с различной плотностью происходит интенсивное осаждение глинистых частиц в результате процессов коагуляции и флокуляции, приводящих к образованию глинистых хлопьев. Движение более крупных песчаных наносов прекращается, достигнув вершины клина соленой воды. Миграция клина соленых вод вдоль эстуария приводит к появлению зоны аккумуляции наносов и зоны максимальной мутности (“пробки мутности”).

Макроприливные эстуарии имеют воронкообразную форму устья и отличаются интенсивными эрозионно-аккумулятивными процессами. Асимметрия приливных и отливных течений приводит к формированию характерных русловых подводных форм и необратимым русловым деформациям. Наиболее характерной формой донного рельефа являются пологовыпуклые приливные осушки (приливные ватты) и мощные радиальные гряды. На дне эстуария Кулоя сформировались подводные аккумулятивные образования, находящиеся ближе к вершине эстуария, и происходит формирование надводных приливных дельт.

Финансирование

Исследование выполнено в ИО РАН в рамках темы Госзадания № FMWE–2021–0006. Аналитическая часть работы была выполнена при поддержке РФФИ (грант 20-05-00613).

Список литературы

1. Геоэкологическое состояние арктического побережья России и безопасность природопользования / Под ред. Н.И.Алексеевского. М.: ГЕОС, 2007. 585 с.
2. Гордеев В.В. Геохимия системы река-море. М.: И.П. Матушкина И.И. 2012. 452 с.
3. Демиденко Н.А. Типы движения наносов в приливных устьях рек // Тр. ГОИН. Гидрометеиздат. 1991. Вып. 198. С. 130–140.
4. Демиденко Н.А. Формирование максимума мутности воды в сильноприливных эстуариях Мезени и Кулоя // Геология морей и океанов: Материалы XVIII Международной научной конференции (школы) по морской геологии. Т. 4. М.: ГЕОС, 2009. С. 65–69.
5. Мак-Доуэлл Д.М., О’Конор Б.А. Гидравлика приливных устьев рек. М.: Энергоатомиздат, 1983. 312 с.
6. Мискевич И.В., Алабян А.М., Демиденко Н.А., Коробов В.Б., Панченко Е.Д. Гидродинамические аспекты формирования высокой мутности вод в малых приливных устьях Белого и Баренцева морей // Вестник Московского университета. Серия 5. География. Изд. МГУ. № 6. 2022. (В печати).
7. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 3. Северный край. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 662 с.
8. Римский-Корсаков Н.А., Коротаяев В.Н., Иванов В.В., Пронин А.А., Демиденко Н.А. Гидрологический режим и литологические процессы в эстуарии Мезени // Океанология. Т. 58, № 4, 2018. С. 1–9.
9. Система Белого моря. Т.2. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера (Отв. ред. А.П.Лисицын). М.: Научный мир, 2012. 784 с.
10. Эстуарно-дельтовые системы России и Китая: гидролого-морфологические процессы, геоморфология и прогноз развития (отв. ред. В.Н.Коротаяев). М.: ГЕОС, 2007. 445 с.
11. Dyer K.R. Coastal and estuarine sediment dynamics. Chichester, : Wiley, 1986. 342 p.

АНАЛИЗ СДВИГА ФАЗ УРОВНЯ И РАСХОДА ВОДЫ В ПРИЛИВНЫХ УСТЬЯХ РЕК
БАССЕЙНА БЕЛОГО МОРЯ

PHASE LAG ANALYSIS IN TIDAL ESTUATIES OF THE WHITE SEA

Панченко Евгения Дмитриевна^{1,2}, Лебедева Серафима Витальевна^{3,4}¹ *Институт водных проблем РАН, Москва*² *Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва*³ *Северное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды,
Архангельск*⁴ *Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, Москва***Panchenko Evgeniya Dmitrievna^{1,2}, Lebedeva Serafima Vitalievna^{3,4}**¹ *Water Problems Institute of RAS, Moscow*² *Lomonosov Moscow State University, Moscow*³ *Northern Agency for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, Arkhangelsk*⁴ *Zubov State Institute of Oceanography, Moscow*

В.Н. Михайлов, исследуя особенности распространения различных видов длинных волн, из уравнений движения и неразрывности вывел теоретическую схему последовательности наступления экстремальных значений гидролого-морфометрических характеристик (уровней, скоростей течения, уклонов водной поверхности, мутности и солености воды), в том числе для волны прилива [Михайлов, 1998]. Под его руководством для 18 устьевых областей на основании фактических данных были исследованы последовательность и продолжительность периодов между экстремумами уровня воды и скорости течения, а также моментами разворота течений [Михайлов, Даценко, 1973].

Исследование по аналогичной схеме, но уже с использованием современного гидрометрического и геодезического оборудования, было проведено для устьевых участков Мезени, Онеги, Северной Двины и малых рек бассейна Белого моря (Тамица, Кянда, Сёмжа, Лая) по данным полевых работ 2015 – 2022 гг. Использование акустических профилографов дало возможность анализировать временной ход в течение приливного цикла расходов воды, которые являются более подходящей характеристикой стока по сравнению со скоростью течения на одной вертикали, выбранной для подобного анализа [Полонский, 1987]. Как показывает анализ изменения скоростного поля, положение стрежня потока может существенно меняться в течение приливного цикла [Панченко и др., 2019].

В настоящем исследовании по данным измерений в 26 створах в разных приливных речных устьях, по аналогии с работой В.Н. Михайлова, определялись продолжительности четырех периодов между временами достижения экстремумов различных характеристик потока (рис. 1):

t_1 – период времени между началом приливного подъема уровня воды и разворотом течений в сторону реки;

t_2 – период времени между максимальным приливым (отрицательным) расходом воды и максимальным уровнем;

t_3 – период времени между наступлением полной воды и сменой направления течений с приливного на отливное;

t_4 – период времени между наступлением полной воды и максимальным отливным (положительным) расходом воды.

А также дополнительно был введен параметр:

t_5 - период времени, когда течение можно считать квазиустановившимся в конце фазы отлива.

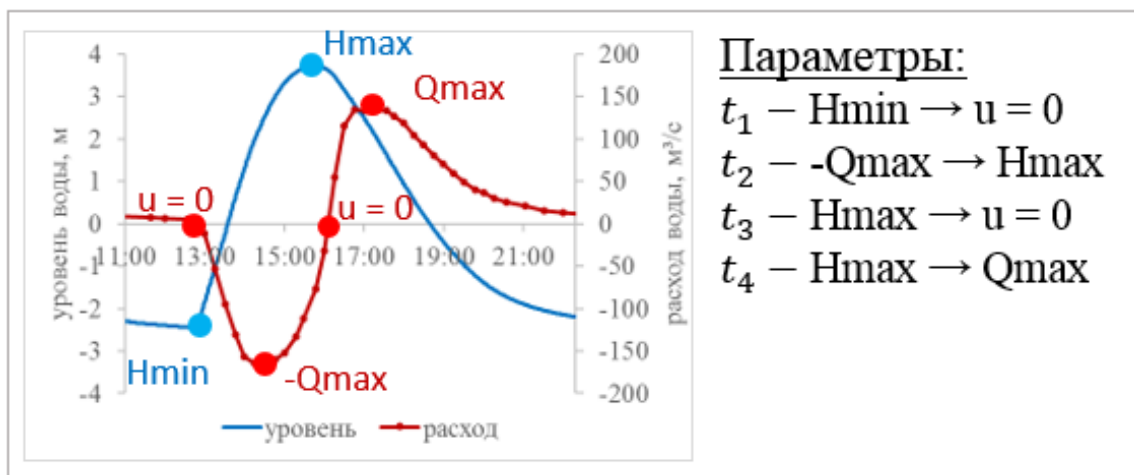


Рис.1. Иллюстрация временных периодов t_1 – t_4 на примере приливного цикла.

В ходе анализа определялись зависимости продолжительности этих периодов от величины прилива, отношения диапазона изменения расходов воды за приливный цикл к речному расходу воды, а также от фазы водного режима реки (межень, паводок). Для различных устьев продолжительности рассматриваемых временных периодов существенно различаются (рис. 2).

Продолжительность периода между началом приливного подъема уровней воды и остановкой течения с последующей сменой его направления (в сторону реки) t_1 варьирует от 0 часов (то есть разворот течения происходит практически одновременно с началом прилива) до 3 часов. В мезоприливных и макроприливных эстуариях (при величине прилива более 2 м, Мезень, Сёмжа, Онега в устьевом створе) в условиях межени разворот течений на приливе происходит практически одновременно с началом приливного подъема уровней воды или период между данными событиями не превышает 30 минут. При этом для малых рек (Сёмжа, Кянда, Тамица, Лая) характерна более быстрая смена направления течений вне зависимости от величины прилива.

Аналогичные зависимости характерны для периода t_3 (между наступлением полной воды и разворотом течений на отливе): для малых рек, независимо от величины прилива, и для устьев крупных рек с величиной прилива более 2 метров t_3 составляет менее получаса.

В условиях повышенного речного стока t_1 увеличивается, а t_3 , наоборот, сокращается, вплоть до изменения порядка наступления экстремумов (t_3 становится отрицательным). Случаи, когда смена направления течений наблюдалась раньше полной воды, были зафиксированы в эстуарии Онеги и на устьевом участке Тамицы в период дождевого паводка летом 2017 года. Обратный порядок наступления полной воды и разворота течений наблюдается также в сложных дельтовых разветвлениях независимо от фазы водного режима. Например, в истоке рукава Кузнечиха дельты Северной Двины t_3 составлял в разные серии измерений от -0,5 часов до 1,5 часов.

Период времени между максимальным приливным расходом воды и наступлением полной воды t_2 составляет менее часа для мезо- и макроприливных устьев рек (Мезень, Сёмжа), более часа – для микроприливных (при величине прилива менее двух метров) (Лая, Тамица, Кянда). Исключением из такой закономерности являются рукава дельты Северной Двины, где из-за манихи и сложного перераспределения стока по рукавам максимальный приливный расход воды наступает позже и время t_2 составляет 40 – 60 минут.

Время между наступлением полной воды и максимальным отливным расходом воды t_4 варьирует в наиболее широком диапазоне значений, зависит от размера реки и «интенсивности» прилива (отношения диапазона изменения расходов воды за приливный цикл к речному расходу воды): для устьев малых рек и эстуария Мезени не превышает 2 часов. Для рек с меньшей величиной прилива отливные расходы воды не имеют выраженного экстремума, в течение определенного периода наблюдается квазиустановившееся течение, это затрудняет определение времени наступления максимального расхода и приводит к существенному разбросу значений параметра t_4 .

В общих чертах полученные значения согласуются со схемой и оценками В.Н. Михайлова, однако в некоторых случаях существенно от них отличаются (табл. 1).

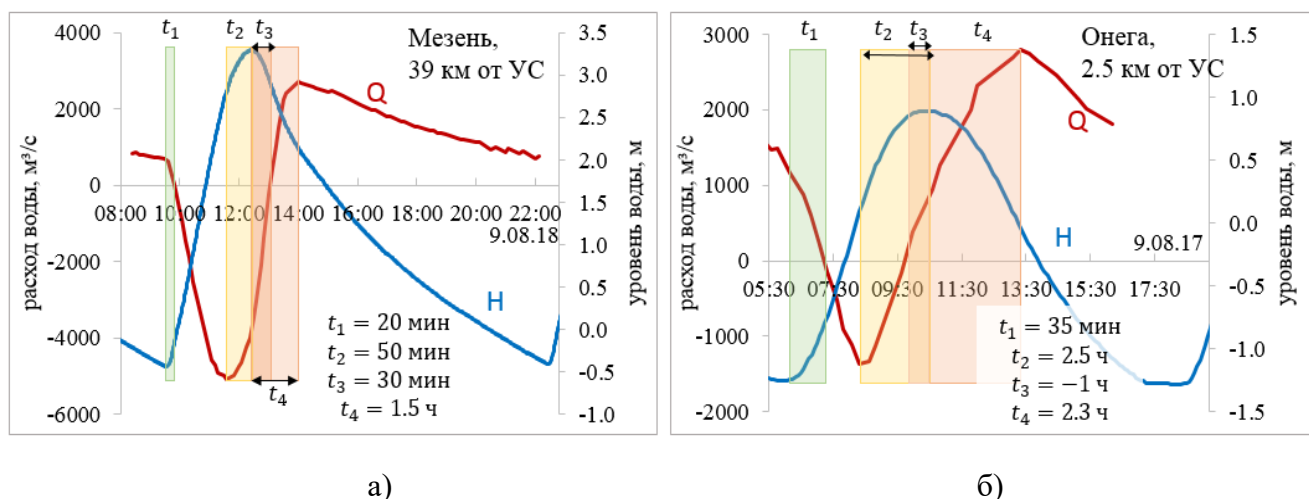


Рис 2. Графики хода уровней и расходов воды и отмеченные периоды между экстремумов для эстуариев (а) Мезени; (б) Онеги.

При движении по мелководному взморью и далее вверх по руслу реки изначально синусоидальная приливная волна меняет форму, превращаясь из синусоиды в «импульсоиду» – резкие «всплески» изменения уровня воды сменяются продолжительными периодами квазиустановившегося течения. Для анализа этого явления был введен параметр, характеризующий период постоянства уровней воды в фазу отлива. Продолжительность этого «бесприливного» периода зависит от строения русла, удаленности от устьевоего створа, величины речного стока и наличия ледяного покрова. Данный период имеет наибольшую продолжительность в устьях малых реках, однако на некотором удалении от устьевоего створа может фиксироваться и в устьях крупных рек.

Таблица 1. Продолжительность периодов между экстремальными значениями уровней, расходов и скоростей течения воды по данным В.Н. Михайлова [Михайлов, Даценко, 1973] и по данным измерений в устьях рек Белого моря

Параметр	По В.Н. Михайлову		Данные измерений 2015 - 2022 гг.	
	Характеристика параметра	Продолжительность, час	Характеристика параметра	Продолжительность, час
t_1	$H_{\min} \rightarrow u = 0$	0 - 3	$H_{\min} \rightarrow u = 0$	0 - 3
t_2	$-u \max \rightarrow H_{\max}$	0,5 - 3,5	$-Q_{\max} \rightarrow H_{\max}$	0,6 - 1,7
t_3	$H_{\max} \rightarrow u = 0$	0 - 2	$H_{\max} \rightarrow u = 0$	-1,5 - 2
t_4	$H_{\max} \rightarrow u \max$	2 - 5	$H_{\max} \rightarrow Q_{\max}$	0,75 - 5
t_5	-	-	$\Delta H < 0.02$ м	0 - 8,5

Данные о последовательности наступления и продолжительности периодов между экстремумами уровней и расходов воды могут использоваться при планировании полевых работ и организации некоторых видов хозяйственной деятельности (судоходство, рыболовство). Предлагаемый дополнительный параметр t_5 позволяет упростить организацию полевых работ на устьевых участках рек, сокращая продолжительность измерений с полного приливного цикла до его «активной» фазы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ (проект № 22-29-01184) и РФФИ (проекты № 19-35-90032, 19-35-60032).

Список литературы

1. Михайлов В.Н., Даценко Ю.С. Расчет сдвига фаз уровня и скорости течения в приливном устье реки // Труды ГОИН. – Вып. 116. – 1973. – С. 113-124.
2. Михайлов В.Н. Гидрология устьев рек. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 176 с.
3. Панченко Е.Д., Льюменс М., Лебедева С.В. Изменчивость скоростного поля потока в течение приливного цикла в устьях крупных рек бассейна Белого моря // Труды III Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития». Санкт-Петербург: Химиздат, 2019. — С. 578–582.
4. Полонский В.Ф. Метод типовых графиков для определения расходов воды в приливных устьях рек // Водные ресурсы. – 1987. – №4. – С.105-113.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ОБРАТНЫХ ВОЛН В УСТЬЯХ РЕК.

RESEARCH OF MATHEMATICAL MODELS ABILITY FOR INVESTIGATION OF BACKWARD WAVES IN RIVER ESTUARIES

Алавердова Анна Арменовна

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

Alaverdova Anna Armenovna

Moscow State University M.V. Lomonosov, Moscow

Введение

В работе рассматриваются результаты моделирования в программе HEC-RAS прилива в гипотетическом русле в форме прямоугольного лотка. Этот эксперимент был проделан в целях изучения вклада различных параметров русла (шероховатости, уклона и ширины) и расхода воды в трансформацию приливной волны. В программе также построены модели прилива на реках Мезень и Варзуга: изучена трансформация волны. Работа затрагивает гармонический анализ приливов: была исследована трансформация лунной полусуточной приливной гармоника M₂, оценен ее вклад в фактическое колебание уровня на этих реках.

Данные и методы

Прогнозирование уровня осуществляется с помощью программы HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System), основанной на решении системы уравнений Сен-Венана методом конечных разностей по неявной схеме. В качестве граничных условий модель требует задать значения расхода в верхнем створе рассматриваемого участка и значения уровня воды в нижнем створе. Начальными условиями являются значения уровня и расхода на всем участке реки в момент начала расчета. Для построения модели реки Мезень были использованы данные, полученные в ходе экспедиции в августе 2018 г.: данные об уровнях воды и результаты промерных работ. Модель Варзуги была построена на основе данных полевых исследований, проходивших в устьевой области реки зимой 2020 г, а также результатов промеров, осуществленных в июне 2016 г.

Выделение вклада гармоника M₂ в изменение уровня осуществлялось при помощи программы, написанной А. Рабиновичем и А. Куликовым. По данным о ходе реального уровня программа вычисляет приливную составляющую этого колебания

Результаты. Моделирование прилива в гипотетическом русле

Были заданы следующие «стартовые» параметры: ширина русла - 500 м, длина – 200 км, коэффициент шероховатости – 0.02, уклон – 0.38 м/км, расход на верхней границе – 500 м³ /с. Путем поочередного изменения этих характеристик стало возможно проследить, как они влияют на дальность распространения и параметры приливной волны (высоте и коэффициенте асимметрии). В качестве начального условия на нижней границе была задана симметричная синусоидальная приливная волна с периодом 12,5 часов и амплитудой 2 м, средний приливной уровень – 8 м.

С помощью инструментов интерполяции между заданными верхним (200 км от устья) и нижним (0 км) створами были определены *дальность распространения приливных колебаний уровня и обратных приливных течений* (таблица 1).

Таблица 1. Дальность распространения приливных колебаний уровня и обратных приливных течений (в км).

	шероховатость				уклон, м/км				расход, м ³ /с			ширина, м		
	0,005	0,02	0,12	0,2	0,1	0,2	0,36	0,6	500	1000	5000	250	500	1000
обр. течения	19	17	11	7	67	33	17	8	17	12	-	11	17	21
колеб. уровня	25	25	24	22	92	49	27	16	25	25	26	25	25	25

Моделирование показало, что дальность распространения обратных течений более зависима от параметров русла и расхода воды, чем дальность колебаний уровня. Протяженность зоны колебаний уровня не зависит от ширины русла, почти не зависит от заданного расхода и шероховатости, но существенно зависит от уклона дна.

В то же время *величина колебаний* в одном и том же створе имеет явно выраженную обратную зависимость от шероховатости. При высокой шероховатости величина прилива интенсивно снижается при преодолении нижних километров устья, а потом более плавно приближается к нулю (рис.1-А). Воспроизведение маленьких уклонов – одна из главных проблем моделирования в HEC-RAS: минимальный уклон, при котором удалось выполнить расчет при стартовой шероховатости (0.02) – 0.36 м/км. При уклоне 0.2 м/км уменьшение величины прилива по мере отдаления от устья носит линейный характер; в случае бóльших уклонов характерен более ранний и резкий спад высоты приливной волны; при меньшем уклоне профиль величины прилива носит вогнутый характер (рис.1-Б).

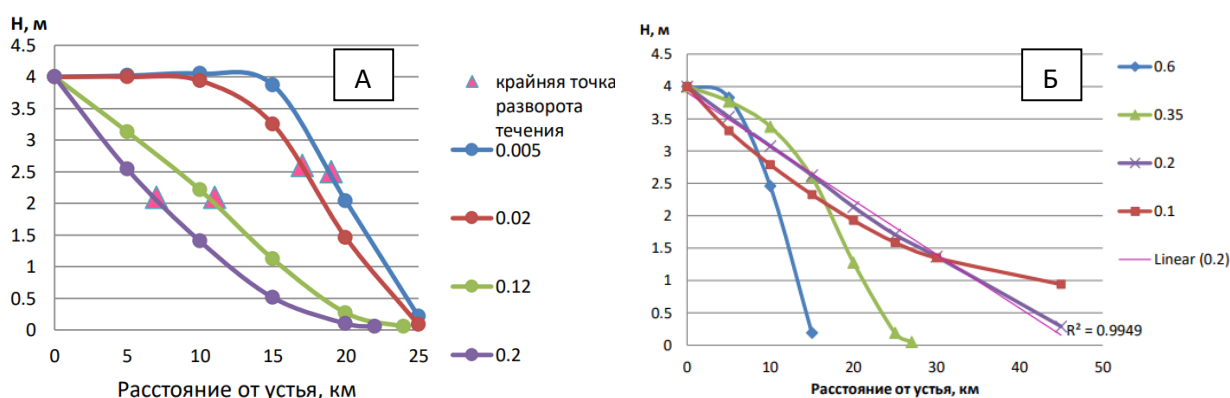


Рис. 1. Изменение величины прилива вверх по руслу в зависимости от коэффициента шероховатости(А) и уклона дна (Б).

При моделировании прилива с использованием различных расходов воды было обнаружено, что с увеличением расхода воды сокращается протяженность зоны, где величина прилива остается неизменной, ее снижение при прохождении нижних километров течения становится более резким. Также, замечено, что более интенсивное снижения величины прилива вверх по руслу происходит при меньшей ширине русла.

Известно, что при прохождении приливной волны вверх по устьевому участку реки сокращается время роста уровня, а время падения увеличивается. Количественная характеристика этой асимметрии – коэффициент асимметрии:

$$k = \frac{2 \cdot (t_n - t_p)}{(t_n + t_p)},$$

где t_n – время снижения уровня воды, t_p – время роста уровня. Коэффициент асимметрии возрастает в нижнем течении тем сильнее, чем выше шероховатость. Однако на некотором расстоянии от устья он достигает максимума, а затем начинает снижаться (рис.2-А). Нижние 10 км течения характеризуются прямой зависимостью интенсивности возрастания коэффициента асимметрии от расхода воды; в районе 10-го километра эта зависимость сменяется на обратную (рис.2-Б).

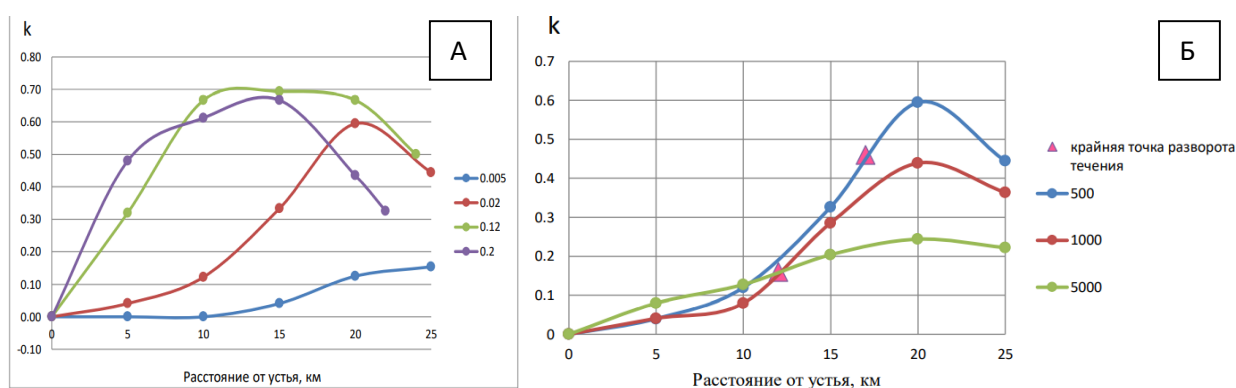


Рис. 2. Изменение коэффициента асимметрии волны вверх по руслу в зависимости от коэффициента шероховатости (А) и расхода воды (Б)

Модели прилива в реках Мезень и Варзуга

Мезень

При моделировании прилива в Мезени нижняя граница участка была установлена в районе пос. Морозилка (0 км), верхняя – в 108 км выше по течению. Калибровка модели проводилась по данным логгера, установленном на расстоянии 7.5 км от нижней границы (рис.3).

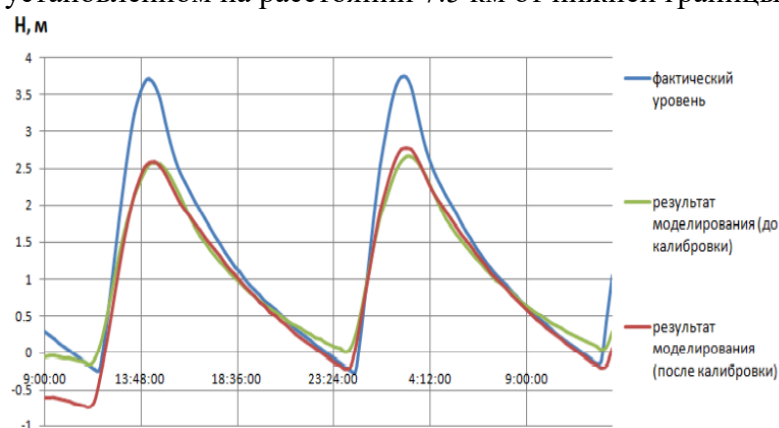


Рис. 3. Графики хода уровня в створе на расстоянии 7.5 км от пос. Морозилка: фактические и расчетные значения

Для изучения трансформации гармоник M2 величина реальных колебаний была сопоставлена с величиной колебаний приливной составляющей уровня в различных створах (рис.4). Гармоническая составляющая обеспечивает 77%-81% величины колебания уровня водной поверхности, кроме самого верхнего створа, где ее размах колебаний превышает величину приливного колебания уровня.

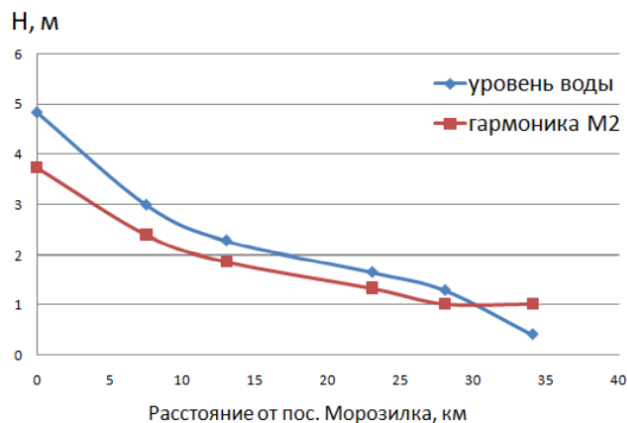


Рис. 4. Изменение величины приливного колебания вверх по руслу

Асимметрия смоделированной волны была сравнена с фактической на некоторых створах (таблица 2).

Таблица 2. Информация о времени роста и падения уровня в различных створах устьевой области р. Мезень

расстояние от устья	Результаты моделирования			Полевые данные		
	t роста	t падения	K	t роста, ч	t падения, ч	K
34 км	2:30	10	1.20			
28 км	2:45	9:45	1.12			
23 км	3	9:45	1.06			
13 км	3	9:30	1.04	2:40	9:50	1.15
7.5 км	3	9:45	1.06	2:45	9:45	1.25
0 км	2:30	10:15	1.22	2:30	10:15	1.22

Варзуга

При калибровке модели для р. Варзуга были использованы данные двух логгеров: на расстоянии 4 и 9.5 км от устьевых створа (рис.5).

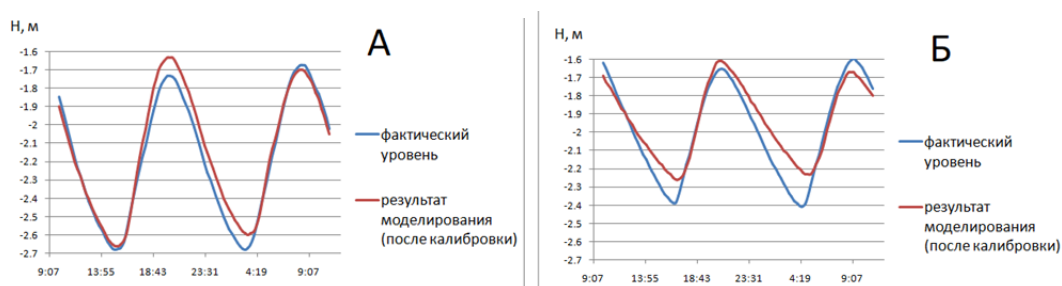


Рис.5. Графики хода уровня в створах на расстоянии 4 км (А) и 9.5 км (Б) от устья

Несмотря на хороший результат гармонического анализа данных логгера из устьевоего створа, данные других логгеров программа не обработала, как и результаты гидродинамического моделирования. Вероятно, уже в 4 км от устья (ближайший логгер к устьевому) происходит трансформация колебаний, мешающая математическому описанию их гармонической составляющей. Амплитуда рассчитанного уровня воды в створе 1.5 км составила 60 см, что всего на 6 см больше амплитуды гармоники. Коэффициент асимметрии смоделированной волны в створах 4 км и 15 км совсем незначительно отличаются от фактических.

Согласно модели, величина прилива убывает почти линейно: коэффициент детерминации линейного тренда около 99%. При этом был задан тот же уклон, которому соответствовало линейное убывание величины прилива при моделировании прилива в прямоугольном русле.

Заключение

Моделирование прилива в гипотетическом русле позволило выявить общие закономерности распространения и трансформации приливной волны в зависимости от параметров русла и речного стока, некоторые из этих закономерностей подтвердились в ходе моделирования прилива в устьевых областях реальных рек. При сравнении амплитуды гармоники с размахом колебаний уровня водной поверхности можно сказать, какое влияние оказывают речные условия на характер колебаний.

Благодарность

Автор благодарит сотрудников и студентов географического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова, предоставивших данные своей экспедиции на р. Варзуга [6], а также участников полевых исследований на р. Мезень в 2018 г [1].

Список литературы

1. Алабян А. М., Демиденко Н. А., Дунюшин А.В., Алексеева А. А., Лебедева С.В., Панченко Е.Д., Фёдорова Т.А., Льюменс М., Льюмменс Л., Медин А.М., Одоев Л.С. Отчет об экспедиционных работах на устьевом участке реки Мезень в августе 2018
2. Демиденко Н.А. Современные особенности гидрологического режима устьевых областей рек бассейна Белого моря // Меняющийся климат и социально-экономический потенциал Российской арктики, том 2. М.: Лига-Вент. – 2016. – С. 95-145.
3. Ионов В. В., Смагин Р. Е. Новые гармонические постоянные приливных колебаний уровня моря в губе Кереть Белого моря (по данным экспедиционных работ 2011 года) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. – 2013. – №. 2. – С. 94-107.
4. Крыленко И. В., Липка О. Н., Суткайтис О. К. Причины и последствия изменения русла в нижнем течении реки Варзуги. — М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2018. – 200 с.
5. Лапина Л. Э. Динамика течений и особенности переноса консервативной примеси в устьевых областях приливных рек. – 2001.
6. Терский П. Н. и др. Основные черты зимнего режима в устье р. Варзуги (Кольский полуостров, бассейн Белого моря) // Моря России: исследования береговой и шельфовой зон. – 2020. – С. 481-483.
7. Wang Z. B. et al. Morphology and asymmetry of the vertical tide in the Westerschelde estuary // Continental Shelf Research. – 2002. – Т. 22. – №. 17. – С. 2599-2609.

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТНОГО ПОЛЯ РУСЛОВОГО ПОТОКА ПРИ
НЕУСТАНОВИВШЕМСЯ ТЕЧЕНИИ

RESEARCH OF THE UNSTEADY FLOW VELOCITY FIELD IN RIVERS

Шишов Андрей Александрович

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва

Shishov Andrey Aleksandrovich

Moscow State University M. V. Lomonosov, Moscow

Введение

В настоящей работе проанализированы результаты измерений акустическим доплеровским профилографом на крупных реках Европейской территории России – Северной Двине, Печоре, Кянде и Оке – с целью вычисления входящих в уравнения одномерного гидродинамического моделирования коррективов скорости. С помощью языка программирования Python для более чем 400 измерений скоростного поля рассчитан коэффициент Кориолиса, отражающий неравномерность распределения скоростей по поперечному сечению потока. Полученные результаты подтверждают теоретически изложенную гипотезу, что значения этого коэффициента может изменяться в широком диапазоне, до нескольких сотен раз, вопреки типовым литературным примерам. Эта информация может быть использована в дальнейшем при построении и корректировке различных гидродинамических моделей.

Данные и методы

Приливные устья рек позволяют наблюдать нестационарное движение вплоть до реверсивных течений гарантированно, регулярно, с известной периодичностью, тем самым открывая возможность для большого числа гидродинамических и гидравлических наблюдений и экспериментов. Наиболее доступны, изучены и разнообразны приливные устья рек бассейна Белого и Баренцева морей: среди них встречаются как микроприливные (Северная Двина, Онега), так и мезоприливные (Кянда, Тамица) и даже макроприливные (Мезень, Семжа). Исходя из этих соображений, для анализа выбраны данные по рекам Северная Двина, Печора и Кянда, полученные в ходе экспедиционных исследований сотрудниками кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова в 2017–2021 гг. На Оке в июне и ноябре 2021 г. удалось зафиксировать нехарактерные для крупной равнинной реки в среднем течении случаи неустойчивого движения – при прохождении дождевого паводка и при мощных сбросах с гидроузлов Белоомут и Кузьминское, поэтому она также включена в работу.

Измерения скоростного поля потока произведены с помощью акустического доплеровского профилографа (далее ADCP – Acoustic Doppler Current Profiler), который получил широкое распространение в современной науке и практической деятельности. В отличие от традиционного метода измерения скорости течения гидрометрической вертушкой в отдельных точках, профилограф позволяет измерять мгновенную скорость потока в очень большом количестве ячеек малой площади по всему сечению, что имеет большое значение в

контексте исследования неустановившегося движения. С помощью описанного прибора на реках проведены серии измерений расхода воды и скоростного поля в ходе приливных циклов, прохождения волн паводков и других гидрологических событий. Собранные данные с помощью программы WinRiver II экспортированы в пригодный для обработки ASCII-формат, после чего произведен их анализ.

Уравнение динамики потока из системы Сен-Венана утверждает, что уклон водной поверхности складывается из инерционных членов (локальное и конвективное ускорение) и «уклона трения».

$$I = \frac{\alpha_0}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\alpha}{g} v \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{v^2}{C^2 h}$$

Величины α_0 и α возникают для учитывания неравномерности распределения скорости по поперечному сечению в поставленной одномерной задаче. α_0 называется корректив количества движения (импульса), или коэффициент Буссинеска, α – корректив кинетической энергии, или коэффициент Кориолиса. Обычно при расчетах и моделировании в условиях квазиустановившегося движения величину α можно приравнять к константе, например распространено значение 1,1. При серьезном увеличении неравномерности распределения скоростей течения, обусловленном приливно-отливными, сгонно-нагонными и другими явлениями, это значение может увеличиваться до 3,0–5,5 [Михайлов и др., 2018]. Данный коэффициент рассчитывается как отношение кинетической энергии потока, полученной суммированием по поперечному сечению энергий каждой элементарной струйки по ее местной скорости, к кинетической энергии, вычисленной по одному значению осредненной скорости.

$$\begin{aligned} \frac{E_k}{\overline{E_k}} &= \frac{\frac{\rho \Delta t}{2} \int_{\omega} (v_{cp}^3 + 3v_{cp}^2 \Delta v + 3v_{cp} (\Delta v)^2 + (\Delta v)^3) d\omega}{\frac{\rho \omega v_{cp}^3 \Delta t}{2}} = \\ &= 1 + 0 + 3 \frac{\int_{\omega} (\Delta v)^2 d\omega}{v_{cp}^2 \omega} + 0 = 1 + 3 \frac{\int_{\omega} (\Delta v)^2 d\omega}{v_{cp}^2 \omega} = \alpha \end{aligned}$$

Можно сделать вывод, что коэффициент Кориолиса $\alpha \geq 1$, при этом его точное значение зависит от соотношения средней скорости течения и величин пульсаций в каждой точке потока. При этом если обратить внимание на показатель неравномерности, то с точки зрения математики при стремлении средней скорости течения к нулю вся дробь будет стремиться к бесконечности, то есть порядок значений коэффициента может составить 10^2 , 10^3 и более. Фиксация подобных значений зависит от технического оснащения при проведении полевых работ; в приливных устьях рек при развороте течения средняя скорость оказывается равна нулю минимум два раза в сутки.

Результаты

Постановка задачи исследования подразумевает вычисление значений коэффициента Кориолиса для нескольких серий измерений характеристик потока на различных водотоках при прохождении явлений, обуславливающих нестационарность течения. Согласно математическому обоснованию, основными параметрами являются величина скорости v в каждой элементарной ячейке поперечного сечения и площадь этой ячейки ω . На языке программирования Python был разработан алгоритм вычислений: площадь сечения

получалась почленным перемножением глубины и ширины, вектор скорости проецировался на нормаль к сечению, зная направление вектора скорости и направление движения прибора. Таким образом, при умножении площади на нормальную составляющую скорости были получены значения расхода воды, которые затем сравнивались со значениями в программе WinRiver II. Совпадение принималось за подтверждение правильности методики, после чего поле распределения скоростей использовалось для дальнейших операций.

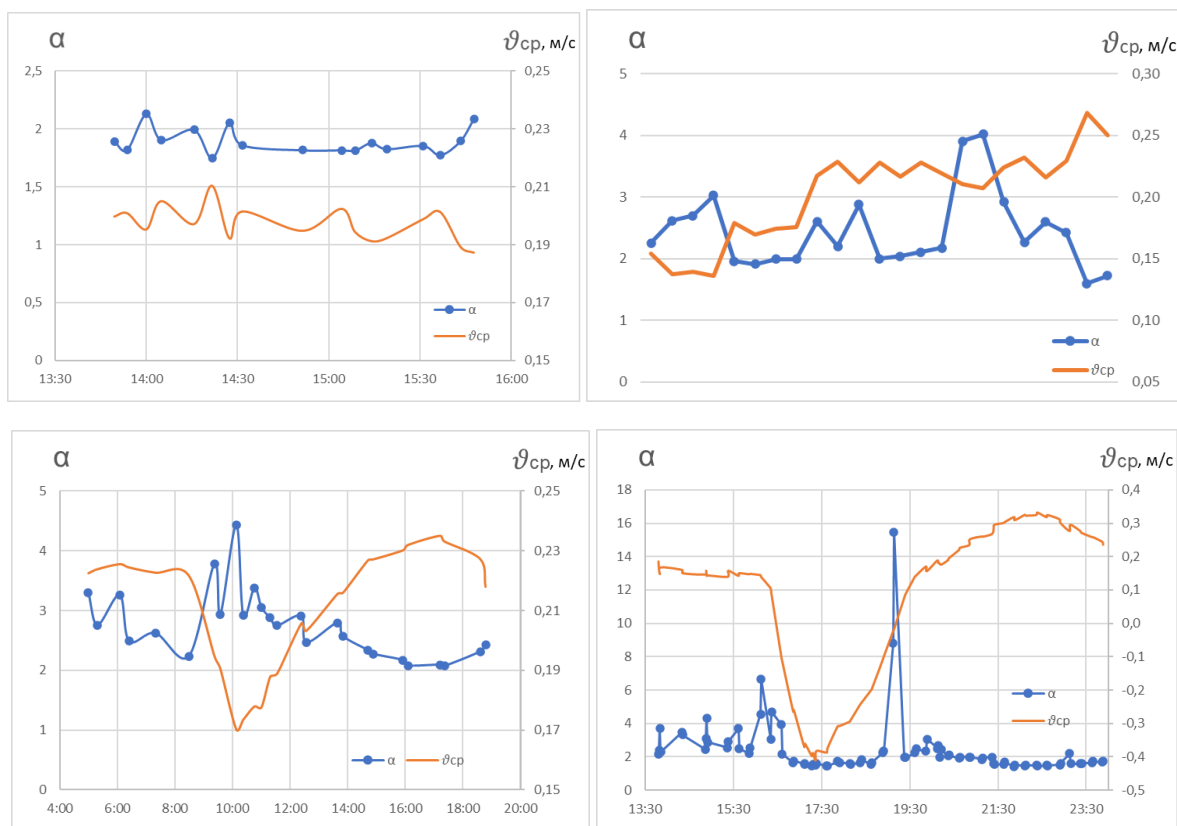
Табл. 1. Средние значений отклонений рассчитанных значений расхода воды

Р. Северная Двина – пос. Усть-Пинега	Р. Ока – д. Трегубово	Р. Ока – д. Константиново	Р. Печора	Р. Кянда
1,19%	1,48%	1,99%	5,00%	2,38%

Значение средней скорости для данного измерения вычислялось как отношение расхода воды к общей площади сечения, затем производился финальный расчет коэффициента Кориолиса согласно формуле:

$$\alpha = 1 + 3 \frac{\int_{\omega} (\Delta v)^2 d\omega}{v_{\text{ср}}^2 \omega}$$

Как итог, построены совмещенные графики изменения средней скорости потока и значения коэффициента Кориолиса во времени.



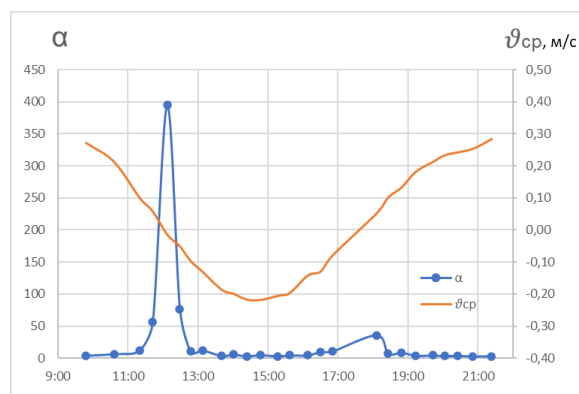


Рис. 1-5. Совмещенные графики изменения средней скорости потока и значения коэффициента Кориолиса в течение периода измерений на р. Ока – д. Трегубово, р. Ока – д. Константиново, р. Северная Двина, р. Кянда и р. Печора

Построенные графики позволяют сделать целый ряд важных выводов:

1) При прохождении волн перемещения гидродинамическая структура потока претерпевает сильные изменения. Это выражается в увеличении неравномерности распределения скоростей течения по вертикали и горизонтали. Даже на равнинных неприливых участках рек коэффициент Кориолиса, количественно выражающий степень этой неравномерности, принимает фоновые значения не ниже 1,5 (рис. 1), а при более существенном изменении скоростей и расходов во времени может достигать 3,0–4,0 (рис. 2), что принципиально отличается от классических литературных примеров.

2) В приливных устьевых областях рек даже на значительном удалении от морского побережья вследствие возникновения гидравлического подпора в ходе приливного цикла распределение скоростей по сечению также серьезно изменяется. На Северной Двине (рис. 3) значения коэффициента Кориолиса варьируются от 2,0–2,5 до 3,5–4,5 на пике прилива.

3) Наиболее интересными и перспективными являются результаты, полученных для устьевых областей рек Кянда и Печора, в непосредственной близости от места впадения. Приливные явления здесь выражены наиболее качественно, регулярно возникают реверсивные течения со большими по модулю расходами воды. Морфологические особенности водотока и его устьевой области оказывают значительное влияние на трансформацию приливной волны. На Кянде значения коэффициента Кориолиса для моментов смены общего направления течения составили 6,7 и 15,5, что в несколько раз больше фоновых значений порядка 1,5–2,0 (рис. 4). Для реки столь небольших размеров подобная неравномерность требует особого внимания при составлении и реализации гидродинамических моделей [Панченко, Медин, 2017].

4) Печора отличается значительно бóльшими размерами и расходами воды, также ее устьевая область осложнена дельтовыми формированиями, поэтому прохождение приливного цикла отличается высокой сложностью с точки зрения изменчивости гидродинамических параметров в пространстве и времени. Аналогично, при средней скорости потока, стремящейся к нулю дважды за фазу прилива, значение коэффициента Кориолиса изменяется на порядки. Из-за большой площади сечения и сложной морфодинамической структуры базовые значения корректива кинетической энергии оказались равны примерно 3,0–5,0, что существенно выше рассмотренных ранее примеров, а при развороте максимальное значение составило 394,8 (рис. 5). Затем при развороте течения в сторону моря снова зафиксировано аномально большое значение – 35,9.

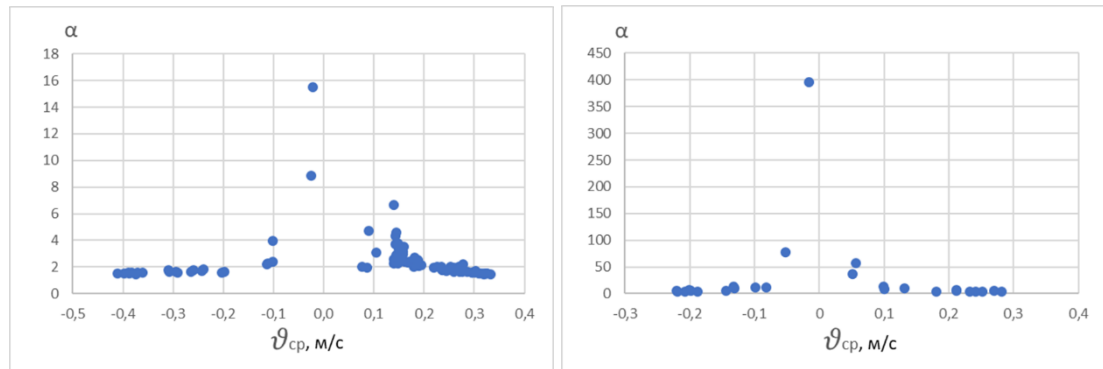


Рис. 6-7. Зависимость корректива кинетической энергии α от скорости течения по данным измерений на р. Кянда и р. Печора

Заключение

Подводя итог, количественная оценка величины коэффициента Кориолиса на четырех реках Европейской части России показала, что его значения могут изменяться в очень широких пределах. Фоновые значения для равнинной непривливной реки составили 1,5–2,5, для приливных устьев рек они могут увеличиваться до 2,0–4,0. Наибольшие пиковые значения зафиксированы в приливных устьях рек Кянда и Печора при возникновении реверсивных течений и равны 6,7; 15,5; 35,9 и 394,8. Следовательно, выдвинутая на основе теоретического анализа математических уравнений гипотеза подтверждена фактическими данными на водных объектах разного размера и географического положения. Таким образом, доказано, что при осуществлении одномерного гидродинамического моделирования в различных программных пакетах необходимо обращать внимание на наличие возможности задавать значения коррективов скорости не константами, а переменными, которые должны быть рассчитаны отдельно и изменяться во времени.

Благодарность

Автор благодарит доцента кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ, к.г.н. Алабяна Андрея Михайловича за всестороннюю помощь при формулировке задач исследования, обработке материалов и объяснении результатов, а также сотрудников кафедры Панченко Е.Д. и Харламова М.А. за консультации при решении конкретных вопросов.

Список литературы

1. Алабян А.М., Панченко Е.Д., Алексеева А.А. Особенности динамики вод в приливных устьях малых рек бассейна Белого моря. Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2018 (4) – 39-48 с.
2. Караушев А.В. Речная гидравлика. Л.: Гидрометеиздат, 1969. - 418 с.
3. Мак-Доуэлл Д.М., О'Коннор Б.А [McDowell D.M., O'Connor B.A.] Гидравлика приливных устьев рек. М.: Энергоатомиздат, 1983. 312 с.
4. Михайлов В.Н., Михайлова М.В., Магрицкий Д.В. / Основы гидрологии устьев рек: учебное пособие – М.: Изд-во Триумф, 2018. – 314 с.
5. Панченко Е.Д., Алексеева А.А., Медин А.М. Проблемы использования одномерных гидродинамических моделей для устьевых областей малых рек / Труды VI Международной научно-практической конференции "Морские исследования и образование (MARESEDU – 2017)", Москва, 2017, с. 674-675.

6. *Lee K., Ho H.C., Marian M. & Wu C.H. (2014). Uncertainty in open channel discharge measurements acquired with StreamPro ADCP. Journal of Hydrology, 509, 101–114.*

ВОДНЫЙ РЕЖИМ РЕКИ МЕЗЕНЬ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ И ФАКТОРЫ,
ЕГО ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ.

THE WATER REGIME OF THE MEZEN RIVER IN MODERN CONDITIONS AND THE
FACTORS DETERMINING IT.

Кильдишов Олег Сергеевич¹, Саноцкая Надежда Александровна¹.

¹ *Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург*

Kildishov Oleg Sergeevich¹, Sanotskaya Nadezhda Alexandrovna¹.

¹ *Arctic and Antarctic Research Institute, Saint-Petersburg*

Введение

Изучение водного режима является важной задачей при планировании использования водных объектов. На основе данных водного режима проектируются гидротехнические сооружения, выполняются различные агро-мелиоративные работы. Однако на водный режим рек влияет большое количество различных факторов от выпадающих осадков на водосбор до антропогенного воздействия непосредственно на русло реки.

Исходные данные

В качестве изучаемого водного объекта принята река Мезень. Река протекает по территориям республики Коми и Архангельской области. Длина реки составляет 966 км, площадь водосбора – 78000 км². Река Мезень является одной из крупнейших рек Европейской территории РФ.

В качестве исходной климатической информации приняты данные суточных температур воздуха, а также суточных осадков, полученных на метеостанциях. Для описания климатической ситуации всего водосбора реки Мезень, использование метеостанций, расположенных непосредственно на водосборе, недостаточно. Поэтому приняты данные метеостанций по прилегающим водосборам рек Северная Двина и Печора, а также данные по метеостанции, расположенной на территории Кольского п-ва. Перечень используемых метеорологических станций: Мезень, Койнас, Архангельск, Сура, Индига, Нарьян-Мар, Коткино, Усть-Цильма, Каневка (данные взяты с <http://meteo.ru/>). Период наблюдений за метеорологическими характеристиками с 1966 по 2019 гг. Расположение метеорологических станций представлено на рисунке 1.

В качестве исходной информации приняты данные среднегодовых и максимальных в году расходов воды по гидрологическим постам р. Мезень и ее притоков. В ходе первичного анализа имеющихся гидрологических рядов отсекались гидрологические посты, которые были закрыты и не имеют наблюдений до текущего периода. Поэтому в оценке водного режима использовались ряды гидрологической информации по следующим постам: р. Сояна – д. Сояна, р. Большая Лоптюга – д. Буткан, р. Пёза – д. Сафоново, р. Мезень – д. Макариб, р. Мезень – с. Большая Пысса, р. Мезень – д. Малонисогорская (<https://gmvo.skniivh.ru/>). На рисунке 1 представлено расположение гидрологических постов. В таблице 1 представлены основные сведения об используемых гидрологических постах.

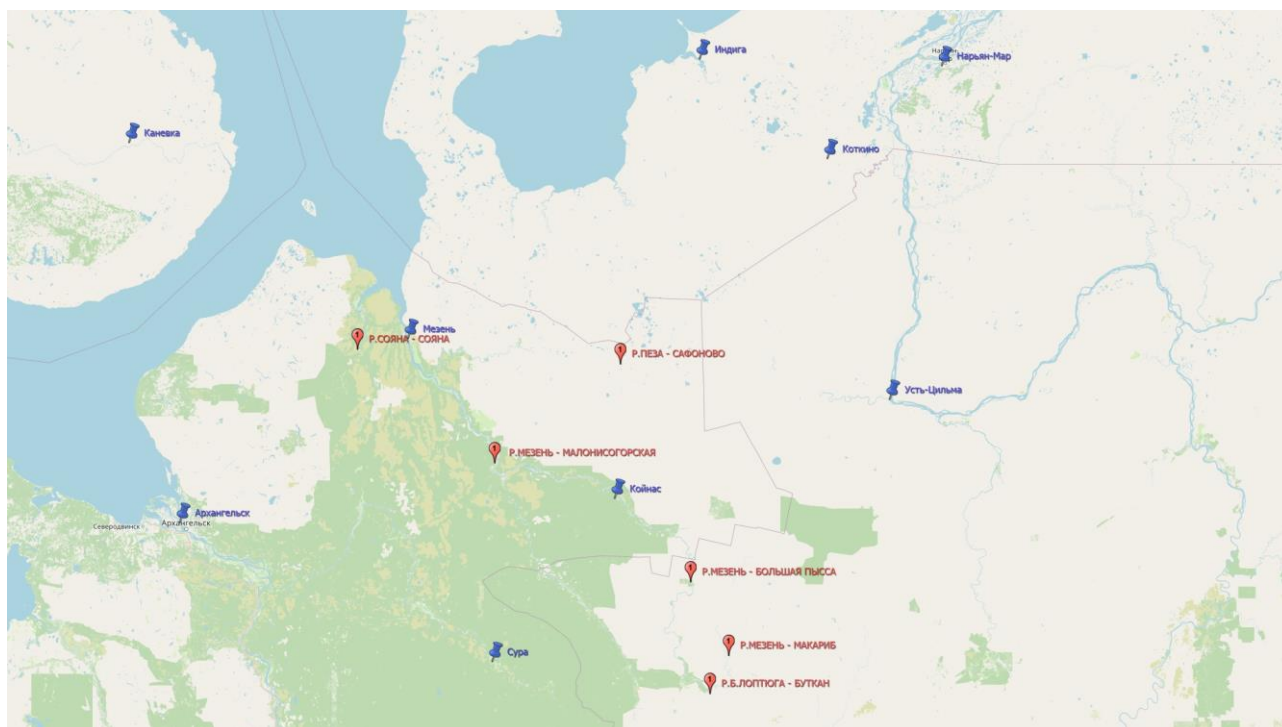


Рис. 1. Карта-схема расположения метеостанций и гидрологических постов (Красным цветом отмечены гидрологические посты, синим цветом отмечены метеостанции)

Таблица 1. Основные сведения гидрологических постов

Река – пункт наблюдений	F, км ²	Расстояние от устья, км	Период работы	
			открыт	закрыт
р. Сояна – д. Сояна	5570	20	1932	действ.
р. Большая Лоптюга – д. Буткан	2010	5,8	1957	действ.
р. Пёза – д. Сафоново	4520	300	1936	действ.
р. Мезень – д. Макариб	6450	681	1931	действ.
р. Мезень – с. Большая Пысса	16100	455	1931	действ.
р. Мезень – д. Малонисогорская	56400	186	1931	действ.

Обработка рядов гидрологической информации производится согласно СП 33-101-2003 при наличии данных гидрологической информации.

Результаты

В ходе обработки суточных температур воздуха и осадков получены среднемноголетние годовые значения метеорологических параметров. Для исследования пространственной изменчивости выполнено картирование значений годовой суммы осадков и среднегодовых температур воздуха. Карты представлены на рисунках 2 и 3.

По результатам картирования можно сделать вывод о том, что диапазон среднегодовых температур воздуха варьируется от «плюс» 0,5°С на юге водосбора до «минус» 0,5 °С в устьевой части реки Мезень. Сумма осадков за год изменяется в широтном направлении с юга на север (от большего к меньшему).

Дополнительно произведена проверка на значимость тренда температуры воздуха и осадков, и выявлено, что для температуры воздуха по метеостанциям характерен значимый тренд в сторону повышения среднегодовой температуры воздуха, тогда как для суммы

годовых осадков значимые тренды отмечаются у метеостанций – Архангельск, Нарьян-Мар, Сура, Мезень. По метеостанции Койнас отмечается незначимый тренд на понижение годовых сумм осадков.

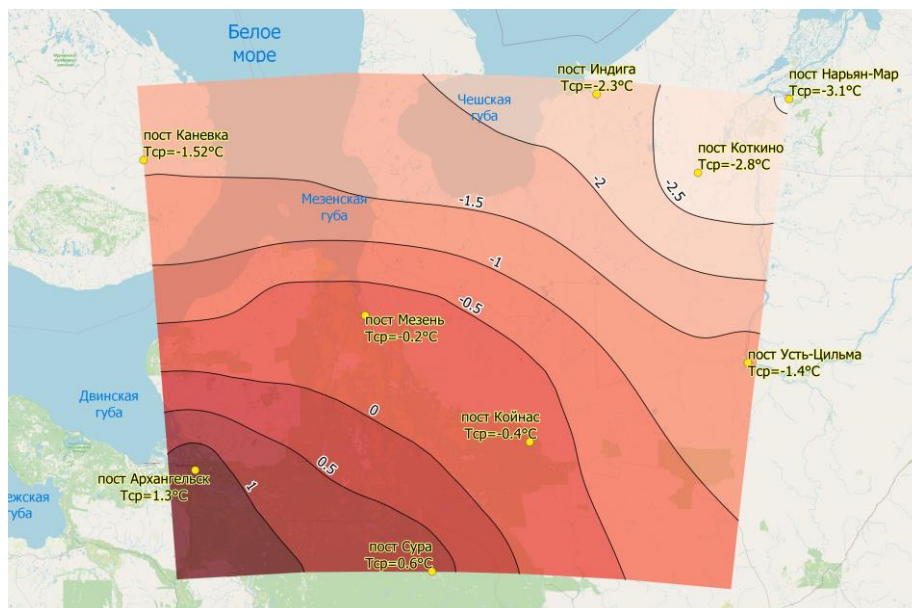


Рисунок 2. Среднегодовые температуры воздуха исследуемой территории

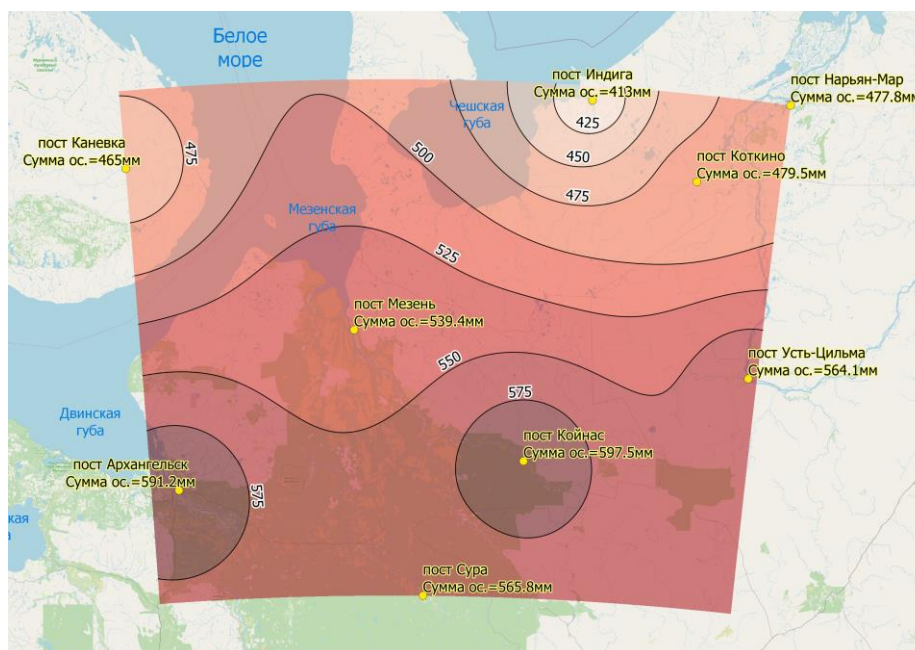


Рисунок 3. Годовая сумма осадков исследуемой территории

Как видно на рисунке 3, наибольшая сумма годовых осадков приурочена к восточной и южной частям водосбора, поэтому можно сделать вывод о том, что осадки в южной и восточной части водосбора могут оказывать наибольшее влияние на водность р. Мезень. Для изучаемой территории преобладает снеговое питание, а наибольшее влияние на снеготаяние в южной части водосбора оказывает температура воздуха, что и видно из полученных результатов метеорологических параметров.

Ряды гидрологических наблюдений в соответствии с СП 33-101-2003 проверены на однородность и на значимость трендов. В результате проверки сделаны выводы, что гипотезы об однородности рядов по критериям Фишера и Стьюдента не опровергаются при

уровне значимости $2\alpha=5\%$, за исключением данных по гидрологическим постам на р. Большая Лоптюга, р. Пёза и р. Мезень – с. Большая Пысса, для которых гипотеза об однородности опровергается по критерию Фишера для среднегодовых расходов воды при том же уровне значимости.

Для притоков р. Мезень отмечается значимый тренд на увеличение водности по среднегодовым расходам воды, тогда как для р. Мезень данные тренды незначимы. Для максимальных расходов воды, кроме р. Сояна, тренды отсутствуют или неявно выражены.

Заключение

На данном этапе проанализированы климатические и гидрологические характеристики по водосбору р. Мезень. В ходе работы отмечено наличие тренда на повышение температуры воздуха и увеличение количества осадков. Однако, при сопоставлении анализа гидрологической информации с анализом климатической, можно сделать вывод о том, что данные климатические характеристики оказывают незначительное влияние на изменение водности р. Мезень и ее притоков.

На следующем этапе работы планируется проанализировать климатические и гидрологические характеристики по водосбору р. Мезень, предварительно выделив холодный и теплый период для осадков и температур воздуха, а также выявить переломные моменты в изменении температуры воздуха и осадков путем построения интегральных кривых. Далее планируется сравнить результаты до точки перелома и после, а также проанализировать, как климатические характеристики связаны с изменением водности р. Мезень и ее притоков. В качестве исходной гидрологической информации планируется принять минимальный сток, а также увеличить количество используемых гидрологических постов, путем восстановления данных рядов гидрологической информации. Дополнительно планируется оценить влияние климатических характеристик на ледовые явления бассейна р. Мезень.

Список литературы

1. Чеботарев, А. И. Общая гидрология (воды суши)/ А. И. Чеботарев — Издание 2-у переработанное и дополненное. — Ленинград: Гидрометеиздат, 1975 — 544 с.
2. Владимиров, А. М. Гидрологические расчеты / А. М. Владимиров — Ленинград: Гидрометеиздат, 199 — 544 с.
3. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных // [Электронный ресурс] — URL: <http://meteo.ru/>
4. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) // [Электронный ресурс] — URL: <https://gmvo.skniivh.ru/>
5. СП 33-101-2003 «Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных расчетных гидрологических характеристик»; - взамен СНиП 2.01.14-83; - М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004.

УДК 551.462

Рубрика 37.27.00

ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЯ И КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛУБИН И УКЛОНОВ ДНА ВАЛААМСКОГО АРХИПЕЛАГА ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

THE VIDEO IMAGES AND QUANTITATIVE ASSESSMENTS OF SPATIAL DISTRIBUTION OF BOTTOM DEPTH AND SLOPES OF THE VALAAM ARCHIPELAGO IN LAKE LADOGA

Науменко Михаил Арсеньевич, Гузиватый Вадим Викторович, Дудакова Дина Сергеевна, Дудаков Михаил Олегович, Анохин Владимир Михайлович

Институт озераедения РАН – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН), Санкт Петербург

Naumenko Mikhail Arsenievich, Guzivaty Vadim Viktorovich, Dudakova Dina Sergeevna, Dudakov Mikhail Olegovich, Anokhin Vladimir Mikhailovich

Institute of Limnology, A Separate Subdivision of the St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg

Формы подводного рельефа, параметры его пространственной изменчивости, определяемые различным происхождением и развитием, оказывают значимое влияние на неоднородность седиментационных процессов и их трансформацию в озёрных котловинах. Постоянные и периодические придонные течения во многом определяются пространственными морфоструктурными особенностями распределения глубин дна. Непосредственная визуализация подводного рельефа возможна только после получения видеоизображений и проведения специализированных эхолотных измерений, а также применения обоснованных методов интерпретации батиметрических данных, причем детализация изображения зависит от пространственной дискретности натуральных измерений. Количественная характеристика подводного рельефа островов Ладожского озера ограничена из-за отсутствия подробных цифровых батиметрических карт, позволяющих провести соответствующие вычисления, в том числе уклонов дна.

В настоящей работе приведены кратко результаты исследований подводного рельефа Валаамского архипелага, начатые авторами на основе эхолотных измерений в северо-западной части о. Валаам, где были выявлены уклоны, достигающие 60° и зафиксированы подводные оползни [1]. С использованием доступных карт и непосредственных измерений, создана цифровая модель Валаамского архипелага в пределах $61.3^\circ - 61.5^\circ$ с. ш. и $30.7^\circ - 31.4^\circ$ в. д. (рис. 1). Эта модель является основой для количественных оценок распределения глубин и уклонов подводного рельефа указанного района Ладожского озера. Она включает в себя высоты, глубины и максимальные уклоны с пространственным разрешением 25×25 м (общее количество узлов – 405581).

В полевой сезон 2020 годы впервые была проведена видеосъёмка самого крутого подводного склона юго-западной части о. Валаам, позволившая детально наблюдать его структуру от поверхности до дна. Съёмка производилась на подводную камеру с разрешением 2704×1520 пикселей и частотой 25 кадров/сек. Было выполнено три прохода вверх по профилю от подошвы до бровки на глубине 35 – 40 м с расстояниями между ними не более 200 м.

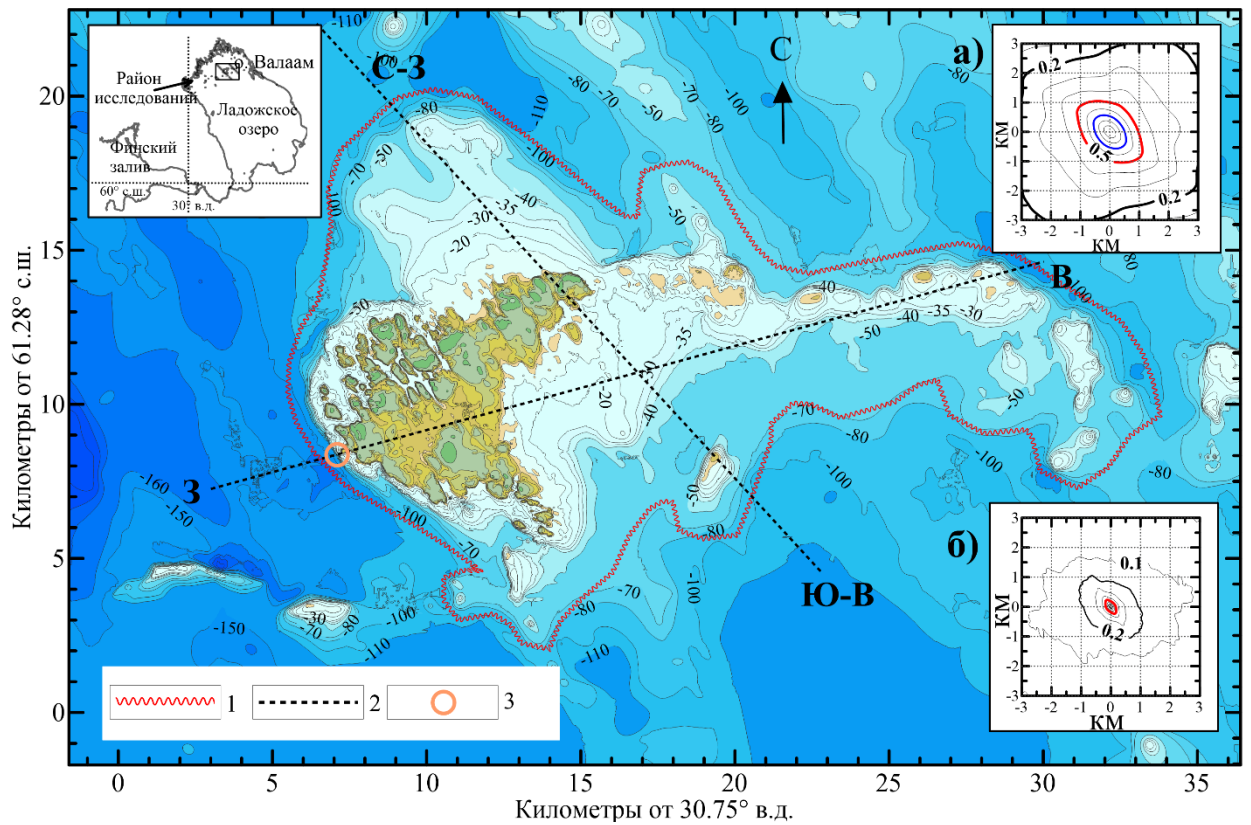


Рис. 1. Валаамский архипелаг и предполагаемая граница силла. Условные обозначения: 1 — предполагаемая граница силла, 2 — положение разрезов, представленных на рис. 2, 3 — район проведения фотосъемки подводного склона; двумерная пространственная корреляционная функция а) — глубин, б) — уклонов Валаамского архипелага.

С геологической точки зрения все острова Валаамско-Салминской островной гряды имеют общее происхождение – это интрузивный рифейский силл, тектонически раздробленный на разновеликие блоки [2] и подверженный неравномерному поднятию со скоростью около 3 мм/год [3]. Для определенности его предположительные границы показаны красной линией (площадь 253,5 км²) (рис.1), располагающейся на глубинах от 56 до 164 м при средней глубине 91.9 ± 0.3 м. Рисунок 2а свидетельствует о исключительно больших уклонах на границах Валаамского архипелага, особенно вдоль субмеридионального направления. Превышение над дном составляет 100 м на расстоянии несколько сотен метров.

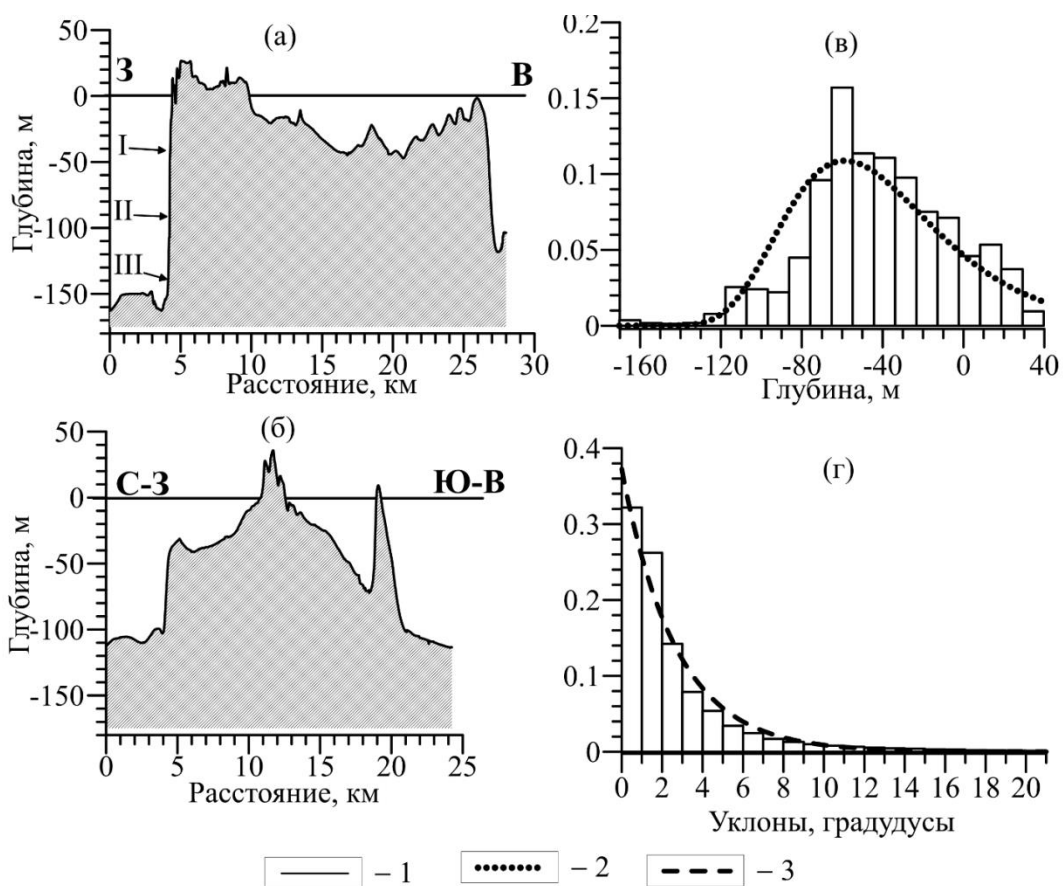


Рис.2. Разрезы через Валаамский архипелаг: (а) и (б); (в) - гистограмма распределения глубин, (г) - гистограмма распределения уклонов. Условные обозначения: 1 - уровень Ладожского озера, 2 – функция плотности вероятности логнормального распределения глубин, 3 - функция плотности вероятности экспоненциального распределения уклонов, римские цифры: I, II, III - местоположение фотографий подводного склона Валаама, представлены на рис. 4.

Количественная характеристика пространственного распределения глубин и уклонов дна в районе Валаамского архипелага может быть представлена на основе цифровой модели в виде гистограмм, корреляционных функций, а также гипсографической и объёмной кривых. Все эти статистические оценки до настоящего времени отсутствовали. Гистограмма распределения глубин (рис.2б) имеет одновершинный отрицательно асимметричный вид с преобладанием глубин в диапазоне 55-65 м, плотность вероятности определяется логнормальным законом. Гистограммы распределения уклонов соответствует кривой экспоненциального распределения с положительной асимметрией.

Двумерная пространственная автокорреляционная функция как глубин, так и уклонов (рис.1а и рис.1б) указывает на незначительные расстояния L , на которых существует значимая статистическая связь с коэффициентом корреляции $k \geq 0.5$: для глубин L изменяется от 0.9 до 1.5 км, для уклонов L изменяется от 140 м до 260 м. Длинная ось “эллипсов анизотропии” имеет направление северо-запад – юго-восток, что соответствует направлениям линеаментов[4], разрывных нарушений [2] и подтверждено с использованием длительных GPS измерений [3] и натурных моделей [5].

С помощью цифровой модели удалось оценить соотношение между уклонами, вычисленными в направлении из наибольших значений, и глубинами(высотами) всего архипелага. На рис.3б с очевидностью выявляется два экстремума степени изменчивости распределения глубин (среднеквадратического отклонения глубин СКО), характеризующие интенсивность процессов рельефообразования: в диапазоне от 20 м выше уреза воды до 20 м ниже него со средними уклонами около 5° и второй максимум с большими СКО на глубинах 130-140 м, где уклоны дна изменяются от 5° до 10° и маркируют подножье силла.

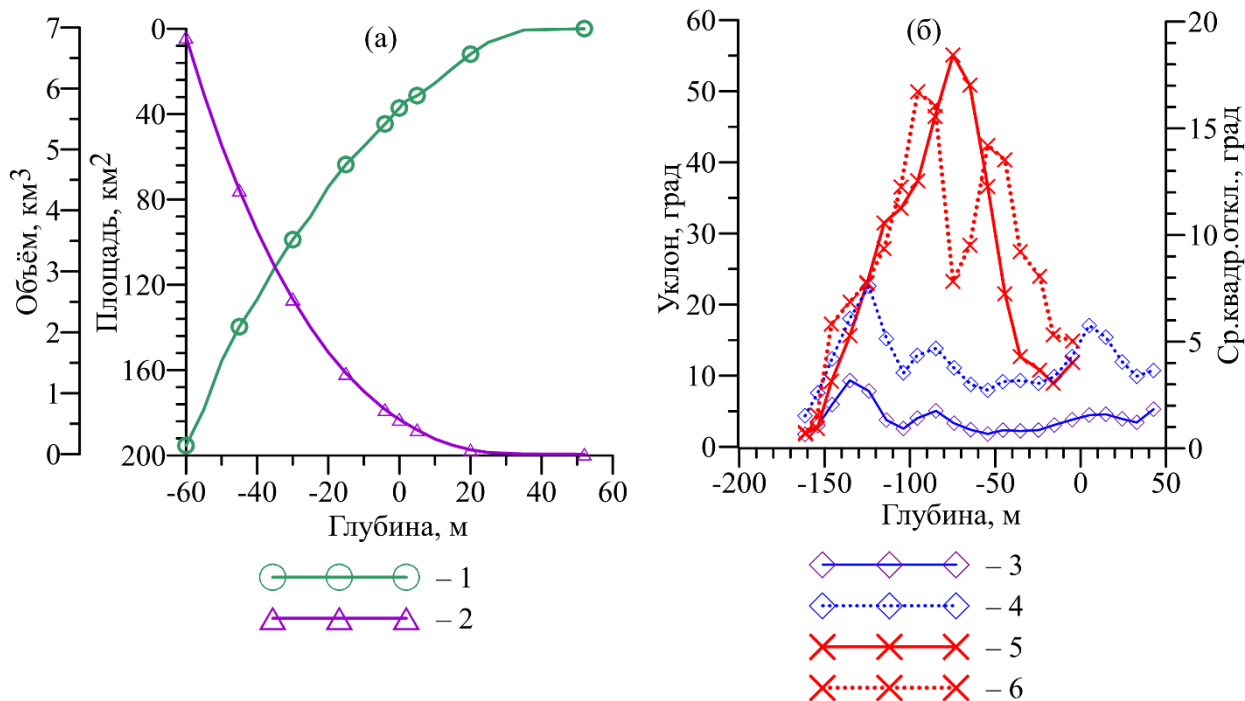


Рис.3. Морфометрические характеристики Валаамского архипелага: (а) гипсометрическая (1) и объёмная (2) кривая; (б) зависимость уклонов (3) и СКО уклонов (4) всего архипелага от глубины, зависимость уклонов (4) и СКО уклонов (5) самого крутого склона от глубины.

Особое внимание было уделено самому крутому склону Валаамского архипелага. Он хорошо выражен на дневной поверхности в виде тектонического уступа, в западной и юго-западной части обнаруживаются столбчато-призматические отдельности, указывающие на конвективные процессы в базальтовом расплаве [2,6]. Видеосъёмка подводной части северо-западной части острова позволила дать описание структуры пород слагающих склон (Рис.4).

На трехмерном изображении подводного склона ниже бровки (глубины 30-40 м) ясно видны выпаханные борозды [1], свидетельствующие о возможных движениях вдоль склона к его подошве. Действительно, на этом выпукло-вогнутом склоне можно наблюдать все факторы, способствующие формированию обвалов: склон с уклонами до 60° протяженностью около 200 метров, слоистость и трещиноватость пород, которые могут сползть под действием силы тяжести при локальных землетрясениях по ложбинам стока. Информация о землетрясениях, произошедших в районе Ладожского озера, приведена в [7]. Четко идентифицируются остроугольные края склона, что позволяет сделать вывод о происходивших здесь недавних землетрясениях и сейсмической активности территории.

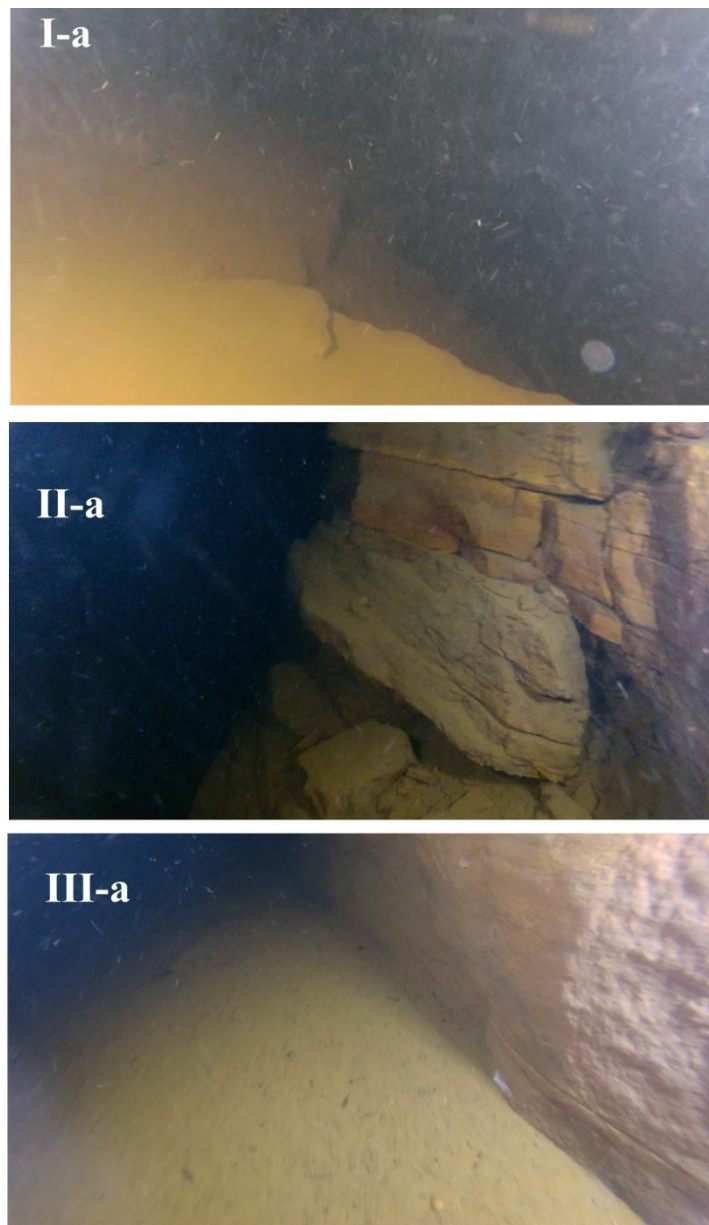


Рис. 4. Фотографии самого крутого подводного склона Валаамского архипелага. Условные обозначения: Iа — кромка на глубине 40 метров перед подводным склоном, IIа — подводный склон на глубине 90 м., IIIа — сочленение дна и подножия склона на глубине 147 м.

Осадочный материал, перемещающийся вниз по склону, должен накапливаться в самой глубокой части с малыми уклонами на некотором расстоянии от подножья склона, что требует дополнительных исследований.

Соотношение между глубинами и уклонами на этом самом крутом подводного склона о. Валаам показано на рис. 3б, выявляются два значительных пика с наибольшими СКО уклонов на глубинах 45-50 м и 85-100 м, характеризующих пространственную изменчивость в несколько раз большую, чем на этих глубинах всего Валаамского архипелага. Наиболее крутые участки с уклонами более 45° сосредоточены в средней части склона, между указанными интервалами глубин на глубинах 70-80 м. Следует подчеркнуть, что ступенчатый продольный и поперечный профиль дна, полученный при эхолотных промерах, а также отвесные рассеченные многочисленными трещинами уступы берегов западной части о. Валаам указывают на влияние разрывных нарушений в этих районах [4, 8, 9]. Сейсмообвалы могут локализоваться в зонах активных разломов.

Финансирование

Проведенные исследования выполнены по госзаданию № 0154-2019-0001 «Комплексная оценка динамики экосистем Ладожского озера и водоемов его бассейна под воздействием природных и антропогенных факторов».

Список литературы

1. *Науменко М.А., Гузиватый В.В., Нестеров Н.А., Субетто Д.А.* Морфометрические особенности подводного склона юго-западной части острова Валаам // ДАН. 2019. Т. 486. № 3. С. 371–374.
2. *Свириденко Л.П., Светов А.П.* Валаамский силл габбро-долеритов и геодинамика котловины Ладожского озера. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. 123 с.
3. *Галаганов О.Н., Горшков В.Л., Гусева Т.В., Розенберг Н.К., Передерин В.П., Щербакова Н.В.* Современные движения земной коры Ладожско-Онежского региона по данным спутниковых и наземных измерений // Совр. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. 2011. № 8 (2). С. 130–136.
4. *Анохин В.М., Науменко М.А., Нестеров Н.А.* Рельеф дна Ладожского озера и его связь с дизъюнктивами // Известия Русского географического общества. 2016. Т. 148. № 2. С. 44–52.
5. *Агибалов А.О., Сенцов А.А., Зайцев В.А.* Влияние активизированных докембрийских разрывных нарушений на рельеф котловины Ладожского озера. // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2019. № 3. С. 99–105.
6. *Чудов С.В.* Столчатые базальты и конвекция Рэлея—Бенара. // Природа. 2017. № 6. С. 34–40.
7. *Ассиновская Б.А., Карпинский В.В.* Ладожские сейсмические явления. СПб: изд-во ВСЕГЕИ. (Федеральный исследовательский центр «Единая Геофизическая служба Российской академии наук»). 2020. С.46.
8. *Слинченков В.И., Константинов В.М., Николаев В.В.* Новейшие разломы Ладожского озера, Кандалакшского залива и о. Имандра по сейсмоакустическим и акустическим данным. Вопросы картирования прибрежного мелководья Баренцева и Белого морей. СПб. ГО «Севморгеология». 1997. С. 22–41.
9. *Lebas E., Gromig R., Krastel S., Wagner B., Fedorov G., G€ortz C., Averages T., Subetto D., Naumenko M., Melles M.* Pre-glacial and post-glacial history of the Scandinavian Ice Sheet in NW Russia - Evidence from Lake Ladoga. Quaternary Science Reviews. 2021. V. 251. P. 106637

УДК 504.054

Рубрика 87.19.03

**МИКРОЧАСТИЦЫ – НЕИССЛЕДОВАННЫЙ ФАКТОР РАСПРОСТРАНЕНИЯ
ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ВОДНОЙ СРЕДЕ.**

**MICROPARTICLES ARE AN UNSTUDY FACTOR OF THE DISTRIBUTION OF
POLLUTION IN THE WATER ENVIRONMENT.**

**Кашутина Екатерина Александровна¹, Ясинский Сергей Владимирович¹,
Веницианов Евгений Викторович², Сидорова Мария Владимировна¹, Гришанцева
Елена Сергеевна^{1,3}**

¹ *Институт географии РАН, Москва*

² *Институт водных проблем РАН, Москва*

³ *Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва*

**Kashutina Ekaterina Aleksandrovna¹, Yasinsky Sergey Vladimirovich¹, Venitsianov
Evgeny Viktorovich², Sidorova Maria Vladimirovna¹, Grishantseva Elena Sergeevna^{1,3}**

¹ *Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow*

² *Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow*

³ *Moscow State University M. V. Lomonosov, Moscow*

Современный мониторинг водных объектов в условиях усиления антропогенной нагрузки не всегда способен обеспечить объективную оценку состояния водной среды малых водных объектов. Загрязнения в водных объектах существуют и переносятся в разных фазах: в твердой, в коллоидной или в растворенной. Обычно самыми токсичными для биоты являются растворенные формы, наименее токсичными – загрязняющие вещества, прочно встроенные в минеральный скелет речной взвеси и донных отложений. Однако фазовое состояние может быть нестабильно. За счет процессов сорбции/десорбции при изменении параметров среды – температуры, химического состава, окислительно-восстановительного потенциала, гидродинамических условий (например, при взмучивании донных осадков), могут осуществляться переходы загрязнителя из одного фазового состояния в другое [Веницианов, Соколова, 2009]. На расстоянии первых километров от места поступления загрязняющих веществ в водный объект ионные (растворенные) формы металлов могут переходить в минеральную и коллоидную формы за счет физико-химических взаимодействий (сорбции, комплексообразования) и уже так продолжают миграцию на расстояния до сотен километров. В определенные временные промежутки миграция элементов может прекращаться, а на отдельных участках при этом возможна существенная концентрация части элементов в донных отложениях [Алексеев В.А., Алексеев Л.П., 2003]. Принятые в государственной сети мониторинга страны практики анализа состояния окружающей среды могут недоучитывать транспорт взвешенных наносов в реках и не обеспечивать контроль переноса загрязнений взвесьями [Чалов, 2021]. В зависимости от химического состава вред могут нести как сами частицы, так и сорбированные ими поллютанты, включая бактерии и вирусы [Янин, 2013].

Многие соединения в водной среде в основном переносятся различными взвесями.

Со взвешенными наносами переносятся тяжелые металлы, органические соединения, биологические объекты. Некоторые авторы [Гордеев, 2012] предполагают, что преобладающая форма миграции тяжелых металлов и металлоидов в речных водах – взвешенная, на ее долю может приходиться до 90–99% от общей речной транспортировки. Другие авторы [Lychagin M.Y. et al., 2015] считают, что на равнинных реках с низкой мутностью доля растворенных форм в транспорте загрязнений гораздо выше – на долю растворенных форм Zn и Cd в бассейне Волги приходится 60–80% их общего содержания. Взвешенная форма преобладает для Pb, Ni, Cu и Mn, однако ее доля не превышает 55–80%, что существенно ниже среднемировых оценок (>90%) [Касимов, 2013].

Уменьшение размеров частиц взвесей в единице объема при одинаковой их массе должно приводить к интегральному росту площади их удельной поверхности, соответственно свободной энергии и усилению их сорбционной способности [Веницианов Е.В., Лепихин А.П., 2002]. Значительная часть всех молекул, составляющих частицы взвеси размером менее 1 мкм, находится на поверхности раздела между твердой и жидкой фазами. Такие молекулы обладают избыточной свободной энергией, что приводит к резкому увеличению сорбционной емкости микрочастиц взвеси и их потенциальной способности к переносу загрязнений [Нежиховский, 1981]. Теоретически показано, что глинистые частицы размером около 1 мкм и менее обладают максимальными скоростями сорбции [Веницианов, Соколова, 2009]. Скорость сорбции/десорбции зависит от структуры взвеси (размера частиц, их составе и пористости), коэффициентов диффузии в фазе взвеси.

Микрочастицы и наночастицы обладают неприятной особенностью для водопользователей – они **практически не осаждаются в речных потоках**. Для их удаления требуются специальные методы очистки, фильтры [Румянцев и др., 2014]. Так, если частицы размером более 0,08 мм осаждаются при скорости воды более 3–5 см/с (естественные водотоки и пруды), то скорость осаждения частиц размером 0,03–0,05 мм уменьшается до 0,25 мм/с и возможна только в стоячей воде [Орлов и др., 2011]. Чем меньше частицы, тем длиннее путь их миграции как в воде, так и в живых организмах при их поглощении. Наиболее вредное воздействие на здоровье оказывают частицы, имеющие размер до 10 мкм и особенно наночастицы [Голохваст и др., 2016; Кодинцев и др., 2018]. Из-за малого размера наночастицы с адсорбированными токсикантами могут не распознаваться защитными системами организма, поэтому не подвергаются биотрансформации и не выводятся из организма, а накапливаются в растениях, животных и микроорганизмах и передаются по пищевой цепи, представляя угрозу гидробионтам и здоровью населения [Концепция..., 2007].

Изучение роли микрочастиц в переносе загрязнителей – новое направление мировой науки, активно развивающееся в последние годы. Вопросам изучения микрочастиц в природных средах и процессам переноса поллютантов микрочастицами в последние два десятилетия посвящены многочисленные работы за рубежом. В последние годы в России исследуются микрочастицы и связанные с ними загрязнители в атмосфере [Голохваст и др., 2016], в дорожной пыли [Kasimov et al., 2020], в снежном покрове в условиях большого города [Vlasov et al., 2020], в почвах [Власов и др., 2022].

Однако число публикаций по процессам переноса поллютантов микрочастицами в водах суши ограничено. Следует отметить отечественные работы последних лет Института озераведения [Крюков и др., 2017; Поздняков и др., 2019; Румянцев и др., 2011], в основном посвященные изучению дисперсного состава фракций микрочастиц, а также работы сотрудников географического факультета МГУ, в которых изучалось содержание ТМ в разных фракциях взвешенных наносов в крупнейших реках страны [Чалов, 2021], а для бассейна реки Селенги проведен анализ переноса веществ в разных фазах [Касимов и др., 2016].

Проблема оценки объема и состава веществ, загрязняющих водные объекты, наиболее актуальна для урбанизированных территорий [Черногаева, Жадановская, 2018]. Именно для территорий городов характерен самый значительный антропогенный прессинг на все компоненты окружающей среды (воздух, почвогрунты, поверхностные и подземные воды), выражающийся в трансформации их физических свойств, большем объеме и расширенной по сравнению с неурбанизированными территориями номенклатурой загрязнителей [Дрюпина и др., 2014]. При этом гидроэкологический мониторинг за состоянием водной среды в крупных городах России практически отсутствует.

Экспериментальные работы ИГ РАН в Нижнем Новгороде. В разные фазы водного цикла в период 2020–2022 гг. сотрудниками Института географии РАН были оценены снеготопления и отобраны пробы снега на всей территории Нижнего Новгорода. Отобраны пробы речных вод в бассейнах рек Левинки и Ржавки в Заречной части Нижнего Новгорода и Рахмы в его Нагорной части. Взяты пробы подземных вод, включая родники и воды штолен – искусственных подземных сооружений города, предназначенных для дренажа подземных вод. В период весеннего половодья отбирались пробы из ливневой канализации. Для оценки потоков веществ параллельно с отбором проб проводилось измерение расходов воды. Пробы анализировались в ЦКП НИИ Химии Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского. Применялись стандартные методики определения химических веществ в водных объектах, в том числе с использованием атомно-эмиссионного спектрометра с индуктивно связанной плазмой Prodigy High Dispersion ICP. Взвеси последовательно фильтровались фракционировались по размерам частиц. Пробы воды последовательно пропускались через фильтры с диаметром пор 2 мкм, а затем через фильтр с порами 0,22 мкм. Анализировались исходные пробы воды, последовательные фильтраты, а также осадки на фильтрах.

Доля частиц с размерами 0,22 – 2 мкм в общем содержании частиц с размерами более 0,22 мкм в разные гидрологические сезоны составляет от 0,01 до 90%. В межень в реках их доля составляет 16% , в подземных водах - 29%, в половодье в реках – 2%, в родниках – почти 90%, в штольне – 1,5%. В чистом снеге 35% массы взвеси составляют частицы с размерностью 0,22 – 2 мкм, в грязном уличном снеге их доля всего 0,1%. Выявляется закономерность - чем меньше содержание взвешенных веществ в водной среде, тем больше доля микрочастиц в диапазоне 0,22–2 мкм. Чем чище снег, тем меньше он суммарно содержит взвесей, тем больше массовая доля микрочастиц диапазона 0,22–2 мкм.

Не менее половины суммарного переноса алюминия, цинка, железа, марганца, нефтепродуктов в водных объектах Нижнего Новгорода осуществляется взвесями, причем

значительная часть – микрочастицами от 0.22 до 2 мкм, составляя от 0 до 100% в зависимости от загрязнителя, фазы водного режима и водного объекта/компонента водной среды.

Таким образом, роль микрочастиц гораздо важнее, чем это представлялось ранее. Они переносят большое количество загрязняющих веществ, которые обычно не учитываются в стандартных анализах. Исследования мелкой части взвеси необходимы для формирования научных представлений о процессах загрязнения окружающей среды и выработки адекватных мер по их смягчению и разработке алгоритмов мониторинга загрязняющих веществ в различных формах.

Финансирование

Работа выполнена в рамках реализации и при поддержке гранта РФФИ № 19-05-50082 Микромир «Диффузный перенос микрочастицами загрязняющих веществ с территории крупного города в водные объекты бассейна Волги (на примере Нижнего Новгорода)» – полевые и экспериментальные работы, анализ переноса загрязнений микрочастицами в Нижнем Новгороде; а также в рамках Государственного задания FMGE-2019-0007 (АААА-А19-119021990093-8) – методические подходы к оценке переноса загрязняющих веществ взвесьями разной крупности.

Список литературы

1. *Алексеев В.А., Алексеев Л.П.* Геохимические барьеры: Учеб.пособие. М.: Логос, 2003. 144 с.
2. *Веницианов Е.В., Лепихин А.П.* Физико-химические основы моделирования миграции и трансформации тяжелых металлов в природных водах / Под науч. ред. А.М. Черняева. ФГУП КамНИИВХ. Екатеринбург: Изд-во РосНИИВХ, 2002. 236 с.
3. *Веницианов Е.В., Соколова О.В.* Сорбция ионных форм металлов на взвесьях при залповых сбросах сточных вод в русловый поток // Водные ресурсы. 2009. Т. 36. № 1. С. 117–122.
4. *Власов Д.В., Кукушкина О.В., Кошелева Н.Е., Касимов Н.С.* Уровни и факторы накопления металлов и металлоидов в придорожных почвах, дорожной пыли и их фракции PM10 в Западном округе Москвы // Почвоведение. 2022. № 5. С. 538–555.
5. *Голохваст К.С., Козинцев В.В., Памирский И.Э., Чайка В.В., Белоус Р.А.* Микроразмерное загрязнение атмосферы города Благовещенска // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2016. Вып.60. С. 52–56.
6. *Гордеев В.В.* Геохимия системы река-море. М.: ИП Матушкина И.И., 2012. 452 с.
7. *Дрюпина Е.Ю., Эйрих А.Н., Эйрих С.С., Папина Т.С.* Влияние крупных городов на качество речных вод (на примере р. Обь в районе г. Барнаула) // Вода: химия и экология. 2014. № 7. С. 3–9.
8. *Касимов Н.С.* Экогеохимия ландшафтов / М.: ИП Филимонов М.В., 2013. 208 с.
9. *Касимов Н.С., Лычагин М.Ю., Чалов С.Р., Шинкарева Г.Л., Папкина М.П., Романченко А.О., Промахова Е.В.* Бассейновый анализ потоков веществ в системе Селенга-Байкал // Вестник Московского университета. Сер.5. География. 2016. № 3. С. 67–81.
10. *Козинцев В.В., Кутай В.Е., Чайка В.В., Дрозд В.А., Голохваст К.С.* Исследование загрязнения атмосферы города Благовещенска частицами PM1, PM10, PM50 // Бюллетень

- физиологии и патологии дыхания. 2018. Выпуск 67. С. 41–44.
11. Концепция токсикологических исследований, методологии оценки риска, методов идентификации и количественного определения наноматериалов (Постановление главного государственного санитарного врача РФ от 31.10.2007 № 79). М., 2007.
 12. *Крюков Л.Н., Поздняков Ш.Р., Румянцев В.А.* Актуальность идентификации наноразмерных частиц в пресноводных объектах на примере Ладожского озера // *Водные ресурсы*. 2017. Т. 44. № 4. С. 475–484.
 13. *Нежуховский Р.А.* Река Нева и Невская губа. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 110 с.
 14. *Орлов Б.В., Бойкова И.Г., Печников В. Г.* Экологическая реабилитация московской городской водоотводящей системы // *Водоснабжение и санитарная техника*. 2011. № 7. С. 51–57.
 15. *Поздняков Ш.Р., Иванова Е.В., Ревунова А.В., Шмакова В.Ю., Рышкевич Т.И.* К вопросу об оценке гранулометрического состава наносов субмикронного диапазона // *Региональная экология*. 2019. № 3 (57). С. 45–54.
 16. *Румянцев В.А., Крюков Л.Н., Поздняков Ш.Р., Рыбакин В.Н.* Наномасштабные элементы лимнологии // *Вестник Российской академии наук*. 2011. Т. 81. № 9. С. 819–824.
 17. *Румянцев В.А., Поздняков Ш.Р., Крюков Л.Н.* Трансформация наноразмерных частиц и проблема их удаления при водоподготовке // *Доклады Академии наук*. 2014. Т. 458. № 3. С. 349–353.
 18. *Чалов С.Р.* Речные наносы в эрозионно-русловых системах / Диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук. Москва: МГУ, 2021. 358 с.
 19. *Черногаева Г.М., Жадановская Е.А.* Загрязнение поверхностных пресных вод на урбанизированных территориях субъектов Российской Федерации // *Вопросы географии*. 2018. № 145. С. 414–423.
 20. *Янин Е.П.* Химический состав и особенности поставки твердых взвешенных веществ в малую реку с канализационным стоком города // *Научные и технические аспекты охраны окружающей среды*, 2013. № 6. С. 2–16.
 21. *Kasimov N.S., Vlasov D.V., Kosheleva N.E.* Enrichment of road dust particles and adjacent environments with metals and metalloids in eastern Moscow // *Urban Climate*. 2020. 32. 100638
 22. *Lychagin M.Y., Tkachenko A.N., Kasimov N.S., Kroonenberg S.B.* Heavy metals in the water, plants, and bottom sediments of the Volga river mouth area // *J. Coastal Res.*, 2015. Vol. 31. pp. 859–868.
 23. *Vlasov D., Vasil'chuk J., Kosheleva N., Kasimov N.* Dissolved and suspended forms of metals and metalloids in snow cover of megacity: Partitioning and deposition rates in western Moscow // *Atmosphere*. 2020. 11(9). 907.

СБАЛАНСИРОВАННАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ: МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНЫХ СРЕД В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО КОМБИНАТА ПЕЧЕНГАНИКЕЛЬ.

BALANCED IDENTIFICATION: MODELING AND FORECAST OF THE STATE OF NATURAL ENVIRONMENT IN THE AREA OF IMPACT OF THE PECHENGANIKEL COPPER-NICKEL MILL.

Соколов Александр Витальевич^{1,2}, Моисеенко Татьяна Ивановна¹, Гашкина Наталья Анатольевна¹, Таций Юрий Григорьевич¹

¹ *Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва*

² *Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, Москва*

Sokolov Alexander Vitalievich^{1,2}, Moiseenko Tatyana Ivanovna¹, Gashkina Natalia Anatolevna¹, Tatsiy Yuri Grigoriyevich¹

¹ *Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow*

² *Institute for information transmission problem (Kharkevitch Insitute), Russian Academy of Sciences, Moscow*

Введение

Функционирование медно-никелевых плавильных производств на Кольском Севере России привело к значительному загрязнению окружающей среды никелем, медью, кадмием и другими металлами. Диоксид серы и большая группа тяжелых металлов распространялась в составе дымовых выбросов, причем среди тяжелых металлов наиболее высокие концентрации имели медь и никель. Экономический кризис 1990-х лет и последующая модернизация технологий привели к снижению потока тяжелых металлов в окружающую среду. В этот период было проведено много исследований, которые показали негативные последствия атмосферных выбросов тяжелых металлов и их сброса в водные системы [Моисеенко, Мегорский и др., 2010]. В 2020 году плавильные производства остановили свою работу. Опыт Канады подтверждает [Jerome et al., 1998], что значительное уменьшение выбросов в атмосферу (с 1970 годов) не приводит к быстрому очищению вод и почв от загрязнения тяжелыми металлами, поскольку проявляются вторичные эффекты перераспределения загрязнения в окружающей среде.

Целью работы является разработка модели, учитывающей геохимические процессы миграции элементов - от выпадений на водосборе, накопления и вымывания из почвы, осаждение в донных отложениях и до удаления из системы со стоками. Дать оценки выпадению металлов из загрязненной атмосферы, их накоплению на водосборе и разработать прогноз последующего самоочищения водных систем после резкого сокращения выпадений (на примере основного из основных загрязняющих элементов – никеля).

Данные и методы

В основу модели легли современные представления о функционировании экосистемы водосбора, включая озеро, многочисленные натурные и экспериментальные данные. Были

учтены систематические (с 1990г по 2018г с интервалом 4-5 лет) данные по состоянию 25 озер вокруг комбината. В процессе выполнения работы были привлечены опубликованные данные по атмосферным выбросам, выпадению, состоянию почв и донных отложений.

На карте (Рис. 1) приведены данные, связанные с последствиями атмосферных загрязнений комбината. Они используются при идентификации модели. Для моделирования был выбран регион с центром в г. Заполярный (именно здесь выбирается начало координат). В регионе находятся два источника атмосферных выбросов Ni: г. Никель и г. Заполярный. Всего рассматривается 84 водосбора. Суммарная площадь бассейнов - 2181 км². Суммарная площадь озер - 150 км²

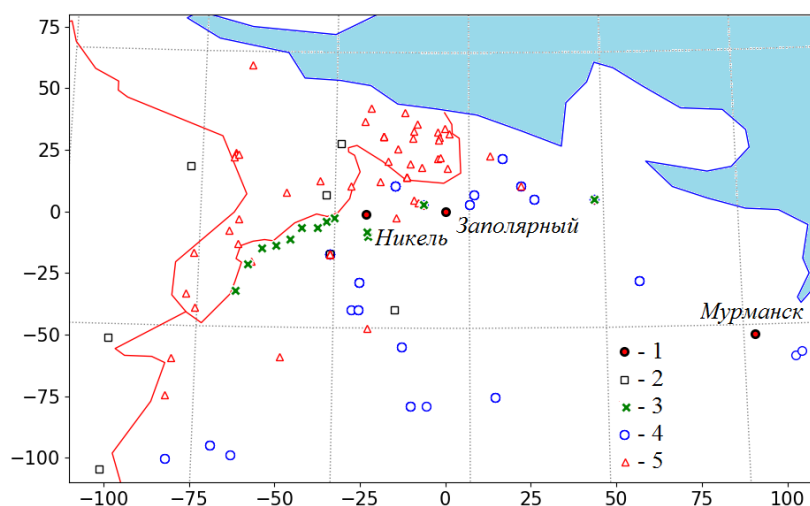


Рис. 1. Точки проведения исследований - 84 водосбора в зоне моделирования (влияния атмосферных выбросов комбината): 1 – источники выбросов, 2 – выпадения, 3 – почва, 4 – озера, 5 – донные отложения.

Следует отметить, что используемые источники данных, являются результатом различных исследований и проектов, слабо связанных между собой.

До последнего времени построить по разнородным экспериментальным данным нелинейную распределенную модель динамики нескольких показателей было затруднительно. Появившееся специальное программное обеспечение и доступность мощных вычислительных ресурсов (кластеров) позволили создать технологию для решения задач такой сложности - технологию сбалансированной идентификации [Соколов, Волошинов, 2018; Sokolov, Voloshinov, 2020]. Отметим, что технология успешно использовалась при решении обратных задач в различных научных областях (механика, физика плазмы, теплопроводность, биология, физиология растений, эпидемиология, метеорология, перенос атмосферных загрязнений и др., более развернутое перечисление можно найти в [Sokolov, Voloshinov, 2020]).

Рассмотрим балансовую модель трансформации атмосферных выбросов Ni в почве, воде и донных отложениях. Единицей моделирования является озеро с соответствующим водосбором (почвой). Модель описывает 2 источника выбросов и 84 (не взаимодействующих между собой) водосбора. Общая схема модели для одного источника и отдельного водосбора представлена на рис. 2 в виде потоковой диаграммы.

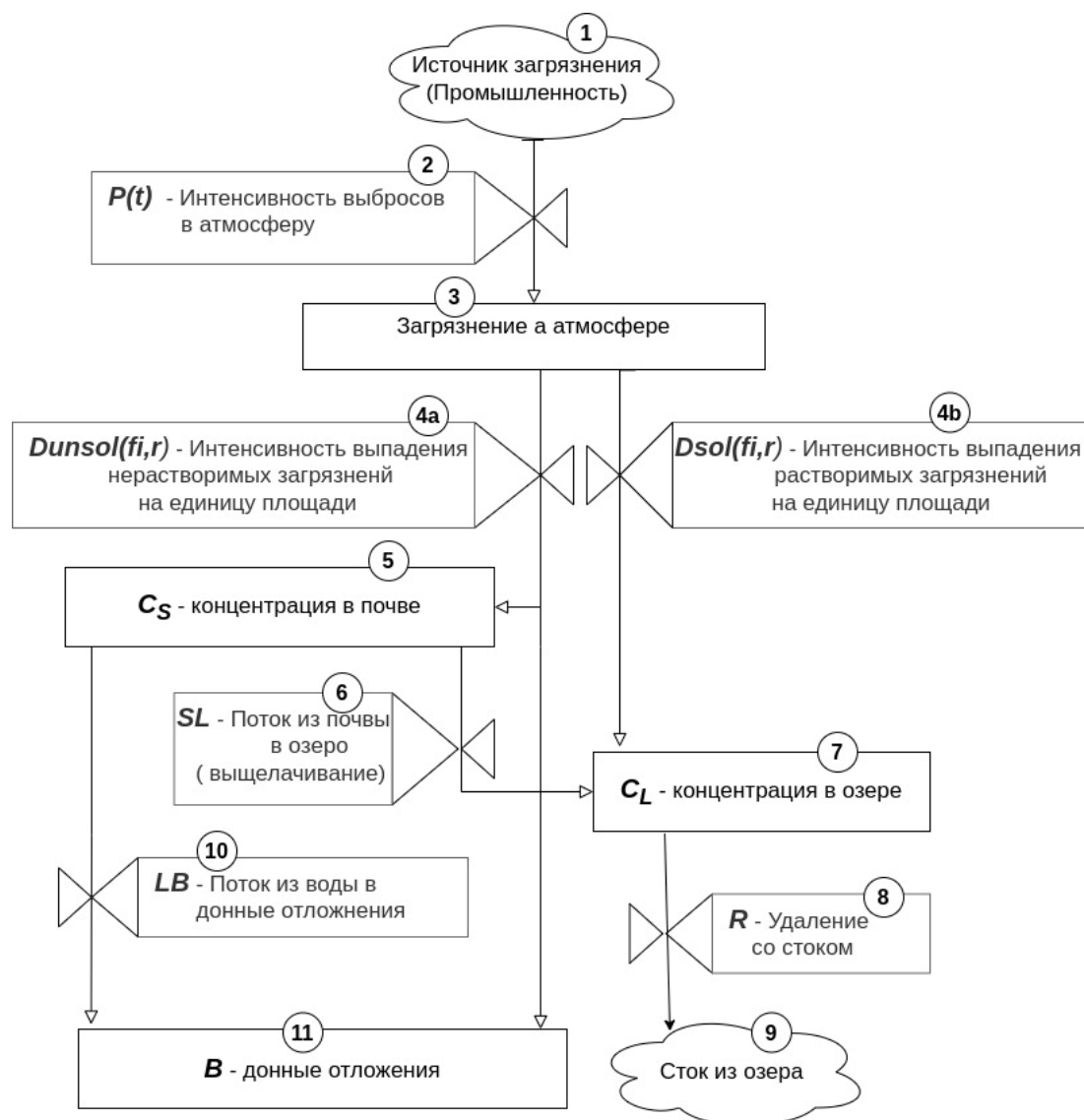


Рис. 2. Схематическое представление трансформации (атмосферных) загрязнений для водосбора.

Трансформацию загрязнений для водосбора, представленную на рис. 2, можно описать следующим образом. Источником загрязнения является промышленность (номер 1). С интенсивностью $P(t)$ (номер 2) часть загрязнений выбрасывается в атмосферу (номер 3), откуда выпадает на поверхность в зависимости от времени t , расстояния до источника r и направления fi : интенсивность выпадения нерастворимых форм (номер 4a) $Dunsol(t,fi,r)$, растворимых (номер 4b) $Dsol(t,fi,r)$. Нерастворимая часть загрязнений попадает в почву (номер 5) и в донные отложения (номер 11). Загрязнение, попавшее в почву, частично задерживается в ней, частично смывается в донные отложения или переходят в растворимую форму (номер 6) и попадает в воду озера (номер 7). Загрязнения в растворимой форме попадают с интенсивностью (номер 4b) в воду озера, откуда могут выноситься с интенсивностью (номер 8).

Схема на рис. 2, отражает лишь общее представление о функционировании объекта. Полное формальное описание модели для водосбора здесь не приводится. Оно содержит множество неизвестных функций, которые необходимо определить (идентифицировать) так, чтобы они удовлетворяли представлениям специалистов о закономерностях функционирования моделируемого объекта и проходили «недалеко» от экспериментальных

данных (уравнения, обеспечивающие связь переменных модели с данными здесь не приводится). Для этого и используется технология сбалансированной идентификации [Соколов, Волошинов, 2018; Sokolov, Voloshinov, 2020].

Результаты.

Приведем некоторые полученные результаты моделирования состояния 84 водосборов, находящихся в зоне действия атмосферных выбросов комбината «Печенганикель» (см. Рис. 1), на временном интервале 1946 - 2030 гг. Реальные данные имеются до 2019 года (выбросы) – так что можно считать, что прогноз осуществляется с 2019 года. Основным предположением прогноза является полное прекращение атмосферных выбросов комбината с 2022 года.

На рис. 3а для среднего водосбора (здесь и далее под средним водосбором будем подразумевать среднее по 84-м водосборам, взвешенное по площади) приводится распределение выпадения Ni по составляющим: почва (суша), вода (озера) и донные отложения. Из графика видно, что около 40% ежегодного выпадения Ni поступает в донные отложения и приблизительно по 30% - в воду и в почву.

На рис. 3б для среднего водосбора приводится баланс накопления Ni по составляющим: почва (суша), вода (озера), донные отложения и потери со стоком. Из графика видно, что около 50% выпавшего Ni накапливается в донных отложениях, 30% уходит со стоком и 20% накапливается в почве. Накоплением в воде можно пренебречь. Заметим, что с 2020-х годов потери со стоком только начинают отражаться на медленном снижении накопления в почве при стабилизации накопления в донных отложениях.

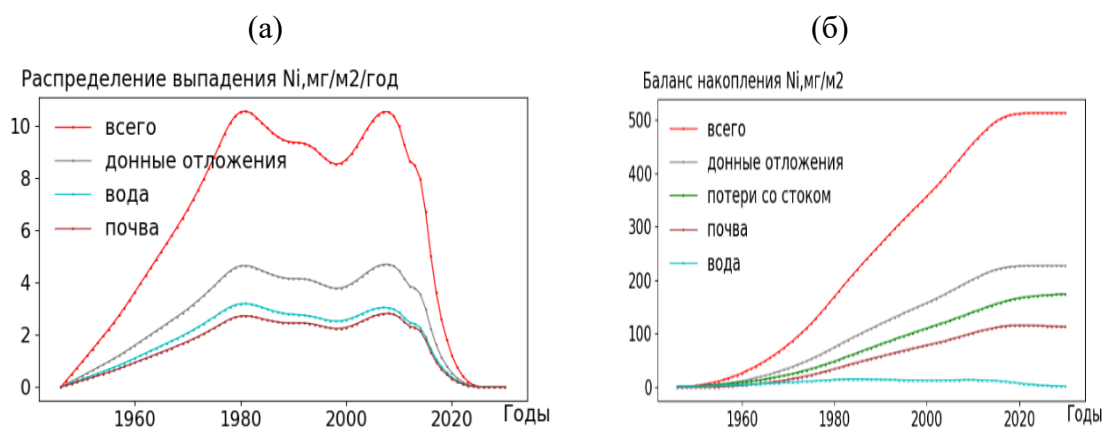


Рис. 3. а) Распределение выпадения Ni. б) Баланс накопления Ni.

На рис. 4 приводятся результаты моделирования показателей загрязнения на всем регионе моделирования в различные моменты времени. 1995 год – начало интенсивных исследований, 2005 год – исследование во второй пик больших выбросов, 2018 год – последний год интенсивных измерений. 2030 – конец прогноза. При расчетах использовали следующие предположения: начальная концентрация Ni в воде равна 1 мг/м³, фоновое значение содержания Ni в почве равно 20 мг/кг(сух. веса), соотношение суши к площади озера (для водосбора) равно 15.

Представленные на рис. 4 выпадения Ni отражают максимальные выбросы в 1980-х годах, их снижение (2018 г.). Территориальное накопление Ni в почве расширялось вплоть до 2018 г. (изолиния близкая к фоновым значениям 25 мг/кг расширилась до 50 км). Следует заметить, что загрязнение почв имеет ярко выраженный локальный характер и ограничивается 10-км зоной.

Выпадения качественно соответствуют результатам расчетов, полученным с помощью более сложных моделей атмосферного переноса [Rognerud et al., 1993].

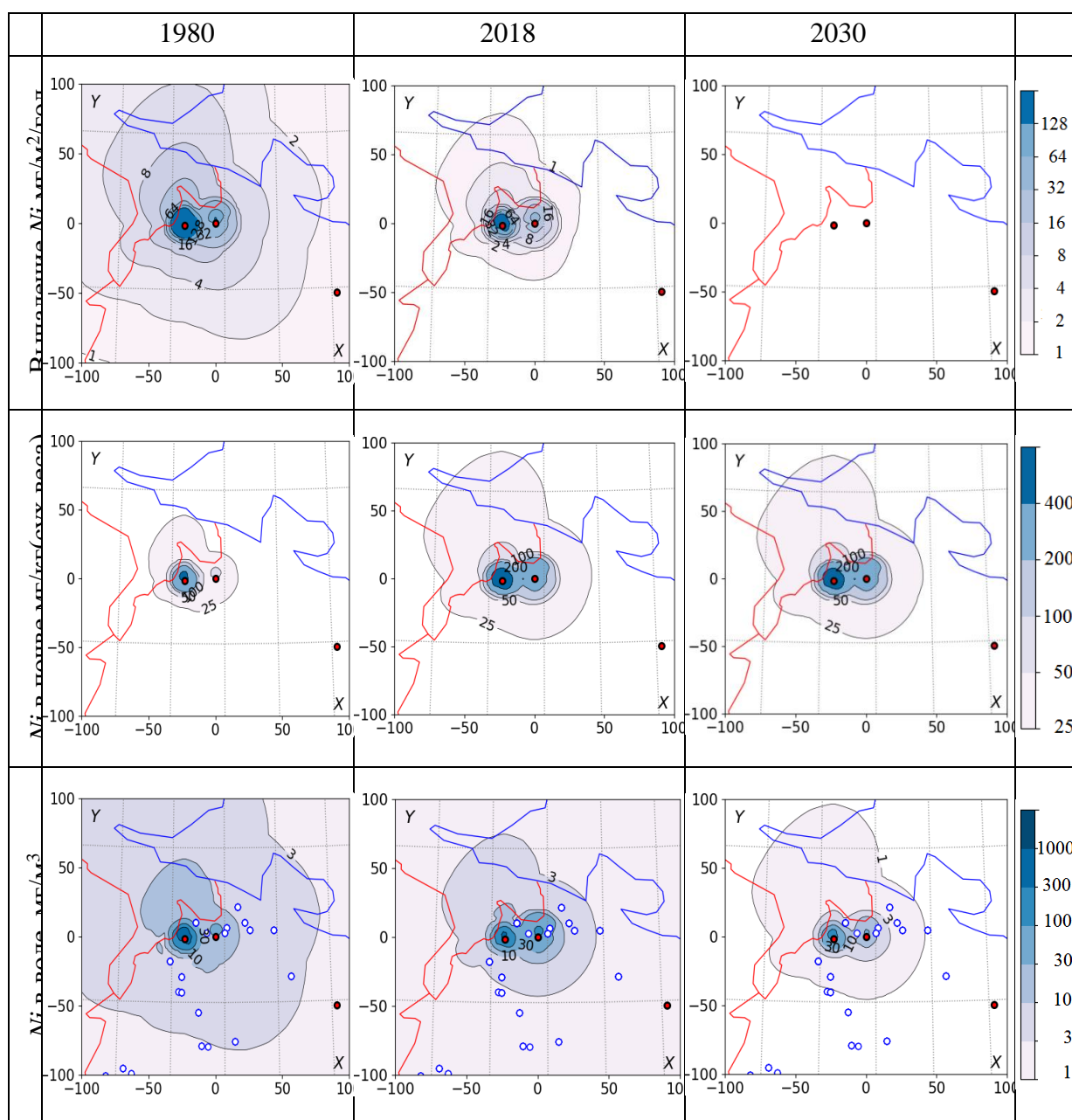


Рис. 4. Динамика загрязнений Ni в территориальном разрезе.

Заключение

Построенная на основе технологии сбалансированной идентификации модель продемонстрировала применимость для реконструкции прошлого и прогноза состояния природных сред на водосборе в системе «атмосферные выпадения – почвы – воды суши». На ее основе было предсказано, что приостановка выбросов комбината «Печенганикель» (которая произошла совсем недавно в 2021 г.) не приведет к быстрому восстановлению и очищению природных сред от никеля, как основного загрязняющего элемента. Наибольшей инерцией к восстановлению обладают почвы. Более быстрый ответ можно ожидать от концентрации Ni в воде – при отсутствии выбросов главным источником поступления будет являться выщелачивание накопленных в почве загрязнителей.

Разработанные модели трансформации атмосферных загрязнений актуальны для всех (арктических) регионов, где существуют или планируется создать промышленные производства по добычи и переработки рудных полиметаллических месторождений. В частности, предполагается использовать накопленный опыт для моделирования загрязнения от комбината в Мончегорске.

Финансирование

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ грант № 22-17-00061.

Список литературы

1. *Моисеенко Т.И., Мегорский В.В., Гашкина Н.А., Кудрявцева Л.П.* Влияние загрязнения вод на здоровье населения индустриального региона севера // Водные ресурсы. – 2010. – Т. 37. – № 2. – С 194-203.
2. *Jerome O. Nriagua, Henry K.T.Wongb, Gregory Lawsonb, Peter Daniel* Saturation of ecosystems with toxic metals in Sudbury basin, Ontario, Canada. // *The Science of the Total Environment* – V. 223. -1998, – С. 99-117
3. *Соколов А.В., Волошинов В.В.* Выбор математической модели: баланс между сложностью и близостью к измерениям. // *International Journal of Open Information Technologies*. - 2018, - Т 6(9), – С. 33–41.
URL: <http://injoit.org/index.php/j1/article/view/612>
4. *Sokolov A.V., Voloshinov V.V.* Model Selection by Balanced Identification: the Interplay of Optimization and Distributed Computing. // *Open Computer Science*. – 2020. – V. 10. – P. 283–295. DOI: 10.1515/comp-2020-0116
URL: <https://doi.org/10.1515/comp-2020-0116>
5. *Rognerud S., Norton S.A., Dauvalter V.* Heavy metal pollution in lake sediments in border areas between Russia and Norway. *NIVA-Rep 522(93):20*. -1993

ВЫДЕЛЕНИЕ ДРЕВНЕЙ ГИДРОСЕТИ ТАМАНСКОГО ПОЛУОСТРОВА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДЕШИФРИРОВАНИЯ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

LOCATION OF THE ANCIENT RIVER NETWORK OF THE TAMAN PENINSULA TO EARTH REMOTE SENSING DATA AND GEOMORPHOLOGICAL OBSERVATIONS

Мануилова Екатерина Алексеевна¹, Хотылев Олег Владимирович², Ольховский Сергей Валерьевич³

¹ *Институт физики земли имени О. Ю. Шмидта РАН, Москва*

² *АО «Зарубежгеология», Москва*

³ *Институт археологии РАН, Москва*

Manuilova Ekaterina Alekseevna¹, Khotylev Oleg Vladimirovich², Olkhovsky Sergey Valeryevich³

¹ *Schmidt Earth Physics Institute RAS, Moscow*

² *JSC «Zarubezhgeologia», Moscow*

³ *Institute of archaeology RAS, Moscow*

Введение

Современный облик Таманского полуострова характеризуется в целом низменным рельефом с холмистыми грядами, ориентированными преимущественно в северо-восточном направлении и достигающими высот в 100-150 м. Не смотря на то, что полуостров омывается водами Черного и Азовского морей, а также имеет большое количество лиманов, реки на этой территории отсутствуют. Лишь в восточной части района расположена долина р. Кубань с многочисленными рукавами, берущая свое начало в Кавказских горах. Однако, на картах XIX в. генерал-майора С.А. Мухина (1817 г.) и французского исследователя Хаблитца (1820 г.) показаны реки на этой территории. Также о существовании водотоков упоминается в «География» Страбона и у других древнегреческих авторов. Помимо этого, под водой в районе косы Чушка найдены мраморные колонны, в северо-западной части Таманского залива — скопления керамики и части поселений [Паромов, 2015]. Все это говорит о том, что рельеф и гидросеть Таманского полуострова претерпели значительные изменения за последние 2,5 тыс. лет.

Применение дистанционных методов исследования на этой территории, позволяет выделять как геологические структуры, так и археологические объекты — контуры поселений, дороги, межевые границы [Паромов, 1998; Гарбузов, 2003]. Изучение космических изображений, основанное на изменении их фототона, рисунка линий и особенностей топографии рельефа, делает возможным выделение границ древних лиманов и водотоков, контуры которых стерты многолетней хозяйственной деятельностью человека. Геоморфологические наблюдения предоставляют возможность провести заверку, выявленных при дешифрировании объектов.

Таким образом, целью исследования является выделение древней гидросети на территории Таманского полуострова. В связи с чем, возникает вопрос о возможных геологических причинах ее изменения. Восстановление расположения древних водотоков важно с точки зрения археологии, так как наличие источника пресной воды — основной момент при выборе места основания города.

Данные и методы

В ходе работы использованы космические изображения со спутников по проектам Corona, SPOT и Landsat за разное время, начиная с 60-х годов XX века по настоящее время, полученные с портала EarthExplorer. Отражение древних водотоков на этих космофотоснимках связано с особенностями их долин, разрез которых выполнен легко проницаемыми породами-коллекторами грунтовых вод (галечники, пески, супеси). Вода, содержащаяся в таких разрезах, перекрытых менее проницаемыми породами, поднимается на поверхность за счет капиллярных сил, в результате чего участки почв, перекрывающих древние русла, будут иметь более темные или резко отличные (относительно общего фона) окраски. Также применялись топографические карты разного масштаба и цифровая модель рельефа, построенная по радарным данным SRTM 1 arc-second, на которых некоторые древние долины проявлены в виде отрицательной линейно-вытянутой формы рельефа. Древние границы лиманов маркируются перепадом высот (до 2-3 м) и местами соответствуют устьевой части древних водотоков.

Дополнительно использован онлайн сервис «Landsat Explorer» с фильтром «Agriculture», который отражает состояние (водонасыщенность), состав почв и степень сельскохозяйственного освоения земель. При этом на снимках синими и черно-синими тонами отображены свободные водные пространства и сильно увлажненные участки поверхности земли, которые соответствуют древним водотокам и позволяют оконтурить древние границы лиманов. Помимо этого, проведены полевые геолого-геоморфологические наблюдения для заверки выявленных водотоков. Исследования проводились в основном вдоль береговой линии Таманского залива, так как она имеет хорошую обнаженность. При этом обращалось внимание на наличие современных и древних эрозионных врезов, конусов выноса, их строение, состав и размеры.

Результаты исследований

Комплексный анализ данных дистанционного зондирования Земли, особенностей топографии района и геолого-геоморфологических наблюдений позволил составить схему гидросети Таманского полуострова (Рис. 1). На схеме показаны современные эрозионные врезы, которые соответствуют временным водным потокам, а местами ручьям. Они расположены в основном на склонах холмистых гряд, т.е. в областях поднятий, ко многим из которых приурочены грязевые вулканы. Устья современных эрозионных врезов также отмечаются вдоль береговой линии. В ходе геолого-геоморфологических наблюдений на побережье в районе с. Тамань установлена серия современных врезов V-образной формы, которые функционируют во время дождей. Видимая длина врезов изменяется от 5 до 50 м, а по космофотоснимкам — до 300 м, выше переходя во врезы древних водотоков. Устья древних водотоков отмечаются в основном вдоль береговой линии. На участке от оз. Соленого до оз. Тузла вдоль побережья при дешифрировании выявлены висячие долины. Их наличие связано с особенностями тектонической активности района.

Помимо этого, на схеме можно заметить, что некоторые водотоки протягиваются от Таманского залива до древней границы Ахтанизовского лимана. Наибольшие споры в среде археологов посвящены двум объектам: «Субботин ерик» — «северный пролив» и «Шимарданский рукав» — «южный пролив». Аномальные осадки августа 2021 года резко и на достаточно продолжительное время повысили уровень грунтовых вод Таманского полуострова, благодаря чему появилась возможность зафиксировать некоторые особенности этих объектов. На рисунке (рис. 2) представлены исходные снимки («А» и «В») и снимки, на которых обводненные поля выделены красным контуром («Б» и «Г»). Видно, что для участка «Субботин ерик» обводненный контур протягивается практически непрерывной линией от Таманского залива до Ахтанизовского лимана, расширяясь к побережьям и сужаясь в средней части. Для участка «Шимарданский рукав» ситуация несколько сложнее — непрерывный контур, соединяющий Таманский залив и Ахтанизовский лиман, отсутствует, но на очень небольшом интервале. При этом обводненный контур, примыкающий к Ахтанизовскому лиману, имеет очень сложную конфигурацию.

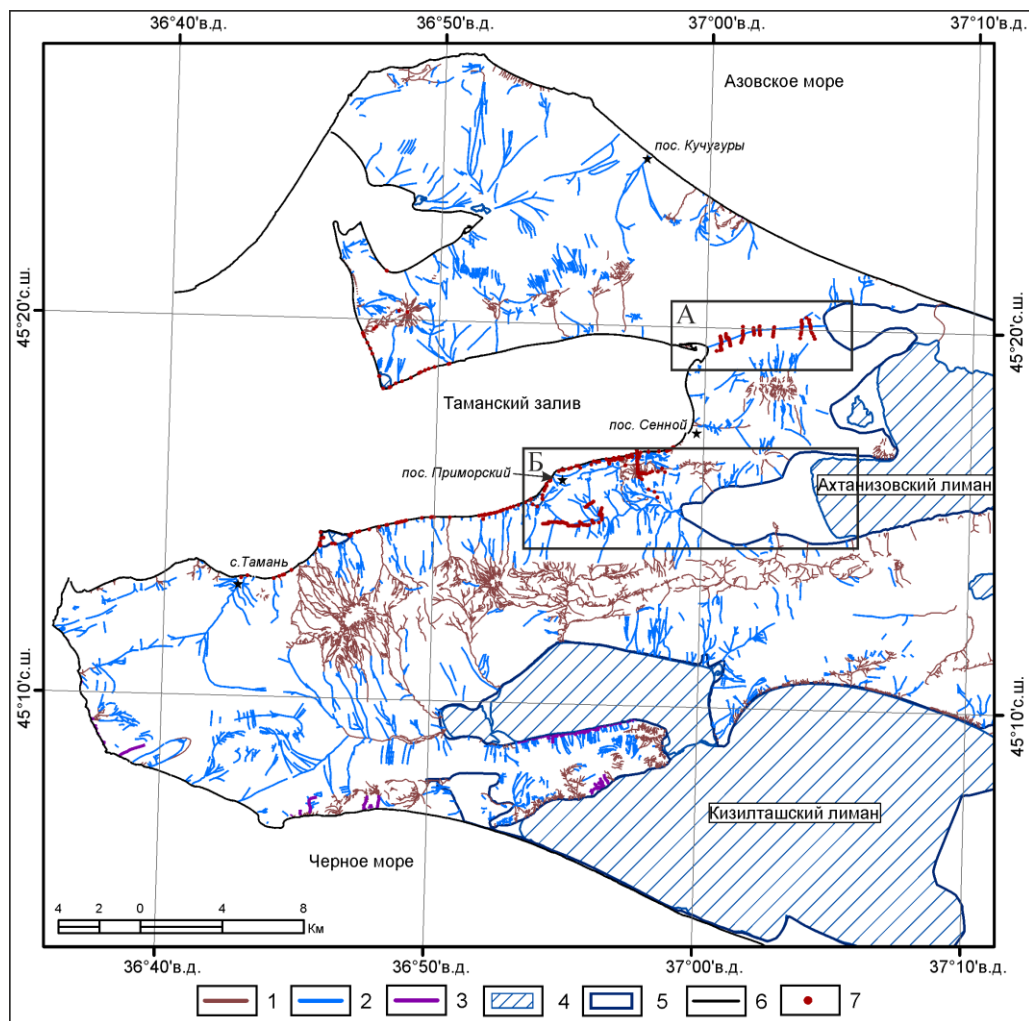


Рис 1. Схема гидросети Таманского полуострова. 1–2 – водотоки: 1 – современные, 2 – древние; 3 — всиячие долины; 4–5 – границы лиманов: 4 – современные, 5 – древние; 6 – современный берег; 7 — точки геолого-геоморфологических наблюдений. А, Б — контуры участков, которые показаны на рис. 2

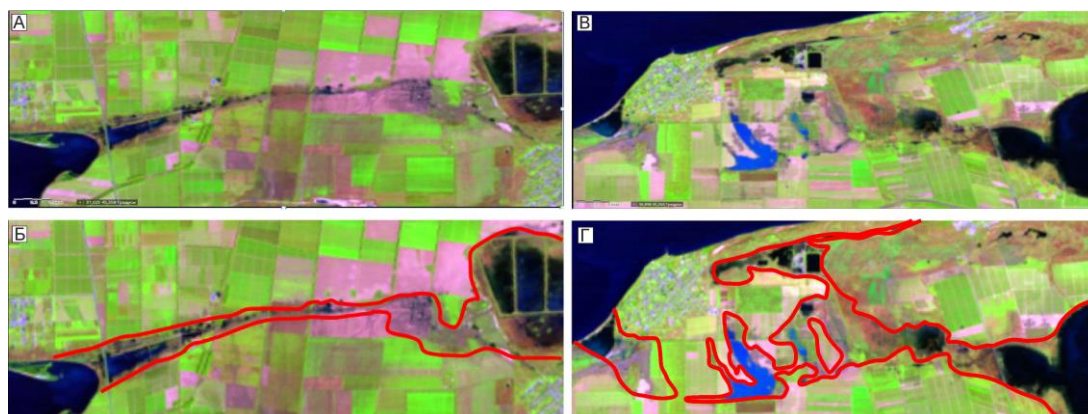


Рис 2. Космофотоснимки двух фрагментов Таманского полуострова с онлайн сервиса «LandsatExplorer», фильтр «Agriculture»: А, Б — «Субботин ерик»; В, Г — «Шимарданский рукав». Красная линия — контур обводненных участков.

Интерпретируя полученные данные можно сказать, что наличие «Шимарданского рукава» можно предположить с высокой вероятностью. Это связано с тем, что большая его часть имела ширину до нескольких сотен метров и представляла собой достаточно разветвленную речную систему, которая соединялась с водотоком, протекающим вдоль южного края города Фанагория. В целом, существованию этого пролива не противоречит и распределение поселений, которое было установлено ранее в статье [Гарбузов, 2016]. При проведении

геоморфологических исследований в пределах «Субботина ерика» и «Шимарданского рукава», предполагаемые русла маркируются высоким камышом, который не распаивают, также отмечается сильно увлажненная земля и на ее поверхности вода. Окончательное решение о существовании этих «проливов» можно будет сказать только после проходки серии скважин, а для «Шимарданского рукава» в особенности в «разрыве» обводненного контура.

Анализируя, полученные материалы, возникает вопрос: «С чем связана перестройка рельефа и гидросети?». Многие исследователи связывают это с изменением уровня моря. Однако преобладающим процессом являются современные тектонические движения. Активность этой территории подтверждается следующими данными. Во-первых, геодезическими измерениями, выполнявшимися на протяжении 1.5–7 лет с применением GPS-систем. Они показали постоянную деформацию берегов полуострова со скоростями разноамплитудных движений 7–12 мм/год при горизонтальной составляющей до 3 мм/год [Юбка и др., 2016]. Во-вторых, событием, произошедшим летом 2011 года [Попков и др., 2013], когда было зафиксировано новейшее тектоническое поднятие морского дна Азовского моря с захватом береговой полосы в районе м. Каменный. При этом амплитуда вертикальных движений составила +4.5 м в пределах видимой площади и до +5.0 м в эпицентре, расположенном далее в морской части. Также наличием более двух десятков грязевых вулканов разной степени активности и геоморфологическими особенностями: развитием оползневых процессов при росте отдельных блоков, эрозионными процессами, развитыми на склонах растущих поднятий, наличием висячих долин на суше и вдоль береговой линии, разрывами водотоков при росте локальных поднятий.

Заключение

Проведенное дешифрирование космофотоснимков, позволило выявить древнюю гидросеть, а также зафиксировать границы двух объектов, вызывающих наибольшие споры в среде археологов: «Субботин ерик» и «Шимарданский рукав». Часть, полученных данных, удалось подтвердить в ходе геоморфологических наблюдений. Однако, о существовании этих водотоков, в том числе и крупных проливов можно будет сказать только после проходки серии скважин в пределах обводненных контуров. Дальнейшие геолого-геоморфологические исследования позволят расширить знания о перестройке рельефа и гидросети Таманского полуострова за последние 2.5 тыс. лет.

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ N 22-27-00591.

Список литературы

1. *Гарбузов Г.П.* «Страбонов» рукав Кубани и хора Фанагории // Фанагория. Результаты археологических исследований. М.: Инст. археологии РАН, 2016. С. 34-45.
2. *Гарбузов Г.П.* Археологические исследования и дистанционное зондирование Земли из космоса // Российская археология. 2003. №2. С. 45-55
3. *Паромов Я.М.* Главные дороги Таманского полуострова в античное время // Древности Боспора. Т. 1. М. 1998.
4. *Паромов Я.М.* Краеугольный камень Таманской палеогеографии / Краткие сообщения Института археологии. 2015. № 241. С. 137–153.
5. *Попков В.И., Фоменко В.А., Глазырин Е.А., Попков И.В.* Катастрофическое тектоническое событие лета 2011 года на Таманском полуострове / ДАН. 2013. Т. 448. № 6. С. 680.
6. *Юбка В.М., Глазырин Е.А., Шестопалов В.Л.* Опыт измерения современных движений земной коры в районе Азово-Черноморского побережья РФ / Тектонофизическая конференция в ИФЗ РАН. М.: Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, 2016. С. 298–303.

КРУПНЕЙШИЕ ПРИЛЕДНИКОВЫЕ ОЗЕРА АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН
ПО СОСТОЯНИЮ НА 2008-2019 ГГ.

THE LARGEST GLACIAL LAKES OF SVALBARD IN 2008-2019.

Ромашова Ксения Владимировна¹, Чернов Роберт Анатольевич²

¹*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург*

²*Институт географии РАН, Москва*

Romashova Kseniia Vladimirovna¹, Chernov Robert Anatolevich²

¹*Arctic and Antarctic Research Institute, Saint Petersburg*

²*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow*

Введение

На архипелаге Шпицберген в связи с продолжающимися с начала XX века климатическими изменениями [Meredith et al., 2019; Serreze and Barry, 2011] и зафиксированной в последнее столетие деградацией ледников [Hanssen-Bauer et al., 2019; Nuth et al., 2013] обнаружено 629 новых приледниковых озер, длина которых превышает 100 м [Чернов, Ромашова, 2022]. Приледниковые озера Шпицбергена образовались в котловинах и грядах моренных комплексов, освобожденных от ледников в результате климатических изменений в Арктике. Исследование их характеристик и инвентаризация происходит в настоящий момент [Чернов, Ромашова, 2022; Urbański, 2022; Wiczorek et al., 2022], в то время как изучение подобных озер в мире находится на достаточном уровне и направлено в основном на потенциальную возможность события прорыва [например: Chowdhury et al., 2021; Dou et al., 2021; Furian et al., 2021]. Для архипелага Шпицберген подобная задача является мало актуальной ввиду малочисленности населения и инфраструктуры.

В ходе инвентаризации приледниковых озер нами отмечено, что многочисленные озера образовались на территориях, ранее занятых ледниками, и лежат в пределах конечных и боковых морен, которые были образованы в период максимума оледенения, т.е. в конце XIX и начале XX вв. Процесс формирования новых приледниковых озер характерен для всего архипелага, но более выражен на северных и восточных территориях. Почти половина озер имеют ледяные берега, т.е. контактируют с ледником, поэтому их береговая линия будет изменчива в ближайшие десятилетия. Общая протяженность ледяных берегов 306 озер равна $233,8 \pm 0,6$ км по состоянию на 2008-2019 год, что сопоставимо с длиной фронтов выводных ледников Шпицбергена.

В целом процесс экспансии приледниковых озер является очевидным признаком климатических изменений, как и сокращение оледенения архипелага. Появление новых озер способствуют таянию фронтов ледников и мертвых льдов в прилегающих моренах, изменяют температурный режим окружающего пространства и подстилающих мерзлых пород, а в случае масштабных прорывов способны изменить ландшафт горных долин. Их влияние на окружающий ландшафт комплексно, и оно очевидно более значимо при образовании больших водоемов. Инвентаризация показала, что на архипелаге существует несколько десятков крупных приледниковых озер, по своим размерам сопоставимые с крупнейшими озерами в

Арктике. В настоящей работе рассмотрены некоторые их характеристики и отмечена динамика их изменений.

Данные и методы

Для изучения морфометрических особенностей крупнейших озер архипелага Шпицберген был использован картографический сервис Норвежского полярного института (Norwegian Polar Institute) «KartoverSvalbard» [toposvalbard.npolar.no], в основе которого на 08.2020 лежит аэрофотосъемка 1990 года для юга Шпицбергена и съемка 2008-2012 гг. для его центральных и северных территорий. Разрешение оцифрованных ортофотоснимков составляет 20-40 см. Историческое положение озер фиксировано при помощи аэрофотоснимков 1936-1938 гг., доступных на электронном ресурсе (<https://toposvalbard.npolar.no/>), спутниковых снимков Landsat 5 1990 года с максимальным разрешением 30 м и спутниковых снимков Sentinel 2 2022 года с максимальным разрешением 10 м.

Оценка площади озер выполнена с использованием открытого векторного набора картографических данных суши Шпицбергена, имеющего контент, который, по сути, соответствует серии карт Шпицбергена масштаба 1:100000, а также спутниковых снимков. Величина погрешности определялась путем построения внутренних и внешних буферных зон, составляющих половину величины разрешения использованных картографических сервисов и наборов изображений.

Результаты и их обсуждение

Из обнаруженных ранее на 2008-2019 гг. 629 новых приледниковых озер [Чернов, Ромашова, 2022], 35 имеют площадь водного зеркала более 1 км². Большинство крупных приледниковых озер обнаружены на северных территориях архипелага Шпицберген, где гляциальный рельеф менее расчленен (рисунок 1). В центральной части Шпицбергена, в области горного оледенения, количество озер оказалось наименьшим. Остальная часть примерно поровну разделена между западным побережьем (7 озер) и внутренней территорией архипелага с островами Эдж и Баренца (10 озер). Несколько крупных озер образовалось в боковых долинах, подпруженных ледниками.

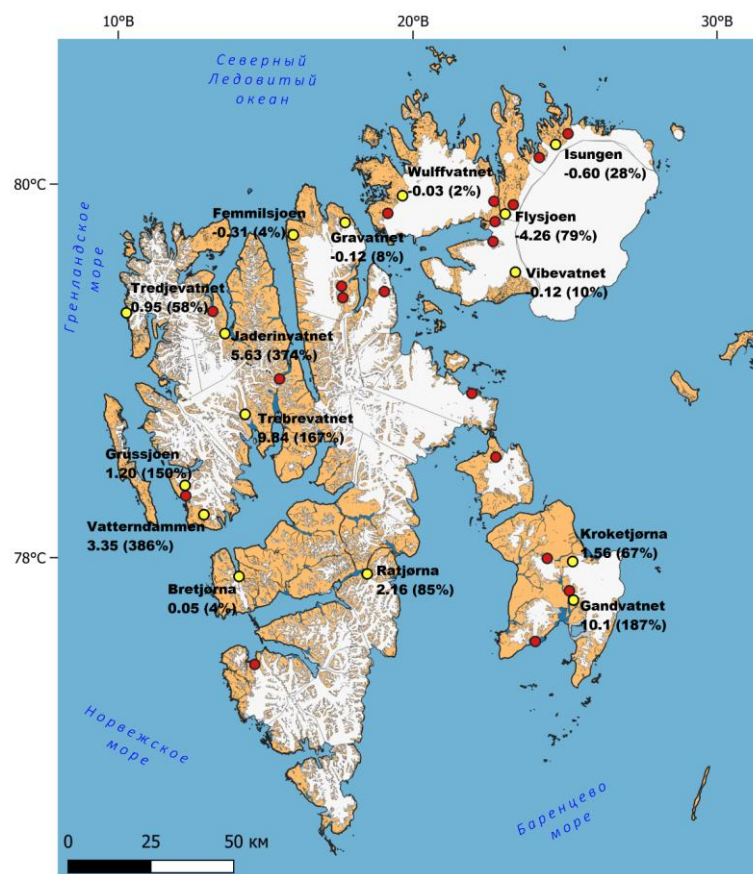


Рисунок 1. Карта-схема расположения крупнейших приледниковых озер архипелага Шпицберген (красные точки). Цифрами обозначены изменения площади озер за период 1990-2022 гг. (желтые точки)

На 2008-2019 гг. Площадь 35 крупнейших приледниковых озер находится в пределах от 1,1 до 17,3 км², суммарно составляет 121 км² или порядка 70% от площади всех приледниковых озер, равной 173 км² [Чернов, Ромашова, 2022].

Большинство крупных озер образовалось на высоте менее 75 м в связи с масштабным отступанием горно-долинных ледников, языки которых были расположены на низких гипсометрических уровнях [Nuth et al, 2013]. При этом средняя высота положения крупных приледниковых озер Северо-Восточной Земли составляет 140 м.

По состоянию на 2008-2019 гг. из 35 озер 34 имеют ледяные берега, то есть находятся в стадии формирования. Общая протяженность ледяных берегов крупнейших озер в сумме равна 80,1 км или 34% от общей протяженности ледяных берегов всех 629 приледниковых озер. Единственное сформированное озеро находится на острове Эдж (Edgeoya), расположено в моренном комплексе шириной около 5,5 км и питается ледником Кухрбрин (Kuhrbreen). Несмотря на отсутствие прямого контакта озера с ледником, связь с ним происходит через реку протяженностью около 1 км, которая берет свое начало у отступающего ледника.

На примере 15 озер (рисунок 1, желтые точки) исследованы пространственно-временные изменения новых приледниковых озер. Шесть из выбранных крупных озер не существовало в 1936-1938 гг. Они расположены на острове Эдж, в центральной и западной частях архипелага. В 1990 году общая площадь 15 озер составляла 40,8±2,5 км², к 2022 году эта цифра увеличилась до 65,5±1,0 км². Однако, изменения озер значительно разнятся по территории Шпицбергена. Так, выделяется группа из 6 озер, расположенных на Северо-Восточной Земле и Земле Нью-Фрисланд (Ny-Friesland), площадь которых суммарно уменьшилась на 5,4 км² или на 27% за период 1990-2022 гг. Подобные особенности связаны с более суровым климатом в

этой части архипелага [Hanssen-Bauer et al., 2019], а также высотным положением озер северных территорий. Их средняя высота составила 128 м против 24 м у остальных озер за исключением Крукетьерна (Krokettjørna), расположенного на 159 метрах.

Озеро Бретьерна (Bretjørna) – единственное, находящееся на западной территории архипелага, практически не изменяющееся в своих размерах с 1990 года. Оно расположено в пределах моренного комплекса ледников Западный и Восточный Гренфьорд на высоте всего 4 метра над уровнем моря и имеет наименьшую протяженность ледяного берега, на 2008 год она составляла 129 м [Ромашова, Чернов, 2022], к 2022 году озеро полностью отделилось от ледника и заняло свою котловину.

Крупные озера островов Западный Шпицберген и Эжд увеличивались за последние 30 лет в различных масштабах. Практически в 5 раз увеличилась площадь зеркала озера Ядеринватнет (Jäderinvatnet) и Ватерндамен (Vetterndammen), расположенных в северной части острова Западный Шпицберген. Почти в три раза увеличилась площадь озер Гандватнет (Gandvatnet) и Требреватнет (Trebrevatnet), они являются наиболее крупными в 2022 году и имеют одинаковую площадь зеркала, равную $15,5 \pm 0,5$ км².

Заключение

На архипелаге Шпицберген на 2008-2019 гг. обнаружено 35 озер с площадью водного зеркала более 1 км². Практически половина из них расположены на северных территориях, где гляциальный рельеф менее расчленен. Площадь 35 крупнейших приледниковых озер находится в пределах от 1,1 до 17,3 км² и суммарно составляет 121 км² или порядка 70% от площади всех приледниковых озер, равной 173 км². 19 из 35 озер расположены на высоте менее 75 м. Высотное положение и достаточная протяженность таких озер указывают на потенциал организации временных взлетно-посадочных полос и гидротехнических сооружений. Протяженность ледяных берегов 34 озер на 2008-2019 гг. составляет 80,1 км.

На примере 15 озер показано отсутствие изменений или сокращение площади крупных озер на северо-востоке острова Западный Шпицберген и острове Северо-Восточная Земля в последние 30 лет. Озера на остальных территориях архипелага увеличиваются в размерах. В некоторых случаях эти изменения многократны. На 2022 отмечено два крупнейших озера архипелага с площадью зеркала $15,5 \pm 0,5$ км² – Требреватнет (Trebrevatnet) и Гандватнет (Gandvatnet).

Благодарности

Разработка методики и анализ данных выполнены в рамках темы государственного задания Института географии РАН АААА-А19-119022190172-5 (FMGE-2019-0004) «Оледенение и сопутствующие природные процессы при изменениях климата».

Список литературы

1. Meredith M. et al. Polar regions: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate //IPCC. <https://www.ipcc.ch/srocc/chapter>. – 2019. – С. 2.
2. Serreze M. C., Barry R. G. Processes and impacts of Arctic amplification: A research synthesis //Global and planetary change. – 2011. – Т. 77. – №. 1-2. – P. 85-96.
3. Hanssen-Bauer I. et al. Climate in Svalbard 2100 //A knowledge base for climate adaptation. – 2019.
4. Nuth C. et al. Decadal changes from a multi-temporal glacier inventory of Svalbard //The Cryosphere. – 2013. – Т. 7. – №. 5. – С. 1603-1621.

5. *Чернов Р.А., Ромашова К.В.* Современное состояние приледниковых озер архипелага Шпицберген // Криосфера Земли. 2022. Т. 26. №1. С.36-45.
6. *Urbański J. A.* Monitoring and classification of high Arctic lakes in the Svalbard Islands using remote sensing //International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2022. – Т. 112. – P. 102911
7. *Wieczorek I. et al.* Inventory and classification of the post Little Ice Age glacial lakes in Svalbard //The Cryosphere Discussions. – 2022. – P. 1-29.
8. *Chowdhury A. et al.* Glacial Lake Evolution (1962–2018) and Outburst Susceptibility of Gurudongmar Lake Complex in the Tista Basin, Sikkim Himalaya (India) //Water. – 2021. – Т. 13. – №. 24. – P. 3565.
9. *Dou X. et al.* Spatio-temporal evolution of glacial lakes in the Tibetan Plateau over the past 30 years //Earth System Science Data Discussions. – 2021. – P. 1-31.
10. *Furian W., Loibl D., Schneider C.* Future glacial lakes in High Mountain Asia: an inventory and assessment of hazard potential from surrounding slopes //Journal of Glaciology. – 2021. – Т. 67. – №. 264. – P. 653-670.
11. *Ромашова К.В., Чернов Р.А.* О формировании новых приледниковых озёр в бассейне залива Грэнфьорд (Шпицберген) в 1938–2010 гг. Лёд и Снег. 2022;62(2):193-202

УДК 556

Рубрикатор 37.27.00

ЭВТРОФИРОВАНИЕ АРКТИЧЕСКИХ ОЗЕР: РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

EUTROPHICATION OF ARCTIC LAKES: REGIONAL FEATURES

Базова Мария Михайловна, Моисеенко Т.И.

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва

Bazova M.M., Moiseenko T.I.

Vernadsky Institute Geochemistry and Analytical Chemistry, Moscow

Введение

Увеличение продуктивности озер при их старении – естественный процесс эвтрофирования водоемов, который может развиваться в течение тысячелетий. В последние столетия неконтролируемое использование удобрений, развитие животноводства и урбанизация привели к дополнительному поступлению огромного количества биогенных и органических веществ в водные системы, следствием которого явилось развитие комплекса негативных явлений, связанных с эвтрофированием озер, рек и морских побережий систем. Наиболее остро проблема эвтрофирования вод обозначилась в регионах с высокой плотностью населения и развитым сельским хозяйством, включая европейскую урбанизированную часть России. Достаточно много исследований посвящено проблеме эвтрофирования таких крупных озер, как Ладога, Онега и Байкал (Ладога, 2013; Драбкова, Измайлова, 2014; Румянцев и др., 2014; 2015; Белых и др., 2015), других озер и водохранилищ на Европейской части России, в особенности, Волжских водохранилищ. В отдаленных горных и северных арктических районах, незатронутых воздействием антропогенной деятельности, водные системы проявляют тенденции к эвтрофированию, т.е. повышается содержание фосфора и активность продукционных процессов. Одним из таких регионов является Кольский Север России. Именно в арктических регионах наиболее ярко отражаются последствия потепления климата и глобального рассеяния биогенных элементов. Концептуально, малые озера в наибольшей степени отражают особенности окружающего ландшафта и биогеохимические процессы в водных системах, происходящие под влиянием глобальных и региональных изменений климата и воздушного загрязнения.

Целью работы было выявить долговременные изменения содержаний органического вещества и биогенных элементов в озерах, которые не подвержены влиянию человеческой деятельности, дать оценку влияния повышения температуры воздуха в Евро-арктическом регионе на их трофический статус.

Данные и методы

Исходными материалами послужила гидрохимическая база данных по малым озерам Кольского Севера за (1990, 1995, 2000, 2010, 2014 и 2018 гг.). На рисунке 1 приведена картосхема региона со схемой точек исследования. Изученные озера расположены в тундровой (n=15), лесотундровой (n=21) и северо-таежной зонах (n=32). Всего было исследовано 68 озер. Данные получены на основе методов, используемых в международной практике по программе ICP-Water (Standart methods, 1992; Mosello et al., 1996; ICP-Water report, 2007), выполнялись по единым методикам в лабораториях Института проблем промышленной

экологии Севера КНЦ РАН (ИППЭС КНЦ РАН). Аналитические работы включали в себя определение содержания растворенного органического вещества (DOC) по перманганатной окисляемости, общий азот (N_{tot}) и общий фосфор (P_{tot}) – спектрофотометрическое определение.

Статистическая обработка данных осуществлялась с использованием компьютерной программы «Statistica 10». Для выявления тренда среднегодовой температуры приземного слоя воздуха в ландшафтных зонах был использован непараметрический тест Манна-Кендалля (SKT).

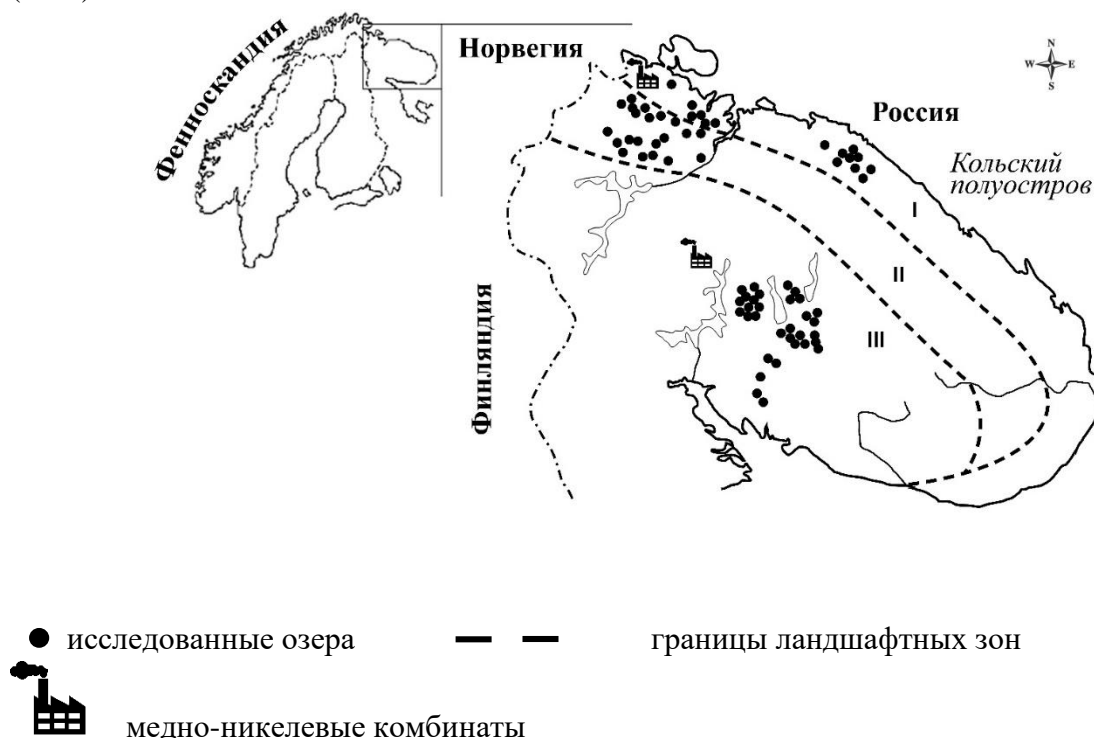


Рис. 1. Карта-схема точек исследованных озер Кольского региона: I – тундровая зона, II – лесотундровая зона, III – северо-таежная зона

Результаты. Динамика температуры в регионе за 28 лет

Для оценки климатических изменений мы использовали доступные данные по среднемесячной температуре приземного слоя воздуха за 28-летний период наблюдений в период открытой воды (июнь, июль, август и сентябрь) по трем станциям, расположенным на севере - пос. Териберка (побережье Баренцева моря), в центральной части региона г. Апатиты (водораздел между полуостровом) и на юге Кольского п-ова г. Умба (побережье Белого моря) (Архив погоды, 2019). Климатические особенности Кольского региона напрямую связаны с его географическим положением. Северная часть находится под влиянием теплого течения Гольфстрим. Именно поэтому, Баренцево море в районе города Мурманск не замерзает, а температура воздуха зимой (январь, февраль) соответствует условиям территорий, расположенных южнее.

На рис. 2 представлены данные по среднемесячным температурам приземного слоя воздуха в летне-осенний период с 1990 по 2018гг. Статистически значимый положительный наклон тренда температуры: $SKT=+2.70$, $p < 0.05$ свидетельствует о потеплении климата в период открытой воды в указанный период при высокой вариабельности, характерной для арктической зоны.

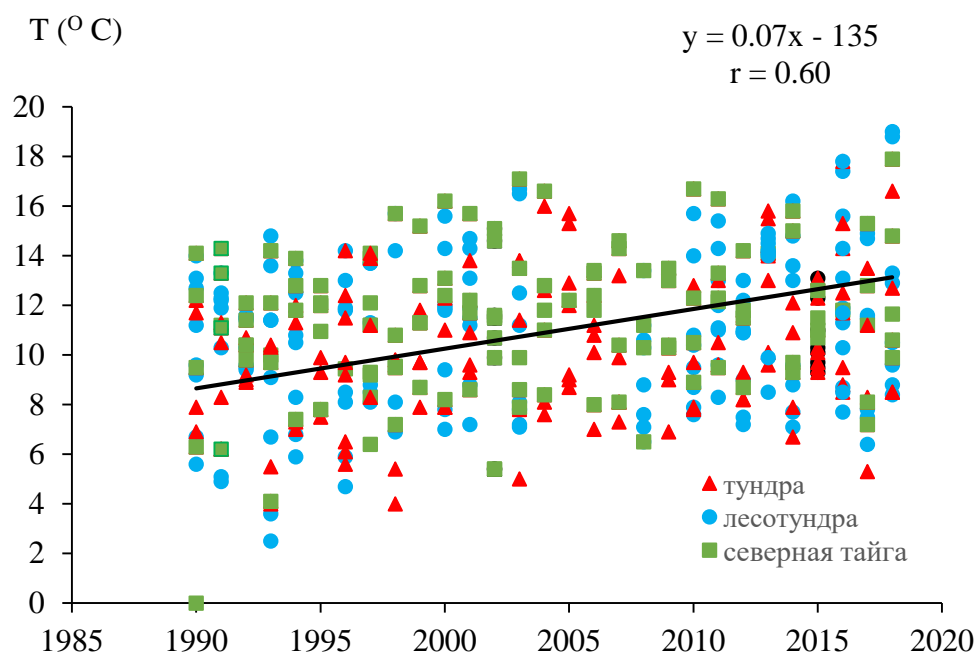
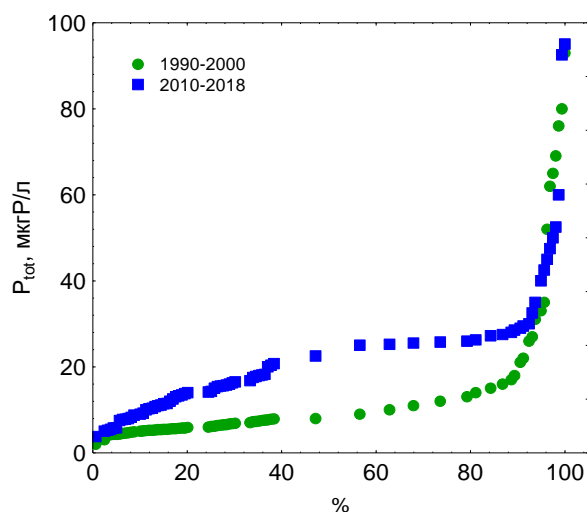
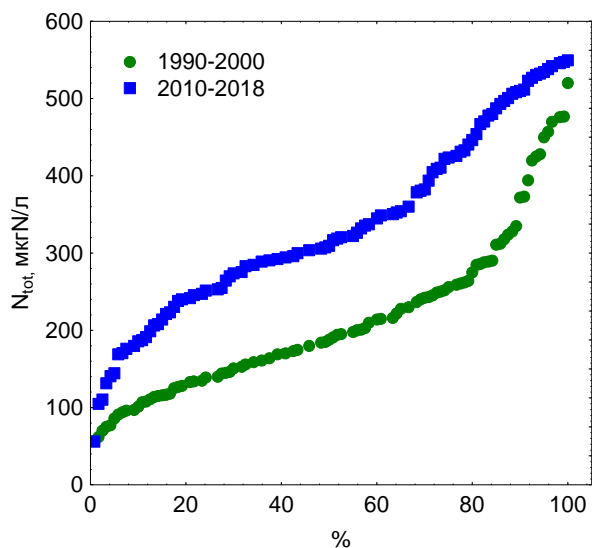


Рис. 2. Среднемесячные температуры приземного слоя воздуха в летне-осенний период (июнь-сентябрь) с 1990 по 2018гг. (построено по данным Архив погоды, 2019). SKT=+2.70, $p < 0.05$

Долговременные тенденции изменения биогенных элементов в озерах Кольского Севера

Были рассмотрены 2 периода исследований: 1990-2000 и 2010-2018 гг. К периоду 2010-2018 гг. по сравнению с периодом 1990-2000 наметилась тенденция увеличения содержаний биогенных элементов (P_{tot} , N_{tot}) и растворенного органического вещества (DOC) (рис. 3). В 1990-2000 гг. только некоторые озера имели содержания DOC выше 10 мгС/л, в период 2010-2018 гг. сохранилось несколько озер в области низких значений. Распределение P_{tot} носят сходный характер в области низких и высоких значений, медиана в 2010-2018 гг. существенно выше, чем в период 1990-2000 гг. Содержания N_{tot} значительно возросли к 2010-2018 гг., особенно в области высоких значений, в области низких значений они практически отсутствуют. Медианное значение в период 2010-2018 гг. почти в 2 раза выше по сравнению с периодом 1990-2000 гг.



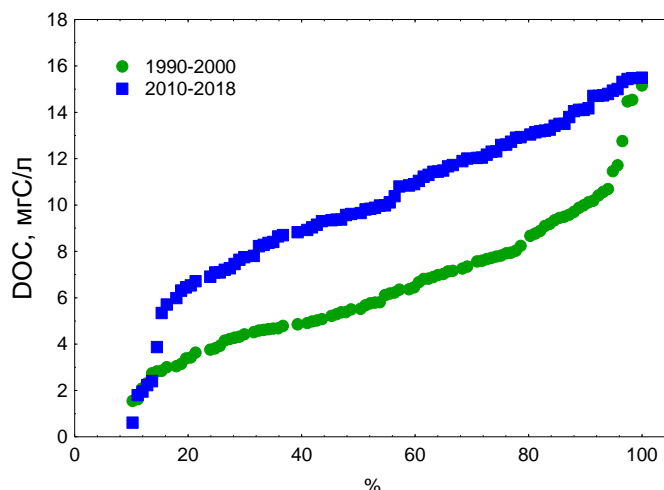


Рис. 3. Сопоставительный анализ распределения содержаний N_{tot} , P_{tot} и DOC (по накопленным процентам в возрастающем порядке) в воде озер в многолетнем ряду наблюдений: периоды 1990-2000 и 2010-2018 гг.

В работе (Моисеенко и др., 2022) отмечено синхронное нарастание по годам и субрегионам содержаний DOC и общих форм биогенных элементов, которое подтверждается корреляцией между DOC и P_{tot} ($r = 0.68$, $n = 29$), между DOC и N_{tot} ($r = 0.60$, $n = 29$). Наши данные показывают достоверную зависимость содержания в воде DOC, как и общих форм азота и фосфора от температурных условий:

$$DOC = 1.6T - 11.6 \quad (r = 0.71, n = 29, p < 0.01)$$

$$P_{tot} = 3.3T - 28 \quad (r = 0.79, n = 29, p < 0.01)$$

$$N_{tot} = 4.9T - 322 \quad (r = 0.71, n = 29, p < 0.01)$$

Трофический статус изученных озер

В водных экосистемах в образовании органических веществ участвуют в основном микроскопические водоросли (фитопланктон) и высшая водная растительность (макрофиты). Причем, основная роль, особенно в морских экосистемах, принадлежит фитопланктону – более 80 % (Винберг, 1960). А. Ф. Алимов (2000) считал, что основной характеристикой водоемов является соотношение скоростей продукции и деструкции органических веществ, и «практически любые мероприятия по управлению в водоеме связаны с изменением соотношения между скоростями продукции и деструкции органических веществ». Другие авторы также связывают трофность и экологическое состояние водоемов с продукционно-деструкционным балансом органических веществ (Голубков и др., 2008). Для оценки трофического статуса озер был применен интегральный индекс TSI (Carlson, 1977), который состоит из субиндексов, включающих в себя прозрачность, содержание общего фосфора, фосфатов, хлорофилла «а» и рассчитывается с использованием следующих формул:

$$TSI = TSI(S) + 2 \times \left[\frac{TSI(TP) + TSI(PO_4) + TSI(Chla)}{7} \right]$$

$$TSI(S) = 10 \times \left(6 - \left(\frac{0.64 + \ln S}{\ln 2} \right) \right)$$

$$TSI(TP) = 10 \times \left(6 - \left(\frac{\ln \left(\frac{80.32}{TP} \right)}{\ln 2} \right) \right)$$

$$TSI(PO_4) = 10 \times \left(6 - \left(\frac{\ln \left(\frac{21.67}{PO_4} \right)}{\ln 2} \right) \right)$$

$$TSI(Chla) = 10 \times \left(6 - \frac{2.04 - 0.695 \ln Chla}{\ln 2} \right)$$

Содержание хлорофилла «а» было рассчитано по формуле, характерной для арктических озер Кольского Севера: $Chl\text{“a”} = 0.92lnP_{общ} - 0.45$ ($r = 0.82$; $p = 0.05$) (Моисеенко, 2018). Прозрачность воды по диску Секки в среднем за вегетационный сезон по следующей формуле: $Sec = 10^{(1.26 - 0.31 \text{ LOG}_{10}(P_t) - 0.36 \text{ LOG}_{10}(TP))}$ (Бульон, 2018).

Таблица 1. Трофический статус озер Кольского Севера в различных ландшафтных зонах

Значение TSI	олиготрофные (0-30)		мезотрофные (30-50)		эвтрофные (50-70)	
	1*	2*	1	2	1	2
количество озер, %						
I – тундровая зона, n=15	67	13	52	0	33	0
II - лесотундровая зона, n=21	20	53	43	29	25	10
III-северо-таежная зона, n=32	13	34	5	71	42	90

*Примечание: 1 – 1990-2000, 2 – 2010-2018

В тундровой зоне к 2010-2018 гг. по сравнению с 1990-2000 количество олиготрофных озер сократилось на 54 %, мезотрофных – на 33 %, эвтрофных – на 21 % (табл. 1). В лесотундровой и северо-таежной зонах к 2010-2018 гг. не осталось олиготрофных озер, сократилось количество мезотрофных озер (на 14 % и 15 % соответственно) и значительно возросло количество эвтрофных (на 66 % и 48 % соответственно).

Заключение

В последнее столетие остро обозначилась проблема эвтрофирования водоемов вследствие неконтролируемого поступления огромного количества биогенных элементов и органических веществ в биотический круговорот. Арктические регионы располагают огромным фондом малых олиготрофных озер, не затронутых прямым влиянием человеческой деятельности. Однако влияние глобального рассеивания фосфора и потепление климата могут затронуть и отдаленные озера.

В основу оценки биогеохимических изменений озер и влияния на них потепления климата послужили результаты долговременных исследования малых озер (раз в 4-5 лет с 1990 года), которые не были затронуты непосредственным влиянием человеческой деятельности. Доказаны изменения ряда биогеохимических показателей (DOC , N_{tot} , P_{tot} ,) к 2010-2018 гг. по сравнению в периодом 1990-2000гг. Исследования показали, что в последний период произошло достоверное увеличение содержаний общего фосфора и азота на фоне сохранения концентраций их биодоступных форм, что свидетельствует о быстрой утилизации последних в продукционных процессах.

Для оценки изменений трофического статуса исследованной группы озер был использован интегральный индекс Р. Карлсона (TSI), который показал, что в целом на Кольском Севере значительно снизилось количество олиготрофных (на 35 %) озер и возросло число эвтрофных озер (на 45%) даже в случаях отсутствия какого-либо влияния человеческой деятельности на берегах отдаленных озер.

Финансирование.

Работа выполнения при финансовой поддержке гранта РФФ № 22-17-00061

Список литературы

1. Алимов А. Ф., Голубков М. С. Эвтрофирование водоемов и структура сообщества гидробионтов // Биология внутренних вод. - 2014. - №3. С. 5-11.
2. Архив погоды: Мурманская область Справочно-информационный портал "Погода и климат" (<http://www.pogodaiklimat.ru/archive.php?id=ru®ion=51>) – 2019.
3. Белых О.И., Гладких А.С., Сороковикова Е.Г., Тихонова И.В., Потапов С.А., Бутина Т.В. Сакситоксин-продуцирующие цианобактерии в озере Байкал // Сибирский экологический журнал. - 2015 – Т.22, №2. С. 229-237.
4. Бульон В.В. Биотический поток вещества и энергии в системе «озеро и его водосбор» // Успехи современной биологии – 2018. – Т. 138, №5. – С. 503–515.
5. Винберг Г. Г. Первичная продукция водоемов. Минск: Изд-во АН БССР. – 1960. - 329 с.
6. Голубков М. С., Голубков С. М., Умнова Л. П. Первичная продукция и проблемы эвтрофирования эстуарии р. Невы. В кн.: Экосистема эстуарии р. Невы. СПб.: Изд-во «Научн. центр. РАН». – 2008. – С. 313–338.
7. Ладога: монография. Под ред. В.А. Румянцева, С.А. Кондратьева. СПб.: Нестор. – 2013. - 468 с.
8. Драбкова В.Г., Измайлова А.В. Оценка измерения состояния вод крупнейших озер и водохранилищ Российской Федерации // География и природные ресурсы. – 2014. - №4. - С. 22-29.
9. Моисеенко Т.И. Антропогенно-индуцированные процессы в водах суши арктических регионов и критерии их оценки // Водные ресурсы. - 2018. – Т.45, № 4. С. 1-12.
10. Моисеенко Т.И., Базова М.М., Дину М.И., Гашкина Н.А., Кудрявцева Л.П. Изменение геохимии вод суши в условиях потепления климата и снижения выпадений кислот: восстановление или эволюция озер? // Геохимия. – 2022. - Т. 67, № 6. С. 1–18.
11. Румянцев В.А., Драбкова В.Г., Измайлова А.В. Крупнейшие озёра мира и перспективы их практического использования // Вестник РАН. - 2014 – Т. 84, №1. С. 41-51.
12. Румянцев В.А., Драбкова В.Г., Измайлова А.В. Озера европейской части России: монография. - 2015- СПб.: ЛЕМА, 392 с.
13. Carlson R.E. A trophic state index for lakes // Limnology and oceanography. - 1977- Т.22, № 1. С. 361-369.
14. ICP-water report: Acidification of surface water in Europe and North America Trends, biological recovery and heavy metals. – 2007.
15. Mosello R., Bianchi M. (1994-1997) Geiss HAQUACON-MedBas « Acid rain analysis», Ispra. – 1996.
16. Standart methods for the examination of water and wasterwater. Wash. (D.C.): Amer, Publ, Health Assoc. – 1992.

ФОРМИРОВАНИЕ И ЭМИССИЯ МЕТАНА В БОЛЬШОМ МОЛОДОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ ПО ДАННЫМ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ (НА ПРИМЕРЕ БОГУЧАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА)

FORMATION AND EMISSION OF CH₄ IN A BIG YOUNG RESERVE BASED ON FIELD MATERIALS (ON BOGUCHANSKOE RESERVOIR)

Василенко Александр Николаевич^{1,2}, Григорьев Вадим Юрьевич^{1,2}, Репина Ирина Анатольевна^{2,3}

¹ *Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва*

² *Институт физики атмосферы им А.М. Обухова РАН, Москва, Россия*

³ *Научно-исследовательский вычислительный центр МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

Vasilenko Alexander Nikolaevich^{1,2}, Grigor'ev Vadim Yur'evich^{1,2}, Repina Irina Anatolevna^{2,3}

¹ *Lomonosov Moscow State University, Moscow*

² *Obukhov Institute for Atmospheric Physics of the Russian Academy of Sciences, Moscow*

³ *Research computer center of Lomonosov Moscow State University, Moscow*

Введение

Метан является вторым по значимости парниковым газом в атмосфере после углекислого газа. Роль водохранилищ, как аккумуляторов вещества в формировании парниковых газов, включая метан – достаточно высока [Cole et al., 2007]. В России достаточно изученными на предмет формирования метана в водах являются водохранилища Европейской части России [Гаркуша, Федоров, 2021]. Все они являются достаточно «старыми», функционирующими не одно десятилетие. Водоохранилища же Сибири и Дальнего Востока освещены в литературе слабо.

Богучанское водохранилище в данном контексте представляет повышенный интерес для исследований формирования концентраций и потоков метана, как большое молодое водохранилище лесной зоны. Исследования водохранилища проводятся в разные сезоны года, начиная с летне-осеннего сезона 2021 г. Целью работ является установление закономерностей формирования содержания и потоков метана в различных водных массах водохранилища. В данном докладе представлены первые результаты 3-х экспедиций.

Объект исследования, материалы и методы.

Богучанское водохранилище является, на 2022 г. замыкающим водохранилищем Ангарского каскада. Полный объем водохранилища – 58,2 км³, длина составляет 375 км, максимальная ширина – 15 км, максимальная глубина – 74 м, площадь зеркала при НПУ – 2362 км². Коэффициент водообмена менее 2. Несмотря на то, что водохранилище проектировалось с 1970-х, частичное его заполнение произошло только в 2012 г., а заполнение до проектных отметок – в августе 2015 г. Это делает данный водоём самым молодым, при этом большим водохранилищем России с гидроэлектростанцией высокой мощности (2997 МВт). Важной особенностью водохранилища является довольно маленькая призма регулирования, мощность которой составляет 1 м.

В водохранилище до сих пор продолжают процессы формирования донных отложений. На значительном количестве участков не была произведена достаточная подготовка ложа, затоплены значительные площади лесов и торфяных болот.

На водосборе водохранилища последние десятилетия ведется достаточно активная хозяйственная деятельность, в-основном связанная с лесозаготовками. По акватории водохранилища осуществляется сплав леса.

Водохранилище долинное, имеет достаточно большое количество заливов, образованных бывшими устьями рек и ручьев. Большинство заливов – многолопастные. В поймах притоков были затоплены болотные угодья, а также лесные массивы. Большая часть заливов расположена в нижней части водохранилища.

Нами было проведено 3 экспедиции в ходе которых проводилось гидрологическое зондирование, с измерением температуры, электропроводности воды, а также насыщения её кислородом, отбор проб на содержание метана и общего органического углерода, измерение потоков метана с поверхности воды. Экспедиции проводились в период повышенной водности во всём бассейне р. Ангара. Осенняя экспедиция прошла в период 5-26.09.2021 г. при прямой температурной стратификации и, согласно данным приплотинных наблюдений, при максимальном прогреве гипolimниона. Было отобрано 93 пробы воды и воздух на содержание метана. Зимняя экспедиция была проведена в период с 22.02 по 11.03.2022 г. Наблюдалась обратная зимняя стратификация, водохранилище срабатывалось после январского наполнения, вызванного ремонтными работами в каскаде. Было отобрано 119 проб воды и воздуха. Весенне-летние работы были проведены с 4 по 20 июня 2022 г. В разных частях водохранилища наблюдалось как перемешивание, так и установление прямой стратификации. Было отобрано 254 пробы воды и воздуха на содержание метана, впервые нами были отобраны 35 проб на общий органический углерод, и 2 пробы на содержание органического углерода в донных отложениях. Карта схема точек пробоотбора приведена на рисунке 1.

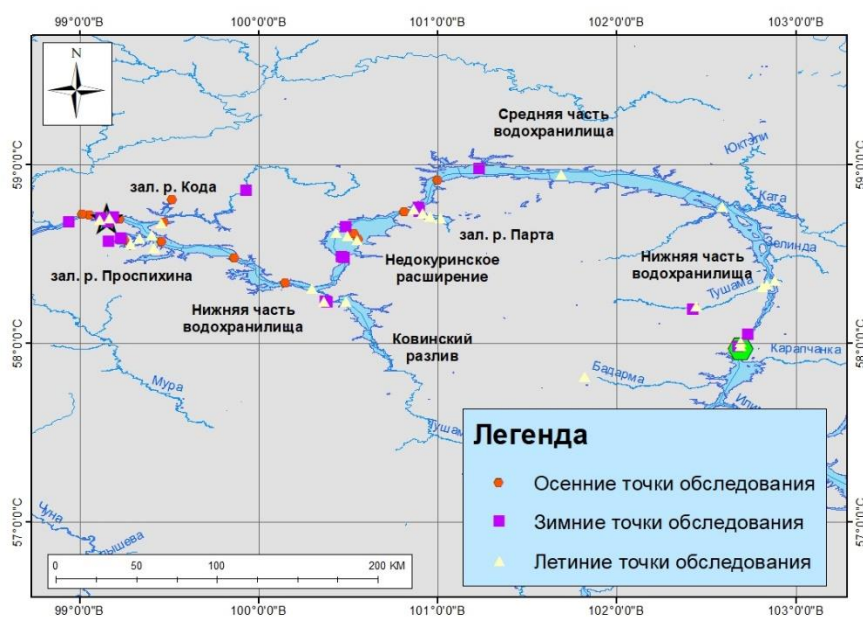


Рис 1. Карта-схема точек пробоотбора в осенней (2021 г.), зимней и летней (2022 г.) экспедициях с обозначением морфологических частей водохранилища.

Работы проводились с моторной лодки. Осуществлялись линейные и радиальные маршруты. Зондирование осуществлялось зондом «CastAway», измерение содержания

растворенного кислорода проводилось оксиметром «Metronix». Отбор проб воды проводился батометром Нискина. Горизонты отбора проб назначались в зависимости от результатов зондирования, но в обязательном порядке пробы отбирались на поверхности и у дна. При наличии стратификации пробы отбирались над и под слоем температурного скачка. При ледоставе пробы отбирались учащенно в верхних 5 м подо льдом. Отбор проб донных отложений – дночерпателем Экмана-Бёрджа. Отбор проб метана проводился шприцами объемом 60 мл по 2 пробы с горизонта. Поток метана измерялся в камерах объемом 15 000 см³. Использовалось от 2 до 3 камер с экспозицией в 1 час. Пробы метана отбирались во флаконы объемом 20 мл, фиксировались насыщенным соляным раствором.

Результаты.

Максимальная электропроводность воды наблюдалась, за исключением отдельных участков, в зимний период, достигая 180-200 мкСм/см в заливах, 170-180 мкСм/см в русловой части и в районах входов в заливы. В осенний период электропроводность была ниже в среднем на 20 мкСм/см (за исключением отдельных участков). В весенне-летний период электропроводность относительно зимнего сезона снизилась в пределах 10-20 мкСм/см. Важно отметить, что в осенний и в весенне-летний период максимальные значения электропроводности наблюдались в основном у дна. Общие различия электропроводности по глубине во все исследованные сезоны укладывались в 10-20 мСм/см по всему водохранилищу. Исключение составляла только придонная электропроводность Ковинского разлива, осенью превышавшая поверхностную более чем на 30 мкСм/см.

Содержание растворенного кислорода в водах было наибольшим, очевидно, в июне. В среднем оно составляло 10 мг/л, распределение по водной толще было практически равномерным. Зимой содержание кислорода составляло в среднем 6,9 мг/л, с минимумами около 4 мг/л у дна. В осенний период, в поверхностном слое наблюдались колебания содержания кислорода от 9 до 6 мг/л. В придонных слоях русловой части – до 5-6 мг/л. При этом в заливах и в разливе содержание кислорода у поверхности было меньше, чем в русловой части. Наименьшее содержание кислорода, среди обследованных заливов было отмечено в Ковинском разливе от 4 мг/л в поверхностных слоях до менее 2 мг/л в придонных. Придонные воды имели в осенний период отчетливый запах сероводорода. В другие сезоны подобного не наблюдалось. По опросам местных жителей, в летний период наблюдается запах сероводорода при подъеме сетей, кроме того, грузы сетей окрашиваются в черный цвет, что характерно при наличии в воде сероводорода. Особенностью Ковинского залива являются большие площади затопленных болотных угодий. Для него прогнозировались возможности образования заморных условий с формированием сероводорода в придонных слоях до строительства водохранилища [Карпенко, 2009].

Концентрации метана в весенне-летний период на 5 точках, обследованных во всех экспедициях, оказались значительно ниже, до 10 и более раз, чем в зимний период и несколько ниже, чем в летне-осенний, незначительно в отдельных точках и в несколько раз в других. Подробное распределение концентраций метана на различных глубинах на реперных точках показано в таблице 1, положение точек показано на карте-схеме 1. Относительно осеннего сезона в весенне-летний снизилось содержание метана в поверхностных горизонтах и выросло оно же в заливе р. Коды. Снижение в поверхностном горизонте – более 3 мклСН₄/л, рост в придонном – менее 1 мклСН₄/л. Сходная картина

наблюдается и в русловой части водохранилища напротив залива р. Проспихины, но снижение в поверхностном горизонте здесь менее значимое.

Таблица 1. Концентрации метана на различных глубинах на реперных точках, обследованных в 3 экспедициях.

Точка	Положение	Концентрация метана (мклСН ₄ /л) на глубинах				
		Поверхность	1	2,5	5	Дно
осень	Проспихинский залив, в районе причала "Лукоморье"	3,1				5,7
зима		20,6	7,1			11,5
весна		2,79		2,18	3,02	5,37
осень	Русловая часть водохранилища на участке д.Кежма-д.Согра	2,0				1,7
зима		0,6	0,4	0,3	0,3	0,4
весна		0,74				
осень	Правый рукав русла Ангары в Недокуринском расширении	1,6				0,0
зима		14,0	0,2		0,2	1,1
весна		0,77				
осень	Ковинский разлив,узкая часть, переправа	2,2				722,4
зима		21,2				27,7
весна		2,22				1,45
осень	Выше плотины (В пределах 5 км)	2,1				0,1
зима		8,8	5,2	0,9	4,2	0,2
весна		0,53			0,57	

Содержание метана в водах правой русловой части Недокуринского разлива, по крайней мере в верхнем 10-метровом слое, выросло относительно зимнего сезона почти втрое, однако, осталось менее 1 мклСН₄/л. Содержание метана в нижнем бьефе УИГЭС относительно зимнего сезона снизилось почти в 7 раз, однако, стоит учесть, что зимние пробы отбирались с берега, а летние – с воды, без учёта возможных искажений от прибрежных стоков.

Результаты.

В докладе представлены первые результаты исследования гидрологического состояния и содержания метана в водах большого молодого Богучанского водохранилища. Важной гидролого-гидрохимической особенностью данного водохранилища является значительное распространение затопленных лесных и водно-болотных угодий. Ключевыми гидрологическими особенностями являются значительные гидрологические и, видимо, гидрохимические отличия заливов от русловой части водохранилища. Заливы же являются основными накопителями метана и именно с их поверхности в атмосферу поступает наибольший их поток. При этом, концентрации метана в водах достаточно велики и сравнимы с таковыми в старых водохранилищах ЕТР [Гаркуша, Федоров, 2021], большей частью, видимо, в силу наличия в заливах избытков органического вещества.

Финансирование

Исследования выполнены при поддержке ПАО «Русгидро» (договор подряда № 1010-416-2021 от 27 апреля 2021 г.)

Список литературы

1. Гаркуша, Д. Н. Федоров Ю.А. Факторы формирования концентраций метана в водных экосистемах // Ростов-на-Дону - Таганрог: Южный федеральный

университет, 2021. – 366 с. – ISBN 978-5-9275-3634-4. – DOI 10.18522/801274322. – EDN XSXWLZ.

2. *Карпенко Л.В.* Прогноз экологически опасных явлений при затоплении болот Богучанским водохранилищем // География и природные ресурсы. 2009. №2. С. 33-37
3. *Cole J.J., Prairie Y.T., Caraco N.F., McDowell W.H., Tranvik L.J., Striegl R.G., Duarte C.M., Kortelainen P., Downing J.A., Middelburg J.J., Melack J.* Plumbing the global carbon cycle: integrating inland waters into the terrestrial carbon budget // Ecosystems. 2007. V.10, No. 1. P. 172-185.

АДАПТАЦИЯ РЫБ К СНИЖЕНИЮ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ОЗ.
ИМАНДРА

ADAPTATION OF FISH TO REDUCE THE ANTHROPOGENIC LOAD ON LAKE
IMANDRA

Гашкина Наталья Анатольевна, Моисеенко Татьяна Ивановна

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва

Gashkina Natalia Anatolevna, Moiseenko Tatyana Ivanovna

*Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, Russian Academy of Sciences,
Moscow*

Введение

Мурманская область является наиболее индустриально развитым арктическим регионом. На водосборе оз. Имандра сосредоточены одни из крупных предприятий – ООО «Алкон» (добыча и обогащение магнетит-гематитовых кварцитов), ООО «Североникель» (плавильный комплекс по переработке сульфидных медно-никелевых руд) и ООО «Апатит» (добыча и переработка апатит-нефелиновых руд). Интенсивное загрязнение оз. Имандра началось в 1940-х гг. и достигло максимума в 1980-х гг., а с 1990-х гг. наметилась тенденция снижения антропогенной нагрузки на водоем [Моисеенко и др., 2002].

Значительную долю ихтиофауны оз. Имандра составляет обыкновенный сиг (*Coregonus lavaretus* L.) [Моисеенко и др., 2002], который рассматривался биоиндикатором. В период интенсивного загрязнения озера наряду с общими патологиями у сегов появилось специфическое заболевание – нефрокальцитоз (камни в почках), связанное с аккумуляцией никеля в почке рыб, в то время как увеличение минерализации воды стимулировало развитие этого эндемического заболевания [Моисеенко и др., 2002]. В период снижения токсичной нагрузки на водоем наблюдалось улучшение физиологического состояния сегов: с 1996 г. по 2003 г. снижается их заболеваемость и в 2003 г. не были встречены особи с нефрокальцитозом, сколиозом, миопатией [Моисеенко и др., 2009].

Цели работы состояли в исследовании: аккумуляции элементов в органах и тканях сегов из различных плесов оз. Имандра в период снижения токсичной нагрузки; проявлений адаптации к более низким дозам хронического загрязнения токсичными элементами; перераспределение эссенциальных и неэссенциальных элементов в зависимости от физиологического состояния рыб.

Данные и методы

В основу работы легли данные, полученные в 2006 г и 2007 г., обследования сегов в плесах оз. Имандра: Большой Имандре в зоне смешения вод, характеризующей совместное влияния всех промышленных производств; Йокостровской Имандре в северной ее части, характеризующей транзитный сток из Большой Имандры; не испытывающей прямого загрязнения Бабинской Имандре в наиболее отдаленной восточной части. Как и в прошлые годы обследование рыб проводилось в преднерестовый период (август-сентябрь) с одновременным отбором проб воды в местах отлова. В рассмотрение вошли 24 особи по 8 особей из каждого плеса. Обработку материала проводили по общебиологическим методикам. На анализ содержания элементов отбирались жабры, печень, почка, мышцы и скелет. Подготовка проб осуществлялась методом мокрого разложения в концентрированной азотной кислоте с добавлением перекиси водорода. Определение концентраций элементов в

пробах воды и биологических образцах проводилось методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии с графитовой атомизацией на приборах «Perkin-Elmer-5000», «Analyst-800» с Зеемановским корректором фона, содержание ртути определялось на анализаторе ртути «FIMS-100» в лаборатории Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН.

Результаты.

Во всех плесах величина рН и содержание органических веществ в воде были сравнительно однородны в пределах 6.9-7.4 и 3.5-4.5 мгС/л соответственно, то по электропроводности воды достаточно разнятся: 55-58, 92-93 и 99-110 мкСм/см соответственно в Бабинской, Йокостровской и Большой Имандре. В 1986-1992 гг. в Большой Имандре величина рН воды была в пределах 6.7-7.9, содержание органических веществ – 2.6-5.0 мгС/л, в среднем электропроводность воды составляла 140 мкСм/см [Моисеенко и др., 2002]. Таким образом, к 2006 г в Большой Имандре минерализация воды снизилась почти в 1.5 раза. Содержание в воде основных загрязнителей Ni, Cu, Al и Sr соответственно было в пределах 1.8-2.1, 2.0-2.4, 13-18 и 38-47 мкг/л в Бабинской Имандре, 4.3-6.3, 2.7-3.4, 16-18 и 48-54 мкг/л в Йокостровской Имандре, 5.6-9.6, 4.3-6.6, 38-102 и 43-60 мкг/л в Большой Имандре. Тогда как в 1986-1992 гг. в Большой Имандре содержание этих металлов было 13-290, 5-28, 19-80 и 54-83 мкг/л соответственно [Моисеенко и др., 2002].

Исключая Co, у сигов Большой Имандры в почке как органе-мишени токсичного воздействия в период интенсивного антропогенного влияния аккумуляция Ni, Cu, Al, Sr, Cr, Pb, Hg в 2 раза, Cd на порядок ниже, чем у сигов Йокостровской и Бабинской Имандры, так же отмечается понижение содержания Ca, Mg, Na и K (рис 1). В 1986-1992 гг. содержание Ni, Cu, Al и Sr в почке сигов Большой Имандры была в пределах 10-30, 3.2-13, 33-240 и 1-170 мкг/г сух веса соответственно [Моисеенко и др., 2002]. Аккумуляция Cd в почке сигов Йокостровской и Бабинской Имандры значительно превосходит таковую у сигов Большой Имандры даже в период интенсивного антропогенного влияния (0.08-2.64 мкг/г сух веса по [Моисеенко и др., 2002]). Минерализация воды считается одним из основных регуляторов токсичности многих элементов. Судя по минерализации воды, более уязвимы к токсичному воздействию сиги Бабинской Имандры. В Большой Имандре со снижением минерализации воды уменьшились только концентрации в воде Ni и Cu, но остались прежними концентрации Al и Sr, однако, аккумуляция не только Ni и Cu, но и Al и Sr снижается в почке сигов, что, по-видимому, может объясняться наследственно закрепленной резистентностью при адаптации к более высоким концентрациям токсичных элементов. При значительном варьировании содержаний элементов в органах и тканях сигов в различных по токсичной нагрузке плесах оз. Имандра содержание их в меньшей мере зависит от концентраций в воде и в большей определяется толерантностью к токсичным элементам и физиологическим состоянием.

Физиологическое состояние сигов оценивалось по содержанию гемоглобина в крови и индексу общей заболеваемости. На основе анализа картины крови сигов оз. Имандра в период интенсивного загрязнения водоема был выделен экологический оптимум содержания гемоглобина в крови – 80-130 г/л [Моисеенко и др., 2002]. В 2006 и 2007 гг. не наблюдалось особей с концентрацией гемоглобина в крови выше нормы, средняя концентрация гемоглобина и диапазон значений у сигов Бабинской Имандры составлял 78 (44-106) г/л, Йокостровской – 85 (50-106) г/л, а Большой – 86 (56-108) г/л. Общая заболеваемость сигов Бабинской Имандры в среднем составляла 1.5 (с диапазоном 0-3), Йокостровской – 1.2 (0-3), Большой – 1.1 (0-2). Сиги Бабинской Имандры по сравнению с сигами Большой Имандры были на более высокой стадии заболеваемости и у более половины обследованных особей Бабинской Имандры концентрация гемоглобина была ниже нормы, что свидетельствует о значительном количестве рыб с патологическими отклонениями в организме.

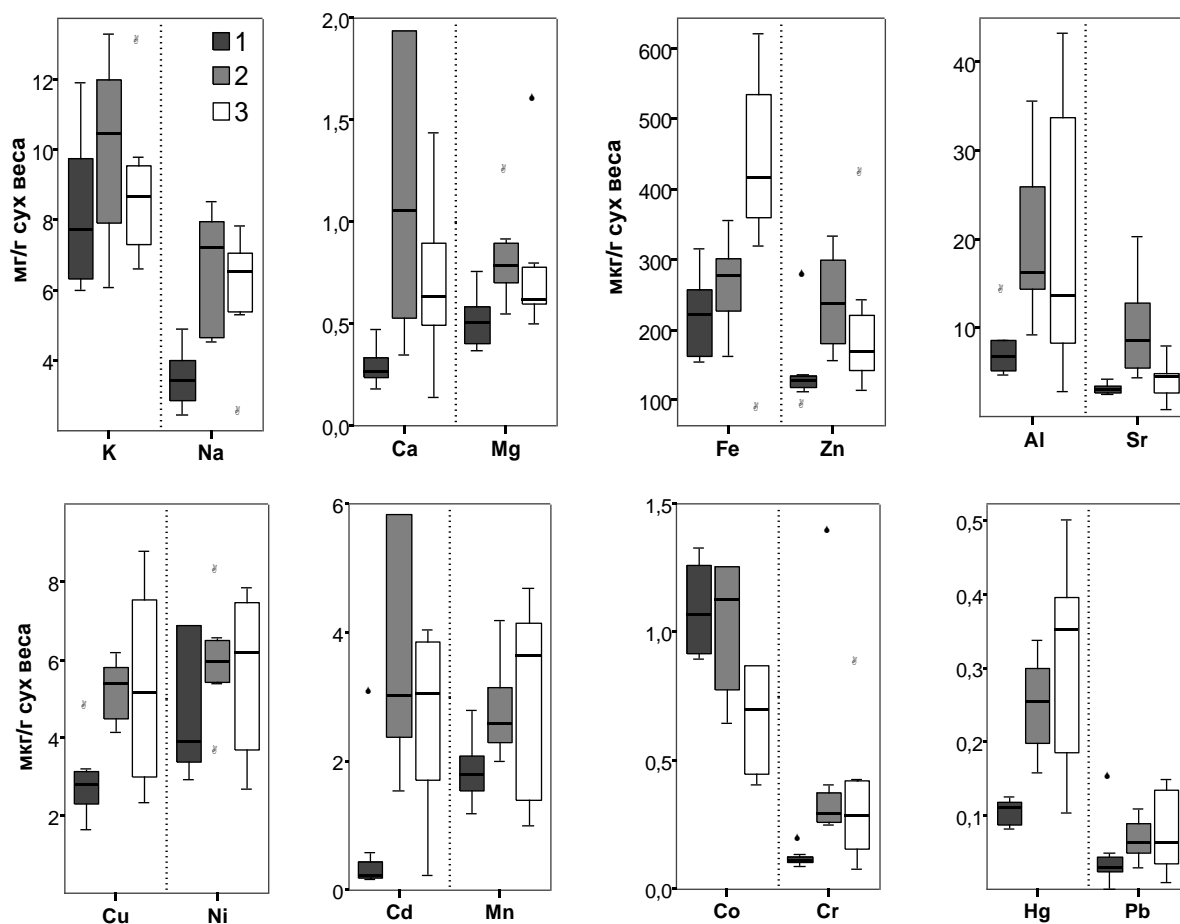


Рис. 1. Содержания элементов в органах и тканях сегов, выловленных из плесов (1 – Большая, 2 – Йокостровская, 3 – Бабинская) оз. Имандра в 2006 и 2007 гг.

Для анализа структуры перераспределения эссенциальных и не-эссенциальных элементов в печени и почке сегов в зависимости от физиологического состояния применен аппарат многофакторного линейного регрессионного анализа. Изменение содержания гемоглобина в крови не приводят к значимому перераспределению элементов в почке сегов, тогда как в печени при снижении гемоглобина увеличивается содержание Fe, а также в некоторой степени Pb, достоверно снижение содержания Zn и увеличение K (таблица).

Таблица. Значение *t*-статистики в моделях перераспределения содержаний элементов в печени и почке сегов в зависимости от содержания гемоглобина в крови и индекса заболеваемости органа в оз. Имандра. Жирным шрифтом выделены достоверно значимые значения, прочерк – значения незначительны.

Орган	<i>r</i>	Ca	Mg	Na	K	Fe	Zn	Cu	Mn	Cr	Ni	Sr	Al	Pb	Cd	Hg
Гемоглобин																
Печень	0.97	-	-	-	-2.2	-1.7	2.9	-	-	-	-	-	-	-1.4	-	-
Почка	0.89	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Индекс заболеваемости органа																
Печень	0.92	2.1	-	-	-	1.8	-2.4	-	-	-	-	-	-	-	-	1.5
Почка	0.96	1.5	-	-	-	1.6	-	3.2	-2.0	-	2.1	-	1.9	-	2.2	-

Железо является важным в кислородсвязывающем металлопротеине гемоглобине и является частью оксидазы цитохрома с, которые составляют дыхательную цепь [Fish Physiology..., 2012]. Печень является основным местом хранения Fe, не связанного с эритроцитами [Eid et al., 2017]. При более тяжелой стадии анемии (Hb<60 г/л) резко увеличивается аккумуляция Fe в печени рыб. При уменьшении концентрации гемоглобина в крови планомерно снижается содержание Fe в мышечной и скелетной тканях и только на

более тяжелой стадии анемии резко снижается в жабрах (рис. 2а). Развитие анемии может быть сопряжено с нехваткой Cu. Только у одной особи в Бабинской Имандре с минимальной концентрацией гемоглобина (44 г/л) и максимальным содержанием Fe в печени (724 мкг/г сух веса) обнаружилось крайне низкие содержания Cu (3.03 мкг/г сух веса). Однако, в условиях низкого рассеянного загрязнения р. Волги в моделях перераспределения эссенциальных элементов в печени лещей (*Abramis brama* L.) понижение содержания Cu было на стадии мобилизации защитных функций организма и усиления гемопоэза, а ее увеличение на стадии развития анемии, при этом наблюдалось сопряженное увеличение содержания Cu и К в печени при анемии [Гашкина, 2017].

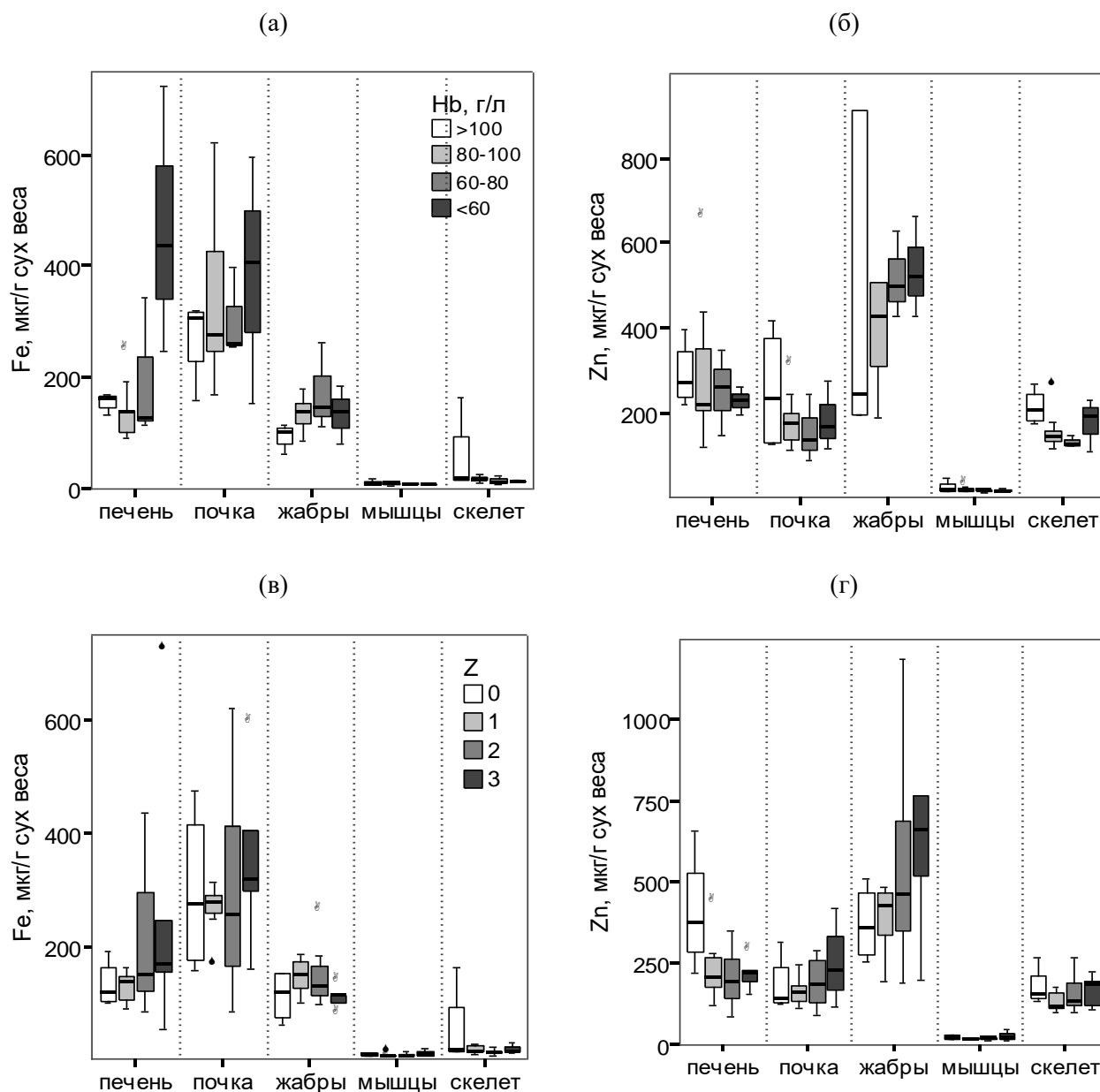


Рисунок 2. Распределение железа и цинка в органах и тканях в зависимости от концентрации гемоглобина в крови (Hb) (а и б) и от индекса заболеваемости (Z) (в и г) сигов.

Каковы бы не были причины развития анемии, статистически достоверным следствием является снижение содержания Zn в печени рыб (таблица), что может указывать как на пониженные возможности ферментативного ответа на изменения в организме и/или в окружающей среде, так и служить признаком дегенеративных процессов в печени. С уменьшением концентрации гемоглобина в крови помимо планомерного снижения содержания Zn в печени отмечается некоторое снижение его в почке и мышцах, но

значительный рост в жабрах при анемии (рис. 2б). Большая часть Zn крови содержится в эритроцитах в составе цинковых металлоферментов – карбоангидраз [Fish Physiology..., 2012]. Многочисленные исследования косвенно указывают на то, что карбоангидраза – мишень токсичного воздействия Cu [Fish Physiology..., 2012]. По-видимому, в субтоксичных (за исключением Cu) условиях оз. Имандры у сига стратегия адаптивных ответов направлена на сохранение и поддержание буферных систем организма.

Согласно моделям перераспределения элементов, с увеличением стадии заболеваемости печени статистически достоверно повышение содержания Ca при снижении содержания Zn, а также увеличивается содержание Fe и Hg (таблица). В работе [Гашкина, 2017] в моделях перераспределения эссенциальных элементов также выявлялся рост содержания Ca в печени лещей при увеличении стадии заболеваемости, что может свидетельствует об изменении процессов клеточного метаболизма, нарушении транспортных свойств клеточных мембран и дегенеративных процессах в гепатоцитах. Железо, как и кальций, лактат и церамид является вторичным мессенджером апоптоза (включая новую форму вероятного некротического типа запрограммированной гибели клетки, называемого на современном этапе ферроптозом); а повышенное внутриклеточное железо является маркером хронического воспаления, а также общим центральным эффектором для большого количества стрессов и заболеваний [Eid et al., 2017]. Как видно из рис. 2в, значительно растет содержание Fe в печени сига с увеличением стадии общей заболеваемости. Согласно распределениям железа в органах и тканях рыб, представленных на рис. 2, содержание Fe в печени сига более 200 мкг/г сух веса предположительно физиологически не конструктивно и может стать опасным в стрессовых условиях. С другой стороны, Zn ограничивает степень повреждения, вызываемого окислительным стрессом, и подавляет сигнальные пути, способствующие развитию апоптоза [Eid et al., 2017]. Помимо планомерного снижения содержания Zn в печени отмечается значительный рост в жабрах с увеличением стадии общей заболеваемости (рис. 2г). Повышение накопления Hg в печени сига с увеличением стадии заболеваемости печени вполне закономерно, т.к. гепатотоксичность входит в число ведущих хронических токсичных механизмов Hg [Wang et al., 2013].

Согласно моделям перераспределения элементов (таблица), с увеличением стадии заболеваемости почки статистически достоверно уменьшение содержания Mn при достоверном росте содержания Cu, Ni и Cd, а также увеличении содержания Al, Fe и Ca (таблица). С увеличением стадии заболеваемости почки уменьшение содержания Mn может свидетельствовать о снижении активности антиоксидантной системы защиты (марганец-содержащей супероксиддисмутазы Mn-SOD) и аргиназы [Гашкина, 2017]. Если увеличение стадии заболеваемости почки сопровождается повышенным накоплением Ni и Cd в почке, как места предпочтительного и длительного хранения для Ni и Cd, то вероятно токсичные по Cu условия способствует его повышенной аккумуляции в менее характерном по локализации месте (почке).

Заключение

Можно предположить, что обитание рыб в токсичных условиях загрязнения вод тяжелыми металлами (около 50 лет) произошла селекция генотипов, адаптированных к токсичным элементам, что и проявилось в период снижения и стабилизации антропогенной нагрузки.

Финансирование

Работа выполнена при финансовой поддержке РФГ грант № 22-17-00061.

Список литературы

1. *Гашкина Н.А.* Эссенциальные элементы в органах и тканях рыб в зависимости от токсичности среды обитания и физиологического состояния. // *Геохимия.* – 2017. – № 10. – С. 934-941.

2. Моисеенко Т.И., Гашкина Н.А., Шаров А.Н., Вандыш О.И., Кудрявцева Л.П. Антропогенная трансформация арктической экосистемы озера Имандра: тенденции к восстановлению после длительного периода загрязнения // Водные ресурсы. – 2009. – Т 36. – № 3. – С. 312-325.
3. Моисеенко Т.И., Даувальтер В.А, Лукин А.А., Кудрявцева Л.П., Ильящук Б.П., Ильящук Л.И., Сандимиров С.С., Каган Л.Я., Вандыш О.И., Шаров А.Н., Шарова Ю.Н., Королева И.Н. // Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра. – М: Наука, 2002. – 476 с.
4. Eid R., Arab N.T.T., Greenwood M.T. Iron mediated toxicity and programmed cell death: A review and a re-examination of existing paradigms. // Biochim. Biophys. Acta – 2017. – Vol. 1864. – P. 399–430.
5. Fish Physiology: Homeostasis and Toxicology of Essential Metals. (Eds. Wood C.M., Farrell A.P., Brauner C.J.), V. 31A – San Diego: Academic Press, 2012. – 520 p.
6. Wang M, Wang Y, Zhang L, Wang J, Hong H, Wang D. Quantitative proteomic analysis reveals the mode-of-action for chronic mercury hepatotoxicity to marine medaka (*Oryzias melastigma*). // Aquat. Toxicol. – 2013. – V. 130–131. – P. 123–131.

УДК 556.551; 556.556.2

Рубрика 37.27.27; 37.27.17

ВЛИЯНИЕ НИЖЕГОРОДСКОЙ ГЭС НА ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИЛЕГАЮЩЕЙ АКВАТОРИИ

THE INFLUENCE OF NIGEGORODSKAYA HPP ON HYDROECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE NEIBOURING WATER AREA

Гречушникова Мария Георгиевна^{1,2,3}, Мольков Александр Андреевич^{1,4}, Капустин Иван Александрович^{1,4}, Лещев Георгий Владимирович^{1,4}, Доброхотова Дарья Васильевна^{1,4}

¹ *Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород*

² *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва*

³ *Институт водных проблем РАН, Москва*

⁴ *Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород*

Grechushnikova Maria Georgievna^{1,2,3}, Molkov Aleksandr Andreevich^{1,4}, Kapustin Ivan Alexandrovich^{1,4}, Leshchev Georgy Vladimirovich^{1,4}, Dobrokhotova Darya Vasilevna^{1,4}

¹ *Lobachevsky State University, Nizhny Novgorod*

² *Moscow State University M.V. Lomonosov, Moscow*

³ *Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow*

⁴ *Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod*

Введение

Гидроэлектростанции оказывают воздействие на прилегающие к ней участки верхнего и нижнего бьефа. Помимо изменения температуры, кислорода, мутности воды, ледового режима в нижнем бьефе работающие турбины влияют и на распределение характеристик в прилегающем верхнем бьефе (длинные волны, динамическое перемешивание, послойный водозабор и др). Целью данной работы является изучение влияния Нижегородской ГЭС на распределение гидроэкологических характеристик в ее верхнем и нижнем бьефе.

Данные и методы

Строительство Нижегородской ГЭС в 1957 г. образовало Горьковское водохранилище сезонного регулирования стока с коэффициентом водообмена 6 год^{-1} [1]. Воды Горьковского водохранилища принадлежат к разряду слабо загрязненных. Горьковское водохранилище является водоемом умеренного цветения со средним и максимальным измеренным содержанием биомассы фитопланктона, соответственно, 586 г/м^3 и 63 г/м^3 [2]. По данным [3] вторичные отложения над затопленной поймой и террасами представляют собой ил различных оттенков с максимальной мощностью 15-20 см (43 см у Левого берега в районе Чкаловска). При этом грунты бедны органическим веществом, даже в иловых отложениях его содержание 2-5%, редко 12-17%, что связано с большей ролью в формировании грунтового комплекса аллохтонных минеральных взвесей речного происхождения и продуктов абразии берегов. Возле гидроузла возрастает роль стоковых течений, вторичные отложения практически отсутствуют.

Съемка приплотинного района проведена 25-26 мая 2022 с плавучей лаборатории «Геофизик» и моторной лодки «Волжанка-46». Отбор проб и измерения производились на станциях, расположенных на разном расстоянии от плотины над различными морфологическими частями затопленной долины (рис. 1). Станции 1.2 и 2.2 расположены над затопленным руслом. Выполнены измерения вертикального распределения температуры воды, растворенного кислорода, электропроводности (кондуктометр YSI Pro30 и оксиметр YSI ProODO), прозрачности воды по диску Секки. Производился отбор проб воды на содержание метана в придонном и поверхностном горизонтах.

Проведены эксперименты для определения потоков веществ на границе «вода – донные отложения (ДО)» методом трубок Кузнецова-Романенко [4]. Определение HCO_3^- в трубках проводилось по стандартной гидрохимической методике (ГОСТ 31957-2012). Содержание ОВ в грунте оценивалось по потерям веса при прокаливании. По ходу движения плавучей лаборатории «Геофизик» производилось непрерывное измерение скорости и направления течения с использованием ADCP WorkHorse Monitor 1200 kHz. Мутность воды в пробах у дна и поверхности определялась турбидиметром НАСН 2100Р.

25 мая волнение 1-2 балла не позволило произвести измерения потока метана, поэтому комплекс наблюдений с тримарана «Геофизик» ограничился двумя станциями на максимально близком расстоянии к плотине и ГЭС (рис 1). Во второй половине дня работы производились с моторной лодки в нижнем бьефе. 26 мая работы производились с моторной лодки, выполнялся разрез от молов до устья р. Троицы. 25-26 мая 2022 г. расход воды через плотину составил 1451 и 1916 м³/с соответственно.

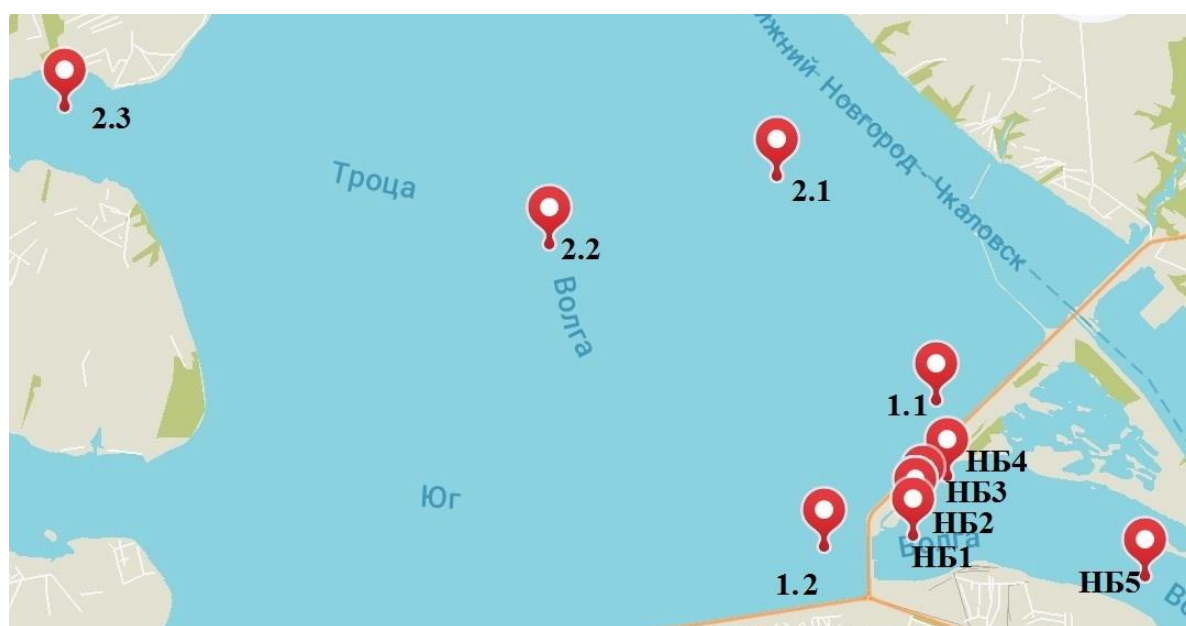


Рис 1. Схема станций измерений.

Результаты

Несмотря на достаточно прохладные условия во время съемки 25-26 мая (температура воздуха 11,5-13,1°C и 13,6-14,3°C, давление 1002 и 999 гПа, облачность 9-10 баллов, скорость ветра 1-4,5 и 1-3,6 м/с), на станции 1.2 в створе ГЭС разность поверхностной и придонной температуры воды составила всего 0,1°C, а на 1.1 уже 0,5°C при одинаковой глубине (табл. 1). Как показали результаты обработки донных отложений, обе станции отличаются пониженным содержанием ОВ (4,0-6,7%) по сравнению с станциями 2.1-2.3 (11,8-23,3%). На станции 1.1 наблюдался плотный илистый грунт с тонким черным наилком, на 1.2 – заиленный ракушечник,

также в дночерпателе присутствовали живые моллюски *Dreissena*. Наилкок на станции отсутствовал.

На удаленных от плотины станциях 2.1-2.3 разность поверхностной и придонной температуры была выражена еще больше (более 1°C), причем на станции 2.2 над затопленным руслом несмотря на большую глубину однородность водной толщи была более выражена, чем над затопленной поймой (2.1). Донные отложения на станциях 2.1-2.3 представляли собой полноценный ил, который различался цветом и содержанием органического вещества. Наименьшее содержание ОВ в устье р. Троча может быть обусловлено притоком взвешенных веществ с ее водосбора и промывкой в период половодья. Полученные данные говорят о том, что влияние плотины на смыв вторичных отложений распространяется не далее 7 км. Также следует отметить, что по сравнению с исследованием 1971 г. содержание органического вещества в донных отложениях увеличилось.

Таблица 1. Гидроэкологические характеристики на станциях измерений (нд – нет данных).

Х-ка	1.1	1.2	2.1	2.2	2.3
Глубина, м	8	8	11	16	9
Тпов-Тдно, °С	0,5	0,1	1,4	1,1	1
ОВ в ДО, %	4	6,7	23,3	17,4	11,8
Диффузионный поток CH ₄ из ДО, мгС/м ² сут	нд	0,034	0,20	1,89	0,14
CH ₄ , мкл/л (пов/дно)	2,6/1,6	1,5/1,3	3,7/2,7	1,5/2,0	3,1/3,1
Удельный поток CH ₄ , мгС/м ² сут	нд	нд	2,5-8,0	0,25	1,9
ППВ, мгО/м ² сут	25	32	84	108	98
Аэробная деструкция, мгО/м ² сут	нд	58	177	135	213
Общая деструкция, мгО/м ² сут	нд	140	181	193	272
Мутность, NTU (пов/дно)	14/7	6/10	6/нд	6/12	5/5
рН (пов/дно)	8,4/8,2	8,1/8,0	8,1/нд	8,1/8,1	8,1/8,1

Значения мутности воды увеличивались от поверхности ко дну с 6 до 10-12 NTU на станциях 1.2 и 2.2 вдоль затопленного русла в створе ГЭС, что может быть связано с влиянием взмучивания стоковым течением. На станциях 2.1 и 2.3 мутность распределена в толще воды равномерно, а на станции 1.1 ее значения в поверхностном слое даже повышены (14 NTU), что может быть связано с наличием фитопланктона при более слабом ветре, судя по более высокому значению рН.

Содержание метана в поверхностном и придонном горизонтах было минимально на станциях над затопленным руслом 1.2 и 2.2 (1,4 и 1,3; 1,5 и 2,0 мкл/л соответственно). Наибольшее его содержание выявлено на станциях 2.1 и 2.3 (3,7 и 2,7; 3,1 и 3,1 мкл/л соответственно), находящихся в стороне от затопленного русла. Удельный поток метана оказался минимальным на станции 2.2 (0,25 мгС/м²сут). На станциях 2.1 и 2.3 его значения составили 5,3 и 1,9 мгС/м²сут. То есть наиболее удаленная от ГЭС станция 2.1 характеризуется ненарушенным осадконакоплением с наибольшим количеством ОВ и наибольшим выходом метана в атмосферу, а над русловой станцией из-за пониженного содержания ОВ в ДО и выраженного стокового течения, дополнительно аэрирующего водную толщу, создаются условия, сокращающие выброс метана в атмосферу.

По данным экспериментов наибольшее потребление кислорода придонной водой (ППВ) характерно для станции 2.2 – 108 мг/м²сут, а потребление кислорода грунтами дна наоборот – наименьшее из трех удаленных от плотины станций – 135 мг/м²сут. Минимальные показатели (потребление кислорода придонной водой, грунтами дна, выход НСО₃ и СН₄) характерны для станции 1.2, которая характеризует русло вблизи водозабора (32, 58 мг/м²сут, 140 и 0,03 мгС/м²сут).

По результатам отбора проб бентоса выявлено, что приплотинный отсек в пределах района исследований небогат донными организмами. В отложениях на станциях 1.1 и 2.2 бентос не обнаружен, биомасса хирономид на 1.2, 2.1 и 2.3 составила 1,7, 4,4 и 0,9 г/м² соответственно, а биомасса моллюсков на 1.2 – 6,8 г/м², что отличается от данных, приведенных для всего приплотинного плеса в [5]. При этом участки затопленного русла характеризовались наличием преимущественно Dreissena, тогда как на затопленной пойме встречались брюхоногие моллюски.

В нижнем бьефе гидроэкологические характеристики на станциях не имели принципиальных различий, донные отложения представлены песком, вдоль русловой ложбины песком с гравием. На станции НБ1 наблюдалась наибольшая биомасса бентоса (Dreissena) 1000 г/м². На станции НБ5 общая биомасса снизилась до 206,5 г/м², помимо Dreissena встречались ручейники.

Поданным измерений скорости и направления течений (рис. 2) в районе станции 1.1 влияние ГЭС невелико. Вектор горизонтальной скорости поворачивался с глубиной, профиль скорости имел минимум на глубине 4 метра, далее скорость росла с глубиной. Течение в верхнем слое было преимущественно ветровое, а в нижнем слое течение противонаправлено, что является краевым эффектом – наблюдается опускание воды вдоль дамбы. В районе станции 1.2 течение русловое, векторы скорости направлены к ГЭС. На обеих станциях течение характеризуется наличием отрицательной компоненты вертикальной скорости в верхнем слое порядка 2-2,5 м. Течения усиливались по направлению к ГЭС. Таким образом, станции принципиально различаются характером течения, что, несомненно, является причиной различий гидроэкологических характеристик, рассмотренных выше.

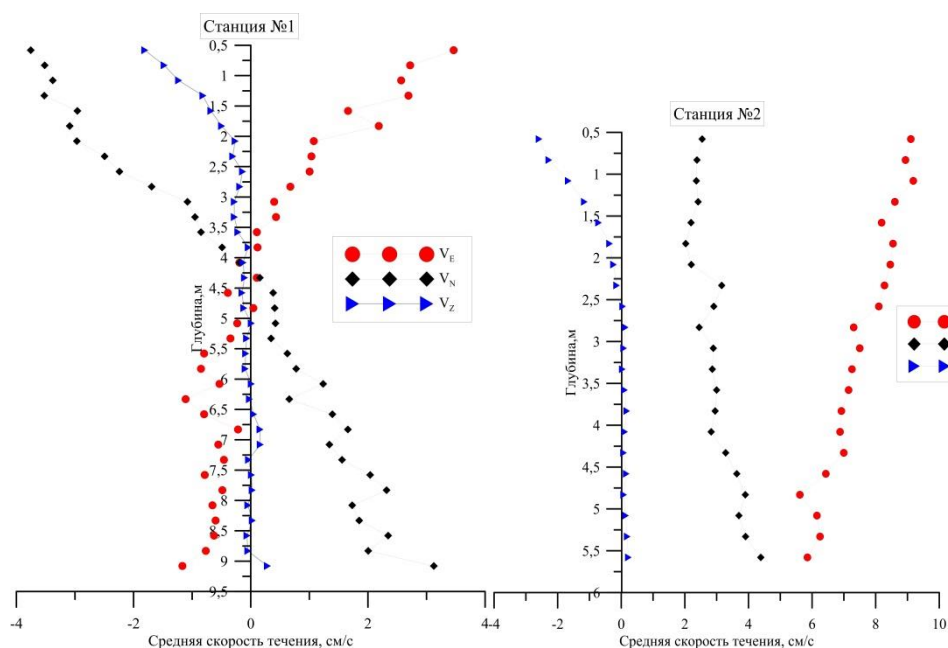


Рис. 2. Профили течений на станциях 1.1 и 1.2.

Заключение

Водозабор ГЭС оказывает воздействие на гидроэкологические характеристики водохранилища, поле течений, влияет на их вертикальное и горизонтальное распределение. Проведенные измерения показали наличие неоднородных условий илонакопления и обмена воды с донными отложениями. Наличие выраженного стокового течения предотвращает илонакопление не только в русловой ложбине вблизи плотины, но и способствует смыву свежего осадка на близлежащей пойме. На удаленных от плотины станциях илонакопление подвергается менее активной трансформации, однако в русловой ложбине содержание органического вещества все же меньше, чем на пойме. Донные отложения являются источником метана, поэтому при оценке его эмиссии с искусственных водоемов важно учитывать неоднородные условия его образования и пространственную изменчивость удельного потока.

Финансирование

Полевые работы и анализ результатов выполнены в рамках реализации Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» ННГУ (№ темы Н-468-99_2021-2023).

Список литературы

1. Соболев С.В. Оценка геоэкологических последствий создания и многолетней эксплуатации равнинного Горьковского водохранилища на р. Волге // Приволжский научный журнал. 2016, № 1. С. 88-96.
2. Охупкин А.Г., Микульчик И.А., Корнева Л.Г., Минеева Н.М. Фитопланктон Горьковского водохранилища. Тольятти, 1997. 156 с.
3. Виноградова Н.Н., Эдельштейн К.К. К характеристике взвесей и грунтов Горьковского водохранилища//Комплексные исследования водохранилищ. М.: Изд-во МГУ, 1971. Вып. 1. С.112-121.
4. Романенко В.И. Микробиологические процессы продукции и деструкции органического вещества во внутренних водоемах. Л.: Наука, 1985. 294 с.
5. Фролова Е.А., Баянов Н.Г., Минин А.Е., Минина Л.М. Макрозообентос Горьковского водохранилища. Таксономическая структура и количественное развитие. // Труды Мордовского государственного природного заповедника имени П.Г. Смидовича. Вып. 25. 2020. С. 381-392.

Гидрология суши

Стендовые доклады

Hydrology

Poster presentations

УДК 519.6

Рубрика 27.41.00; 37.29.00; 38.65.00

ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ОДНОСТОРОННЕМУ ПРОМОРАЖИВАНИЮ ОБРАЗЦОВ ПЕСКА

EXPERIMENTS ON UNILATERAL FREEZING OF SAND SAMPLES

Фролов Денис Максимович, Ржаницын Герман Анатольевич, Сократов Сергей Альфредович, Кошурников Андрей Викторович, Гагарин Владимир Евгеньевич
Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва

Frolov Denis Maksimovich, Rzhanitsyn German Anatolyevich, Sokratov Sergey Alfredovich, Koshurnikov Andrey Viktorovich, Gagarin Vladimir Yevgenyevich
Moscow State University M. V. Lomonosov, Moscow

В работе рассмотрены лабораторные эксперименты по одностороннему промораживанию образцов сухого и влажного песка. Промораживание осуществлялось в холодильной камере под воздействием сверху охлаждающей термоплиты. Температура в холодильной камере составляла -5°C , а на охлаждающей плите - -19°C . В образцы песка на разных глубинах были помещены термодатчики. Производилась термометрия замораживаемых образцов песка. Изменение температуры в образце влажного песка можно видеть на рисунке 1.

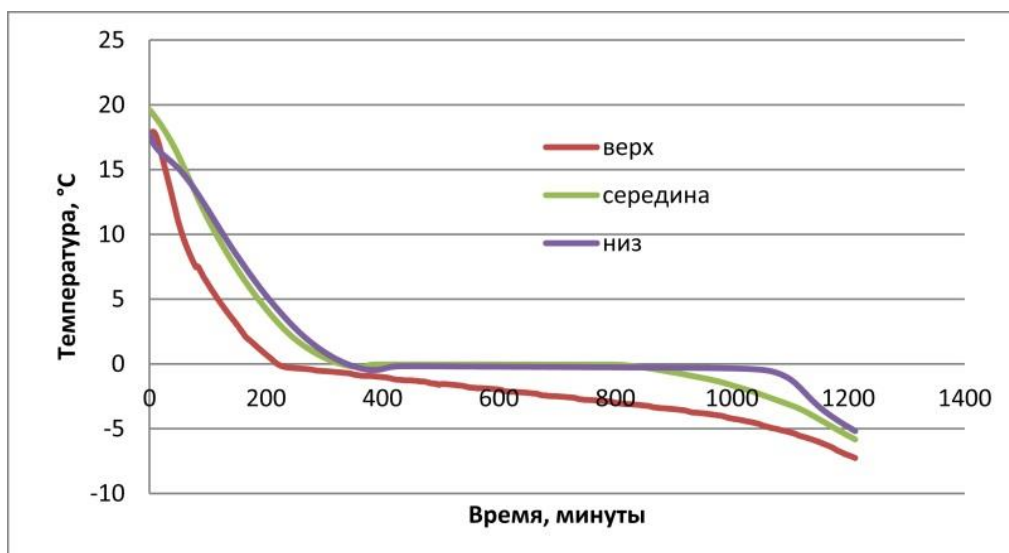


Рисунок 1. Изменение температуры в образце влажного песка при промораживании сверху.

В результате проделанного эксперимента по промораживанию сверху влажного песка представляется возможным оценить скорость распространения волны холода в образцах, движение фронта промерзания и длительность фазового перехода. Так как образец песка имел размеры $6 \times 6 \times 18$ см, а масса песка составляла 1,5 кг при массовой влажности 10%, то на промораживание влаги (0,15 кг) потребовалось порядка 50 кДж за время порядка 48000 секунд. Что соответствует мощности охлаждения, которая составила порядка 1,042 Вт.

Также было произведено математическое моделирование процесса охлаждения образца. Исходными данными расчёта задавались результаты измерения температуры ближе к поверхности. Вычисления проводились посредством полученной на основе уравнения теплопроводности Фурье разностной схеме.

Таким образом, температурное поле в снеге описывалось уравнением теплопроводности Фурье:

$$C_s \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_s \frac{\partial T}{\partial x} \right),$$

где K_s , C_s - коэффициенты кондуктивной теплопроводности и теплоемкости песка, T - температура, °C, t - время.

Глубина образца 18 см разбивалась на $i=1, n (=200)$ частей. Записывалось разностное уравнение:

$$C_s \frac{T_i^{j+1} - T_i^j}{\Delta t} = K_s \frac{T_{i+1}^j - 2T_i^j + T_{i-1}^j}{\Delta x^2},$$

которое даёт новое значение температуры на новом временном слое:

$$T_i^{j+1} = T_i^j + \Delta t / C_s * K_s \frac{T_{i+1}^j - 2T_i^j + T_{i-1}^j}{\Delta x^2},$$

Шаг по времени в 1 минуту разбивался на интервалы по 0.1 секунды и просчитывалось на новом шаге, используя граничные условия:

$$K \left. \frac{T_0 - T_1}{\Delta x} \right| = 0, T_{n+1} = T_{surf}$$

Разностная схема для выполнения шага по j записывалась:

$$T_i^{j+1} = T_i^j + \Delta t / C_s * K_s / \Delta x^2 (T_{i+1}^j - 2T_i^j + T_{i-1}^j) \text{ для } i = 1, n,$$

и

$$T_0 = T_1, T_{n+1} = T_{surf}$$

Результаты численного моделирования распространения волны холода при одностороннем охлаждении образца песка в лабораторных условиях показаны на рисунке 2.

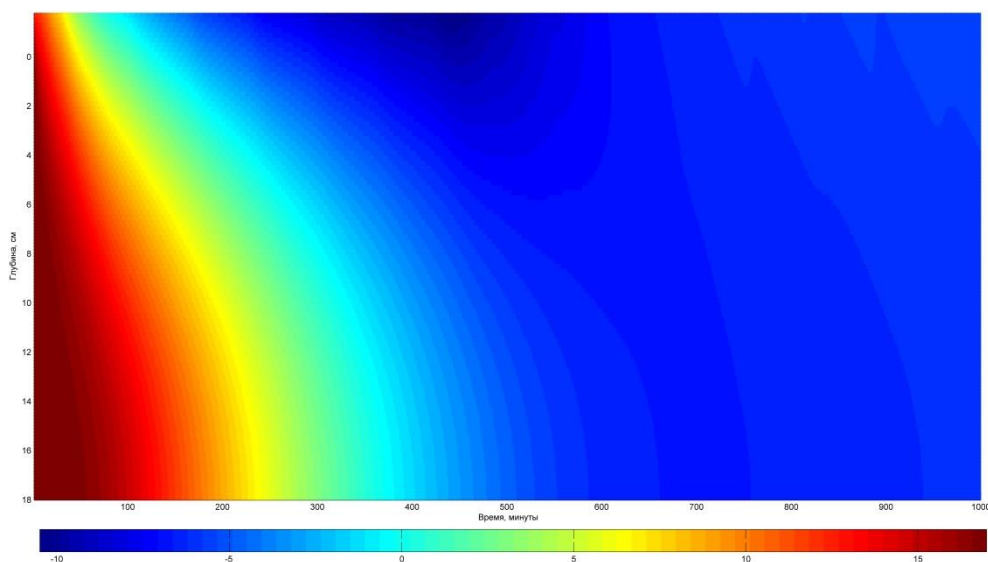


Рисунок 2. Изменение температуры при охлаждении образца сухого песка по результатам численного эксперимента.

Результаты численного эксперимента по изменению температуры при охлаждении образца сухого песка согласуются с данными термометрии.

Работа поддержана госбюджетной темой «Опасность и риск природных процессов и явлений» (121051300175-4) и «Эволюция криосферы при изменении климата и антропогенном воздействии» (121051100164-0).

Финансирование

Исследование/проект выполнен при поддержке госбюджетной темой «Опасность и риск природных процессов и явлений» (121051300175-4) и «Эволюция криосферы при изменении климата и антропогенном воздействии» (121051100164-0).

Список литературы

1. Грунтоведение. Под ред. *В.Т. Трофимов*. М.: Изд-во МГУ, Наука, 2005, 1024 с.
2. *Лыков А.В.* Теория теплопроводности, М.: Высшая Школа, 1967, 599 с.
3. Основы мерзлотного прогноза при инженерногеологических исследованиях // Под ред. *Кудрявцева В.А.* Изд-во МГУ, 1974. 431 с.
4. *Самарский А.А., Гулин А.В.* Численные методы. М.: Наука, 1989. 432 с.
5. *Тихонов А.Н., Самарский А.А.* Уравнения математической физики, 1999.

УДК 519.6

Рубрика 27.41.00; 37.29.00; 38.65.00

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ДАННЫХ ТЕРМОМЕТРИЧЕСКОЙ КОСЫ

DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR PROCESSING AND ANALYSIS OF THERMOMETRIC SPIT DATA

Фролов Денис Максимович, Ржаницын Герман Анатольевич, Сократов Сергей Альфредович, Кошурников Андрей Викторович, Гагарин Владимир Евгеньевич
Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва

Frolov Denis Maksimovich, Rzhanitsyn German Anatolyevich, Sokratov Sergey Alfredovich, Koshurnikov Andrey Viktorovich, Gagarin Vladimir Yevgenyevich
Moscow State University M. V. Lomonosov, Moscow

Введение

В статье представлены результаты, полученные в процессе разработки программного обеспечения для обработки и анализа данных термометрической косы. Поскольку в гидрологических и гидрофизических исследованиях (на нашем примере в исследование по наблюдению за распространением волны холода в снеге при подготовке горнолыжных трасс засаливанием) широко используются термометрические косы, то возникает необходимость обработки и анализа данных их данных. Для исследования термического состояния снежной толщи при засаливании использовался термокоса, термодатчики и логгер температуры производства ООО "МГУ-Геофизика". Для создания программного обеспечения использовалась среда программирования MATLAB.

Данные и методы

Результаты обработки данных в этой работе представлены на примере использования термокосы при наблюдении за распространением волны холода в снеге при подготовке горнолыжных трасс засаливанием. Известно, что при подготовке горнолыжных трасс к соревнованиям, особенно когда среднесуточная температура воздуха приближается к положительным отметкам, а днём возникает таяние снежного покрова, для кратковременного понижения температуры снежной толщи и её частичного смерзания используется засаливание. Эксперименты проводились летом 2021 и 2022 года на ледниках Джанкуат и Гарабаши Кавказа. Для исследования термического состояния снежной толщи при засаливании использовался термокоса, термодатчики и логгер температуры производства ООО "МГУ-Геофизика". Датчики температуры были расположены на воткнутом в снег стержне с интервалом в 5 см. Внешний вид устройства термокосы представлен на (рис. 1):



Рис 1. Внешний вид устройства термокосы

Измерение температура проводилось ежеминутно. При однократном засаливании наблюдалась волна холода в течение около 4-5 часов и при смерзании нижней толщ с понижением температуры нижележащих слоёв снега до -3 -- -5 °С. Анализ данных наблюдений показал распространение волны холода вглубь до 50-60 см (рис. 2).

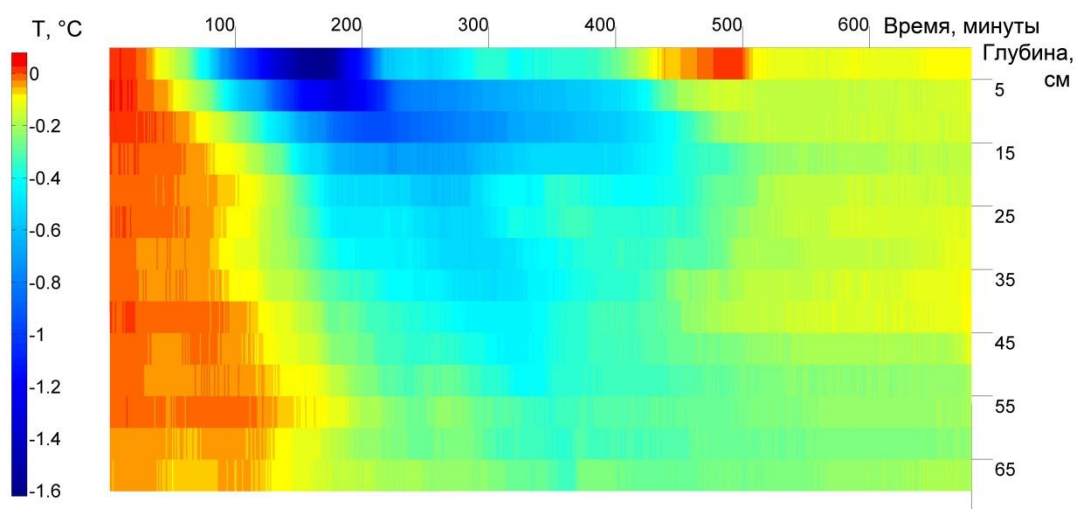


Рис 2. Распространения волны холода при засаливании снега на леднике Джанкуат (результаты измерений).

Результаты численного моделирования распространения волны холода от засоления снега при помощи разностной аппроксимации уравнения теплопроводности показаны на рисунке (рис. 3).

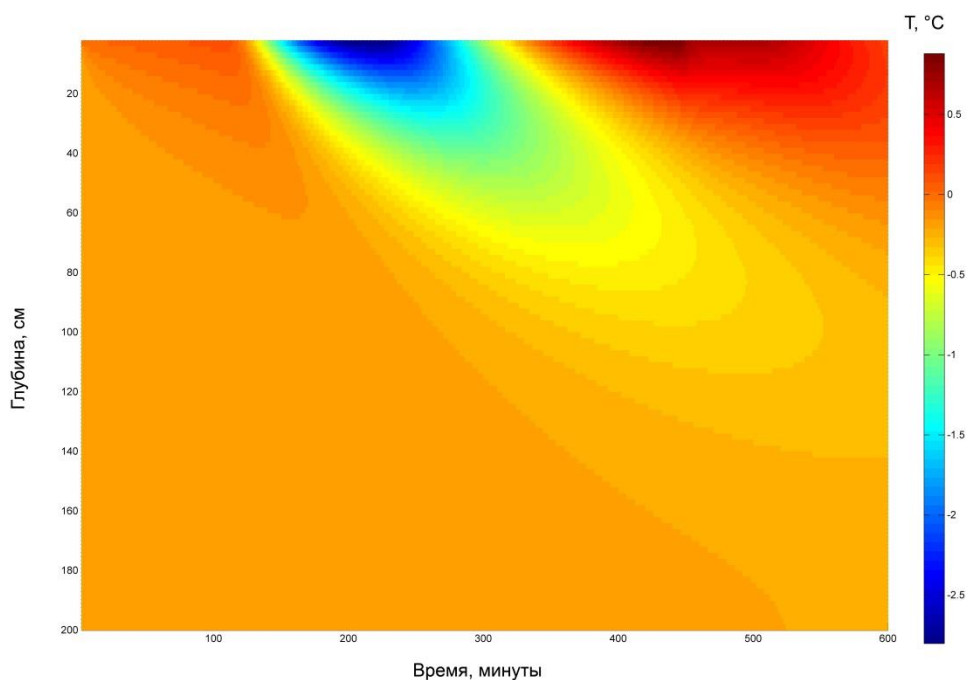


Рис 3. Распространения волны холода при засаливании снега на леднике (результаты численного моделирования).

Показанные на рисунках 2 и 3 результаты численного моделирования и результаты температурных наблюдений хорошо согласуются между собой.

Результаты.

Разработанное программное обеспечение позволяет обрабатывать и анализировать данные термометрической косы. Рассмотренный пример изучения особенности распространения волны холода при засаливании способствует оптимизации процесса засаливания для наиболее эффективной подготовки горнолыжных трасс к соревнованиям.

Работа поддержана госбюджетной темой «Опасность и риск природных процессов и явлений» (121051300175-4) и «Эволюция криосферы при изменении климата и антропогенном воздействии» (121051100164-0).

Благодарность

Авторы благодарят ООО "МГУ-Геофизика" за предоставленную возможность работы с оборудованием.

Финансирование

Исследование/проект выполнен при поддержке госбюджетной темой «Опасность и риск природных процессов и явлений» (121051300175-4) и «Эволюция криосферы при изменении климата и антропогенном воздействии» (121051100164-0).

Список литературы

1. Основы мерзлотного прогноза при инженерногеологических исследованиях // Под ред. Кудрявцева В.А.. Изд-во МГУ, 1974. 431 с.
2. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. М.: Наука, 1989. 432 с.

3. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики, 1999.
4. Фролов Д.М., Ржаницын Г.А., Сократов С.А. и др. Геотехнический мониторинг снежных покровов на ледниках Эльбруса (Кавказ) / Д. М. // Геофизика. — 2022. — № 3. — С. 70–75.
5. Фролов Д.М., Ржаницын Г.А., Черкасова В.А. и др. Распространение волны холода в снегу при подготовке горнолыжных трасс засаливанием // Труды международной конференции и школы молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды: ENVIROMIS-2022. — 2022. — С. 314–316.

УДК 504.054

Рубрика 87.19.00

ОЦЕНКА ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА И ТОКСИЧНОСТИ ВОД РЕКИ
МОСКВЫ В 2021-2022 гг.

HYDROCHEMICAL STATE AND TOXICITY OF THE WATERS IN THE MOSCOW
RIVER IN 2021-2022.

Духова Людмила Анатольевна¹, Оганесова Елена Викторовна¹, Кладити Софья Юрьевна¹, Трофимова Виктория Валерьевна¹, Самойлова Татьяна Александровна¹, Дмитриева Екатерина Сергеевна¹, Лукьянова Ольга Николаевна²

¹ *ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), Москва*

² *Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва*

Dukhova Liudmila Anatolyevna¹, Oganesova Elena Viktorovna¹, Kladyty Sofya Yuryevna¹, Trofimova Victoriya Valeryevna¹, Samoylova Tatyana Aleksandrovna¹, Dmitrieva Ekaterina Sergeevna¹, Lukyanova Olga Nikolaevna²

¹ *Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow*

² *Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow*

Введение

Река Москва относится к средним по водности рекам с высокой антропогенной нагрузкой, зарегулированной в среднем и нижнем течении системой плотин. Суммарное влияние различных факторов на процессы водосбора, включая геохимические, гидрологические, гидробиологические, климатические, антропогенные, в результате отражается на формировании химического состава вод р. Москвы. Сформированная в естественных условиях определенная пространственная изменчивость соотношения главных ионов в условиях антропогенного воздействия нарушается. Причиной таких нарушений является в основном поступление в реку сточных вод и загрязненного поверхностного стока, а также вторичное загрязнение за счет взаимодействия в системе вода-донные отложения. Значительное влияние оказывает зарегулированность речного стока. Сезонная структура стока реки Москвы после запуска гидротехнических сооружений и под действием антропогенных факторов изменилась [Коронкевич Н.И., 2017]. По результатам исследований 2021-2022 гг. отмечается пространственная трансформация гидрохимического режима реки Москвы во все гидрологические сезоны. Исследования качества вод реки Москвы проводились многими авторами [Щеголькова, 2001; Shinkareva, 2022; Ерина, 2021] Остается открытым вопрос, можно ли сделать вывод, что процесс трансформации химического состава вод р. Москвы в современных условиях стабилизировался.

Данные и методы

Для определения степени трансформации вод реки Москвы по химическому составу были использованы данные по гидрохимическим и токсикологическим показателям, полученные в ходе экспедиционных исследований с 03.03.2021 г. по 11.08.2022 г. на участке от верховьев (д.

Барсуки) до места впадения в р. Ока (г. Коломна). Пробы отбирались в 15 точках на 320 км реки. Расположение точек отбора проб приведено на рис. 1.

Гидрохимические и токсикологические лабораторные исследования включали кроме измерения температуры и pH воды, определения содержания растворенного кислорода, главных ионов и кремния, концентраций аммонийного азота, нитритного азота, нитратного азота, фосфора фосфатов, фенолов, нефтепродуктов, тяжелых металлов: марганца, меди, кадмия, свинца, железа, кобальта, хрома и никеля, а также величин общей жесткости и минерализации.

Исследования были проведены во все основные фазы гидрологического периода, которые характеризовались разными уровнями воды в реке Москве, измеренными на гидрологических постах сети Росгидромета. Влиянием водности на межгодовую изменчивость химического состава можно пренебречь, поскольку во время проведения исследований в 2021-2022 гг. во всех точках уровень воды колебался около средних многолетних значений, кроме замыкающего створа в г. Коломна, где уровень воды во все сезоны был выше средних многолетних значений.

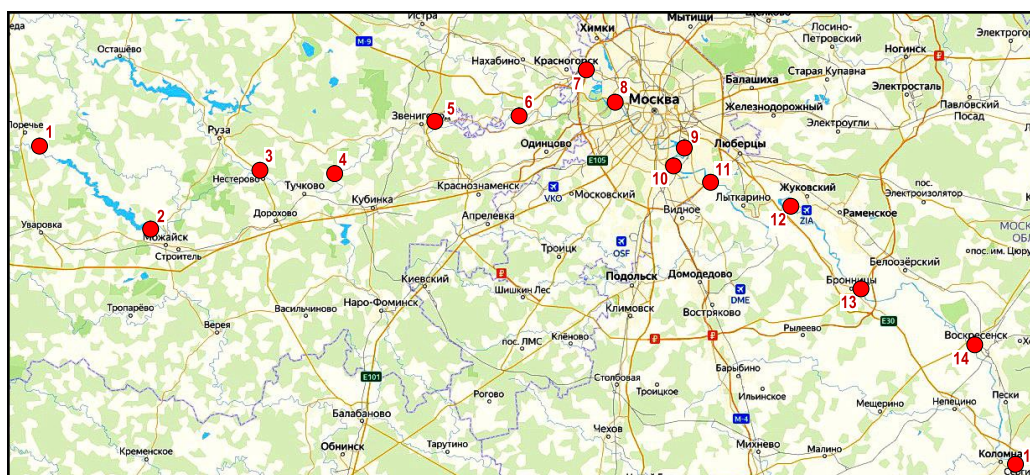


Рис. 1. Схема расположения точек отбора проб воды в р. Москве в 2021-2022 гг.

Токсичность воды оценивалась методом биотестирования с использованием двух тест-объектов, широко используемых в биотестировании и экологической токсикологии, в том числе при разработке рыбохозяйственных ПДК: ракообразных *Daphnia magna* Straus и одноклеточных водорослях *Scenedesmus quadricauda* (Turh.) Vreb.

Оба вида широко распространены в разнообразных биотопах. Исследования проводили в соответствии с методикой [Руководство..., 2002]. Оценивали острую токсичность проб воды по выживаемости дафний за 96 часов и росту численности водорослей за 72 часа. Критерием наличия острой токсичности в пробе принято снижение исследуемого показателя на 50% и более относительно контроля.

Результаты

Протяженность реки Москвы 497 км, из них около 1/6 части река протекает по территории города Москвы. Верхнее и нижнее течение р. Москвы значительно отличаются как по гидролого-гидрохимическим характеристикам, так и по типу и степени антропогенной нагрузки. В естественных условиях формируется определенная пространственно-временная изменчивость соотношения главных ионов, в зависимости от источников питания реки.

Содержание биогенных элементов имеет дополнительно сезонную изменчивость, зависящую от происходящих биохимических процессов. Условия, наиболее приближенные к естественным, сохраняются в районе д. Барсуки (точка 1 на рис. 1). В случае р. Москвы влияние зарегулированности стока можно отнести к хроническому антропогенному воздействию, которое за длительный период времени сформировало определенный химический состав вод, который можно считать фоновым условно.

По температурному режиму выделяются два участка, разделенных местом водовыпуска Курьяновских ОС (точка 9 на рис. 1), где во все гидрологические сезоны наблюдается самая высокая температура воды, и река не замерзает до самого устья.

По химическому составу воды р. Москвы относятся к гидрокарбонатному классу и кальциевой группе. Характерным признаком трансформации химического состава вод при антропогенном воздействии является значительное увеличение содержания главных ионов и нарушение типичных для естественных условий их соотношений. Такие изменения наблюдались после Курьяновских ОС в 2021-2022 гг. Во время половодья общая минерализация в верховьях реки (д. Барсуки) не превышала 115,6 мг/дм³ в 2021 г. и 105,2 мг/дм³ в 2022 г. К устью общая минерализация увеличивалась до 384,1 и 306,7 мг/дм³, соответственно. В меженный период минерализация возрастала к устью до 500,7 мг/дм³ (летом) и до 819,7 мг/дм³ (зимой) в 2021 г. и в 2022 г. до 542,3 мг/дм³ (летом) и до 628,9 мг/дм³ (зимой). При увеличении концентраций главных ионов после Курьяновских ОС изменялось их соотношение, значительно увеличилась доля натрия по сравнению с участком д. Барсуки (рис. 2). Доля хлоридов в общем содержании анионов также возрастает при значимой корреляции между ионами натрия и хлоридами ($R^2 > 0,98$, $p < 0,05$).

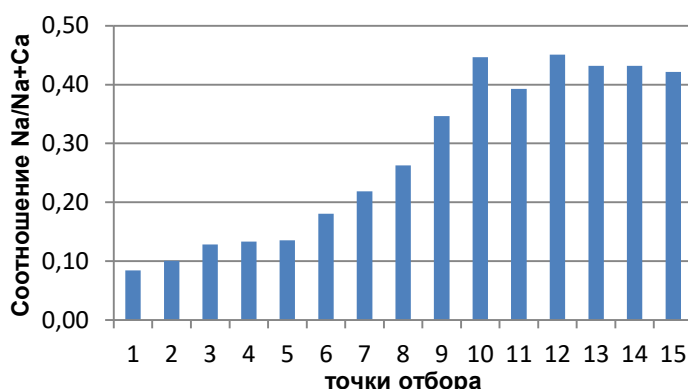


Рис. 2. Пространственная изменчивость доли ионов натрия (Na) в р. Москве в летний период 2022 г.

Значимым фактором, определяющим развитие фитопланктона, является содержание биогенных элементов, в первую очередь различных форм азота и фосфора. Наиболее выражено загрязнение воды после Курьяновских ОС соединениями азота. Концентрации аммонийного и нитритного азота, а также минерального фосфора возрастали по сравнению с естественными условиями, значительно превышая ПДК_{рх}. Увеличивалась доля восстановленных форм азота (аммонийного и нитритного), а доля нитратного азота падала. Проблема недостаточной очистки от соединений азота на Курьяновских ОС уже обсуждалась ранее [Тимофеева и др., 2018]. Воды реки Москвы в основном недонасыщены по кислороду (52,5,2-97,4%), кроме периода активного фотосинтеза (летняя межень), когда насыщение превышало 100%, достигая 180% в районе после Курьяновских ОС.

Под воздействием стоков Курьяновских ОС произошли изменения в сложившемся биоценозе этого участка реки [Крискунов и др., 2005]. Подтверждением этому является

уменьшение концентрации растворенного кремния до величин меньше $0,1 \text{ мг/дм}^3$ в устьевой части реки 2021-2022 гг. (рис. 3). На этом участке при избытке азота и фосфора шло бурное развитие диатомового микрофитобенобентоса [Хазанова К.П., 2015], что привело к значительному уменьшению концентрации кремния.

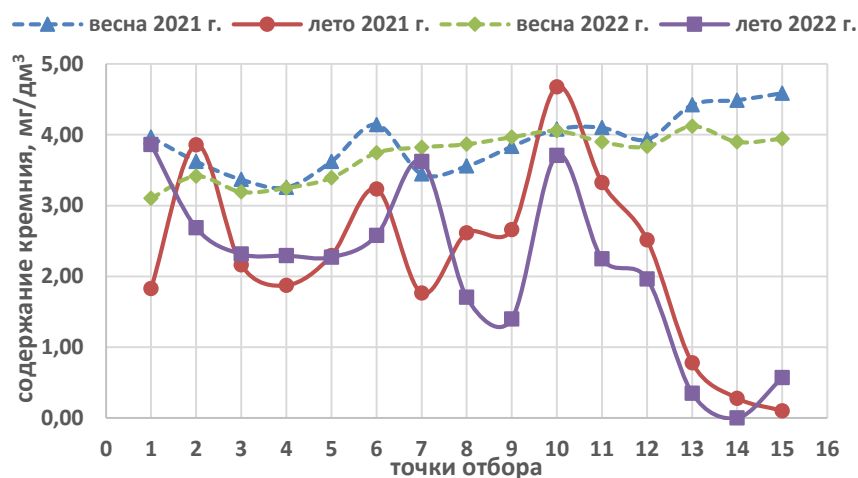


Рис. 3. Пространственно-временная изменчивость концентрации растворенного кремния в р. Москве в периоды весеннего половодья и летней межени 2021-2022 гг.

Наблюдаемое в летний период 2021-2022 гг. увеличение содержание биогенных элементов после Курьяновских ОС привело к существенному изменению атомарных соотношений: Si/P и N_{\min}/P (рис. 4). Считается, что оптимальными для жизнедеятельности фитопланктона являются соотношения содержания биогенных элементов близкие по элементному составу к соотношению Рэдфилда: $C:Si:N:P=106:23:16:1$ [Redfield, A.C., 1934]. На участке после Курьяновских ОС соотношение N_{\min}/P увеличилось от 3 до 19, соотношение Si/P уменьшилось от 27,4 до 1,2 (точка 9 и 15 на рис. 1, соответственно). На участке менее подверженном антропогенному воздействию продукционные процессы лимитировались азотом, после Курьяновских ОС первичная продукция лимитировалась кремнием, что является нетипичным для рек Московской области.

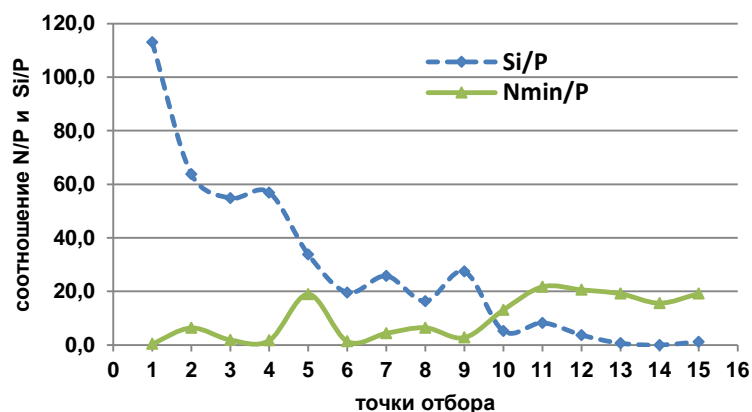


Рис. 4. Пространственная изменчивость атомарных соотношений Si/P, N_{\min}/P в р. Москве в летний период 2022 г.

На содержание в воде ионов железа ни Курьяновские ОС, ни другие стоки не оказывают значительного влияния, его содержание не превышало ПДК_{рх}. Ионы кобальта, свинца хрома, никеля и кадмия также присутствуют в воде в концентрациях ниже ПДК_{рх}.

В период исследований содержание марганца изменялось в пределах от 0,8 до 292 мкг/дм³, превышая ПДК_{рх} в более чем 85% случаев (ПДК_{рх} по марганцу - 10 мкг/дм³). В воде после сброса из нижних слоев Можайского водохранилища (точка 2 на рис.1) с низкой температурой и низким содержанием кислорода отмечалось резкое увеличение содержания марганца до 578,0 и 1298,0 мкг/дм³ в летние периоды 2021 г. и 2022 г., соответственно. Известно, что на содержание марганца в воде значительно влияют окислительно-восстановительные условия [Огрызкова и др., 2014]. Содержание меди превышало ПДК_{рх} на участке от района Хорошево-Мневники (точка 8 на рис 1) до устья реки в 1,07-2,25 раз.

Отмечено увеличение концентрации нефтепродуктов на участке от района Печатники до г. Коломна до величин более 0,1 мг/дм³. Практически на всем исследуемом участке р. Москвы были зафиксированы превышения ПДК_{рх} по фенолу.

Биотестирование отобранных проб природной воды на планктонных ракообразных *Daphnia magna* Straus, показало, что все пробы являются нетоксичными, выживаемость ракообразных за 96 часов во всех пробах составила 100%.

Биотестирование проб природной воды на одноклеточных водорослях *Scenedesmus quadricauda* (Thurp) Breb показало, что все пробы являются нетоксичными, численность клеток водорослей в них через 72 часа наблюдения была выше, чем в контроле, на 54-155%, т.е. наблюдался эффект стимуляции.

Заключение

По результатам исследований в 2021-2022 гг. отмечается трансформация гидрохимического режима реки Москвы при отсутствии межгодовой изменчивости химического состава вод по исследованным показателям. После сброса очищенных сточных вод Курьяновскими ОС отмечается тенденция увеличения доли ионов натрия и хлоридов в общей минерализации и доли восстановленных форм азота.

Сложившиеся в августе 2022 г. в нижнем течении реки гидрологические условия привели к значительному уменьшению концентрации растворенного кремния на приустьевом участке, где процессы первичного продуцирования в летний период лимитируются кремнием, что является нетипичным для рек Московской области.

Несмотря на значительную трансформацию химического состава вод р. Москвы исследования методом биотестирования отобранных проб показали отсутствие острой токсичности для планктонных ракообразных *Daphnia magna* Straus и одноклеточных водорослей *Scenedesmus quadricauda* (Thurp) Breb.

Благодарность

Авторы благодарят сотрудников ФГБНУ «ВНИРО», принимавших участие в экспедиционных исследованиях.

Список литературы

1. Ерина О.Н., Терешина М. А., Соколов Д. И., Пуклаков В. В. Фоновое качество воды р. Москва на единственном участке с естественным гидрохимическим режимом // Экологическая химия.-2021– №. 1. – С. 14-21.
2. Крискунов Е.А., Лобырев Ф.С., Бурменский В.А., Пушкарь В.Я., Бобырев А.Е., Щеголькова Н.М., Данилович Д.А., Козлов М.Н., Моисеенко Т. И., Гашкина Н. А. Распределение микроэлементов в поверхностных водах суши и особенности их водной миграции //Водные ресурсы. – 2007. – Т. 34. – №. 4. – С. 454-468.
3. Коронкевич Н.И., Мельник К.С. Изменение стока реки Москвы в результате антропогенных воздействий // Водные ресурсы. – 2017. –Т. 44. – № 1. С. 3–14.

4. Огрызкова О.С, Эйрих А.Н., Серых Т.Г., Дрюпина Е.Ю., Усков Т.Н., Папина Т.С. Сезонные изменения содержания марганца в воде новосибирского водохранилища // Известия Алтайского государственного университета, 2014. № 2-3(83). С. 176-180.
5. Руководство по определению методом биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязняющих веществ и буровых растворов. РЭФИА, НИИ-Природа, Москва.: 2002. - 132 с.
6. Тимофеева Е.А., Караванова Е.И. Оценка экологического состояния Москвы - реки в районе Курьяновских очистных сооружений // Городские исследования и практики.-2018.- Т. 3, № 3 (12).- С. 99-110.
7. Хазанова К.П.; Диатомовый микрофитобентос реки Москвы: структура сообщества и использование в оценке качества воды: автореф... дис. кан. биол. наук.-М.: 2015.-171 с.
8. Щеголькова Н.М. Оценка влияния очищенных вод московских станций аэрации на экосистему реки Москвы // Проблемы экологии и развития городов // Сборник статей по материалам 1-й 143 Всероссийская научно-практической конференции. Красноярск: СибГТУ. 2001. – С. 50 - 54.
9. Galina Shinkareva, Oxana Erina, Maria Tereshina, Dmitriy Sokolov, Mikhail Lychagin & Nikolay Kasimov. Anthropogenic factors affecting the Moskva River water quality: levels and sources of nutrients and potentially toxic elements in Moscow metropolitan area // Environmental Geochemistry and Health. 2022. DOI: 10.1007/s10653-022-01393-8.
10. Redfield, A.C. On the properties of organic derivatives in sea water and their relation to the composition of plankton // James Johnstone Memorial Volume. Liverpool. 1934. P. 176-192.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕКИ ИСТРА В ПЕРИОД ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ

ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATE OF THE ISTRA RIVER DURING THE SPRING FLOOD

Ерина Оксана Николаевна¹, Ефимова Людмила Евгеньевна¹, Соловьева Севастиана Сергеевна¹, Сазонов Алексей Александрович¹, Лисина Анастасия Андреевна¹, Платонов Максим Михайлович²

¹ *Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва*

² *Некоммерческий Фонд «Без рек как без рук», Москва*

Erina Oxana Nikolaevna¹, Efimova Luidmila Evguenievna¹, Solovyova Sevastiana Sergeevna¹, Sazonov Aleksey Aleksandrovich¹, Lisina Anastasia Andreevna¹, Platonov Maxim Mikhailovich²

¹ *Moscow State University M. V. Lomonosov, Moscow*

² *Non-profit Foundation "Clean Hands, Clean Rivers", Moscow*

Введение

В настоящее время загрязнение многих водотоков Московской области достигло критического уровня. Река Истра – малая река, но один из крупнейших притоков р. Москвы в ее верхнем течении. Истра относится к зоне санитарной охраны Москворецкого источника водоснабжения г. Москвы, и качество воды в реке напрямую влияет на качество воды, подаваемой на Западную и Рублевскую станции водоподготовки.

Рост Московской агломерации, в том числе Истринского городского округа, способствует все более активной застройке в бассейне реки, особенно ее участка ниже Истринского водохранилища. Зачастую застройка происходит в непосредственной близости от уреза воды, в пределах водоохранных зон и прибрежных защитных полос. Урбанизация водосбора реки, увеличение водонепроницаемых поверхностей при одновременном сокращении площади лесных и полевых водосборов, в период весеннего половодья может приводить к заметному диффузному загрязнению воды (Ясинский и др., 2019).

Данные и методы

Комплексное экологическое обследование реки Истры, проведенное в апреле 2022 г., было сфокусировано на участке от плотины Истринского водохранилища до места ее впадения в р. Москву (рис. 1). Это позволило оценить современный уровень загрязненности р. Истры, выявить основные загрязняющие вещества и определить участки их поступления.

В ходе обследования реки и ее притоков было выполнено определение физико-химических показателей (температура, удельная электропроводность, рН воды и содержание в ней растворенного кислорода и взвешенных веществ), отобраны пробы воды для проведения дальнейшего лабораторного определения главных ионов солевого состава, биогенных элементов и более 70 показателей, включая тяжелые металлы и органические загрязняющие вещества.

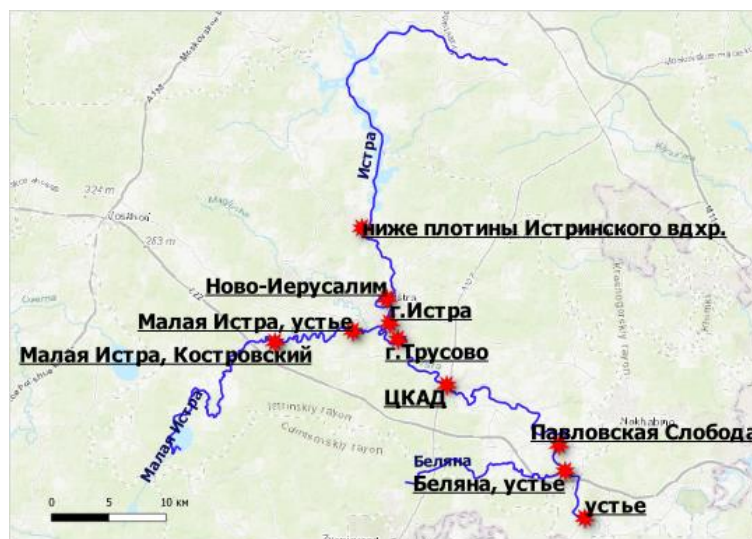


Рис 1. Пункты отбора проб в бассейне р. Истры.

Результаты.

В период обследования в р. Истру поступала зимняя водная масса Истринского водохранилища, характеризующаяся пониженными температурами, повышенными значениями электропроводности, а также относительно низким содержанием растворенного кислорода и содержанием взвешенных веществ. Вниз по течению от плотины водохранилища до устья р. Истры происходит постепенное снижение электропроводности (от 505 до 348 мкСм/см), увеличение температуры воды (3,8 – 7,1°C), мутности (1,7 – 17,3 мг/дм³) и содержания растворенного кислорода (7,3 -11,4 мг/дм³), что обусловлено поступлением талых вод с водосбора и впадением притоков. Так, обследованные незарегулированные притоки рр. Малая Истра и Беяна характеризуются вдвое более низкими значениями электропроводности и втрое более высокой концентрацией взвеси. При этом ввиду заболоченности водосборов рр. Малая Истра и Беяна значения рН воды в них заметно ниже (7,86), чем в воде р. Истры (от 8,13 ниже плотины водохранилища до 8,84 в устье реки). Все рассматриваемые показатели свидетельствуют о благоприятных кислородных и окислительно-восстановительных условиях в реке. В целом описываемую ситуацию в реке и ее притоках можно рассматривать как типичную для условий весеннего снеготаяния

Вода реки Истры и ее притоков характеризуется типичным для рек Московской области гидрокарбонатно кальциевым составом и средней минерализацией. Вниз по течению р. Истры доля ионов натрия и ионов хлора в минерализации воды увеличилась от 6,1 и 6,7 % ниже водохранилища до 8,5 и 9,2 % в устье реки соответственно.

Содержание биогенных и органических веществ может являться показателем комплекса как антропогенных, так и природно обусловленных процессов, происходящих на водосборе реки. Так, в весенний период даже в незагрязненных реках наблюдаются повышенные концентрации соединений азота, фосфора и органических соединений, вызванные их поступлением в результате снеготаяния и смыва с водосборной территории.

Вода р. Истры характеризуется преимущественно невысокими концентрациями фосфатов, нитритов, нитратов и ионов аммония. В половине проанализированных образцов концентрации нитритного и аммонийного азота не превышали нижнего предела чувствительности используемых методик. При этом наблюдалось постепенное увеличение нитритов в р. Истре по направлению от плотины к устью. Превышения ПДК по содержанию нитритов зафиксированы ниже плотины Истринского водохранилища (по всей видимости, это

обусловлено низким содержанием кислорода в придонных слоях Истринского водохранилища), в устье Истры, а также в воде р. Беяны - превышения ПДК составили 3, 1,5 и 3,5 раза соответственно.

Максимальная концентрация нитратного азота ($2,46 \text{ мг/дм}^3$) отмечена в воде р. Беяны выше устья, минимальная – ниже плотины водохранилища ($0,92 \text{ мг/дм}^3$). При этом средние по бассейну концентрации составляют $1,34 \text{ мг/дм}^3$ и близки к значениям, характерным для среднего течения реки. Средняя концентрация аммонийного азота в водах реки составила $0,1 \text{ мг/дм}^3$, максимальная – $0,15 \text{ мг/дм}^3$. Содержание фосфатов в нижнем бьефе Истринского водохранилища чрезвычайно мало и не превышает нижний предел чувствительности методики. Максимальное содержание фосфатов характерно для правого притока Истры, р. Беяны ($0,17 \text{ мг/дм}^3$), для воды нижнего течения главной реки характерны концентрации около $0,06 \text{ мг/дм}^3$.

В целом анализ концентраций биогенных элементов в р. Истре и ее притоках свидетельствует о благоприятной ситуации даже в период половодья, когда наблюдается максимальное поступление этих веществ с водосбора. При этом обращают на себя внимание повышенные концентрации соединений азота и фосфора, обнаруженные в устье р. Беяны, которые совместно с повышенными значениями концентрации хлоридов и натрия могут свидетельствовать о сбросе недостаточно очищенных сточных вод коммунального происхождения.

Показатель химического потребления кислорода (ХПК) не нормируется как опасное вещество, но дает представление об интегральном содержании органических веществ в воде. Исходя из общих критериев чистоты поверхностных вод, рекомендованный санитарно-гигиенический норматив для пресных вод составляет 30 мг/дм^3 . Чем больше содержание органических веществ в воде реки, тем больше будет расходоваться кислорода на его окисление, что при определенных условиях может приводить к образованию бескислородных условий. Величины ХПК, определенные в воде р. Истры и ее притоках можно охарактеризовать как повышенные, что является довольно характерным для весеннего половодья. В самой р. Истре наблюдается увеличение значений ХПК от нижнего бьефа Истринского гидроузла к устью от 23,3 до 70, 1 мгО/л. При этом в притоках – р. М.Истре и р. Беяне наблюдаются концентрации не выше 30 мгО/л.

В воде реки Истры и ее притоков было выявлено превышение рыбохозяйственных нормативов по целому ряду металлов. Наибольшее число превышений ПДК (100 %) во многом обусловлено природными особенностями водосбора, и характерно для меди, железа и марганца. Максимальные концентрации марганца (37-44 ПДК) отмечены в верховьях Истры. Вероятно, это обусловлено поступлением в нижний бьеф Истринского гидроузла зимних вод водохранилища, сформированных преимущественно грунтовыми водами. Дополнительным фактором увеличения концентрации марганца в воде водохранилища могут служить восстановительные условия, возникающие в придонных слоях его приплотинной части к концу зимы, что было отмечено при анализе распределения концентраций растворенного кислорода в воде. Концентрации железа, алюминия, цинка, меди увеличиваются в воде вниз по течению реки, достигая максимума в среднем течении водотока (пересечение ЦКАД) и снижаются к устью Истры. В воде р. Беяны были отмечены экстремально высокие концентрации железа (36 ПДК) и алюминия (41 ПДК), максимальные величины меди (15,5 ПДК), ванадия (5 ПДК), цинка (5,5 ПДК). В сочетании с повышенными концентрациями биогенных соединений и нетипичным солевым составом воды это служит дополнительным подтверждением поступления в эту реку недостаточно очищенных сточных вод.

Заключение

Результаты комплексного экологического обследования реки Истры позволили оценить современный уровень ее загрязненности, выявить основные загрязняющие вещества и определить участки их поступления.

Вода реки Истры характеризуется типичным для рек Московской области химическим составом, средней минерализацией и незначительным содержанием биогенных элементов. В то же время выделяются характерные для заболоченных регионов повышенные концентрации определенных металлов, в частности железа, марганца и меди. Данная особенность является характерной для водных объектов с повышенной заболоченностью водосбора, и согласно результатам различных исследований обнаруживается в других водных объектах как Московской области, так и многих других регионов Европейской части России (Ефимова и др, 2015; Sokolov et al. , 2020).

На продольное распределение показателей качества воды р. Истры значительное влияние оказывает расположенный выше по течению относительно обследованного участка Истринский гидроузел, который осуществляет многолетнее регулирование стока реки. Активизация склонового стока при весеннем таянии привела к достаточно быстрому разбавлению зимней водной массы водохранилища и формированию характерных для весеннего половодья пониженных значений минерализации воды, повышенного содержания органических веществ.

Важным фактором формирования качества воды в р. Истре на обследованном участке является ее расположение во втором поясе зоны санитарной охраны Москворецкого источника водоснабжения г. Москвы, что на протяжении многих десятилетий ограничивает негативное воздействие на водосбор и является сдерживающим фактором деградации водной экосистемы реки.

Малый приток р. Беяна по совокупности показателей – повышенному содержанию биогенных элементов, нетипично высоким концентрациям ряда тяжелых металлов, трансформированному солевому составу воды, позволяет судить о поступлении в реку недостаточно очищенных сточных вод.

Исследование выполнено по теме ГЗ 1.10 «Анализ, моделирование и прогнозирование изменений гидрологических систем, водных ресурсов и качества вод суши»

Список литературы

1. Ефимова Л.Е., Ломова Д.В., Вишневецкая Г.Н., Терская Е.В. Ефимов В.А. Мониторинг гидрохимических и гидробиологических параметров в озерах северной части национального парка Валдайский: сезонные аспекты //Полевой сезон-2014. Материалы регион. науч.-прак. конф. — Издательство Ирида-прес. В.Волочек, 2015. — С. 26–33.
2. Ясинский С. В., Веницианов Е. В., Вишневецкая И. А. Диффузное загрязнение водных объектов и оценка выноса биогенных элементов при различных сценариях землепользования на водосборе // Водные ресурсы. – 2019. – том 46. –№ 2– С. 232–244.
3. Sokolov D.I., Erina O.N., Tereshina M.A., Chalov S.R. Human impact on organic matter distribution in the Moskva river // E3S Web of Conferences. — 2020. — Vol. 163.

РАСТВОРЕННЫЙ УГЛЕРОД И ЕГО ФОРМЫ В ЛАДОЖСКОМ ОЗЕРЕ В ПЕРИОД ОТКРЫТОЙ ВОДЫ

DISSOLVED CARBON AND ITS FORMS IN LADOGA LAKE DURING OPEN WATER PERIOD

Гусева Мария Андреевна

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (СПб ФИЦ РАН),
Институт озераедения Российской академии наук, Санкт-Петербург*

Guseva Maria Andreevna

*St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (SPC RAS),
Institute of Limnology of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg*

Введение

Соотношение компонентов карбонатной системы и системы органического углерода в воде озера может быть использовано для косвенной оценки направления продукционно-деструкционных процессов. В работе рассмотрена сезонная и межгодовая изменчивость компонентов системы органического и неорганического углерода в воде Ладожского озера и соотношений между ними за период наблюдений 2003-2019, а также скорости биохимического окисления органического вещества. Показано изменение доли лабильного органического углерода в системе в зависимости от сезона. Результаты соотнесены с опубликованными результатами предшествующего периода наблюдений.

Данные и методы

Ладожское озеро – глубоководный (глубина в северной части до 230 м), холодноводный, низкоминерализованный, хорошо аэрированный низкопродуктивный димиктический водоем.

Пробы отбирались в период 2003-2019 в различные сезоны в период открытой воды на станциях Ладожского озера, расположенных в прибрежной, наиболее подверженной влиянию притоков зоне (I), деklinальной (II), профундальной (III) и ультрапрофундальной зонах (IV).

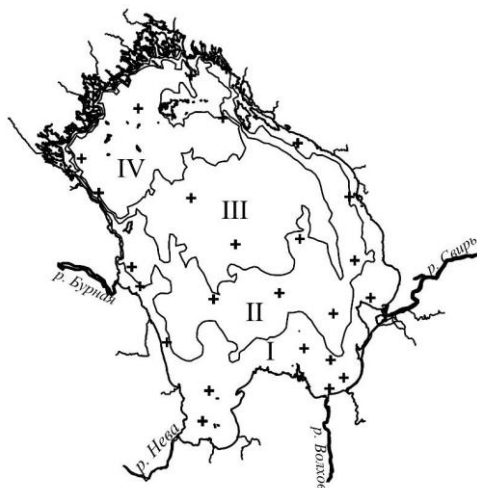


Рис 1. Расположение станций отбора проб и основные лимнические зоны Ладожского озера

На станциях определялся водородный показатель, содержание HCO_3^- , химическое потребление кислорода (ХПК) и БПК₂₀. Содержание общего органического углерода (ТОС) было рассчитано из ХПК, исходя из того, что 1 г O_2 эквивалентен 0.375 г С., содержание лабильного органического углерода было получено расчетным путем аналогично из БПК₂₀.

Элементы карбонатной системы были рассчитаны из значений общей щелочности, рН и констант равновесия угольной кислоты.

Общий растворенный неорганический углерод (ТНС) рассчитан как суммарное содержание растворенных форм CO_2 , HCO_3^- и CO_3^{2-} .

Результаты

Межгодовые колебания концентраций общего органического углерода в воде Ладожского озера, как было показано ранее, невелики: в период 2004 — 2016 средние значения общего органического углерода (ТОС) изменялись от 6.4 до 8.6 мг С л⁻¹ [Петрова и др., 2017].

Отдельно рассмотрены 4 станции в различных зонах озера: №4 в прибрежной зоне, (глубина станции 12 м), станция № 25 в деклинальной (глубина станции 35 м), станция №55 в профундальной (глубина станции 72 м) и станция №105 в ультрапрофундальной зоне (глубина станции 220 м).

В прибрежной зоне, которая является областью первичного поступления органического вещества с водой притоков, максимальные концентрации общего углерода обычно характерны для весенне-летнего периода, и несколько сниженные — для осеннего. Для остальных зон также отмечается увеличение общего содержания углерода летом и уменьшение осенью, при этом межгодовые изменения концентрации углерода более выражены, чем межсезонные.

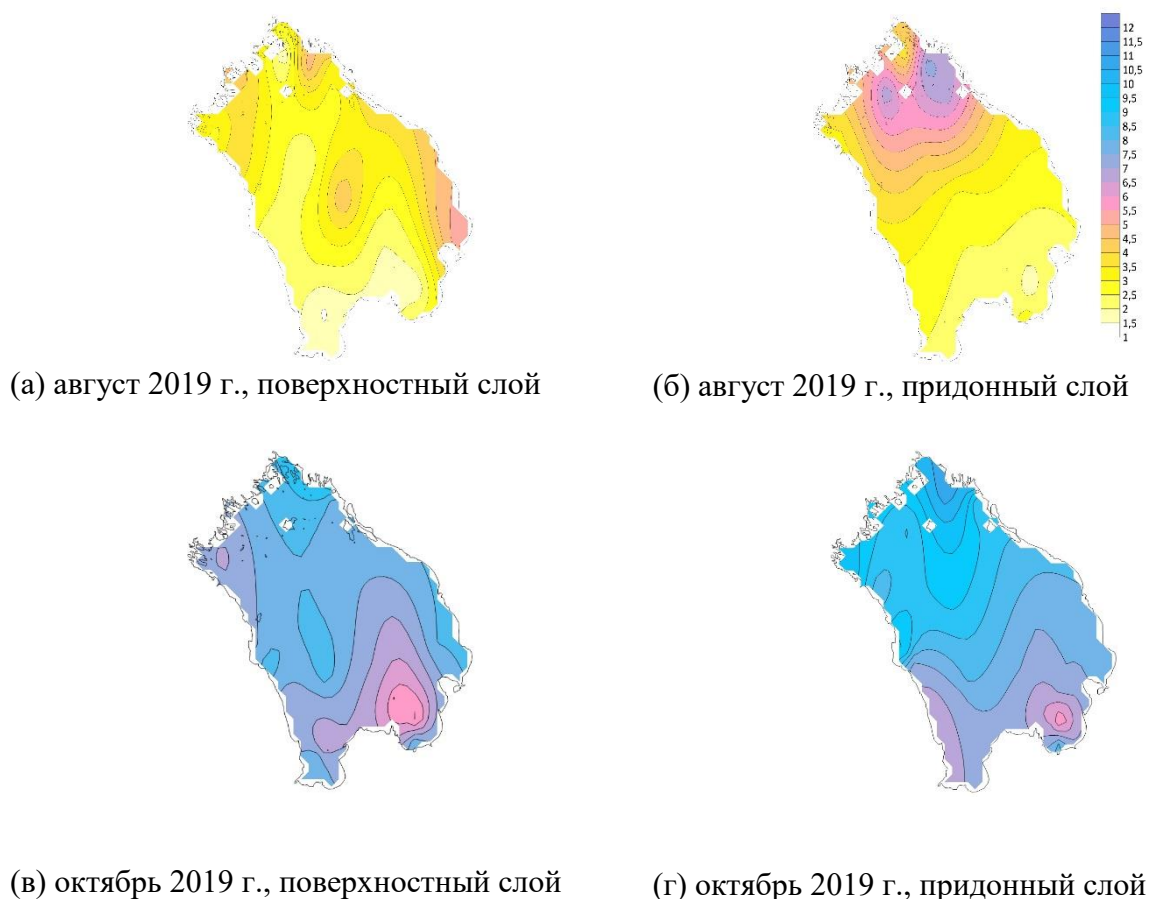
Соотношение концентраций общего неорганического и органического углерода в прибрежной зоне (ст.4) варьирует от 0.6 до 1.3 (здесь и далее исключая единичные аномально высокие концентрации общего органического углерода в августе 2003 года), в деклинальной (ст.25), профундальной (ст.55) и в глубоководной зоне ультрапрофундали (ст.204) — от 0.6 до 1.4.

Соотношение компонентов как системы органического, так и системы неорганического углерода закономерно связано с продукционно-деструкционными циклами и, в отличие от их абсолютных значений, существенно изменяется в зависимости от сезона. Лабильная, подверженная биохимическому окислению часть органического углерода составляет в основной части озера от 4% до 25% (до 16% в ультрапрофундальной части озера). Механизм биохимического потребления кислорода в озере является многостадийным, при этом скорости деструкции органического вещества на разных стадиях существенно отличаются. Доля легкоокисляемого вещества (рассчитанного из значений БПК₅) во всем объеме органического вещества, подвергающегося биохимической деструкции (рассчитанного из БПК₂₀ или БПК_{полн}), зависит от сезона: от 0.4 в поздний весенний период до 0.7 в летний, что связано с изменением соотношения первичной продукции и трансформированного органического вещества. Ранее отмечалось, что в трофогенном слое накапливается в основном автохтонное (планктоногенное) органическое вещество, а в гипolimнионе — трансформированное органическое вещество [Трегубова и др., 1987]

То же самое касается системы неорганического углерода в озере. Концентрация гидрокарбонат-иона в зависимости от сезона изменяется незначительно и в среднем составляет 30-38 мг/л (более выражены межгодовые колебания, чем сезонные), однако равновесная концентрация CO_2 , тесно связанная с продукционно-деструкционным

равновесием в системе, может изменяться более чем на порядок от 0.5 мг/л в весенне-летний период до 12 мг/л в осенний период (за исключением отдельных значений в зонах преобладания речных вод в Волховской губе, которые могут быть существенно выше). На рисунке 2 показана пространственная и сезонная изменчивость показателя CO_2 в 2019 году.

Рис 2. Распределение содержания CO_2 в поверхностном и придонном слое воды Ладожского озера в августе и октябре 2019 года, мг/л



В последние десятилетия наблюдается постепенное снижение показателя рН и уменьшение неоднородности его распределения в озере. В период 2016 – 2019 гг. значение рН при высоких значениях относительного содержания кислорода, свидетельствующих об интенсивно протекающем фотосинтезе, не превышали 7.8 (для сравнения — в 1980-е рН в период активного фотосинтеза достигал значений 8.5 и выше). В связи с этим компоненты карбонатной системы в последние годы представлены только CO_2 и HCO_3^- в различных соотношениях (форма CO_3^{2-} отсутствует).

Заключение

На основании полученных за период открытой воды с 2003 по 2019 данных по содержанию форм углерода в воде Ладожского озера можно сделать вывод, что межгодовые изменения концентраций органического и неорганического углерода в основной водной массе более существенны, чем сезонные изменения. Однако соотношения форм органического (легкоокисляемое/трудноокисляемое органическое вещество) и форм растворенного

неорганического углерода (CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-}) в значительной степени зависят от сезона, температуры и функциональной роли зон озера в трансформации и накоплении углерода.

Финансирование

Исследование выполнено в рамках государственного задания ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН по теме № FMNG-2019-0001.

Список литературы

1. *Петрова Т.Н., Гусева М.А.* Динамика содержания и распределения органического вещества в воде Ладожского озера в течение многолетнего периода // Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах. Труды VI Всероссийского симпозиума с международным участием. — 2017. — С.181—187
2. *Трегубова Т.М., Кулиш Т. П., Капустина Л.Л.* Особенности режима органического вещества в современный период // Современное состояние экосистемы Ладожского озера / Под ред. Петровой Н.А., Расплетинной Г.Ф. Л.: Наука, 1987. С. 149-166.

ТЕРМАЛЬНОЕ ОЗЕРО НА О. ИТУРУП КАК УНИКАЛЬНЫЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ
ОБЪЕКТ

THERMAL LAKE ON ITURUP ISLAND AS A UNIQUE GEOLOGICAL OBJECT

**Хубаева Ольга Руслановна¹, Дегтерев Артем Владимирович², Козлов Дмитрий
Николаевич², Жарков Рафаэль Владимирович², Хомчановский Антон Леонидович¹**

¹*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский*

²*Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск*

**Khubaeva Olga Ruslanovna¹, Degterev Artem Vladimirovich², Kozlov Dmitry
Nikolaevich², Zharkov Rafael Vladimirovich², Khomchanovsky Anton Leonidovich¹**

¹*Institute of volcanology and seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky*

Institute of marine geology and geophysics FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk

Озеро Утиная Баня, расположенное в южной части о. Итуруп (Южные Курилы) является уникальным водным объектом - кислое термальное озеро округлой формы, приуроченное к зоне пересечения двух разрывных нарушений, но вдали от действующих вулканов. Температура озерной воды составляет 14-15°C (данные за февраль 2022 года). Вода озера представлена кислыми, сульфатно-хлоридными, кальциево-натриевыми, слабоминерализованными водами. Точные аналоги гидрогеохимического типа воды озера Утиная Баня на острове Итуруп отсутствуют. Батиметрическая съемка озерной котловины выявила значительное концентрическое углубление в его центре, а также акустическую брешь в виде «факела» от свободно выделяющихся в небольших количествах со дна озера газов. Предполагается, что озеро Утиная Баня представляет собой одноактную эксплозивную форму (воронку взрыва или маар), а на глубине существует остывающее интрузивное тело, обеспечивающее тепловое питание для источников, формирующих озеро.

Остров Итуруп относится к Большекурильской структурно-фациальной зоне, сложен вулканогенными и вулканогенно-осадочными породами неогенового и четвертичного возраста [Горшков, 1967], которые прорываются многочисленными экструзивными, интрузивными, субвулканическими телами и дайками различного состава [Государственная..., 2002]. Исследователи выделяют на о. Итуруп большое количество интрузивных тел, расположенных вдоль разрывных нарушений и пространственно совпадающих с термальными проявлениями. Субвулканические интрузивные тела являются главным источником теплового питания для многих гидротермальных систем [Nakamura, 1977; Белоусов, 1978; Kiryukhin et al., 2018]. Ярким примером такому утверждению служат гидротермальные системы о. Итуруп (гидротермальная система р-на с. Рейдово, гидротермальная система влк. Баранского и др.).

Термальные проявления Южных Курильских островов изучены достаточно подробно, однако до недавнего времени в литературных источниках не нашлось упоминаний о термальном водоеме в районе с. Рейдово, называемого Утиная Баня (рис.1, 2).

Озеро расположено недалеко от пересечения двух разрывных нарушений Северо-Восточного и Северо-Западного простираний, не замерзает в зимний период, вода имеет

бирюзовый цвет и ярко выраженный запах серы, размеры озера составляют 40×30 м, площадь 900 м², максимальная глубина, зафиксированная при помощи эхолота, составляет 1.5 м. В феврале 2022 г температура озера составляла 15.9 °С, рН – 3.5. На южном берегу озера, в 5 метрах от берега, расположены два источника, имеющие схожие с озерной водой физико-химические параметры. Воды озера и источников относятся к пресным (общая



Рис. 1. Расположение района работ



Рис. 2. Общий вид оз. Утиная Баня

минерализация 0.4 г/л), кислым (рН 3.5-3.95), сульфатным кальциевым. Со дна озера в небольших количествах выделяется газ. Отобрать пробы выделяющихся газов не удалось, однако характерный запах, распространяющийся вокруг озера, свидетельствует о присутствии в составе газов сероводорода. Ближайшие к исследуемому озеру Рейдовские гидротермы (т.н. «Жаркие Воды»), расположены в 5 км к запад-северо-западу от озера вблизи с. Рейдово, существенно отличаются по физико-химическим характеристикам. Воды Рейдовских термальных источников имеют температуру до 50 °С (глубинные гидротермы скважины №3 на выходе имеют температуру более 80 °С) и рН 6.5-7.8, относятся к маломинерализованным (более 4 г/л), хлоридно-сульфатным натриево-кальциевым термам, а в газовом составе источников сероводород не обнаружен [Мархинин, Стратула, 1977; Жарков, 2014].

По данным батиметрической съемки, на одном из полученных профилей (рис. 3 а, б) в рельефе дна котловины прослеживается V-образное углубление, которое пространственно совпадает с подводными газогидротермами. Не исключено, что котловина представляет собой одноактную эксплозивную форму (воронку взрыва или маар), образование которой связано с внедрением субвулканического интрузивного тела, однако для подтверждения этого нужны более детальные комплексные работы, запланированные на сентябрь 2022 года.

Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-17-00049, рук. Гордеев Е.И., <https://rscf.ru/project/21-17-00049>.

Список литературы

1. Белоусов В.И. Геология геотермальных полей в областях современного вулканизма. М.: Наука. – 1978. – 176 с.
2. Гориков Г.С. Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука. – 1967. – 288 с.

3. Государственная геологическая карта Российской Федерации / под ред. В.К. Ротмана. 1:200 000. Изд. 2-е. Серия Курильская. Листы К-55, L-55. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ. – 2002. – 269 с. + 6 вкл.
4. *Жарков Р.В.* Термальные источники Южных Курильских островов / отв. ред. О.В. Чудаев. Владивосток: Дальнаука. – 2014. – 378 с.
5. *Мархинин Е.К., Стратула Д.С.* Гидротермы Курильских островов. М.: Наука. – 1977. – 211 с.
6. *Kiryukhin A.V., Polyakov A.Y., Usacheva O.O.* Thermal-permeability structure and recharge conditions of the Mutnovsky high-temperature geothermal field (Kamchatka, Russia) // J. of Volcanology and Geothermal Research. – 2018. – P. 36-55.
7. *Nakamura K.* Volcanoes as possible indicators of tectonic stress orientation principle and proposal // J. of Volcanology and Geothermal Research, № 2. – 1977. – P. 1-16.

УДК 556

Рубрика 37.27.21

ФОРМИРОВАНИЕ СТОКА Р. КОЛЫМА В СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

KOLYMA RIVER RUNOFF FORMATION IN THE MODERN CLIMATE CONDITIONS

Лисина Анастасия Андреевна, Фролова Наталья Леонидовна

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, Кафедра гидрологии суши, Москва, Россия

Lisina Anastasia Andreevna¹, Frolova Natalia Leonidovna¹

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Land Hydrology, Russia

Введение

Процесс деградации криолитозоны, активный в последние десятилетия, не может не сказаться на гидрологическом режиме рек, протекающих в данных областях. Бассейн р. Колыма является крупнейшим речным бассейном России, полностью расположенным в области сплошного распространения вечной мерзлоты. Несмотря на это, данный бассейн остается не до конца изученным. Тем не менее, для безопасного водопользования в регионе необходим анализ современной динамики стока р. Колыма и прогнозирование его возможных изменений.

Материалы и методы

В работе использована физико-математическая модель формирования стока ECOMAG, широко применяющаяся для арктических бассейнов в условиях изменяющегося климата [Мотовилов, Гельфан, 2018]. Собранные массивы пространственных и временных данных позволили произвести калибровку и верификацию модели ECOMAG, показавших хорошую воспроизводимость моделью фактических данных, благодаря чему стал возможен анализ чувствительности гидрологического режима р. Колыма к климатическим изменениям в ее бассейне.

В качестве входной информации о расходах воды на исследуемых створах использованы данные из гидрологических ежегодников и с сайта АИС ГМВО [<https://gmvo.skniivh.ru>]. Источником ежесуточных данных о температуре воздуха, количестве осадков и дефиците влажности послужили архивы наблюдений 122 метеостанций в исследуемом регионе. Помимо этого, собрана ГИС-информация, включающая цифровую модель рельефа (данные проекта GLOBE) и характеристики подстилающей поверхности для элементарных водосборов.

Основные результаты

Для калибровки и верификации модели выделены периоды 1981-1999 гг. и 2000-2013 гг. соответственно. Установлено, что в течение данных временных интервалов наблюдалась положительная динамика среднегодовых расходов воды р. Колыма: на 7% для створа Колымское (от 3240 до 3475 м³/с).

Подбор параметров модели ECOMAG производился путем сравнения критерия Нэша-Сатклифа $R^2_{NS} = 1 - \frac{\sum(Q_f(i) - Q_s(i))^2}{\sum(Q_f(i) - \bar{Q}_f)^2}$ [Nash, Sutcliffe, 1970]. Результаты калибровки и верификации показали хорошую воспроизводимость со значением $R^2_{NS} > 0.85$ (рис. 1).

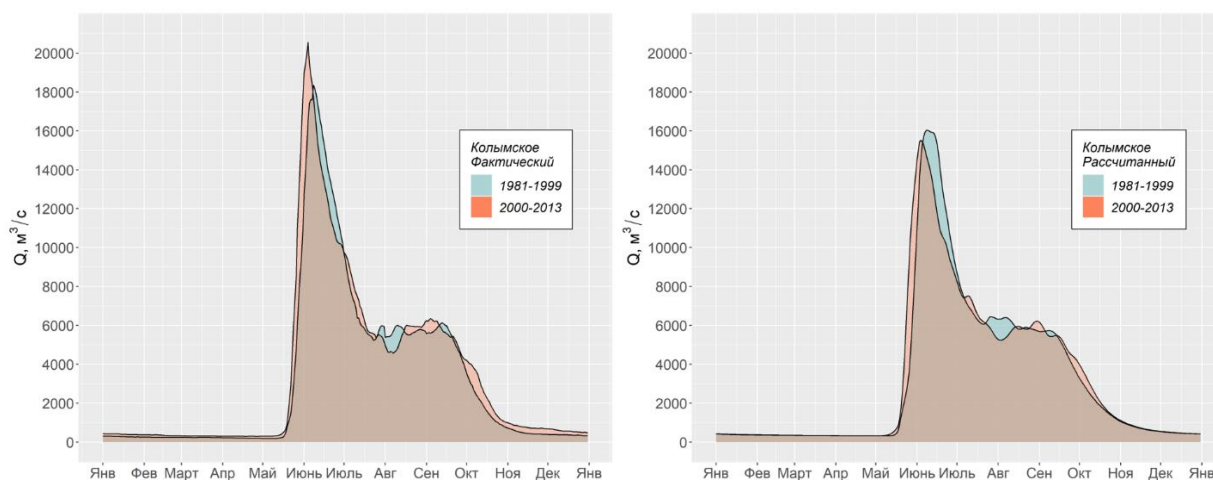


Рис. 1. Фактические и рассчитанные типовые гидрографы - средние за периоды 1981-1999 гг. и 2000-2013 гг. для створа для створа р. Колыма – с. Колымское.

Искусственные ряды ежесуточных значений температуры и воздуха и осадков получены путем введения поправок ΔT и ΔP в исходный 30-летний ряд метеорологических характеристик (1979-2008 гг.), все значения в котором изменялись на заданные поправки. Недостатком подобного подхода является то, что не учитывается внутригодовая неравномерность будущего изменения метеорологических характеристик [Motovilov, Gelfan, 2013]. ΔP и ΔT рассматривались в диапазонах $\Delta P \in [-10\%; +20\%]$ и $\Delta T \in [-1^\circ\text{C}; +2^\circ\text{C}]$ в соответствии с данными модели общей циркуляции атмосферы и океана ИВМ РАН <http://seakc.meteoinfo.ru/research>], а также с подобными поправками, вводившимися в работах, посвященных другим крупным арктическим бассейнам – р. Северная Двина [Krylenko et al., 2015], р. Лена [Motovilov, Gelfan, 2013]. Для получения дополнительных данных рассмотрены $\Delta T = +3^\circ\text{C}$ и $\Delta T = +4^\circ\text{C}$.

По результатам моделирования ежесуточных расходов воды для каждого тридцатилетнего периода для различных заданных ΔP и ΔT были рассчитаны средние типовые гидрографы стока, для которых проводился дальнейший анализ (рис. 2 - 4, табл. 1).

При неизменном количестве осадков либо температуры воздуха заметна зависимость увеличения стока с ростом осадков и снижения стока с при увеличении температуры вследствие повышения потерь на испарение. Установлено, что моделируемые гидрографы более чувствительны к повышению количества осадков на 5%, чем к росту температуры на 1°C , т.к. в этом случае сток увеличивается. Таким образом, при увеличении осадков не менее, чем на 5%, а температуры не более, чем на 2°C , сток р. Колыма будет возрастать (табл. 1).

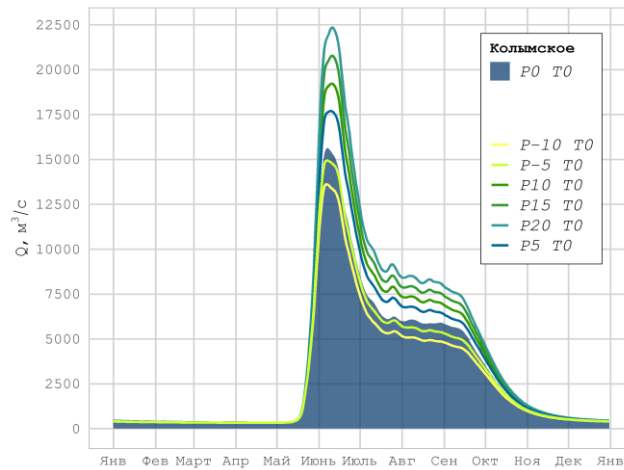


Рис. 2. Типовые смоделированные гидрографы стока для 30-летних периодов, полученные при изменении годовой суммы осадков и неизменной температуры воздуха для водосбора р. Колыма – Колымское

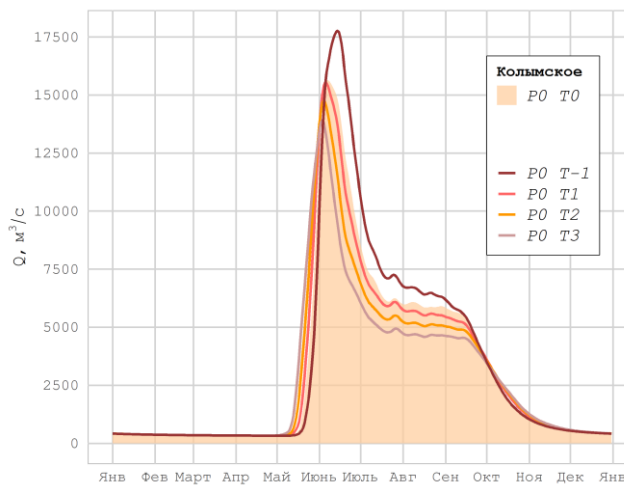


Рис. 3. Типовые смоделированные гидрографы стока для 30-летних периодов, полученные при изменении температуры воздуха и неизменной годовой суммы осадков для водосбора р. Колыма – Колымское

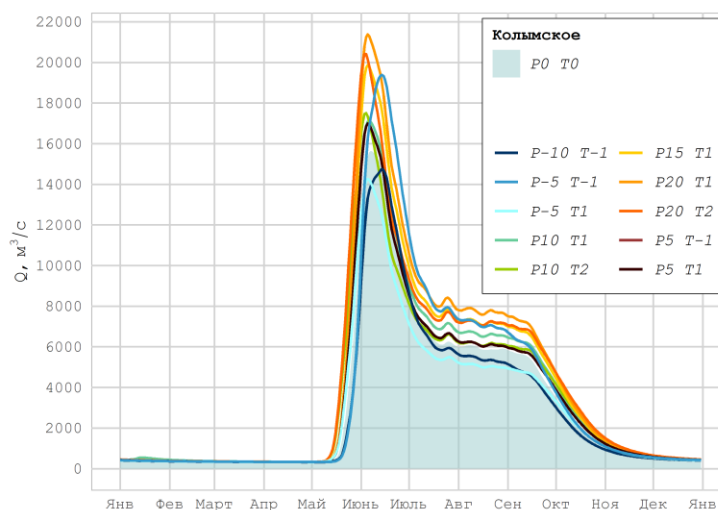


Рис. 4. Типовые смоделированные гидрографы стока для 30-летних периодов, полученные при изменениях годовой температуры воздуха и суммы осадков для водосбора р. Колыма – Колымское

Табл. 1. Чувствительность моделируемых значений годового стока (%) к изменениям годовых температуры воздуха и суммы осадков для створа р. Колыма – Колымское для 30-летнего периода

T, °C P, %	-1	0	1	2	3	4
-10	-8.66	-13.3				
-5	-0.65	-5.38	-10.1			
0	7.51	0	-2.16	-7.12	-12.1	
5	15.8		6.04			
10		19.3	11.9	9.07		
15		27.6	22.6		11.3	
20		36.0	30.9	25.4		13.6

Полученные результаты позволяют сравнить чувствительность годового стока р. Колыма с другими крупнейшими реками – р. Лена [Motovilov, Gelfan, 2013] и р. Северная Двина [Krylenko et al., 2015]. Сток Северной Двины, сходной по водности с Колымой, более подвержен климатическим изменениям. Относительное изменение стока Лены в сравнении с Колымой более существенно при снижении стока и менее существенно при его росте. Так, рост температуры на 1 °C приведет к снижению годового стока на 2%, 5%, 7% для Колымы, Лены и Северной Двины соответственно, увеличение суммы осадков на 10% - к росту годового стока на 19%, 16%, 21% для Колымы, Лены и Северной Двины соответственно.

Список литературы

1. Motovilov Y., Gelfan A. Assessing runoff sensitivity to climate change in the Arctic basin: empirical and modelling approaches // IAHS-AISH Proceedings and Reports. 2013 – №360. P. 105–112.
2. Krylenko I., Motovilov Y., Antokhina E., Zhuk V., Surkova G. Physically-based distributed modelling of River runoff under changing climate conditions // IAHS-AISH Proceedings and Reports. 2015 – 368 – P. 156–161.
3. Мотовилов Ю.Г., Гельфан А.Н. Модели формирования стока в задачах гидрологии речных бассейнов. Российская. Москва – 2018 – 296 с.

Рациональное природопользование

Устные доклады

Sustainable management

Oral presentations

АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА БЕРЕГОВЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ
ОХОТСКОГО И ЯПОНСКОГО МОРЕЙ

ANTHROPOGENIC IMPACT ON COASTAL GEOSYSTEMS OF THE SEA OF
OKHOTSK AND THE SEA OF JAPAN

Малюгин Андрей Викторович¹, Бровко Петр Федорович¹, Волкова Дарья Игоревна¹, Дзен Герман Нагвонович²

¹*Дальневосточный федеральный университет, Владивосток*

²*СахНИРО, Южно-Сахалинск*

**Malyugin Andrei Viktorovich¹, Brovko Petr Fedorovich¹, Volkova Darya Igorevna¹,
Dzen German Nagvonovich²**

¹*Far Eastern Federal University, Vladivostok*

²*SakhNIRO, Yuzhno-Sakhalinsk*

Введение

Антропогенное воздействие на береговую зону является важным фактором ее динамики и эволюции. При этом меняются морфолитодинамические условия и оказывается существенное влияние на прибрежные экосистемы. В некоторых случаях проявления антропогенеза носят необратимый характер. Возможно не только усиление или ослабление природных процессов, но также и формирование нового типа берегов. При прорыве стенок глубоких карьеров по добыче песка на морской террасе берег из аккумулятивного превращается в абразионно-аккумулятивный бухтовый, а при значительном использовании тетраподов, например, или строительстве волноотбойных стенок длиной в несколько км – в антропогенный (техногенный). Кардинально меняется общий облик берега и при создании искусственных островов, аэродромов, морских портов, отсыпок новых территорий под промышленное и гражданское строительство. При этом изменения рельефа вызывают и значительные геоэкологические следствия в береговых геосистемах как негативного, так и позитивного (что реже) характера [1].

Лаборатория прибрежно-морского природопользования Института Мирового океана ДВФУ в течение многих лет проводит изучение береговых процессов на континентальных и островных побережьях Охотского и Японского морей в районах активного хозяйственного освоения – гидротехническое строительство, марикультура, прибрежно-морская рекреация и туризм. Установлены участки разного уровня техногенного воздействия, которое во многих случаях усилено влиянием особо опасных природных явлений. Среди них: тайфуны, нагоны, штормовое волнение, цунами.

Данные и методы

Антропогенный фактор изучается в рамках мониторинга береговой зоны моря. Этот комплексный подход включает ряд наблюдений: топосъемку с картографированием активных участков берега, нивелирование аккумулятивных форм с разными временными интервалами, создание сети реперов для слежения за абразией берега, повторную

фотосъемку береговых форм, дешифрирование аэро- и космических снимков, а также снимков с беспилотных летательных аппаратов [4]. Последние весьма эффективны и применяются в комплексе с методами классической морской геоморфологии. При этом особое внимание, при изучении хозяйственной деятельности, уделяется фиксации и анализу последствий природных катастроф, связанных с прохождением тайфунов, штормовыми нагонами, другими природными аномалиями. Такие процессы в различные сезоны года являются «визитной карточкой» многих участков дальневосточного побережья. Их изучение ведется в течение многих лет на 20 береговых полигонах Японского и Охотского морей [3].

Результаты и обсуждение

Антропогенная трансформация берегов в заливе Петра Великого связана, прежде всего, с реконструкцией существующих портовых сооружений во Владивостоке, Находке, Восточном, Большом Камне, Славянке, Зарубино, Посъете. Построены три моста: через бухту Золотой Рог, через пролив Босфор Восточный и в вершине Амурского залива. Создаются на побережье новые промышленные и транспортные предприятия нефтегазового комплекса – спецморнефтепорт Козьмино, газораспределительные станции и др. Ведется строительство новых портов и терминалов, проводятся берегозащитные мероприятия. (рис.1, 2)[6].



Рис. 1. Открытая перегрузка угля у причалов порта Посъет. Фото П.Ф. Бровко



Рис.2. Волноотбойная стенка на набережной г. Владивостока. Фото А.В. Малюгина

Для установки пилонов моста «Русский» через пролив Босфор Восточный были выполнены отсыпки с двух сторон в море на расстояние до 250 м и до глубин 20 м, что уменьшило сечение пролива на 10% и ширину на 30%. Это изменило водообмен между Амурским и Уссурийским заливами, ледовый режим пролива [5].

На материковом побережье Японского моря антропогенное воздействие на берега локализовано в отдельных бухтах и заливах, где построены морские порты и портпункты: Преображения, Владимира, Ольга, Рудная Пристань, Пластун, Светлая (Приморский край) и Ванино, Советская Гавань, Де-Кастри (Хабаровский край).

Побережье острова Сахалин, исключая лагуны северо-востока, бедно аккумулятивными формами, чаще всего они являются реликтовыми. Среди них: аккумулятивный выступ мыса Слепиковского, косы Ихдам, Ныйде, Нокси в Амурском, пересыпь лагуны Буссе и др.) [7]. В целом преобладают абразионные берега; процессы аккумуляции на побережье острова затухают. По степени изменения берегового контура можно выделить три вида техногенного преобразования побережья: локальный, умеренный (линейный) и значительный (площадной).

При локальном воздействии (отдельные незащищённые пирсы, ковши), носящем кратковременный, эпизодический характер, ландшафт имеет способность к самовосстановлению, так как объект на побережье имеет малые размеры и часто подстраивается под окружающий рельеф. Характерной «сезонной» перестройке подвергается побережье в районах рыбацких станов. Здесь для перегрузки улова с лодок на машины отсыпаются в море небольшие пирсы, которые редко укрепляют, поэтому они находятся под постоянной угрозой разрушения сильным штормом (рис.3).



Рис. 3. Одиночный пирс рыболовной компании. В его основании – каменная наброска, перекрывающая вдольбереговой поток наносов. Фото Г.Н. Дзена

Умеренное воздействие (молы, причалы, берегозащитные сооружения) носит линейный характер. Профиль береговой зоны начинает перестраиваться. Негативной стороной воздействия на рельеф является то, что при ширине объекта в несколько метров ширина изменяющейся поверхности при строительстве на порядок выше. Построенные в первой половине XX века рыбацкие ковши сохраняются дольше. Более двух десятков небольших портов данного типа для рыбопромыслового флота было построено на Сахалине ещё в 20-40-е годы прошлого века японцами. Их опыт оказался удачным и показал, что даже на практически открытом берегу небольшие порты-убежища являются сравнительно

долговечными сооружениями. Строительство гидротехнических сооружений приводит к нарушению естественного режима береговой зоны, что проявляется, в частности в усилении абразии клифов и обмелении ковшей.

Акватории портов в небольших бухтах или на ровном берегу ограничены бетонными молами. Изменения естественных берегов после строительства берегозащитных сооружений наиболее хорошо представлены на юго-западе и на побережье залива Терпения, где штормовые волны (до 4-6 м) нередко достигают защищаемых объектов и размывают их. Наиболее активное разрушение происходит на участках: севернее ст. Первая Падь, южнее ст. Чехов, между станциями Макаров и Туманово и между ст. Горнозаводск и ст. Невельск. Протяженность разрушаемых стенок достигает 700 м [3].

Значительное воздействие (отсыпка новых территорий) проявляется при строительстве объектов на определенных площадях. Сооружение объектов длится обычно несколько лет и приводит к коренному изменению естественного берегового контура. В связи с развитием портового хозяйства на юго-западе острова в условиях острого дефицита низменных участков произвели отсыпки грунта на поверхность бенча. Наиболее обширный новый участок территории был создан между г. Холмском и пос. Поляково. Здесь изменению подвергся семикилометровый участок побережья, береговая линия выдвинулась мористее почти на 400 м. Отсыпка грунта за пределы бенча, где глубины резко возрастают, привела к размыву "искусственной" террасы и необходимости берегозащитных мероприятий. Берегозащитные сооружения малоэффективны, т.к. построены без серьезного научно-технического обоснования.

В целом, на побережье Сахалина техногенное воздействие носит преимущественно локальный характер, однако зона его влияния постепенно расширяется. Восточные берега Сахалина пока относительно мало подверглись воздействию человека. В среднем коэффициент техногенной нагрузки (отношение протяженности инженерных сооружений к общей длине рассматриваемого побережья) здесь не превышает 0,001, в заливе Анива он возрастает до 0,03, а в заливе Мордвинова – до 0,05. Наибольшим изменениям подвергся участок побережья на юго-западе (от м. Крильон до перешейка Поясок) – здесь коэффициент достигает почти 0.07. Это без учёта волноотбойных стенок, защищающих участки автомобильной и железной дороги между населёнными пунктами.

Если учесть другие формы техногенного воздействия на береговую зону (карьеры, свалки грунта, взрывчатых веществ, каналы, подводные кабели и др.), то представления о масштабах преобразования берегов существенно расширяются. К настоящему времени около 20% берегов острова в той или иной степени преобразованы человеком [2].

Континентальное побережье Охотского моря до сих пор остается мало заселенным и слабо освоенным. Исключение составляют лишь бухта Нагаева и Магаданский морской торговый порт, в котором сооружено 13 причалов общей длиной около 2 км. В меньшей степени строительство гидротехнических сооружений повлияло на динамику берегов и движение наносов в портах Аян и Мыс Лазарева, в лагуне Байкал (порт Москальво). Отдельная история у пос. Охотск, который за четыре века существования неоднократно «переезжал» с одного места на другое в связи с активной динамикой берегов в устьевой зоне р. Охота.

Заключение

Антропогенное воздействие на берега Охотского и Японского морей в силу слабой хозяйственной освоенности побережья, носит локальный характер. Наиболее сильно изменены берега в заливах Петра Великого, Советская гавань, Невельского, Анива, бухтах Золотой Рог, Ванино и Нагаева. Техногенный фактор проявляется при гидротехническом строительстве в портах и портпунктах, разработке нефтегазовых ресурсов, добыче стройматериалов, создании хозяйств марикультуры, рыбохозяйственном и рекреационном освоении морского побережья, берегозащитных мероприятиях. Наиболее активно морфолитодинамические процессы под влиянием антропогенного воздействия происходят в береговой зоне острова Сахалин.

Благодарности

Авторы благодарят кандидатов географических наук Ю.А. Микишина и В.С. Петренко за информационную поддержку и участие в полевых работах на полигонах.

Список литературы

1. *Артюхин Ю.В.* Антропогенный фактор в развитии береговой зоны моря. – Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ. – 1989. – 144 с.
2. *Афанасьев В.В., Игнатов Е.И.* Геоэкология береговой зоны острова Сахалин // Проблемы региональной экологии. – 2009. – №6. – С. 275-280
3. *Бровко П.Ф., Малюгин А.В.* Техногенная трансформация берегов Японского моря // Ойкумена. – 2015. – №3. – С. 7-14.
4. *Бровко П.Ф., Волкова Д.И., Малюгин А.В.* Геомониторинг процессов абразии и аккумуляции в береговой зоне Японского и Охотского морей // Вестник Сахалинского музея. – 2021. – №4. – С. 8-21.
5. *Петренко В.С.* Влияние строительства объектов АТЭС-2012 на городскую береговую среду города Владивостока // Геодинамические процессы и природные катастрофы в Дальневосточном регионе. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН. – 2011. – С. 159-160
6. *Шевченко Г. В., Горбунов А. О., Королев П. Ю.* Гидродинамические и геоморфологические условия в районе строительства «Порта «Вера» (Уссурийский залив) // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. – 2017. – Т. 10. – № 2. – С.49-62.
7. The Diversity of Russian Estuaries and Lagoons Exposed to Human Influence / *R. Kosyan, P. Brovko, Yu. Mikishin et all.* Springer International Publishing AG Switzerland, 2017. – 270 pp.

ПРОЕКТ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ХАЛАКТЫРСКОГО ПЛЯЖА (КАМЧАТКА)

MONITORING SYSTEM PROJECT FOR THE KHALAKTYR BEACH (KAMCHATKA)

Хомчановский Антон Леонидович, Батанов Филипп Игоревич

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский

Khomchanovskiy Anton Leonidovich, Batanov Filipp Igorevich

Institute of volcanology and seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky

Введение

Халактырский пляж находится на восточном побережье Камчатки в 20 км от города Петропавловска-Камчатского. Данная территория периодически подвергается воздействию волн цунами, возникающих в результате землетрясений. Наиболее опасные цунамигенные землетрясения приурочены к Курило-Камчатской зоне субдукции, протянувшейся вдоль северо-западной окраины Тихого океана.

Побережье Авачинского залива (район Халактырского пляжа) является рекреационной зоной Петропавловска-Камчатского и прилегающих населенных пунктов. Здесь расположены хозяйственные объекты и сельскохозяйственные угодья. За историческое время есть сведения более чем о 10 цунами на территории Халактырского пляжа с высотой волн от 1 до 8 м [Пинегина, Базанова, 2016]. Помимо опасности цунами на Халактырском пляже также существует опасность разрывных течений (по некоторым данным одна из наиболее частых причин гибели людей на пляже по причине гидродинамических факторов).

В сентябре 2020 г. Камчатка узнала о «новой» опасности – «красные приливы» — массовое размножение динофитовых водорослей (динофлагеллятов), выделяющих ядовитые вещества, что может служить причиной гибели гидробионтов, а также тяжелыми отравлениями для человека. На Камчатке известно несколько случаев опасных «красных приливов», которые привели к человеческим жертвам в 1945 и в 1973. «Красные приливы», являющиеся причиной гибели рыб и морских организмов, по данным [Коновалова, 1995], с конца 80-х годов XX века происходили практически каждые 2 года. На данный момент наилучший способ предотвращения негативных последствий от этого природного явления – экологический мониторинг, который включает в себя анализ гидрохимических данных и данных дистанционного зондирования, отбор проб, а также обработка реанализов и прогнозов морской циркуляции. В таких странах, как Япония и США, мониторинг за гидрологическими и гидрохимическими факторами морской среды стоит в плане одних из наиболее приоритетных направлений. Наблюдением и прогнозом «красных приливов» одного только Мексиканского залива занимается более 5 организаций, среди которых государственные университеты и научно-исследовательские организации.

Цели и задачи проекта

Основной целью проекта мониторинга является информирование населения о возможных предстоящих опасных природных процессах, несущих угрозу жизни, здоровью и имуществу,

происходящих в береговой зоне Халактырского пляжа, а также сбор данных для дальнейшего исследования, обобщения и прогнозирования. Информационная система сможет оповещать о возможном цунами, красных приливах, опасных гидродинамических процессах (нагоны, течения) и пути эвакуации.

Основными задачами проекта являются:

1. Комплексный анализ состояния Халактырского пляжа. Оценка особенностей развития гидродинамических, литодинамических и морфодинамических процессов в береговой зоне;
2. Сбор и анализ материалов предшествующих исследований, приобретение картографических материалов прошлых лет и материалов дистанционного зондирования;
3. Наземное детальное обследование Халактырского пляжа с проведением гидрографических, геологических, экологических, геоморфологических и палеосейсмологических работ;
4. Составление профильных карт-схем (геоморфологической, геологической, схема заплесков цунами и др.), районирование, описание состояния берегов основных фрагментов пляжа по результатам детального обследования и анализа материалов прошлых лет;
5. Составление цифровой модели рельефа подводного берегового склона на основе гидрографических промерных работ и цифровой модели местности на основе данных аэрофотосъемки с дрона;
6. Оценка особенностей развития гидродинамических, литодинамических и морфодинамических процессов в береговой зоне Халактырского пляжа, в том числе с учетом возможного изменения относительного уровня поверхности пляжа в результате косейсмических деформаций;
7. Разработка и/или адаптация существующих математических моделей береговых процессов и моделей циркуляции водных масс в океане, их адаптация путем сравнения результатов фактических данных и расчетных по выбранным моделям;
8. Приобретение, обработка и дешифрирование космических снимков для анализа гидробиологических, гидрохимических и гидрофизических параметров среды океана;
9. Основываясь на данных вышеупомянутых исследований, разработка автоматизированной информационной системы на основе ГИС-технологий;
10. Установка и тестирование машинного аппаратного комплекса мониторинга (МАКМ) на подводный береговой склон. Предварительно в МАКМ будут включены: блок накопления информации с отсеком питания ADV Ocean/Hydra, мультипараметрический зонд YSI 6600V2 с датчиками гидрохимических показателей, акустический доплеровский измеритель течений ADV Ocean/Hydra, регистратор волнения APB-K14, Sea-Bird MicroCAT CTD-зонд, датчик обратного рассеивания OBS, подводная фото-видеокамера GoPro;
11. Обеспечение стабильного интернета и систем инфокоммуникаций для установки и подключения информационных стендов с возможностью транслирования данных мониторинга и прогноза в реальном времени непосредственно на Халактырском пляже;
12. Разработка дополнительных информационных систем оповещения (звуковая/световая сигнализация, планы эвакуаций, информационные доски, стенды и буклеты).

Актуальность проекта связана, в первую очередь, с активным развитием этого туристического кластера. В последнее время на Халактырском пляже появляется все больше лагерей и построек. Посещают пляж тысячи человек за сезон. Это не только местные жители, но и приезжие туристы, которые могут и не подозревать о возможных опасностях подстерегающих их на Халактырском пляже. Стратегия проекта основана на нескольких взаимодополняющих, но, тем не менее, разных основных направлений:

1. Обеспечение надежной инфраструктуры для обеспечения стабильной работы системы (электричество, интернет);
2. Разработка архитектуры и программного обеспечения непосредственно ГИС;
3. Проведение научных исследований и сбор данных для выгрузки в ГИС надежных данных для мониторинга и прогноза природных процессов;
4. Разработка/закупка и монтаж информационных стендов, подключение и настройка на них ГИС оповещения и мониторинга природных процессов;
5. Установка дополнительных информационных систем оповещения (звуковая/ световая сигнализация, планы эвакуаций, информационные доски, стенды и буклеты).

Механизм реализации проекта будет включать в себя следующие этапы: 1. Научный: 1а). Подготовительный (выполнение 1 и 2 задачи проекта); 2а). Полевой (выполнение 3 задачи); 3а). Камеральный (выполнение 4-7 задач). Для выполнения этих работ необходима группа сотрудников соответствующих специальностей (геологи, географы, геоморфологи, геофизики, гидрофизики, экологи, математики, картографы, биологи), желательны имеющие опыт в качестве исполнителя соответствующих научно-исследовательских работ. 2. Разработка ПО ГИС. 1б). Подготовка; 2б). Проектирование (описание, архитектура, ТЗ, макеты, интерфейс, СУБД и т.д.); 3б). Разработка ПО (дизайн, написание кода, тестирование, документирование, поддержка). Для выполнения этих работ необходима группа программистов. 3. Инфраструктура. 1в). Обеспечение стабильного интернета. 2в). Заказ/разработка информационных стендов/панелей; 3в). Патентный поиск (при необходимости); 4в). Подключение и настройка оборудования и сетей. Для выполнения этих работ необходима группа следующих специалистов: техники, электрики, администраторы сетей и др. Прочие работы. 1г). Установка дополнительных информационных систем оповещения (звуковая/световая сигнализация, планы эвакуаций, информационные доски, стенды и буклеты). 2г). Документооборот; 3г). Бухгалтерия. Работы сопровождают все другие этапы на момент выполнения всего проекта по мере надобности.

Ожидаемые результаты

Среди ожидаемых результатов можно выделить два основных направления: научные достижения и техническая реализация конкретной системы мониторинга. Результатом второго направления должны стать несколько информационных стендов с интерактивной панелью, сервер которых будет находиться в городе, а доступ к нему будут иметь соответствующие специалисты. Информация на сервере: 1. Спутниковые снимки в разных диапазонах, которые обновляются 1 раз в несколько дней. Выбираются снимки видимого диапазона и концентрация хлорофила (для определения возможных мест скопления водорослей). 2. Базы реанализа циркуляции океанских вод и течений. Данные будут загружаться из системы Copernicus. Прогноз течений на несколько дней: в системе ГИС на сервере будут сопоставляться данные прогноза течений и информация со снимков. Таким образом, на стенд уже приходят изображения возможного движения водорослей, если они есть, основываясь на модели циркуляции вод.

Цунами будут прогнозироваться на основе данных землетрясений в реальном времени. Если магнитуда более 7.8 на стенд идет сигнал предупреждения.

Течения будут рассчитываться на основе данных гидродинамических моделей и обновляться при необходимости. Подробнее про программную реализацию моделей рассматривается в статье [Лыгин и др., 2013]. Таким образом, на информационном стенде будут располагаться три вкладки с данными в реальном времени и одна вкладка с прогнозом.

Система должна вовремя обслуживаться: замена батарей, обновление ПО. Поэтому лучше всего основной стенд поставить в районе туристического информационного центра и в серфлагерях. Качество прогнозных данных раз в неделю будет проверяться в системе Sorpnicus на основе документа о достоверности данных, где данные реанализов сопоставляются с прогнозом и фактическими данными, где происходит проверка надежности системы.

Финансирование

Исследование выполнено при поддержке НИР № 0282-2019-0005 (FWEW-2019-0005) "Глубинное строение, сейсмичность и геодинамика Курило-Камчатской островодужной системы. Руководитель А.И. Кожурин.

Список литературы

1. *Пинегина Т. К., Базанова Л.И.* Новые данные о параметрах исторических цунами на побережье Авачинского залива (Камчатка) // Вестник Камчатской региональной ассоциации Учебно-научный центр. Серия: Науки о Земле. – 2016. – № 3(31). – С. 5-17.
2. *Коновалова Г.В.* «Красные приливы» у восточной Камчатки: Атлас-справочник. – Петропавловск-Камчатский: Камшат, 1995. – 56 с.
3. *Лыгин Ан.А., Марусин К.В., Хабидов А.Ш., Лыгин А.А., Федорова Е.А., Хомчановский А.Л.* Расчетные программные компоненты прототипа информационной системы мониторинга и прогнозирования динамики берегов // Известия Алтайского государственного университета. – 2013. – № 1-1(77). – С. 106-111.

УДК 504.054

Рубрика 87.15.00.; 87.19.00.

МОНИТОРИНГ ПЛАВАЮЩЕГО МОРСКОГО МУСОРА, ПОСТУПАЮЩЕГО С ВОДАМИ РЕК В ЧЕРНОЕ МОРЕ

MONITORING OF RIVERINE LITTER INPUT ON THE BLACK SEA

Погожева Мария Петровна^{1,2}

¹*Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова, Москва, Россия*

²*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия*

Pogojeva Maria^{1,2}

¹*N.N. Zubov's State Oceanographic Institute, Roshydromet, Moscow, Russia*

²*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

Введение

В настоящее время загрязнение морским мусором, особенно состоящим из пластика, является одной из наиболее актуальных проблем антропогенного воздействия на морскую среду в глобальном масштабе (Kershaw, 2016). По текущим оценкам количество пластика, поступающего с суши в морскую среду ежегодно, варьируется от 4,5 до 12,7 млн т, еще 1,75 млн т происходит из морских источников, таких как рыболовство, аквакультура (рыбоводство) и судоходство (Jambeck et al., 2015). Макропластик (бутылки, пакеты и пр.) и микропластик (фрагменты и синтетические волокна размером менее 5 мм) (Galgani et al., 2013) обнаруживаются во всех природных средах. Существенным источником поступления различных бытовых отходов в моря и океаны является материковый сток. Реки вносят существенный вклад в загрязнение морей в целом, микро- и макромусором в частности. В 2013–2020 гг. на Черном море осуществлялся ряд проектов, нацеленных на усовершенствование методов мониторинга морской среды (ЭМБЛАС-I, ЭМБЛАС-II, ЭМБЛАС-Плюс) и выполняющихся в поддержку реализации Бухарестской Конвенции с целью развития системы комплексного мониторинга Черного моря, сбора и управления данными и повышения уровня квалификации профильных специалистов в причерноморских государствах. В рамках этих проектов была проведена первичная оценка поступления речного мусора с водами рек Украины, России и Грузии в тесном сотрудничестве с другим международным проектом — JRC RIMMEL (JRC 2015), оценивающим поступление мусора с реками в моря Европы (González-Fernández et al., 2020; González-Fernández et al., 2021).

Материалы и методика

Для регистрации данных использовалась международная методика, включающая визуальные наблюдения и регистрацию мусора с помощью специализированного

мобильного приложения. Методика содержит единый перечень и классификацию наблюдаемого плавающего мусора, что упрощает процесс обработки и анализа данных и позволяет их сравнивать с данными подобного мониторинга в других районах. Полученные с помощью приложения данные помогают получить представление о количестве плавающего мусора, поступающего с водами исследуемых рек в море, позволяют проанализировать его состав по категориям и приблизительный размер. Наблюдения проводились силами предварительно обученных наблюдателей на каждой реке в течение года и включали различное количество наблюдений на разных реках. Продолжительность каждого сеанса мониторинга составляла 30–60 минут. Учитывались частицы макромусора >2,5 см в поверхностном слое воды. Площадки для мониторинга были выбраны в непосредственной близости к устью для учета поступления мусора в море. В общей сложности мониторинг был проведен на 9 реках: 4 в Грузии, 3 в России и 2 в Украине (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1. Реки, выбранные для мониторинга и их характеристики

Название реки	Площадь речного бассейна (км ²)	Распределение мониторинговых сессий по годам	Общее количество мониторинговых сессий	Количество часов мониторинга
Aderba	194	2017 (1)	1	0,5
Chorokhi	22,065	2016 (1), 2017 (3), 2019 (2), 2020 (1)	7	7,1
Danube	802,032	2017 (11)	11	8,3
Dniester	72,531	2017 (13), 2019 (12)	25	24,1
Don	429,400	2016 (7), 2017 (14)	21	11,0
Natanebi	687	2016 (1), 2017 (3), 2019 (2)	7	7,1
Rioni	14,667	2016 (1), 2017 (3), 2019 (2)	7	7,0
Sochinka	295	2020 (2)	2	2,0
Supsa	1,112	2016 (1), 2017 (3), 2019 (2)	7	7,1
Итого		2016 (11), 2017 (51), 2019 (20), 2020 (6)	88	74,1

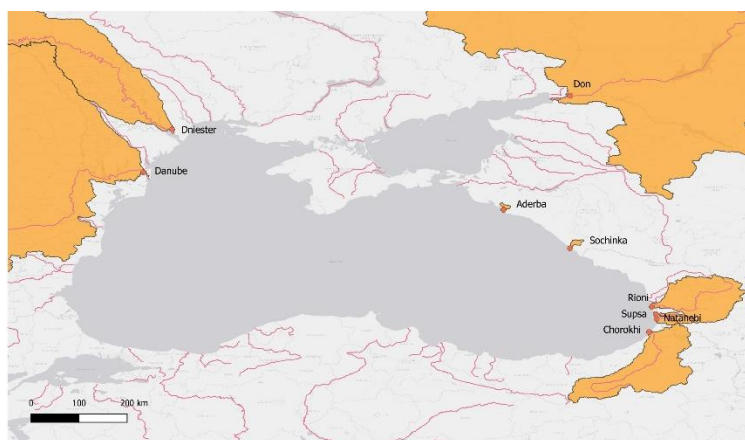


Рис 1. Реки, выбранные для мониторинга

Результаты и обсуждение

Всего было проведено 88 мониторинговых сессий на 9 реках, что составляет 74 часа визуальных наблюдений. Большинство наблюдений проходило в период с сентября 2016 по сентябрь 2017 г. (табл. 1), дополнительные данные были собраны в 2019 и 2020 годах. Частота мониторинга на большинстве рек не была регулярной, что затрудняло анализ данных.

В ходе мониторинговых сессий наблюдатели отметили 898 плавающих частиц мусора, стекающих из рек в Черное море. 10 наиболее распространенных категорий мусора составили 93,8 % от общего количества объектов, выявленных в реках. Пластик составлял 84 % от общего количества предметов (рис. 2). Наиболее частыми пластиковыми предметами были: крышки/упаковки, бутылки, кусочки пластика, пакеты и другие неопознанные предметы из пластика/полистирола (табл. 2).

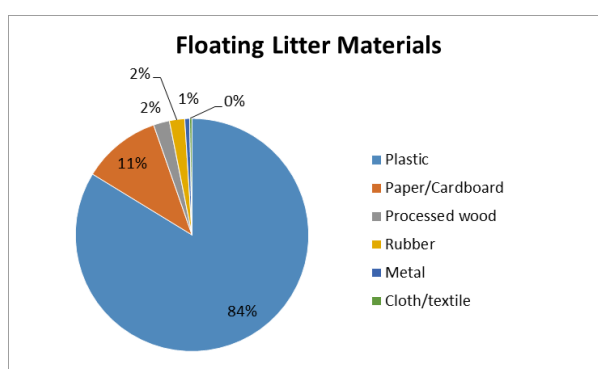


Рис. 2. Распределение зарегистрированного плавающего мусора в реках по материалу

Таблица 2. 10 наиболее распространенных категорий мусора

Ranking	Items	Material	MSFD Code	% of Total Items
1	Cover / packaging	Plastic	G38	19,04%
2	Plastic bottle	Plastic	G6	18,04%
3	Plastic pieces	Plastic	G79+G80	12,03%
4	Bag	Plastic	G2	9,91%
5	Other plastic/polystyrene items	Plastic	G124	9,47%
6	Plastic container	Plastic	G18	7,80%
7	Paper packaging	Paper/Cardboard	G149	5,46%
8	Other paper	Paper/Cardboard	G158	5,46%
9	Polystyrene pieces	Plastic	G82+G83	4,68%
10	Pallets	Processed wood	G160	1,89%

Для анализа скорости поступления плавающего мусора использовались медианные показатели единиц поступления в час (ед./ч). Наиболее высокие значения были отмечены в р. Дунай (Килийский рукав), где медиана составила 72 ед./ч, а максимальные значения достигали ~350 ед./ч. Напротив, река Дон, вторая по величине

река, выбранная для мониторинга, показала самое низкое медианное значение (~ 4 ед./ч) и максимальное значение ~32 объекта/час. Медианные значения на остальных реках варьировали в пределах 10–50 ед./ч, а максимальные значения на них достигали ~150 ед./ч.

На различия в потоках поступления мусора с реками в этом исследовании влияет множество факторов, таких как размер речных бассейнов, режим речного стока, растительный покров и другие климатические условия, а также количество проведенных сессий мониторинга, проводимых на каждой реке. Социально-экономические факторы такие как плотность населения в речном бассейне, землепользование, уровень управления отходами и образ жизни населения также могут иметь большое влияние на количество мусора, которое выносится реками в море. Все эти факторы затрудняют сравнение уровней загрязнения рек.

В целом, несмотря на малое количество наблюдений на некоторых реках Черного моря, что является ограничивающим фактором для выполнения оценки, диапазон потоков мусора, наблюдаемый в регионе, по порядку величин совпадает с наблюдаемым в других регионах Европы, например, в Река Рона во Франции (0–293 ед./ч), река Рейн в Нидерландах (10-75 ед./ч), реки Льобрегат и Бесос в Испании (0–429 ед./ч) и река Тибр в Италии (~10–130 ед./ч на канале Фьюмичино) (Castro-Jiménez et al., 2019; Crosti et al., 2018; Schirinzi et al., 2020).

Заключение

Первоначальная оценка поступления мусора с реками в Черное море в региональном масштабе, полученная с помощью согласованной методологии, показала, что плавающий макромусор в реках, впадающих в Черное море, содержит 84% пластиковых предметов, а наиболее часто встречающиеся предметы состоят из пластиковых предметов одноразового использования. Скорость поступления мусора варьировала на реках в широких пределах от 4 до 350 ед./ч.

Список литературы

1. *Castro-Jiménez J., González-Fernández D., Fornier M., Schmidt N., Sempéré R.* Macro-litter in surface waters from the Rhone River: Plastic pollution and loading to the NW Mediterranean Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 2019. 146. Pp. 60–66. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2019.05.067>.
2. *Crosti R., Arcangeli A., Campana I., Paraboschi M., González-Fernández D.* ‘Down to the river’: amount, composition, and economic sector of litter entering the marine compartment, through the Tiber river in the Western Mediterranean Sea. *Rend.* 2018. Lincei 29. <https://doi.org/10.1007/s12210-018-0747-y>.
3. *Galgani F., Hanke G., Werner S., Oosterbaan L., Nilsson P., Fleet D., Kinsey S., J. van Franeker R.T., Vlachogianni T., Scoullou M., Mira Veiga J., Palatinus A., Matiddi M., Maes T., Korpinen S., Budziak A., Leslie H., Gago J., Liebez G.* Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas // European Commission, Joint Research Centre. MSFD Technical Subgroup on Marine Litter (TG ML). 2013. No. EUR 26113. Pp. 1–126.
4. *González-Fernández D., Cózar A., Hanke G., Viejo J., Morales-Caselles C., Bakiu R., Barceló D., Bessa F., Bruga A., Cabrera M., Castro-Jiménez J., Constant M., Crosti R.,*

- Galletti Y., Kideys A.E., Machitadze N., de Brito J.P., Pogojeva M., Ratola N., Rigueira J., Rojo-Nieto E., Savenko O., Schöneich-Argent R.I., Siedlewicz G., Suaria G., Tourgeli M. Floating macrolitter leaked from Europe into the ocean // *Nature Sustainability*. 2021. Vol. 4. Pp. 474–483. doi: 10.1038/s41893-021-00722-6.
5. *González-Fernández D., Pogojeva M., Hanke G., Machitadze N., Kotelnikova Y., Tretiak I., Savenko O., Gelashvili N., Bilashvili K., Kulagin D., Fedorov A., M. Şenyiğit Ç.* Anthropogenic litter input through rivers in the Black Sea. In: *Marine Litter in the Black Sea / Eds., Aytan, Ü., Pogojeva, M., Simeonova, A.* Marine Litter in the Black Sea. Turkish Marine Research Foundation (TUDAV). Istanbul, Turkey, 2020. Publication No: 56. Pp. 183–191.
 6. *Jambeck J.R., Geyer R., Wilcox C., Siegler T.R., Perryman M., Andrady A., Narayan R., Law K.L.* Plastic waste inputs from land into the ocean // *Science*. American Association for the Advancement of Science. 2015. Vol. 347. No. 6223. Pp. 768–771.
 7. *Kershaw P.J.* Marine plastic debris and microplastics global lessons and research to inspire action and guide policy change. Nairobi: UNEP, 2016. 192 p.
 8. *Schirinzi G.F., Köck-Schulmeyer M., Cabrera M., González-Fernández D., Hanke G., Farré M., Barceló D.* Riverine anthropogenic litter load to the Mediterranean Sea near the metropolitan area of Barcelona, Spain. *Sci. Total Environ.* 2020. 714, 136807. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.136807>.

УДК 349.6

Рубрика 10.53.31.; 10.53.24.; 10.53.30

ПРАВОВАЯ ОХРАНА МОРСКОЙ СРЕДЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МИКРОПЛАСТИКОМ

LEGAL PROTECTION OF THE MARINE ENVIRONMENT FROM MICROPLASTIC POLLUTION

Пономарев Михаил Вячеславович

Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации, старший научный сотрудник, кандидат юридических наук

Ponomarev Mikhail Vyacheslavovich

Institute of Legislation and Comparative Law under the Government of Russian Federation, senior Researcher, Candidate of Legal Sciences

Введение

Микропластик в настоящее время является одним из главных загрязнителей окружающей среды XXI века, и с учетом массового распространения на потребительском рынке пластиковых изделий одноразового применения последние несколько десятилетий, загрязнение окружающей среды и отдельных ее компонентов частицами микропластика приобретает весьма серьезный характер. Значительный по своему масштабу вред наносится, прежде всего, водным объектам, в особенности, морской среде, её экосистемам и биологическим ресурсам.

Говоря о причинах такого загрязнения, некоторые ученые приходят к однозначному выводу о его антропогенном характере. Так, к обострению экологической ситуации в прибрежно-морской зоне и угрозе загрязнения ее микропластиком приводит интенсивная антропогенная деятельность, неконтролируемый сброс сточных вод, а также увеличение объема производства и потребления пластиковых изделий [4, с. 19].

Причины и источники появления микропластика, его воздействие на окружающую среду и организм человека

Появление частиц микропластика и попадание их в окружающую среду, в том числе, в водные объекты и в особенности, в морскую и океаническую среду, происходит ввиду распада таких пластиковых товаров и изделий под влиянием естественных природных факторов и процессов. Например, под воздействием солнечного света, окисления или физического волнового воздействия и течений происходит деградация более крупных фрагментов с последующим образованием мелких частиц, часть из которых, как правило, размером менее 5 мм называют микропластиком [6, с. 58].

Вместе с тем, отнюдь не только несоблюдение экологических требований при обращении с отходами одноразовых пластиковых товаров может являться источником загрязнения морской среды частицами микропластика. Ряд разновидностей первичного микропластика может попадать в моря ввиду загрязнения их химическими веществами в ходе судоходства и портовой деятельности. Уровень загрязненности микропластиковыми частицами морских вод, скорее всего, связан с интенсивностью морской деятельности, осуществляемой на их акваториях. Однако вклад иных источников поступления

микропластика — с атлантическими водами, стоком крупных сибирских рек, тихоокеанскими водами — еще предстоит оценить [7, с. 173].

При этом, согласно научным исследованиям в области океанологии, наибольший вред наносится водным биологическим ресурсам. Именно потому, микрочастицы пластика имеют широкий спектр размерных групп и низкую плотность, в результате чего многие живые организмы воспринимают их как источник пищи. В свою очередь, поскольку пластик не разлагается их ферментативной системой, само по себе проглатывание пластика представляет угрозу для них и может вызывать летальный исход [8, с. 149]. Однако главная опасность микропластика, на наш взгляд, состоит в том, что он способен попасть в организм человека и даже в его кровь [5, 2] через пищевую цепочку и питьевую воду [3].

Микрочастицы пластика, попадая в организм человека, могут достигать ткани всех отделов плаценты, отрицательно сказываться на эндокринной системе, метаболизме, репродуктивной функции. Микропластик способен оказывать как мгновенное, так и долговременное воздействие на все живые организмы. Выявлена водная экотоксичность микропластика, в результате адсорбции на его поверхности высокотоксичных, стойких загрязнителей [9, с. 122]. Также результаты ряда научных исследований показали непосредственное влияние загрязнения водных объектов частицами микропластика на изменение климата [11].

Количественные показатели загрязнения морской среды микропластиком

Несмотря на наличие достаточно большого количества научных исследований проблем распространения микропластика в окружающей среде, вряд ли можно найти достоверные статистические данные о концентрации частиц микропластика в отдельных компонентах природной среды и природных объектах, особенно это касается уязвимых морских экосистем. Однако в настоящее время имеется статистика Организации Объединенных Наций, в которой отмечается, что по состоянию на 2017 год моря были засорены более 51 трлн микропластиковых частиц [1].

Несмотря на то, что научные исследования проблем загрязнения морской среды частицами микропластика в ряде зарубежных стран были начаты достаточно давно, отечественные исследования загрязнения морским мусором и микропластиком российских прибрежных зон и пляжей впервые были начаты для Балтийского и Черного морей и ведутся сравнительно недавно, в течение пяти-семи лет [7, с. 165]. Однако за этот сравнительно недолгий период времени проведено достаточно немало комплексных исследований источников и характера загрязнения морской среды частицами микропластика.

Вместе с тем, сложно достоверно определить количественные характеристики содержания частиц микропластика в морской среде, что связано с рядом факторов. В первую очередь, это отсутствие единой (унифицированной) утвержденной методики, что затрудняет сопоставимость получаемых данных измерений [7, с. 165]. При этом главной трудностью в ходе проведения количественных оценок загрязнения водных объектов микропластиком является отсутствие стандартизированных методик отбора и анализа проб воды, донных и береговых отложений [8, с. 149].

Правовые меры ограничения и запрета оборота одноразовых пластиковых изделий как способ предотвращения загрязнения микропластиком морской среды

Главный источник микропластика, который можно ограничить и на распространение которого можно влиять доступными способами – пластиковые отходы, образующиеся в результате использования и потребления одноразовых пластиковых изделий, именно поэтому попадание микропластика в окружающую среду можно ограничить или предотвратить путем ограничения или запрета на производство или оборот одноразовых пластиковых изделий из перерабатываемых материалов. При этом ограничение оборота и использования одноразовых пластиковых изделий является составной частью механизма перехода к модели экономики замкнутого цикла.

Ограничение или полный запрет оборота одноразовых изделий является одним из важнейших направлений построения экономики замкнутого цикла, переход к которой намечен в качестве вектора государственной политики Президентом Российской Федерации В.В. Путиным. В частности, Президентом РФ в его Послании Федеральному Собранию Российской Федерации от 15 января 2020 г. была отмечена необходимость кардинального снижения объема отходов, поступающих на полигоны, внедрения раздельного сбора мусора, и в целом перехода на экономику замкнутого цикла. В Послании от 21 апреля 2021 г. Президентом РФ говорилось о том, что принцип «загрязнитель платит» должен в полной мере работать и в сфере обращения с отходами, чтобы обеспечить переход к так называемой экономике замкнутого цикла.

Установление таких запретов и ограничений на оборот пластиковых изделий одноразового применения, а также изделий из перерабатываемых материалов, возможно правовыми мерами, однако в настоящее время надлежащее правовое регулирование отношений в указанной сфере отсутствует.

Более того, на сегодняшний день отсутствуют и законодательное определение понятия «микропластик» (имеющееся, например, в законодательстве ряда зарубежных государств), и критерии отнесения пластиковых частиц различного размера к микропластику, их порядок нормирования, и отсутствие реально работающих правовых механизмов предотвращения попадания таких частиц в окружающую среду ввиду того, что они юридически не относятся ни к загрязняющим, ни к взвешенным веществам, а также специальных правовых мер борьбы с распространением как первичного, так и вторичного микропластика [9, с. 126].

Многие государства мира уже ввели запрет на производство и использование пластиковых пакетов, посуды и других одноразовых пластиковых изделий. В Европейском Союзе (ЕС) ежегодно потребляется около 100 миллиардов пластиковых пакетов. Это среднее потребление 200 мешков в год на одного гражданина ЕС. Последствия этого разрушительны для окружающей среды, а именно для морской флоры и фауны. В настоящее время Европа перерабатывает менее 30% от 25 миллионов тонн пластиковых отходов, которые производит ежегодно. Более 80% морского мусора составляет пластик.

29 апреля 2015 года Европейский парламент и Совет приняли Директиву (ЕС) «О сокращении потребления легких пластиковых пакетов» (Directive (EU) 2015/720 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2015 amending Directive 94/62/EC as regards reducing the consumption of lightweight plastic carrier bags), согласно которой к 2019 году нужно сократить потребление пакетов с 200 до 90 штук в год на человека, а к 2025 году — до 40. С начала 2019 года магазинам в Евросоюзе запретили бесплатно раздавать пластиковые пакеты, поэтому многие перешли на бумажные. Для достижения этой цели

государства-члены могут выбирать между нормативными актами или отраслевыми соглашениями, а в случае законодательного регулирования – между мерами, такими как экономические инструменты, такие как сборы и сборы или национальные целевые показатели сокращения.

Государства-члены ЕС также должны обеспечить сбор 90% пластиковых бутылок в 2029 году. При этом к 2025 году не менее 25% из них должны быть изготовлены из вторсырья (и 30% — к 2030 году). На упаковках сигарет с фильтрами из пластика, на пластиковых стаканах и упаковках влажных салфеток появится маркировка о вреде окружающей среде.

С 3 июля 2021 года в Европейском Союзе вступил в силу запрет на использование всех одноразовых пластиковых изделий (была принята Директива (ЕС) 2019/904 Европейского парламента и Совета от 5 июня 2019 года «О снижении воздействия некоторых пластмассовых изделий на окружающую среду» (Directive (EU) 2019/904 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the reduction of the impact of certain plastic products on the environment).

К числу этих изделий относятся одноразовые пластиковые тарелки, столовые приборы, палочки для размешивания сахара, трубочки для питья, ватные палочки, пакеты, палочки для воздушных шариков и некоторые пищевые контейнеры. С данного момента государства-члены ЕС обязаны имплементировать указанное требование в свое национальное законодательство, что уже сделали Федеративная Республика Германия, Франция (в 2016 году запретила продажу тонких пластиковых пакетов) и ряд иных государств. В настоящее время ограничения на импорт, производство, оборот и использование отдельных видов одноразовых пластиковых изделий существует более чем в 120-ти государствах мира.

В Российской Федерации возможный запрет на производство и продажу одноразовых пластиковых изделий неоднократно прорабатывался и публично обсуждался, однако в настоящее время основными причинами того, что указанный запрет пока не введен, видится отсутствие проработанного правового механизма такого запрета и соответствующих альтернатив всем указанным изделиям, которые могли бы полноценно заменить их у населения в быту и у других потребителей.

Рассматриваемый запрет на оборот полиэтиленовых и пластиковых пакетов, сумок и мешков, а также одноразовой пластиковой посуды и иных одноразовых пластиковых изделий полностью соответствует основным тезисам Концепции совершенствования института расширенной ответственности производителей и импортеров товаров и упаковки, утвержденной Заместителем Председателя Правительства РФ В.В. Абрамченко 28 декабря 2020 г. № 12888п-П11, в которой отмечается, что в отношении отдельных видов товаров и упаковки в случае полного отсутствия возможности их утилизации и при наличии доступных альтернатив должны применяться запреты на их производство и другие ограничительные меры.

Представляется, что данный запрет:

а) должен быть поэтапным (в зависимости от вида изделий и массовости их производства и использования, появления его альтернатив в свободном гражданском обороте);

б) должен устанавливаться как на оборот (включая продажу), так и на производство указанных изделий;

в) должен устанавливаться в отношении изделий из пластиковых материалов, не относящихся к биоразлагаемым, а также для которых не существует технологий утилизации и вторичного использования.

Правовые механизмы ограничения оборота одноразовых пластиковых изделий как способ охраны водных объектов от загрязнения микропластиком

В настоящее время подготовлен и рассматривается законопроект [10], направленный на снижение загрязнения озера Байкал и природного комплекса Байкальской природной территории путем регулирования отношений по обращению с такими наиболее распространенными и наиболее используемыми на указанной территории видами одноразовых пластиковых изделий как полиэтиленовые и пластиковые пакеты, сумки и мешки, а также с одноразовая пластиковая посуда и столовые приборы.

Данным законопроектом запрещается розничная продажа, а также безвозмездная передача в центральной экологической зоне и буферной экологической зоне Байкальской природной территории организациями, осуществляющими розничную торговлю, пакетов, сумок, мешков из полимерных и комбинированных материалов, а также посуды, столовых приборов из различных видов материалов из пластмасс в соответствии с перечнем таких товаров, утвержденным уполномоченным федеральным органом исполнительной власти в порядке, установленном законодательством Российской Федерации. При этом отказ от права собственности на отходы, образовавшиеся в результате использования указанных в настоящем пункте товаров, допускается исключительно в случае их оставления в местах накопления твёрдых коммунальных отходов, оборудованных в соответствии с требованиями законодательства Российской Федерации.

Представляется, что данные правовые механизмы ограничения оборота одноразовых пластиковых изделий, направленные на охрану водных объектов от загрязнения частицами микропластика, в случае формирования практики их успешного применения, могут быть использованы для ограничения оборота одноразовых пластиковых изделий на отдельных территориях, имеющих значение для предотвращения загрязнения морской среды (например, в водоохраных зонах, в крупных курортных городах).

Заключение

Для формирования правовых механизмов охраны окружающей среды (включая морскую среду) от загрязнения микропластиком, в настоящее время требуется выработка определения понятия «микропластик» (в том числе через определение размера относимых к нему частиц), исследовать возможность отнесения микропластика к загрязняющим веществам и распространения на него ряда природоохранных механизмов, включая нормирование, а также выработку специальных правовых мер борьбы с распространением как первичного, так и вторичного микропластика.

В качестве правовых средств предотвращения загрязнения окружающей среды (включая морскую среду) вторичным микропластиком следует проработать механизм ограничения оборота одноразовых пластиковых изделий на отдельных территориях, имеющих значение для предотвращения загрязнения морской среды (например, в водоохраных зонах, в крупных курортных городах).

Список литературы

1. 'Turn the tide on plastic' urges UN, as microplastics in the seas now outnumber stars in our galaxy // официальный интернет-сайт Организации объединенных наций

- [Электронный ресурс]: <https://news.un.org/en/story/2017/02/552052-turn-tide-plastic-urges-un-microplastics-seas-now-outnumber-stars-our-galaxy> (дата обращения – 10.11.2022 г.).
2. *Heather A. Leslie, Martin J.M. van Velzen, Sicco H. Brandsma, A. Dick Vethaak, Juan J. Garcia-Vallejo, Marja H. Lamoree.* Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood // *Environment International*. 2022. Vol. 163 (May). 107199 - [Электронный ресурс]: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412022001258> (дата обращения – 10.11.2022 г.).
 3. *Microplastics in drinking-water* // официальный интернет-сайт Всемирной организации здравоохранения [Электронный ресурс]: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/326499/9789241516198-eng.pdf> (дата обращения – 10.11.2022 г.)
 4. *Блиновская Я.Ю., Куликова О.А., Мазлова Е.А., Гаврило М.В.* Микропластик в береговом грунте Арктических и Дальневосточных морей // *Экология и промышленность России*. 2020. Т. 24. № 4. С. 16-19.
 5. *В крови человека впервые обнаружили микропластик* // официальный интернет-сайт российского отделения Greenpeace [Электронный ресурс]: <https://greenpeace.ru/news/2022/03/29/v-krovi-cheloveka-vpervye-obnaruzhili-mikroplastik/> (дата обращения – 10.11.2022 г.).
 6. *Глушко А.Е., Беспалова Л.А., Беспалова Е.В., Картамьшева Т.Б.* Загрязнение микропластиком донных отложений Азовского моря // *Наука Юга России*. 2021. Том 17. № 2. С. 57-65.
 7. *Ершова А.А., Еремина Т.Р., Дунаев А.Л., Макеева И.Н., Татаренко Ю.А.* Исследование загрязнения микропластиком морей Российской Арктики и Дальнего Востока // *Арктика: экология и экономика*. 2021. Т. 11. № 2. С. 164-177.
 8. *Зобков М.Б., Есюкова Е.Е.* Микропластик в морской среде: обзор методов отбора, подготовки и анализа проб воды, данных отложений и береговых наносов // *Океанология*. 2018. Том 58. № 1. С. 149-157.
 9. *Лунева Е.В.* Правовая охрана поверхностных водных объектов от микропластика в России // *Журнал российского права*. 2022. № 2. С. 121-137.
 10. Проект федерального закона № 154856-8 «О внесении изменений в статью 6 Федерального закона «Об охране озера Байкал» (в части ограничения отдельных видов деятельности на Байкальской природной территории) // официальный интернет-сайт Системы обеспечения законодательной деятельности Государственной автоматизированной системы «Законотворчество» [Электронный ресурс]: <https://sozd.duma.gov.ru/bill/154856-8> (дата обращения – 10.11.2022 г.).
 11. *Фролова Н.Л., Лычагин М.Ю., Сазонов А.А., Лисина А.А., Романенко Ф.А., Суркова Г.В., Мацковский В.В., Платонов М.М., Ломаков О.И.* Изменение климата в Российской Арктике: исследования в рамках проекта «Климатическая экспедиция Российского экологического общества» в Архангельской области в 2021 году // официальный интернет-сайт проекта «Климатическая экспедиция» Общероссийской общественной организации «Российское экологическое общество» [Электронный ресурс]: <https://www.ecosociety.ru/wp-content/uploads/2022/02/Statya-ob-izmenenii-klimata-v-Rossijskoj-arktike.pdf> (дата обращения – 10.11.2022 г.).

УДК 627.01

Рубрика 87.15.00.; 87.19.00.

ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ БАССЕЙНА
КАСПИЙСКОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТКИ ЕДИНОЙ
МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ «ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ»

INCREASING THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF THE CASPIAN SEA BASIN OF
THE DEVELOPMENT OF A UNIFIED INTERSTATE SYSTEM OF "TECHNOSPHERE
SAFETY"

Мендыбаева Динара Борисовна

Тольяттинский государственный университет, Тольятти

Mendybayeva Dinara Borisovna

Tolyatti State University, Tolyatti

Введение

В последние годы важной проблемой требующей особого внимания, является сохранение экологического здоровья, уникального природного объекта - бассейна Каспийского моря.

Каспийское море – обладает свойствами «моря и озера», что доказывает, его природную «уникальность». Углеводородные ресурсы, биологические богатства не имеют аналогов в мире. Чрезмерное потребление водных, природных ресурсов, ежегодное увеличение объемов добычи нефти и газа, транспортировки нефтепродуктов, привели к интенсивному загрязнению и деградации бассейна Каспийского моря.

Данные и методы

Исследования ученых показали, что основными источниками загрязнения, являются негативные и антропогенные факторы воздействия, вследствие повлекшие загрязнение водного бассейна Каспийского моря, нарушения его естественных биологических циклов и процессов, изменения гидрохимической структуры, исчезновению эндемиков и многих видов ценных пород рыб, что привело к началу экологической катастрофы в Каспийском море.

Ученные разных стран утверждают, что если не предпринять защитные меры сейчас, то через пару десятилетий уникальный водоем исчезнет, повторив судьбу Аральского моря, и ту страшную техногенную катастрофу, последствия которой, могут отразиться на населении пяти прикаспийских государств.

Проблема:

В отношении морской среды Каспийского моря определяются основные факторы угроз ведущих к огромной антропогенной нагрузке на бассейн Каспийского моря в целом, это - чрезмерное использование рыбных запасов и полезных ископаемых, бурение нефтегазовых скважин; увеличение судоходства и трафика танкеров, строительство линий нефтепроводов, загрязнение нефтепродуктами моря, промышленные сбросы, вынос нефти и нефтепродуктов вместе с речным стоком и естественные выходы нефти из грифонов на морском дне, что неизбежно повлекло нарушение естественного природного баланса и нанесло угрозы биоразнообразию.

Ежедневно в морскую среду Каспийского моря поступает более 1000 химических соединений, включая токсичные, однако сырая нефть и нефтепродукты остаются приоритетными загрязнителями моря.

Каспийское море служит связующим звеном между Европой и Азией. Кроме вопросов о международно-правовом статусе бассейна Каспийского моря, разделении нефтяных ресурсов, вопрос антропогенного воздействия на морские экосистемы, остается общим вопросом пяти Прикаспийских Государств требующий введения новых природоохранных мероприятий, как например, нововведения отрасли «Техносферной безопасности на шельфе», для предотвращения дальнейшей деградации и экологической катастрофы Каспийского моря.

На сегодняшний день в странах прикаспийских Государств, в том числе Казахстане, отсутствуют стандарты техносферной безопасности по контролю и мониторингу технического состояния процессов бурения, эксплуатации, добычи и транспортировки углеводородного сырья при освоении шельфовых месторождений, при этом одним их основных источников загрязнения являются углеводороды и предприятия нефтегазового и химического комплекса.

Для изучения антропогенных факторов и причин повлекших загрязнение водного бассейна Каспийского моря на примере Казахстанского сектора, мною была проведена небольшая исследовательская работа, где в марте 2019, и в марте 2022 года, я выезжала в Мангистаускую область город Актау, где расположено Каспийское море.

Были посещены несколько объектов, требующих особого внимания, показаны на фотографиях.



Рис 1.

Рис 2.

Рис 3.

Рис. 1. Хвостохранилище «Кошкар – Ата» складировано 105 миллионов тонн промышленных отходов. Из них 59 миллионов тонн - радиоактивные и токсичные.

Рис. 2. ТОО Мангистауской атомный энергетический комбинат «МАЭК-Казатомпром» образован 1 июля 1968 г.. Находиться атомный реактор БН-350. На сегодняшний день на территории этого объекта хранятся радиоактивные отходы и самый опасный – цезий-137. При этом контейнеры, в которых хранятся высокотоксичные радиоактивные отходы, пришли в негодность, что соответственно может привести к заражению Каспийского моря.

Рис. 3. Останки погибших птиц на берегу озера «Караколь», в 15 км к юго-востоку от города Актау, места обитания «розовых фламинго» и лебедей.

(Все фото из личного архива Мендыбаевой Динары Борисовны)

Результаты.

Сравнение международных законодательных актов и введение новых превентивных мер «НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТКИ МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ «ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ШЕЛЬФЕ, для охраны морских вод и уникального природного объекта «Бассейна Каспийского моря»».

Техносферная безопасность – это защита окружающей среды от влияния человеческой деятельности. В современное время, Техносферная безопасность на предприятиях нефтегазового и химического комплекса, является молодой наукой.

Сам факт увеличения скорости влияния антропогенных элементов в природу, приводящий к деградации и глобальным экологическим катастрофам, приносящий новые угрозы человечеству, показывает важность Техносферной безопасности как науки и как специальности.

С целью обеспечения экологической безопасности, в законодательных актах по промышленной безопасности прикаспийских государств, ежегодно вносятся новые поправки и дополнения.

Для минимизации техногенного воздействия на природную среду - разрабатываются методы и средства обеспечения безопасности человека и окружающей среды от антропогенных воздействий, но вследствие нерационального потребления водных, воздушных, природных ресурсов, загрязнения окружающей среды нефтепродуктами и токсичными химикатами, **Каспийское море - является зоной экологического бедствия и техногенных катастроф.**

Вокруг моря расположены крупные атомные реакторы, захоронения химических и радиоактивных отходов на примере Хвостохранилища «Кошкар-Ата», его площадь составляет примерно 50 км². Еще во время Советского Союза в Казахстане были обнаружены месторождения урана. И в 1980-е годы в Казахстане производилось более трети всего объема советского урана, на тридцати урановых рудниках. Бывшая котловина Кошкар-Ата оказалась удобным местом для размещения радиоактивных и токсичных отходов химико-гидрометаллургического комплекса города Шевченко, ныне Актау. В 1999 году в связи с изменениями военных приоритетов, добыча урана была прекращена. Тем не менее, на сегодняшний день, Хвостохранилища «Кошкар-Ата», используется в качестве места захоронения коммерческих, производственных отходов и нефтешлама.

Трубопроводы многих предприятий подведены к озеру, само Хвостохранилища «Кошкар-Ата», покрыто огромным количеством мусора. Так как в Мангистау очень мало источников питьевой воды, то животные (например, лошади и верблюды) приходят сюда в поисках воды, на водопой. Молоко и мясо таких животных может содержать целый «букет» химических веществ. Это безусловно требует дополнительно исследования. В 2014 году Акимом Мангистауской области, были проведены первые исследование грызунов живущих в районе озера и были установлены факты изменения состава ДНК на генетическом в виде мутации. Исследования предполагается будут продолжены.

В бассейне Каспийского моря интенсивно ведутся разработки шельфовых месторождений. Особенностью нефтегазовых платформ является присутствие большого количества взрывоопасных помещений и зон, ведение работ под высоким давлением на шельфе, с применением большого количества химических реагентов в буровом растворе.

Одним из страшных, трагических примеров техногенных аварий и катастроф, которые привели к значительным выбросам и разливам нефтепродуктов, и огромному антропогенному прессу, является пожар на нефтяной скважине нефтеплатформы "Гюнешли" произошедший 4 декабря 2015г., в азербайджанском секторе Каспийского моря.

Экология Каспийского моря является одной из наиболее актуальных сфер, требующих повышенного внимания и совместных природоохранных действий всех прикаспийских государств. При этом, целью сотрудничества стран прикаспийского региона в этом направлении, является сохранение уникальной природной среды и биологического разнообразия Каспийского бассейна.

Добыча нефти в море, ослабление статуса заповедной зоны в районе Северного Каспия Казахстана и России, представляет потенциальную угрозу широкомасштабного загрязнения акватории моря, что приведёт к нарушению биологического равновесия экосистемы Каспия, отравлению продуктами углеводородов морской биоты, подрыва и даже уничтожения уникальных биологических видов - **эндемиков Каспийского моря «каспийского тюленя» или нерпа (*Phoca-caspica*)**, ихтиофауны, орнитофауны.

Трагедия в Мексиканском заливе у берегов США может повториться и на Каспийском море, если не предусмотреть всех мер безопасности при добыче "черного золота". Если к примеру, в Казахстанском секторе Каспийского моря произойдет экологическая катастрофа подобного масштаба, то ее последствия будут гораздо трагичнее и отразятся на экологии всех пяти прикаспийских государств.

В связи с данными имеющимися фактами антропогенного воздействия, требуются:

- экологическая экспертиза трансграничных вод
- эффективная организация на всей территории бассейна Каспийского моря, комплексного мониторинга, включая космические исследования
- на основе современных информационных технологий морских исследований и мониторинга, создание «Межгосударственной региональной системы гидрометеорологии и мониторинга загрязнения окружающей среды на шельфе Каспийского моря»
- внедрение усовершенствованных наиболее безопасных методов добычи нефти в море
- оценка возможного ущерба рыбному хозяйству
- реализация компенсационных мероприятий по утилизации нефтегазового оборудования на шельфе
- создание отдельной службы по контролю «Транс-Каспийского трубопровода»
- отдельного внимания, требует утилизация брошенных кораблей и отходов в трансграничных водах и международных портах
- пересчет, постановка на баланс, реконсервация заброшенных скважин в бассейне Каспия
- все вышеперечисленные вопросы, требуют незамедлительного рассмотрения и решения.

Есть предположение, что если в скором времени, в законодательстве пяти прикаспийских стран, при освоении шельфовых месторождений не будут созданы, специальные природоохранные зоны и мероприятия, то в бассейне Каспийского моря, в дальнейшем ожидается неминуемая техногенная катастрофа.

Опираясь на "Конвенцию Организации Объединенных Наций по морскому праву" (UNCLOS) (заключённой в г. Монтего-Бее 10.12.1982) (с изм. от 23.07.1994), где Конвенция по морскому праву 1982г. была основана на ряде принципов, к которым относится; «**Принцип защиты и сохранения морской среды**».

Учитывая Международный опыт, и опираясь на Законодательные акты «Прикаспийских Государств», к примеру; в г. Тегеране 4 ноября 2003 года была **ратифицирована Рамочная конвенция по защите морской среды Каспийского моря**».

10 января 2002 годв, в Российской Федерации был введен **Федеральный закон; «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ требования в области охраны окружающей среды (далее также – природоохранные требования), правила обеспечения промышленной безопасности для опасных производственных объектов нефтяной и газовой отраслей, промышленности, норм и нормативов, и другой нормативно-технической документации**».

30 мая 2020 г. в Республике Казахстан, был введен новый Экологический Кодекс Республики Казахстан (с изменениями и дополнениями по состоянию на 26.12.2019 г.) Закон РК от 26.11.19 г. № 273-VI (вводятся в действие с 30 мая 2020 г.) (раздел 5), **«Международные нормы и национальное законодательство по предотвращению, сокращению и сохранению под контролем загрязнения морской среды**».

С учетом вышеизложенных примеров Законодательных Актов, в целях обеспечения энергетической и экологической безопасности, участники стран прикаспийских государств должны не только углубить сотрудничество в энергетической и транспортной сферах, путем развития региональных и международных транспортных коридоров, но и расширять сотрудничество в сфере природоохранных мероприятий в области экологической и техносферной безопасности направленных на сохранение бассейна Каспийского моря.

Учитывая скорость увеличения влияния антропогенной нагрузки, приводящий к деградации и глобальным экологическим катастрофам в «уникальном бассейне Каспийского моря», есть предложение ввести специальность **«Техносферной безопасности на шельфе»** для сохранения уникального бассейна Каспийского моря.

Требуются проводить совместные международные исследования средствами дистанционного зондирования, ведением единого международного мониторинга трансграничных вод бассейна Каспийского моря, что предоставит возможность, путем космических снимков точно определять нефтяные загрязнения.

Заключение

Целью работы является анализ антропогенного воздействия и экологического состояния бассейна Каспийского моря, на примере казахстанского сектора Каспийского моря

На основании результатов исследований на примере Казахстанского сектора Каспийского моря, несмотря на введенные Законодательные акты на примере пяти стран прикаспийских Государств, Республики Казахстан и Российской Федерации, в бассейне Каспийского моря происходят постоянное антропогенное воздействие предприятий нефтегазового и химического комплекса, в связи с чем, есть предложение по созданию **«международной базы экологического реагирования на разливы нефти в Каспийском море»**, также требуется пересмотр законодательных актов и «нововведение природоохранных мер как, введение новой специальности **«Техносферной безопасность на шельфе»** для защиты бассейна Каспийского моря от антропогенного воздействия.

Добывая углеводороды и осваивая миллиардные проекты, вопрос об обеспечением экологической и техносферной безопасности в бассейне Каспийского моря остается открытым для всех пяти прикаспийских Государств; Республики Казахстан, Российской Федерации, Азербайджана, Туркменистана, Ирана.

В заключение отметим, что ежегодно в законодательствах стран прикаспийских Государств происходят изменения, но в настоящий момент в связи с началом экологической

катастрофы и деградацией в бассейне Каспийского моря требуются введение новых Законов о на шельфе, что ознаменуется не только ужесточением мер, введением штрафных санкций применяемых к нарушителям экологической безопасности на шельфе, но и поможет сохранить и восстановить бесценный бассейн Каспийского моря».

Список литературы

1. Диаров М.Д., Курочкина Л.Я., Шабанова Л.В., Гиладжов Е.Г., Ергалиев Т.Ж. Экология и нефтегазовый комплекс. Том 6. Экологическое состояние и мониторинг северо-восточной части побережья Каспийского моря. [Текст] / Алматы: Арыс, 2004. – 276 с.
2. О.Ю. Лаврова, А.Г. Костяной, С.А. Лебедев, М.И. Митягина, А.И. Гинзбург, Н.А. Шеремет. Комплексный спутниковый мониторинг морей России / О.Ю. Лаврова, А.Г. Костяной, С.А. Лебедев, М.И. Митягина, А.И. Гинзбург, Н.А. Шеремет [Текст] /: М.: ИКИ РАН, 2011. — 480 с.
3. Под редакцией академика В. Г. Бондура Аэрокосмический мониторинг объектов нефтегазового комплекса. [Текст] /: Под редакцией академика В. Г. Бондура – М.: Научный мир, 2012. 558 с.: ил. + 52 с. цв. ил. ISBN 978-5-91522-316-4
4. М Кесельман Г.С., Махмудбеков Э.А. Защита окружающей среды при добыче, транспорте и хранении нефти и газа [Текст] /: Кесельман Г.С., Махмудбеков Э.А. Недра, 1981, — 256 с., табл. — 50, ил. — 73.

РАЗВИТИЕ БЕРЕГОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ ДО 2050 Г. В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ.

DEVELOPMENT OF THE COASTAL INFRASTRUCTURE OF THE NORTHERN SEA ROUTE UNTIL 2050 IN CONDITIONS OF CLIMATE CHANGE

Бадина Светлана Вадимовна^{1,2}, Панкратов Алексей Алексеевич¹

¹ *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова*

² *Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Москва*

Badina Svetlana Vadimovna^{1,2}, Pankratov Alexey Alekseevich¹

¹ *Lomonosov Moscow State University*

² *Plekhanov Russian University of Economics*

Северный морской путь является одним из исторических транспортных коридоров России, определенным на федеральном уровне в качестве «исторически сложившейся национальной единой транспортной коммуникации России в Арктике», географически он представляет собой кратчайший морской путь между Европейской частью России и Дальним Востоком [Смирнова и др., 2016; Шумаев и др., 2016].

На протяжении разных исторических этапов развития России Северный морской путь в научном и управленческом сообществах рассматривается как стратегически значимая транспортная магистраль России, комплексное социально-экономическое развитие которой обеспечит значительный вклад в развитие экономики страны, будет способствовать выходу России на новый уровень международной экономической и геополитической конкурентоспособности [Селин и Башмакова, 2010].

В то же время, несмотря на постоянно существующий интерес к Северному морскому пути и позиционирование его с точки зрения нереализованного драйвера экономического роста, целевые акценты, определяющие направления его развития, а также его ключевые экономические и политические функции, в значительной степени варьируются [Мусаев и др., 2020]. В начале 2022 года ключевым фактором риска функционирования Северного морского пути и достижения целевых показателей грузооборота является ухудшение геополитической обстановки. С другой стороны, в складывающихся условиях Северный морской путь может стать единственным коридором товарообмена со странами Азиатско-Тихоокеанского региона, а также его роль во внутрироссийских перевозках, вероятно, может возрасти [Бадина и Панкратов, 2022].

В структуре Комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года (далее – Комплексный план) утвержден отдельный федеральный проект, направленный на развитие инфраструктуры Северного морского пути. Ключевой задачей указанного проекта является увеличение грузопотока по Северному морскому пути до 80 млн тонн к 2024 году (ср. – 34,85 млн тонн в 2021 г.). Достижение поставленной цели планируется за счет значительного увеличения объема перевозок по Северному морскому пути, главным образом – сырьевых товаров, произведенных на территориях, прилегающих к акватории Северного Ледовитого океана. В августе 2022 года был принят обновленный План развития Северного морского пути на период до 2035 года.

Целевой индикатор объема грузового потока к 2030 год в нем установлен в размере 150 млн тонн, а к 2035 г. – 200 млн тонн.

Достижение прогнозируемых объемов грузопотока планируется за счет развития следующих крупных сырьевых центров: Восток Ойл и Новый порт (добыча углеводородного сырья), Ямал СПГ Арктик СПГ-1,2 (сжиженный природный газ), Обский газохимический комплекс (производство аммиака и водорода), Норильский никель и Баимское месторождение (цветная металлургия), Сырадасайское месторождение (уголь) и др., а также существенного увеличения объемов транзита, что в текущих условиях представляется сложно достижимым.

Реализация этих и других крупных инвестиционных проектов предполагает соответствующее развитие береговой инфраструктуры: завершение до 2026 г. строительства терминала СПГ и СГК «Утренний» в порту Сабетта и реконструкция подходного канала к нему, строительство железнодорожного Северного широтного хода и подходов к нему, новой железнодорожной линии необщего пользования Бованенково – Сабетта, модернизация портов Тикси и Певек, строительство морского нефтяного терминала в бухте Север и др.

Реализация инфраструктурных проектов помимо выраженных экономических приоритетов содержит и политические цели в части достижения стратегического положения России в Арктической зоне и обеспечения национальной безопасности страны. Развитие Северного морского пути в полной мере соответствует ключевым положениям Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года, в которой территория Арктической зоны России отнесена к геостратегическим территориям Российской Федерации, а также приоритетным направлениям Стратегии национальной безопасности России.

Запланированные проекты будут способствовать пространственному развитию территорий, прилегающих к акватории северных морей России, повышению российского присутствия в арктическом регионе, укреплению сложившейся сети расселения и транспортных коммуникаций, препятствовать миграционному оттоку местного населения, процессам сокращения его численности [Бадина и др., 2020].

Вместе с тем при планировании развития Северного морского пути ключевое внимание уделяется макроэкономическим и геополитическим факторам, а природно-климатические факторы остаются недостаточно проработанными: их рассматривают поверхностно и преимущественно в позитивном ключе (облегчение ледовых условий вследствие потепления климата [Михайличенко, 2020] и др.). Однако в условиях в целом весьма высокой неопределенности прогнозируется множество негативных последствий климатических изменений, ключевым из которых можно считать активацию опасных природных процессов и явлений в акватории и береговой зоне Северного морского пути. При этом, согласно существующим климатическим прогнозам, наиболее интенсивные темпы климатических изменений ожидаются именно в центральном и восточном секторах Российской Арктики, то есть именно в пределах рассматриваемой территории.

Согласно проведенным авторами оценкам, совокупный объем инвестиций в береговую инфраструктуру Северного морского пути до 2024-2030 гг. составит свыше 1,2 трлн рублей в ценах 2021 года. Общая стоимость будущей транспортной инфраструктуры превысит 0,5 трлн рублей в ценах 2021 года. Из них порядка 370 млрд рублей придется на территорию Ямало-Ненецкого автономного округа, 160 млрд рублей – на арктические территории Красноярского края. Полученные данные о будущей стоимости зданий и сооружений транспортной инфраструктуры на территории, прилегающей к акватории Северного морского пути и формирующей его грузовую базу, могут быть интегрированы с физико-географическими

прогнозами (прогнозами климатических изменений, изменений мерзлотных условий, прогнозами стихийных бедствий и пр.) в целях дальнейшей оценки величин вероятных ущербов и рисков.

Благодарность

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-77-00047, <https://rscf.ru/project/21-77-00047>

Список литературы

1. *Бадина С.В., Панкратов А.А.* Реализация крупных инфраструктурных проектов на территории, прилегающей к акватории Северного морского пути, в контексте климатических изменений // *ИнтерКарто. ИнтерГИС.* – 2022. – Т. 28 (в печати).
2. *Бадина С.В., Панкратов А.А., Янков К.В.* Проблемы транспортной доступности изолированных населенных пунктов Европейского сектора Арктической зоны России // *ИнтерКарто. ИнтерГИС.* – 2020. – Т. 26. – № 1. – С. 305–318.
3. *Михайличенко Д.* Трансполярный морской путь: неопределенность или неизбежность? *GoArctic*, 2020. URL: <https://goarctic.ru/work/transpolyarnyy-morskoy-put-neopredelennost-ili-neizbezhnost/> (дата обращения: 22.09.2022).
4. *Мусаев Р.А., Астапов К.Л., Панкратов А.А.* Роль кластерной политики в модернизации российской экономики // *Проблемы теории и практики управления.* – 2020. – № 10. – С. 101–119.
5. *Селин В.С., Башмакова Е.П.* Значение северных и арктических регионов в новых геоэкономических условиях развития России // *Регион: Экономика и Социология.* – 2010. – № 3. – С. 23–39.
6. *Смирнова О.О., Липина С.А., Кудряшова Е.В., Крейденко Т.Ф., Богданова Ю.Н.* Формирование опорных зон в Арктике: методология и практика // *Арктика и Север.* – 2016. – № 25. – С. 148–157.
7. *Шумаев В.А., Манушина А.П., Владимиров А.П.* Развитие Арктики, логистики, транспорта и инфраструктуры // *Экономика и предпринимательство.* – 2016. – № 5 (70). – С. 966–969.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА АРКТИЧЕСКОЙ НАВИГАЦИИ В ЛЕДОВЫХ ВОДАХ

INFORMATION SYSTEM OF ARCTIC NAVIGATION IN ICE WATERS

Буторина Елена Геннадьевна¹, Абрамов Валерий Михайлович²¹ Государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург² Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург**Butorina Elena Gennadievna¹, Abramov Valery Mikhailovich²**¹ Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint-Petersburg² Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg**Введение**

В рамках проекта «Ямал СПГ» построен порт Сабетта [1] с целью поддержание судоходства по СМП (Северный морской путь) [2] в любое время года и транспортировки сжиженного природного газа, который на данный момент и ближайший период времени особенно важен в потребности мировой энергетики по причине ряда превосходств по сравнению с другими видами топлива и соответственно увеличивающейся потребностью в нем. Арктическая навигация в окрестностях порта осуществляется круглогодично, а свободный ото льда период начинается с июля и длится по октябрь [3]. С ноября по июнь в порт Сабетта осуществляют заходы суда, которые соответствуют критериям допуска в акваторию СМП. С целью транспортировки сжиженного природного газа разработаны уникальные танкеры-газовозы класса «Yamalmax». Данные суда могут совершать доставку сжиженного природного газа прямо из арктического порта Сабетта в Китай по СМП, даже без сопровождения ледокола. Важным аспектом морехозяйственной деятельности порта Сабетта в условиях СМП является наличие геоинформационной поддержки в интересах различных игроков [4, 5] с учетом необходимости управления природными рисками [6], включая черный углерод [7]. В настоящее время подобная геоинформационная поддержка для порта Сабетта только начинает разрабатываться. Ниже рассматриваются результаты разработки макета информационной системы геоинформационного обеспечения морехозяйственной деятельности арктического порта Сабетта на основе использования конструктора Wix [8].

Данные и методы

Макет информационной системы модульного типа для морского порта Сабетта разработан с помощью открытых источников данных. В качестве модулей использованы открытые геоинформационные платформы, такие как, Earth <https://earth.nullschool.net/ru/> и MarineTraffic <https://www.marinetraffic.com/en/ais/home/centerx:144.4/centery:71.1/zoom:5>. При создании макета использован открытый онлайн конструктор сайтов Wix [8].

Результаты

Разработанный макет позволяет различным игрокам просматривать актуализированную информацию о порте Сабетта, наблюдать в онлайн режиме за судами, а также природными

рисками в его районе и на примыкающих судоходных трассах. Генеральный вид макета приведен на рисунке 1.

На главной странице макета «Общие сведения» находится краткая актуализированная информация о порте Сабетта, карта с его расположением и видеоматериалы о нём. При переходе в раздел «Деятельность порта» доступна информация о функционировании порта.



Рисунок 1. Генеральный вид макета информационной системы геоинформационной поддержки для порта Сабетта

В разделе «Геоинформационные платформы» находится информация об источниках геоинформационных данных и кнопки-ссылки для перехода к соответствующему модулю макета. Например, с помощью модуля MarineTraffic (рисунок 2) можно в режиме онлайн наблюдать за портом в реальном времени, изучить его трафик и погоду.

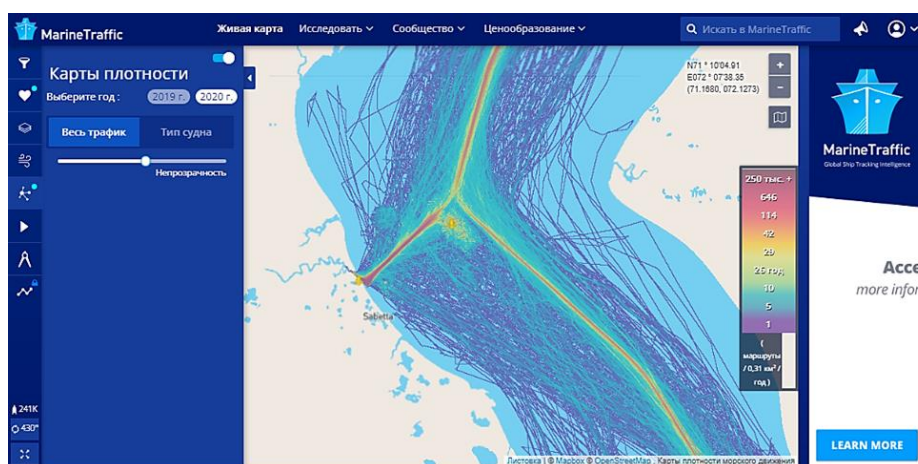


Рисунок 2. Модуль MarineTraffic для порта Сабетта

С помощью модуля Earth (рисунок 3) пользователи могут отслеживать в режиме онлайн с помощью удобного интерфейса различные факторы природных рисков в порту и на примыкающих к нему судоходных трассах СМП.

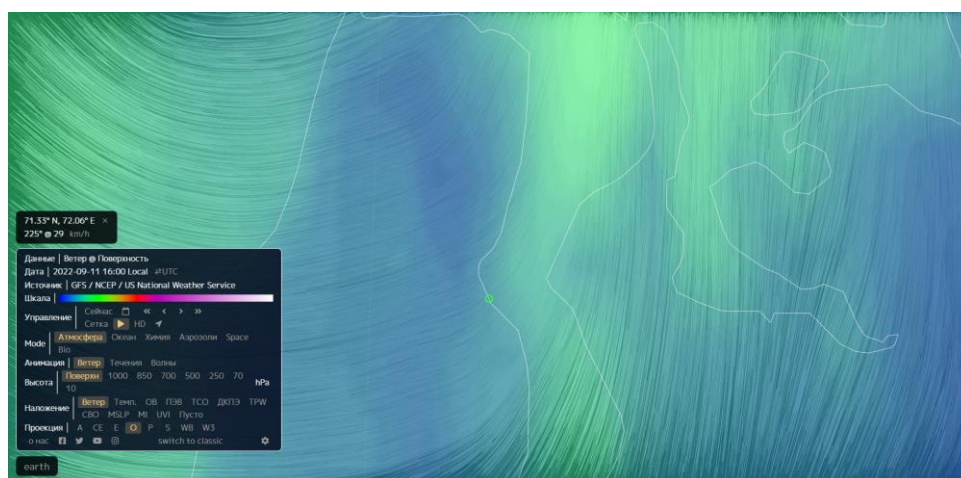


Рисунок 3. Модуль Earth для порта Сабетта

Результаты исследования обладают научной новизной, теоретической и практической значимостью для лиц, занимающихся морехозяйственной деятельностью [9, 10], а также могут быть использованы при формировании и реализации магистерских программ [11, 12].

Исследования выполнены в Российском государственном гидрометеорологическом университете в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект FSZU-2020-0009.

Список литературы

1. Электронный ресурс: «АДМИНИСТРАЦИЯ МОРСКИХ ПОРТОВ ЗАПАДНОЙ АРКТИКИ - Морской порт Сабетта» <http://www.mapm.ru/Port/Sabetta>
2. А. М. Спирин, Д. А. Чачин, А. А. Смирнов (Текст): «Проблемы Северного морского пути», 2015 [http://www.ibrae.ac.ru/docs/3\(19\)/088_095_Arktica_3\(19\)_09_2015.pdf](http://www.ibrae.ac.ru/docs/3(19)/088_095_Arktica_3(19)_09_2015.pdf)
3. Егорова Е.С., Филиппов Н.А., Алексеева Т.А., Сероветников С.С., Соколов В.Т. (Текст): «Судовые наблюдения за ледяным покровом Арктического бассейна в летний сезон 2021 года», 2021 <https://russian-arctic.info/info/articles/oceanology/sudovye-nablyudeniya-zaledyanym-pokrovom-arkticheskogo-basseyna-v-letniy-sezon-2021-goda/>
4. А.П. Карпик (Текст): «МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ», 2004 <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-metodologicheskie-i-tehnologicheskie-osnovy-geoinformacionnogo-obespecheniya-te.pdf>
5. Istomin E.P., Burlov V.G., Abramov V.M., Sokolov A.G., Bidenko S.I. Decision support model within environmental economics // 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019. Conference proceedings. ENVIRONMENTAL ECONOMICS. Sophia, 2019. С. 139-146.
6. Карлин Л.Н., Абрамов В.М. Управление энвиронментальными и экологическими рисками. Санкт-Петербург, РГГМУ, 2013. 332 с.
7. Abramov V.M., Gogoberidze G.G., Popov N.N., Isaev A.V., Berboushi S.V. Method of

- assessment for black carbon random fields within Russia for climate risk management in the Arctic // 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015. Sofia, 2015. С. 953-960.
8. Электронный ресурс (Текст): «Конструктор сайтов Wix», 2019 <https://unetway.com/blog/wix-website-builder>
 9. Shilin M.B., Abramov V.M., Zhigulsky V.A., Ershova A.A. Geo-ecological support of optimization for the route of the nordstream-2 marine gas pipeline // 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018. Conference proceedings. 2018. С. 423-430.
 10. Lukyanov S.V., Abramov V.M., Averkiev A.S., Tatarenko Y.A., Frolova N.S., Shevchuk O.I., Rybalko A.E. Innovative technologies for geo information management while hydraulic structures survey. В сборнике: Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019: Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020. 33, Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020. 2019. С. 7112-7122.
 11. Абрамов В.М., Карлин Л.Н., Скобликова А.Л. Гармонизация российских и европейских магистерских программ в области экологического туризма в рамках болонского процесса // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2006. № 3. С. 172-183.
 12. Popov N.N., Abramov V.M., Istomin E.P., Tatarnikova T.M., Baykov E.A., Zavgorodniy V.N. Development of digital transformation technologies for university practical learning in industrial area / В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Сер. "International Scientific Conference "Digital Transformation on Manufacturing, Infrastructure and Service"" 2020. С. 012013.

ГЕОХИМИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ПРИМОРСКОГО РАЙОНА АРХАНГЕЛЬСКОЙ
ОБЛАСТИ В КОНЦЕ ЗИМНЕГО ПЕРИОДА

GEOCHEMISTRY OF THE SNOW COVER IN THE PRIMORSKY DISTRICT OF THE
ARKHANGELSK REGION AT THE END OF THE WINTER PERIOD

**Шевченко Владимир Петрович¹, Стародымова Дина Петровна¹, Белоруков Сергей
Клавдиевич¹, Коробов Владимир Борисович¹, Котова Екатерина Ильинична¹, Лохов
Алексей Сергеевич¹, Чульцова Анна Леонидовна¹, Чупаков Артём Васильевич²,
Яковлев Александр Евгеньевич¹**

¹*Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, Москва*

³*Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени
академика Н.П. Лаверова УрО РАН, Архангельск*

**Shevchenko Vladimir Petrovich¹, Starodymova Dina Petrovna¹, Belorukov Sergey
Klavdievich¹, Korobov Vladimir Borisovich¹, Kotova Ekaterina I'lichna¹, Lokhov Alexey
Sergeevich¹, Chultsova Anna Leonidovna¹, Chupakov Artem Vasilevich², Yakovlev Alexander
Evgenievich¹**

¹*Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow*

²*N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, the Ural Branch of the Russian
Academy of Sciences, Arkhangelsk*

Введение

Снежный покров является природным архивом вещества, поступающего из атмосферы [Василенко и др., 1985; Касимов и др., 2012; Таловская и др., 2014; Шевченко и др., 2015; Василевич и др., 2018; Захарченко и др., 2020]. Снег сохраняется на поверхности почвы или льда и таким образом фиксирует атмосферные выпадения за снежный период года.

Регулярные исследования геохимии снежного покрова Приморского района Архангельской области были начаты в феврале 2016 г. в рамках проекта «Система Белого моря», выполнявшегося под руководством академика А.П. Лисицына [Лисицын, 2010; Шевченко и др., 2012, 2022; Стародымова и др., 2018; Evangeliou et al., 2018]. Геохимическими исследованиями снега в Приморском районе занимаются также коллеги из ФИЦКИА РАН [Зыкова и др., 2020]. Целью данной работы было обобщение результатов изучения геохимических особенностей снежного покрова на фоновых участках, на окраинах г. Архангельска и г. Новодвинска.

Материалы и методы

Изучение геохимических особенностей снежного покрова проводили в конце зимнего сезона в феврале–марте 2016–2022 гг. Схема расположения районов отбора проб показана на рис. 1. Снег отбирали пластмассовой лопатой из шурфа от поверхности снега до границы снег–лёд или снег–замёрзшая почва и упаковывали в полиэтиленовые мешки, предварительно промытые дистиллированной водой.

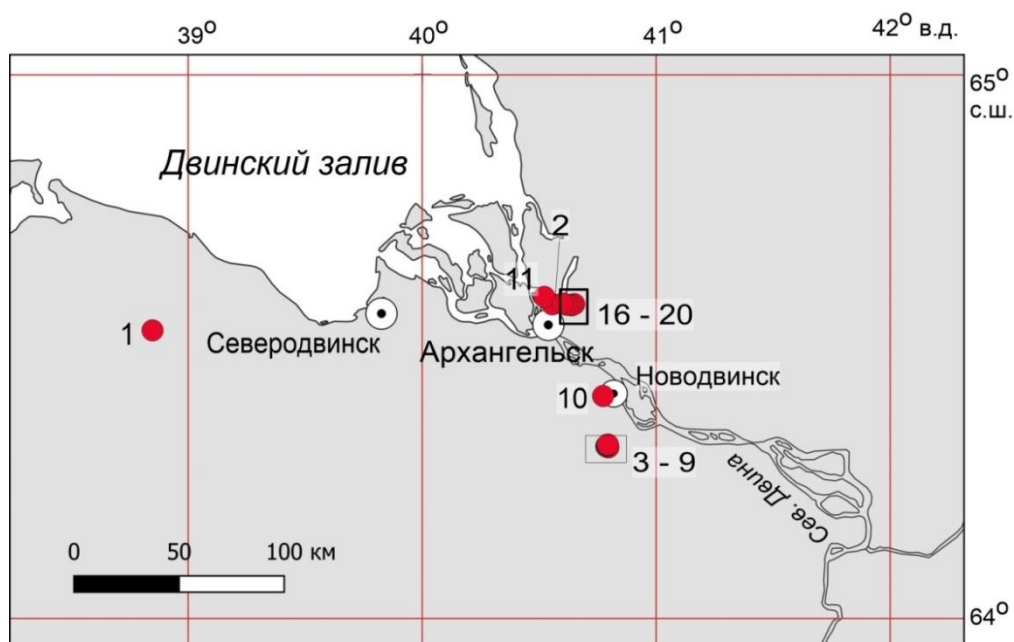


Рис. 1. Схема расположения районов отбора проб снега: 1 – озеро Пикалёво; 2 и 11 – Соломбала; 3–9 – озеро Заднее; 10 – окраина г. Новодвинска; 16–20 – окрестности Архангельской ТЭЦ.

В лаборатории в г. Архангельске снег растапливали при комнатной температуре в пластиковых ведрах, закрытых крышками, определяли рН и минерализацию с помощью портативного многопараметрического измерителя WTW-3420 и фильтровали через предварительно взвешенные лавсановые ядерные фильтры (г. Дубна) диаметром 47 мм с диаметром пор 0,45 мкм. После фильтрации фильтры перекладывали в пластиковые чашки Петри, высушивали при температуре 55–60°C и повторно взвешивали. Нерастворимые частицы снега на аликвотах фильтров исследовали методом сканирующей электронной микроскопии на микроскопе VEGA 3 (Tescan). Более подробно методика исследования нерастворимых частиц описана в ряде работ [Шевченко и др., 2012, 2022]. Концентрации растворённых кремния и форм фосфора и азота определяли в фильтрате по методикам, изложенным в [Современные ..., 1992; РД 52.10.243–92].

Результаты и их обсуждение

Для снежного покрова фоновой точки на льду оз. Пикалёво характерны самые низкие для района наших исследований концентрации нерастворимых частиц. Во время наших экспедиций в 2016–2022 гг. они были в интервале от 0,9 до 2,93 мг/л, в среднем составляя 1,31 мг/л при стандартном отклонении 0,72 мг/л (n=7 проб). Эти значения находятся на фоновом уровне как для Арктики, так и для водосбора Белого моря [Шевченко и др., 2012, 2022]. Наиболее высокие значения концентрации рассеянного осадочного вещества были отмечены на льду оз. Заднего вблизи шоссе Архангельск – Вологда. Например, в точке № 4, расположенной на расстоянии 75 м от шоссе, во время экспедиций 2017–2022 гг. концентрации взвеси были от 2,53 до 13,08 мг/л, в среднем составляя 5,09 мг/л при стандартном отклонении 4,01 мг/л (n=6).

В рассеянном осадочном веществе снежного покрова на оз. Пикалёво в основном преобладают литогенные частицы размером менее 10 мкм и биогенные частицы (створки диатомей, растительные волокна); частицы золы размером 2–5 мкм встречаются реже. В снежном покрове оз. Заднего на ближних к шоссе точках преобладали крупные (до 40 мкм)

минеральные зёрна, выдуваемые ветром с шоссе, где песок используется в качестве средства борьбы с гололедицей. По мере удаления от шоссе на льду этого озера возрастает доля биогенных и антропогенных (пепел и черный углерод [Quinn et al., 2011; Evangelidou et al., 2018]) частиц [Шевченко и др., 2022].

В начале марта 2022 г. значения рН в талой воде изученных проб варьировали от 5,5 до 10,06, в среднем составляя 7,24 при стандартном отклонении 1,4 (n = 16 проб). Минерализация в изученных пробах была в интервале от 7 до 105 мг/л, медианное значение равно 12,5 мг/л (n = 16 проб). Наиболее высокие значения рН (9,57, 9,6 и 10,06) и минерализации (92, 95 и 105 мг/л) были отмечены в пробах, отобранных на оз. Заднем, что, вероятно, связано с антигололёдной посыпкой дорог песчано-солевой смесью. Значимого закисления снежного покрова [Лозовик, Потапова, 2006] в пробах снега, отобранных в Приморском районе Архангельской области, отмечено не было.

В фильтрате талой снеговой воды в начале марта 2022 г. (n=16 проб) концентрации растворённого кремния варьировали от 1,3 до 509 мкг/л (медиана – 39,6 мкг/л), фосфатного фосфора – от 0,73 до 86 мкг/л (медиана – 5 мкг/л), нитритного азота – от 0,78 до 5,24 мкг/л (медиана – 1,84 мкг/л), нитратного азота – от 12,8 до 241 мкг/л (медиана – 142 мкг/л).

Сравнительно низкие концентрации растворённого кремния, фосфатного фосфора и нитратного азота в начале марта 2022 г., как и в начале марта 2021 г. [Шевченко и др., 2022] были отмечены в снежном покрове на оз. Пикалёво, а максимальные значения – на окраине Новодвинска, на оз. Заднем и вблизи Архангельской ТЭЦ. Концентрации растворённых биогенных элементов в большинстве изученных нами проб находятся на фоновых для севера Европейской территории России уровнях или незначительно их превышают [Лозовик, Потапова, 2006], что свидетельствует об отсутствии существенного загрязнения фосфором и азотом снежного покрова в Приморском районе.

Заключение

На основании проведённых в конце зимнего периода в 2016–2022 гг. исследований снежного покрова Приморского района Архангельской области показано, что концентрация рассеянного осадочного вещества находится на фоновом для Арктики уровне на льду озера Пикалёво и существенно выше вблизи автодорог и на окраинах городов Архангельской агломерации.

В большинстве изученных точек рН, минерализация снежного покрова и концентрации растворённых форм фосфора и азота в период исследований были на фоновых для севера Европейской территории России уровнях.

Благодарности

Авторы благодарны А.Г. Боеву за помощь в выполнении сканирующей электронной микроскопиию

Интерпретация полученных данных выполнена при поддержке РНФ (проект № 22-77-10074).

Список литературы

1. *Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д.* Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 181 с.
2. *Василевич М.И., Василевич Р.С., Шамрикова Е.В.* Поступление загрязняющих веществ с зимними атмосферными осадками на территорию Воркутинской агломерации // Водные ресурсы. – 2018. – Т. 45. – № 3. – С. 244–254.

3. *Захарченко А.В., Тигеев А.А., Пасько О.А. и др.* Региональный и локальный геохимические переносы веществ, депонированные в снеговом покрове // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2020. – № 6. – С. 41–53.
4. *Зыкова Е.Н., Яковлев Е.Ю., Зыков С.Б. и др.* Тяжелые металлы в пробах снега и грунтовых водах в окрестностях Северодвинского промышленного района // Вестник геонаук. – 2020. – № 6. – С. 20–26.
5. *Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Власов Д.В., Терская Е.В.* Геохимия снежного покрова в Восточном округе Москвы // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2012. – № 4. – С. 14–24.
6. *Лисицын А.П.* Процессы в водосборе Белого моря: подготовка, транспортировка и отложение осадочного материала, потоки вещества, концепция «живого водосбора» // Система Белого моря. Т. I. Природная среда водосбора Белого моря. М.: Научный мир, 2010. – С. 353–445.
7. *Лозовик П.А., Потапова И.Ю.* Поступление химических веществ с атмосферными осадками на территорию Карелии // Водные ресурсы. – 2006. – Т. 33. – № 1. – С. 111–118.
8. РД 52.10.243–92. Руководство по химическому анализу морских вод. СПб: Гидрометеиздат, 1993. – 264 с.
9. Современные методы гидрохимических исследований океана. М.: ИОАН, 1992. 199 с.
10. *Стародымова Д.П., Шевченко В.П., Белоруков С.К. и др.* Геохимия рассеянного осадочного вещества снега в Приморском районе Архангельской области // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 2. – С. 140–145.
11. *Таловская А.В., Симоненков Д.В., Филимоненко Е.А. и др.* Исследование состава пылевого аэрозоля на фоновой и городской станциях наблюдения в Томском регионе зимой 2012/13 г. // Оптика атмосферы и океана. – 2014. – Т. 27. – № 11. – С. 999–1005.
12. *Шевченко В.П., Алиев Р.А., Бобров В.А. и др.* Эоловый материал в природных архивах // Система Белого моря. Т. II. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера. М.: Научный мир, 2012. – С. 70–107.
13. *Шевченко В.П., Воробьев С.Н., Кирпотин С.Н. и др.* Исследование нерастворимых частиц в снежном покрове Западной Сибири на профиле от Томска до эстуария Оби // Оптика атмосферы и океана. – 2015. – Т. 28. – № 6. – С. 499–504.
14. *Шевченко В.П., Стародымова Д.П., Белоруков С.К. и др.* Геохимия снежного покрова Приморского района Архангельской области в марте 2021 г. // LXXV Герценовские чтения. География: развитие науки и образования. Международная научно-практическая конференция 20–23 апреля 2022 года (к 225-летию Герценовского университета): сборник научных статей в 2 т. Т. II / Отв. ред. Д.А. Субетто, А.Н. Паранина. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2022. – С.141–145.
15. *Evangelidou N., Shevchenko V.P., Yttri K.E. et al.* Origin of elemental carbon in snow from western Siberia and northwestern European Russia during winter–spring 2014, 2015 and 2016 // Atmospheric Chemistry and Physics. – 2018. – V. 18. – P. 963–977.
16. *Quinn P.K., Stohl A., Arneth A. et al.* The Impact of Black Carbon on Arctic Climate. Oslo: Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), 2011. 72 p.

УДК 504.74.052

Рубрика 34.33.33

ДИНАМИКА ИСЧЕЗАЮЩИХ ВИДОВ МОРСКИХ И ПРЕСНОВОДНЫХ РЫБ

DYNAMICS OF ENDANGERED MARINE AND FRESHWATER FISH SPECIES

Смирнова Елизавета Андреевна

Российский государственный гидрометеорологический университет

Smirnova Elizaveta Andreevna

Russian State Hydrometeorological University

Введение

На сегодняшний день одной из глобальных проблем человечества является уменьшение биоразнообразия. Мировой океан покрывает $\frac{3}{4}$ поверхности земли. Он неразрывно связывает все процессы, происходящие в мире, являясь источником жизни на планете. Его обитатели – это часть хрупкой экосистемы, которая сейчас претерпевает всевозможные изменения. Большую часть Мирового океана занимают рыбы. С развитием общества, антропогенные факторы наносят серьезный ущерб живым организмам. Происходит исчезновение все большего количества морских и пресноводных рыб.

Данные и методы

Данные были взяты с сайта IUCN и Красных книг некоторых регионов. Красный список видов, находящихся под угрозой исчезновения МСОП является наиболее полным в мире источником информации о состоянии глобального риска исчезновения видов животных, грибов и растений.

В списке МСОП больше всего видов, обитающих на территории США, затем идут Мексика, Индонезия, Австралия, Южно-Африканская Республика. Морская сфера все еще плохо освещена в Красном списке, включающем менее 15% оцененных видов. Все это говорит о том, что информация не совсем полная, и необходимо синтезировать региональные данные по каждой стране.

Для отдельных регионов были взяты данные из Красной книги России, которая содержит всю необходимую информацию о редчайших видах и мерах по их охране: в перечень входят особи, находящиеся под риском полного исчезновения.

В работе проводились теоретические методы исследования для получения наиболее общего представления об изучаемой теме. Информация была приведена к графическому виду, который наглядно показывает сложившуюся ситуацию, сделаны обобщающие выводы из множества источников. Исследовались временные особенности численности рыб, а также анализировались причины их исчезновения.

Результаты

Из 34 500 известных видов рыб (по состоянию на 4 января 2021 г.), 81 вид рыб вымер. Кроме того, неизвестное количество таксонов рыб считается утраченным или предположительно вымершим, поскольку, 13085 видов еще не нашли записи в списке

МСОП. Сумма описанных видов составляет 21 415, по уровню опасности рыб разделили на 8 классов (рис. 1), из которых неподверженных риску составляет 62%. [The IUCN Red list, 2021]

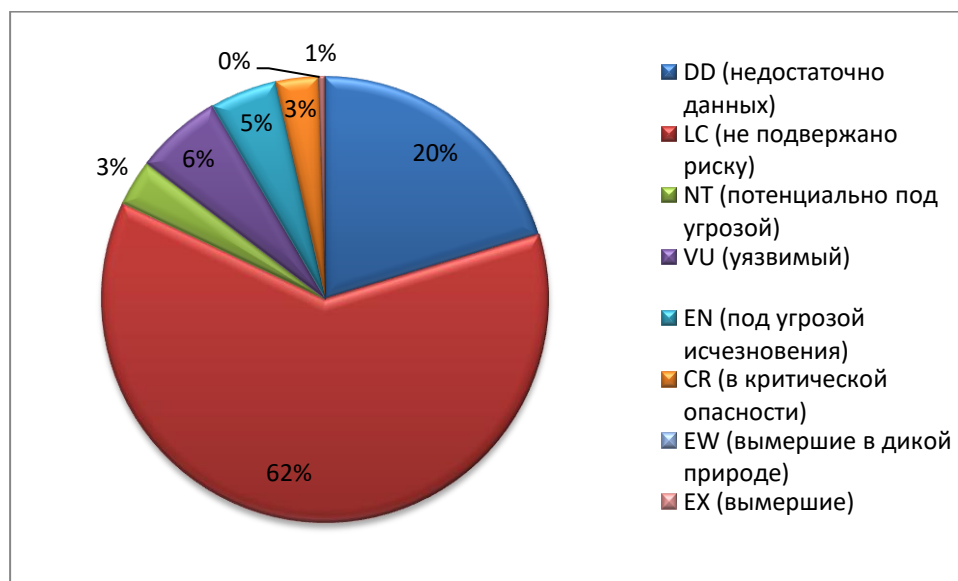


Рис 1. Количество рыб по уровню опасности МСОП на 2021 год.

За 2021-2022 гг. в МСОП были опубликованы списки с изменением статуса вида, которые могут изменяться по целому ряду причин (реальное улучшение или ухудшение статуса; доступная новая информация, которая не была известна на момент предыдущей оценки; таксономические изменения; исправления ошибок, допущенных в предыдущих оценках). Улучшение ситуации произошло с 14, ухудшение – с 32 видами, не считая рыб в категории с недостаточным количеством данных. Также (рис. 2) наглядно показывает изменение численности видов в категориях, находящихся под угрозой исчезновения. [The IUCN Red list, 2021]

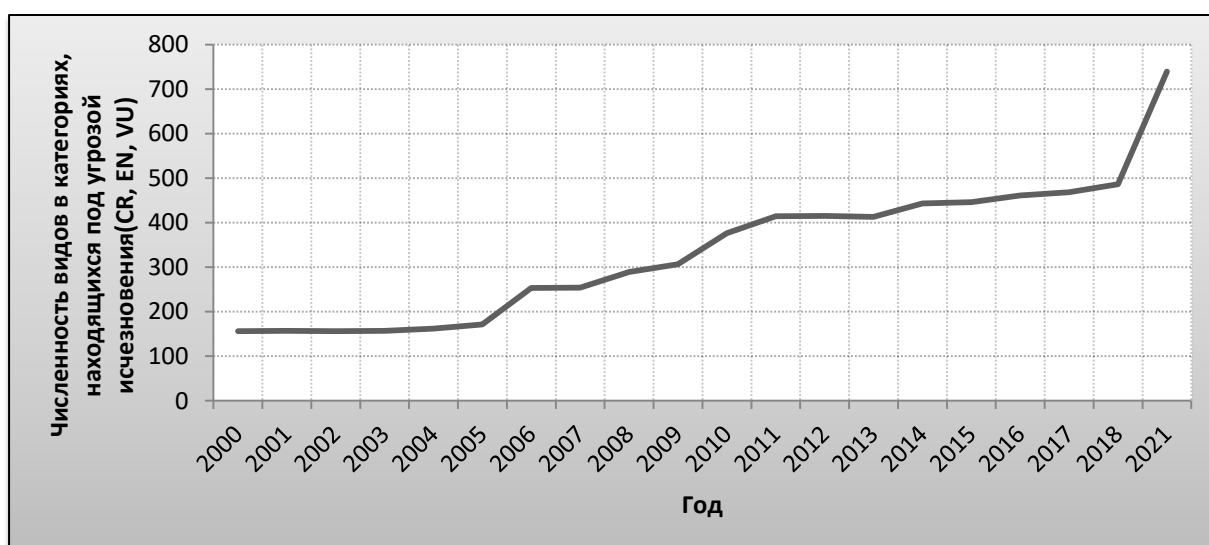


Рис 2. Изменения численности видов в категориях, находящихся под угрозой исчезновения (CR, EN, VU) с 1996 по 2022 год (версия Красного списка МСОП 2022-1) для основных таксономических групп.

По обновлению 2021 г. Красного списка МСОП Тихоокеанский голубой тунец (*Thunnus orientalis*) перешел из категории уязвимых в категорию находящихся под угрозой исчезновения из-за доступности новых данных и моделей оценки запасов. Этот вид сильно истощен и составляет менее 5% от его первоначальной биомассы. [Tuna species, 2021]

Одной из основных причин уменьшения численности рыб это интенсивное рыболовство. В разных регионах ситуация по вылову рыбы значительно отличается, по известным данным наибольший вылов приходится на страны Азии. По рыболовству в морских районах только Китай в среднем в 2010-2018 гг. вылавливал 15 млн. т. рыбы, вся Азия – 32 млн.т. Второе место по вылову занимает Северная и Южная Америка, далее идет Европа, Африка и Океания. Причем вылов рыб сокращается в странах Европы и Америки. В пятерку стран с самым высоким объемом продукции промышленного рыболовства выходит Китай, Индонезия, Перу, Индия, Россия.

Из основных статистических районов ФАО самая высокая доля запасов, вылавливаемых на уровне, не обеспечивающем биологическую устойчивость (62,5%), в 2017 году отмечалась в Средиземном и Черном морях, а на следующих местах по этому показателю находились юго-восточная часть Тихого океана (54,5%) и юго-западная часть Атлантического океана (53,3%). Самые низкие доли запасов, вылавливаемых на биологически неустойчивых уровнях (13–22%), отмечались в восточной оконечности центральной части Тихого океана, юго-западной части Тихого океана, северо-восточной части Тихого океана и западной оконечности центральной части Тихого океана. В остальных районах значение этого показателя в 2017 году составляло от 21 до 44%. [ФАО, 2020]

По данным Красной книги в России включено всего 46 видов рыб, из них одна имеет категорию вероятно исчезнувшей (Атлантический Осетр), 18 видов находятся под угрозой исчезновения, в основном это отряд осетрообразных, 15 видов сокращаются в численности, 8 видам присвоен статус редких, 3 вида не определены, восстанавливающихся видов нет. [Красная книга России, 2022]

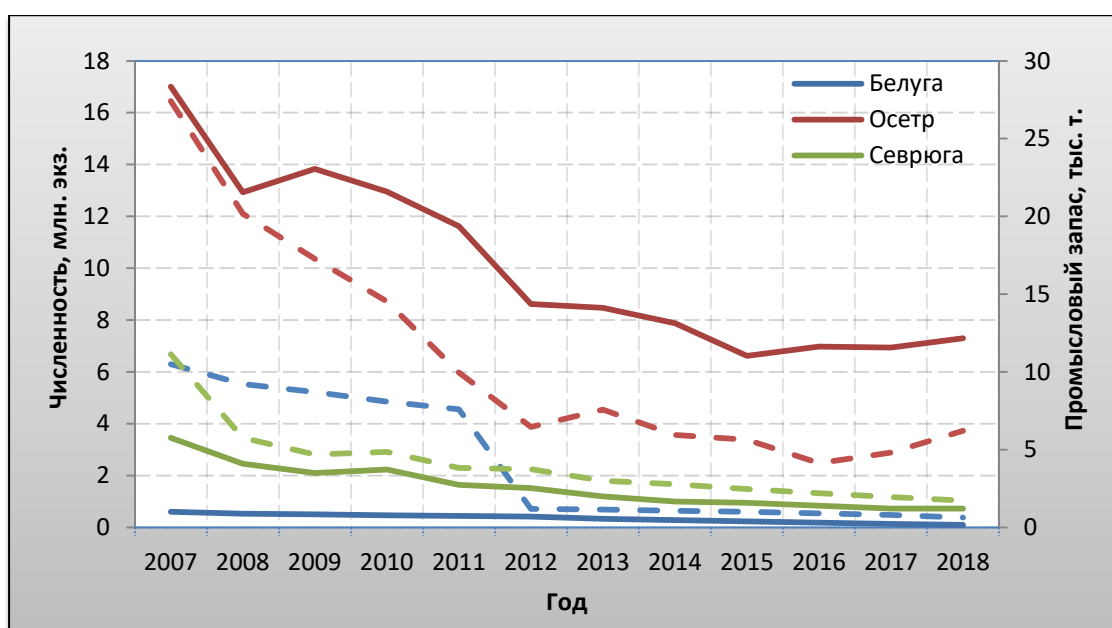


Рис 4. Численность (млн. экз.) и промысловый запас (тыс. т.) осетровых в зоне каспийского моря, прилегающей к РФ. [Построено по данным Власенко и др., 2020]

Как известно, запасы осетровых подвержены наиболее сильному воздействию. Промысловый запас сокращается вместе с численностью особей (рис. 4). Объем сброса загрязняющих сточных вод по бассейну Каспийского моря согласно данным Росводресурсов, сокращается с каждым годом, начиная с 1993 г. (12,1 млрд. м³) до 2019 г. (5,2 млрд. м³). Однако численность рыб неуклонно падает, что в свою очередь не зависит от загрязнения акватории. Причиной сокращения видов в большей мере заключается в перелове и строительстве плотин, которые ограничивают места обитания, не позволяя мигрировать осетровым в реки.

Заключение

Таким образом, резкое снижение численности многих видов рыб особенно усилилось во второй половине XX века, что вызвано комплексным воздействием антропогенных факторов. Наиболее катастрофически сократились популяции гигантских пресноводных рыб. Интенсивный вылов на протяжении многих лет спровоцировал резкое снижение численности и в некоторых случаях вымирание видов. Наибольшие промышленные выловы зарегистрированы в странах Азии. Особо остро стоит проблема браконьерства, которое развито в некоторых районах, таких как Каспийское море, где по некоторым данным несанкционированный вылов может превышать промышленный. Нарушение естественных путей нерестовых миграций в реках привело к сокращению численности полупроходных рыб (осетровые, лососевые, сельдевые) до критических уровней.

Кроме того, многие виды не имеют описания и не подвергаются подсчету, что также затрудняет общий анализ исчезающих рыб. Численность и промысловый запас непрерывно уменьшаются, и, в то же время, список видов, находящихся под угрозой исчезновения, непрерывно пополняется.

Список литературы

1. Власенко А. Д. и др. История и состояние запасов осетровых (Acipenseridae) в Каспийском бассейне. Вестник МГТУ. 2020. Т. 23, № 2. С. 105–114. DOI: 10.21443/1560-9278-2020-23-2-105-114
2. ФАО. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры // Меры по повышению устойчивости. Рим. – 2020. – С. 223.
3. <https://redbookrf.ru/>
4. <https://www.iucnredlist.org/>
5. <https://iucn.org/news/species/202109/tuna-species-recovering-despite-growing-pressures-marine-life-iucn-red-list>

УДК 574.64

Рубрика 87.26.00

ХЛОРООРГАНИЧЕСКИЕ ПЕСТИЦИДЫ В НЕКОТОРЫХ ПРОМЫСЛОВЫХ ВИДАХ РЫБ БЕРИНГОВА МОРЯ

ORGANOCHLORINE PESTICIDES IN SOME COMMERCIAL SPECIES OF FISH FROM THE BERING SEA

Метревели Вадим Евгеньевич, Миронова Екатерина Константиновна, Ржечицкая Ксения Евгеньевна, Беланов Максим Андреевич, Цыганков Василий Юрьевич

Дальневосточный федеральный университет, Институт Мирового океана, Владивосток

Metreveli Vadim Evgenievich, Mironova Ekaterina Konstantinovna, Rzhechitskaya Ksenia Evgenievna, Belanov Maksim Andreevich, Tsygankov Vasiliy Yurievich

Far Eastern Federal University, Institute of the World Ocean, Vladivostok

Введение

Рыбы Берингова моря являются важными промысловыми объектами. При этом они способны накапливать в своем теле различные поллютанты, например, хлорорганические пестициды (ХОП), которые широко применялись во всем мире до запрета Стокгольмской Конвенцией. В настоящее время, по разрешению ВОЗ, ХОП используют только развивающиеся страны, например Индия и Китай, для борьбы с переносчиками малярии. За счет своих физико-химических свойств, эти токсиканты способны переноситься на большие расстояния различными путями (атмосферный перенос, морские течения, биотранспорт и др.). Следовательно, требуется постоянный мониторинг окружающей среды, в том числе таких отдаленных регионов, как Берингово море.

В связи с этим, целью работы явилось исследование содержания хлорорганических пестицидов (ХОП) в органах рыб, населяющих материковый шельф и склон Берингова моря – малоглазого макруруса, черного палтуса и тихоокеанской трески.

Материалы и методы

Образцы для анализа выловлены летом 2020 года в акватории Берингова моря. Для исследования отобрано 26 особей макруруса малоглазого (*Albatrossia pectoralis*), 24 особи черного палтуса (*Reinhardtius hippoglossoides*) и 10 особей тихоокеанской трески (*Gadus macrocephalus*). Рыба вскрывалась керамическими инструментами, промывалась бидистиллированной водой, взвешивалась и упаковывалась в полиэтиленовые пакеты. До химического анализа образцы хранились в морозильной камере при температуре -20°C .

Липиды экстрагировали из гомогенатов (10–20 г), используя n-гексан, с последующим разрушением жировых компонентов концентрированной серной кислотой [Tsygankov, Boyarova, 2015].

Для приготовления стандартных растворов ХОП и ПХБ использовались стандартные образцы (Dr. Ehrenstorfer и AccuStandard) α -ГХЦГ, β -ГХЦГ, γ -ГХЦГ, ДДТ, ДДД, ДДЕ и смесь 28, 52, 155, 101, 118, 143, 153, 138, 180, 207 конгенеров, с установленными метрологическими характеристиками – содержание основного вещества 99,4–99,6 %, погрешность определения 0,4 %. Для хроматографии использовались рабочие стандартные растворы ХОП и ПХБ с

концентрацией 10 нг/мл, приготовленные путем разбавления стандартных растворов соответствующим объемом *n*-гексана. Основное определение массового содержания хлорорганических соединений в биоматериале проводили на газовом хромато-масс-спектрометре Shimadzu GC MS-QP 2010 Ultra. Подробные характеристики оборудования указаны в более ранней нашей работе [Tsygankov et al., 2018]

Статистический анализ результатов осуществлялся с помощью программного обеспечения IBM SPSS Statistics для ОС Windows 10. Достоверность данных оценивали с помощью двустороннего критерия Краскала-Уоллиса с уровнем значимости $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение

В малоглазом макроурусе диапазон ХОП (Σ ДДТ + Σ ГХЦГ) во всех органах варьировал в пределах 9–4091 нг/г липидов. Большую часть ХОП составлял ГХЦГ, наиболее часто представленный α -изомером с диапазоном от 0,1 до 122 нг/г липидов. ДДТ и его метаболиты обнаруживались фрагментарно, их диапазон составил от 7 до 4048 нг/г липидов. Наиболее определяемым метаболитом являлся *o,p'*-ДДЕ, концентрации которого варьировали во всех органах от 0,1 до 1279 нг/г липидов.

Наиболее часто встречающимися изомерами ГХЦГ в мышечной ткани были α -ГХЦГ и γ -ГХЦГ. Среди ДДТ и его метаболитов в мышцах был обнаружен только *o,p'*-ДДЕ. В печени ХОП представлены всеми изомерами ГХЦГ и метаболитами ДДТ. В половых продуктах самцов и самок обнаружены все изомеры ГХЦГ. Наиболее обнаруживаемым изомером в икре был α -ГХЦГ, в гонадах самцов - α -ГХЦГ и γ -ГХЦГ (рис. 1, 2).

В черном палтусе диапазон концентраций ХОП во всех органах варьировал в пределах 0,7–1676,0 нг/г липидов. Большую часть ХОП составляла группа ДДТ, наиболее часто определяемыми метаболитами *o,p'*-ДДЕ и *p,p'*-ДДЕ. Изомеры ГХЦГ были обнаружены во всех органах, их концентрация варьировала в диапазон 0,2–32 нг/г липидов. Наиболее определяемым среди этих соединений являлся γ -ГХЦГ.

Наиболее представленный изомер ГХЦГ в мышечной ткани – γ -ГХЦГ. Среди ДДТ и его метаболитов в мышцах обнаружены все исследуемые соединения. В печени ХОП представлены всеми изомерами ГХЦГ и метаболитами ДДТ. В этих органах не обнаружены α -ГХЦГ и *p,p'*-ДДТ (рис. 3, 4).

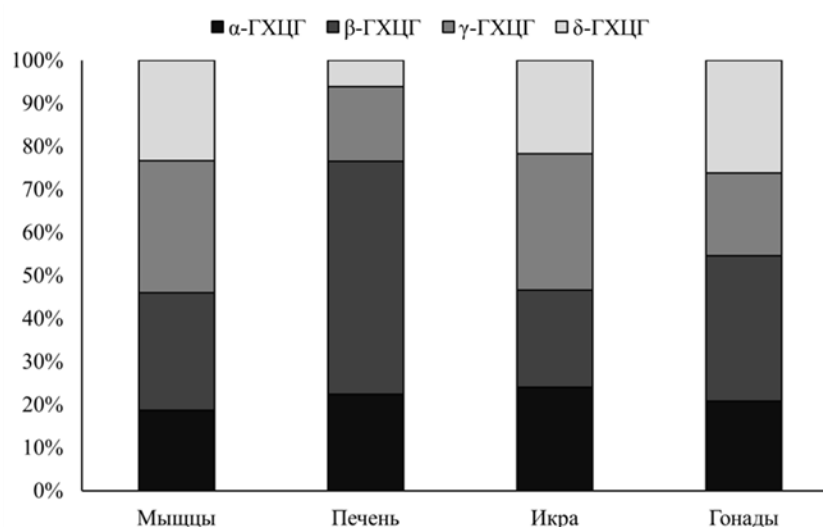


Рис. 1. Распределение изомеров ГХЦГ в органах малоглазого макроуруса

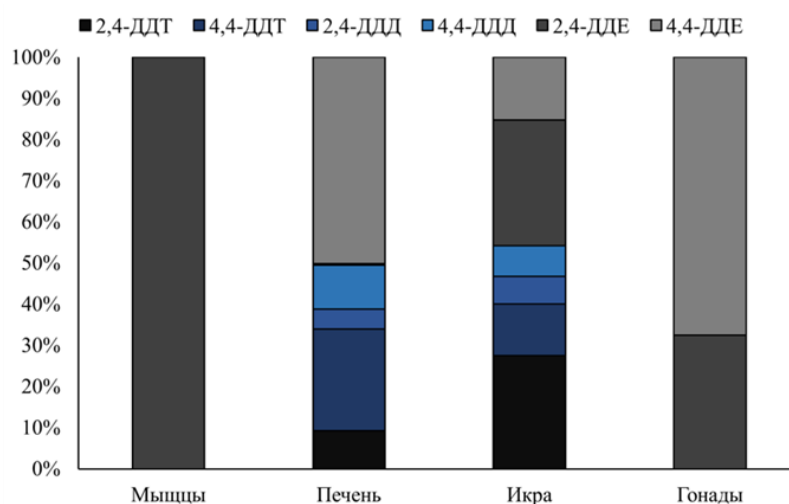


Рис. 2. Распределение ДДТ и его метаболитов в органах малоглазого макруруса

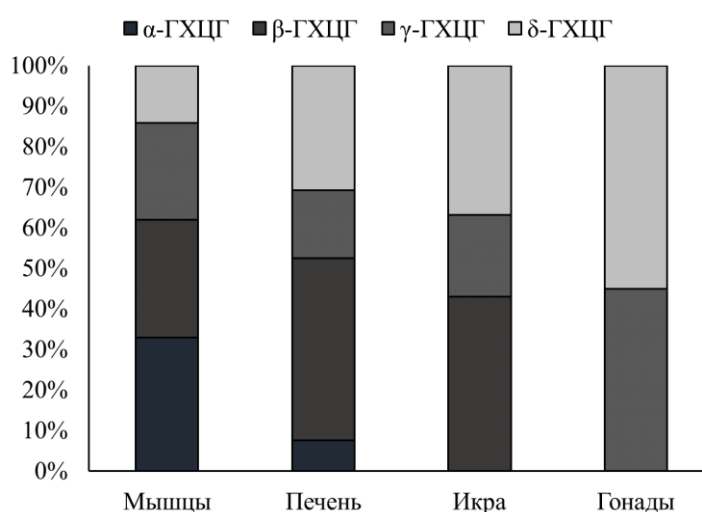


Рис. 3. Распределение изомеров ГХЦГ в органах черного палтуса

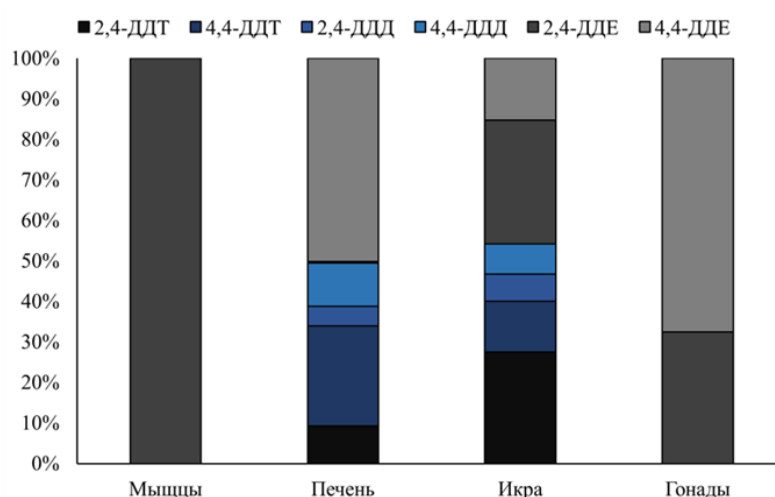


Рис. 4. Распределение метаболитов ДДТ в органах черного палтуса

Концентрация ХОП в треске тихоокеанской находилась в пределах от 1,6 до 13704,9 нг/г липидов. В мышцах и печени из ГХЦГ наиболее часто определялся β-изомер. Концентрации α- и γ-ГХЦГ были ниже пределов обнаружения во всех образцах. Из ДДТ определялись только ДДЕ и ДДД.

Финансирование

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (№ 18-14-00120)

Список литературы

1. *Tsygankov V.Yu., Boyarova M.D.* Sample Preparation Method for the Determination of Organochlorine Pesticides in Aquatic Organisms by Gas Chromatography // *Achievements in the Life Sciences.* – 2015. – Vol. 9. – P. 65–68.
2. *Tsygankov V.Yu., Lukyanova O.N., Boyarova M.D.* Organochlorine pesticide accumulation in seabirds and marine mammals from the Northwest Pacific // *Marine Pollution Bulletin.* – 2018. – Vol. 128. – P. 208–213.

УДК 551.46.09

Рубрика 87.19.15

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ПОДВОДНЫХ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ В АКВАТОРИЯХ ИХ ЗАТОПЛЕНИЯ

METHODS FOR CALCULATION OF PARAMETERS OF THE PROCESS OF DISTRIBUTION OF HAZARDOUS SUBSTANCES FROM FOODS IN THE WATERS OF THEIR FLOODING

Вялышев Александр Иванович, Долгов Александр Анатольевич, Зиновьев Сергей Владимирович, Тузов Федор Константинович

ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ) ул. Давыдовская, 7, г. Москва, 121352, Россия

Vyalyshev Alexander Ivanovich, Dolgov Alexander Anatolievich, Zinoviev Sergey Vladimirovich, Tuzov Fedor Konstantinovich

FGBU VNII GOChS (FTs) st. Davydkovskaya, 7, Moscow, 121352, Russia

Введение

На дне Мирового океана находится большое количество объектов, которые могут представлять потенциальную опасность для населения и окружающей среды – подводные потенциально опасные объекты (далее – ППОО). К таким объектам в первую очередь относятся:

- затонувшие атомные подводные лодки;
- затонувшие дизельные подводные лодки с ракетами со спецзарядом;
- затопленные радиоактивные отходы;
- затопленные химические боеприпасы;
- затонувшие (затопленные) суда с топливом, взрывчатыми веществами и прочими опасными грузами.

Для контроля безопасности ППОО необходимо обеспечить непрерывные (либо с малым временным интервалом) измерения уровней загрязняющих веществ в воде, а также измерения пространственного распределения загрязнений в окружающей ППОО среде. На сегодняшний день в Реестр ППОО во внутренних водах и территориальном море Российской Федерации внесено 85 комплексных и одиночных объектов, включающих более 30 тысяч единиц различных предметов (контейнеры, бочки, элементы технологических конструкций и т.д.), представляющих потенциальную опасность негативного воздействия на экосистему в настоящее время или в будущем [1]. Инструментальный контроль безопасности такого количества затопленных потенциально опасных объектов в настоящее время не представляется возможным по ряду причин, в том числе и по причине значительных материальных и финансовых затрат на организацию как непрерывного, так и периодического мониторинга состояния защитных оболочек ППОО и содержания опасных веществ в водах акваторий затопления ППОО. По этой же причине невозможно организовать предупреждение и оперативное принятие решений в случае возникновения чрезвычайной ситуации в акватории размещения ППОО [2, 3]. Поэтому разработка методов оценки опасности ППОО, основанных на минимуме исходных данных, но дающие информацию, достаточную для принятия управленческих решений, весьма актуальная задача.

Данные и методы

Предлагаемый метод оценки опасности ППОО основывается на знании количества опасного вещества в его защитной оболочке и прогнозных данных по динамике распространения ОВ в акватории размещения подводного потенциально опасного объекта.

Исходные данные для оценки:

M_{0ij} - количество j -х опасных веществ (ОВ) в i -ом ППОО (или групповом захоронении), кг;

ПДК $_j$ – предельно допустимые концентрации j -ых опасных веществ в морской воде, кг/м³;

K_j – коэффициент диффузии (молекулярной, турбулентной) j -ого ОВ в морской воде, м²/с;

h^* – глубина моря в месте затопления ППОО, м.

Расчет зон действия поражающих факторов ОВ ППОО проводится, исходя из следующих допущений:

- по прошествии времени, затопленный i -й ППОО в результате физико-химических процессов (коррозия, ледовая экзарация, избыточное давление на дно от поверхностных волн и т.д.) лишился своей защитной оболочки (ЗО);

- вся масса j -х ОВ i -ого ППОО – M_{0ij} поступила в окружающее водное пространство в виде залпового выброса в момент времени t_0 ;

- концентрация j -ого ОВ C_{0ij} в окрестности i -ого ППОО, утратившего ЗО, в момент времени t_0 будет превышать ПДК $_j$ многократно: $C_{0ij} \gg \text{ПДК}_j$ и численно равна его плотности;

- в результате молекулярной (турбулентной) диффузии и увлечения j -х веществ подводными течениями концентрация ОВ в окрестности i -ого ППОО со временем будет снижаться, а зона загрязнения (заражения) – расширяться;

- указанные процессы будут протекать до тех пор, пока текущее значение концентрации j -ого вещества в процессе его распространения по акватории размещения i -ого ППОО – C_{ij} не станет равновесной.

В практических целях целесообразно определить расстояние от аварийного ППОО (аварийный ППОО – подводный потенциально опасный объект, утративший свой защитный барьер) – R_k , на котором концентрация j -ых ОВ, выходящих из i -ого ППОО в интервале времени от t_0 до t_k , не будет превышать значение ПДК $_j$. Здесь t_k , с – время, в течение которого j -ые ОВ, в результате физических процессов массообмена, снизили свою концентрацию в точке нахождения аварийного ППОО с C_{0ij} до ПДК $_j$ ($C_{ij} = \text{ПДК}_j$).

Необходимо иметь в виду, что характер распространения опасных веществ из ППОО в акватории размещения ППОО в немалой степени зависит от глубины акватории h^* и количества ОВ - M_{0ij} . В случае когда, $h^* \geq R_k$ все ОВ распространяются в акватории вокруг ППОО в полусфере радиусом R_k с центром в точке размещения ППОО. В этом случае будем говорить, что распространение ОВ из ППОО происходит в условиях «глубокого моря». В противном случае, когда $h^* < R_k$, объем воды с распространенным в нем j -ым ОВ с концентрацией в количестве ПДК $_j$ ($C_{ij} = \text{ПДК}_j$), будет представлять собой усеченную полусферу, у которой радиус большего сечения (на дне акватории) составляет R_k , будем говорить, что распространение ОВ из ППОО происходит в условиях «мелкого моря». Очевидно, что динамика распространения ОВ в условиях «мелкого моря» будет отличаться от условий распространения ОВ в условиях «глубокого моря», поэтому необходимо изначально определить, какой механизм распространения ОВ применим для каждого конкретного ППОО.

Время t_k , в течение которого ОВ в точке размещения ППОО снизили свою концентрацию с C_{ij0} до ПДК $_j$ ($C_{ij} \leq \text{ПДК}_j$), зависит от физических процессов массопереноса в акватории (диффузия, донные течения).

Результаты

В работе приводятся алгоритмы расчета размеров загрязненной опасными веществами зоны акватории при их выходе из аварийного ППОО в условиях «глубокого» и «мелкого моря» и времени, в течение которого концентрация опасных веществ в месте выхода их в морскую среду снизится до предельно допустимой.

Значение радиуса полусферы R_k , внутри которой за время t_k , сформировалась за счет молекулярной диффузии область с концентрацией опасного вещества, не превышающей предельно допустимой концентрации для условий «глубокого моря», получено в следующем виде: $R_k =$

$$0.78 \left(\frac{M_{0j}}{\text{ПДК}_j} \right)^{1/3}, \text{ а значение времени } - t_k = \frac{0.78(M_{0j})^{4/3}}{K_j S_{ni}(C_{j0} - \text{ПДК}_j) \times (\text{ПДК}_j)^{1/3}}.$$

Для случая распространения ОБ в условиях «мелкого моря» данные параметры выглядят следующим образом:

$$R_k = \left(\frac{3M_{0j} + \pi h_*^3 \text{ПДК}_j}{3\pi h_* \text{ПДК}_j} \right)^{1/2}, \text{ м; } t_k = \frac{M_{0j}(3M_{0j} + \pi h_*^3 \times \text{ПДК}_j)^{1/2}}{K_j S_{ni}(C_{j0} - \text{ПДК}_j) \times (3\pi h_* \text{ПДК}_j)^{1/2}}, \text{ с.}$$

Для условия «мелкое море» получены выражения для определения площади загрязненного ОБ дна и поверхности моря:

$$S_k = \frac{3M_{0j} + \pi h_*^3 \text{ПДК}_j}{3h_* \text{ПДК}_j}, \text{ м}^2, \quad S_{\text{пов.}} = \frac{3M_{0j} + \pi h_*^3 \text{ПДК}_j}{3h_* \text{ПДК}_j} - \pi h_*^2, \text{ м}^2.$$

Приводится алгоритм расчета параметров, характеризующих степень загрязнения морской среды опасными веществами аварийного ППОО в произвольной точке акватории - C_{jx} , площадей дна и поверхности акватории, а также времени достижения значений этих параметров:

$$C_{jx} = \frac{3M_{j0}}{\pi(3h_* R_x^2 - h_*^3)} [\text{кг/м}^3]; S_k = \frac{3M_{0j} + \pi h_*^3 C_{jx}}{3h_* C_{jx}}, \text{ м}^2 \quad \text{и} \quad S_{\text{пов.}} = \frac{3M_{0j} + \pi h_*^3 C_{jx}}{3h_* C_{jx}} - \pi h_*^2, \text{ м}^2;$$

$$t_{kx} = \frac{M_{j0} R_x}{K_j S_{ni}(C_{j0} - C_{jx})}.$$

В работе показан метод расчета параметров процесса распространения опасных веществ из аварийного ППОО в условиях «глубокого» и «мелкого моря» при наличии подводных течений.

Выражение для R_k , S_k и t_k в условиях «глубокое море» получены в следующем виде:

$$R_k = \left[\frac{6M_{j0}^3 \vartheta_T^2}{\pi K_j^2 S_{ni}^2 \text{ПДК}_j (C_{ij0} - \text{ПДК}_j)^2} \right]^{1/3}, \text{ м; } S_k = \left[\frac{36M_{j0}^3 \vartheta_T}{\pi^2 K_j S_{ni} \text{ПДК}_j^2 (C_{ij0} - \text{ПДК}_j)} \right]^{1/3}, \text{ м}^2;$$

$$t_k = \left[\frac{6M_{j0}^3}{\pi K_j^2 S_{ni}^2 \text{ПДК}_j (C_{ij0} - \text{ПДК}_j)^2 \vartheta_T} \right]^{1/3}, \text{ с,}$$

а для условия «мелкое море» -

$$R_k = \left[\frac{6M_{0ij} [\vartheta_T M_{0ij} + K_j S_{ni} (C_{ij0} - \text{ПДК}_j)]^2}{K_j^2 S_{ni}^2 (C_{ij0} - \text{ПДК}_j)^2 \text{ПДК}_j \left[\pi - 2 \left[\alpha - 2 \sin \alpha \cos \alpha + \cos^3 \alpha \ln \text{tg} \left(\frac{\alpha}{2} + \frac{\pi}{4} \right) \right] \right]} \right]^{1/3}, \text{ м;}$$

$$S_k = \frac{\pi}{2} \left[\frac{6M_{0ij}}{\text{ПДК}_j \left[\pi - 2 \left[\alpha - 2 \sin \alpha \cos \alpha + \cos^3 \alpha \ln \text{tg} \left(\frac{\alpha}{2} + \frac{\pi}{4} \right) \right] \right]} \right]^{2/3} \times \left[\frac{\vartheta_T M_{0ij} + K_j S_{ni} (C_{ij0} - \text{ПДК}_j)}{K_j S_{ni} (C_{ij0} - \text{ПДК}_j)} \right]^{1/3}, \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{пов.}} = \frac{\pi}{2} \left[\frac{(r_{K2}^2 - h_*^2) [K_j S_{\text{ни}} (C_{ij0} - \text{ПДК}_j) + M_{ij0} \vartheta_{\text{T}}]}{K_j S_{\text{ни}} (C_{ij0} - \text{ПДК}_j)} \right], \text{ м}^2$$

$$t_{\text{к}} = M_{0ij} \frac{\left[\frac{6M_{0ij} [\vartheta_{\text{T}} M_{0ij} + K_j S_{\text{ни}} (C_{ij0} - \text{ПДК}_j)]^2}{K_j^2 S_{\text{ни}}^2 (C_{ij0} - \text{ПДК}_j)^2 \text{ПДК}_j \left[\pi - 2 \left[\alpha - 2 \sin \alpha \cos \alpha + \cos^3 \alpha \ln \text{tg} \left(\frac{\alpha}{2} + \frac{\pi}{4} \right) \right] \right]}{\vartheta_{\text{T}} M_{0ij} + K_j S_{\text{ни}} (C_{ij0} - \text{ПДК}_j)} \right]^{\frac{1}{3}}}{\vartheta_{\text{T}} M_{0ij} + K_j S_{\text{ни}} (C_{ij0} - \text{ПДК}_j)}, \text{ с.}$$

Здесь $\alpha = \arccos \frac{h_*}{r_{K2}}$, r_{K2} можно определить для любого заданного значения R_x как

$$r_{K2} = R_x \text{tg} \beta.$$

$$\text{tg} \beta = \frac{\vartheta_{\text{д}}}{\vartheta_{\text{д} + \vartheta_{\text{T}}}}, \text{ где } \vartheta_{\text{T}} - \text{ скорость течения в месте размещения ППОО. Значение параметра,}$$

учитывающего явление диффузионного переноса j -ого вещества в морской воде $v_{\text{д}j}$ можно определить

$$\text{из выражения закона А. Фика: } v_{\text{д}j} = \frac{K_j S_{\text{ни}} (C_{ij0} - \text{ПДК}_j)}{M_{ij0}}, \text{ м/с.}$$

По аналогии с рассуждениями, приведенными выше, можно также получить выражения для значений концентрации ОБ и времени установления значений этих концентраций в произвольной точке контролируемой акватории, а также значения R_x и $t_{\text{к}}$, когда концентрация ОБ достигает в условиях «мелкое море» при наличии течений значений, соответствующих значениям отнесения ситуации в акватории к чрезвычайной.

Заключение

Представленные методы оценки параметров загрязнения морских акваторий опасными веществами в результате разрушения защитных оболочек ППОО, реализуют расчет как процессов распространения опасных веществ в условиях замкнутых морских акваторий (например, в заливах) в отсутствие морских течений за счет, в основном, молекулярной диффузии, так и распространение опасных веществ в условиях открытого моря при наличии подводных течений. Методы позволяют проводить расчет параметров распространения опасных веществ для условий «мелкого» и «глубокого» морей, когда происходит выход ОБ на поверхность моря с концентрацией не меньше предельно допустимой или подъем ОБ на морскую поверхность происходит со значительным разбавлением ОБ, при котором их концентрация в морской воде не превышает ПДК.

Список литературы

1. Реестр подводных потенциально опасных объектов во внутренних водах и территориальном море Российской Федерации. МЧС России. 2019. 116 с.
2. Вяльшев А.И., Добров В.М., Долгов А.А., Нерсесов Б.А., Римский-Корсаков Н.А. Экологический мониторинг окраинных морей России. – М.: ФГБНУ «Аналитический центр», Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 2019. – 240 с.
3. Казенов А. Ю. Исследование подводных потенциально опасных объектов в Карском море: Монография/ А.Ю. Казенов, Б.А. Нерсесов, Н.А. Римский-Корсаков. – М.: ФГБНУ «Аналитический центр» Минобрнауки России, 2017 г.

Рациональное природопользование

Стендовые доклады

Sustainable management

Poster presentations

УДК 574.51

Рубрика 34.35.33

СОСТОЯНИЕ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ КУРШСКОГО ЗАЛИВА ПО
МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИМ И ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ ЛЕТОМ
2022 Г.

STATE OF THE COASTAL ZONE OF THE CURONIAN LAGOON BY
MICROBIOLOGICAL AND HYDROBIOLOGICAL INDICATORS IN THE SUMMER OF
2022.

Александров Сергей Валерьевич^{1,2}, Смирнова Мария Максимовна²

¹ *Атлантический филиал «ВНИРО», Калининград*

² *Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва*

Aleksandrov Sergey Valerievich^{1,2}, Smirnova Maria Maksimovna²

¹ *Atlantic branch of FSBSI "VNIRO", Kaliningrad*

² *Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow*

Введение

Куршский залив Балтийского моря, представляет крупнейшую в Европе лагуну и относится к самым высокоэвтрофным водоемам (гипертрофного типа), где в отдельные годы наблюдается «гиперцветение» синезеленых водорослей, вызывающее комплекс неблагоприятных последствий [Александров, 2009]. Залив имеет важное рыбохозяйственное и рекреационное значение. На Куршской косе, отделяющей залив от моря, расположен национальный парк «Куршская коса». Прибрежная зона несет важнейшую функцию в поддержании экологического состояния залива, в частности заросли прибрежной зоны - место икрометания и нагула молоди и взрослых рыб. Наблюдается и отрицательное влияние, так как в прибрежной зоне в период «цветения» воды летом и осенью скапливаются синезеленые водоросли, при разложении которых выделяются алгитоксины (микроцистины), [Смирнова, 2019], а также формируются локальные анаэробные зоны и наблюдается замор рыб [Aleksandrov et al., 2018]. В последние годы «гиперцветения» залива наблюдаются реже, в частности в 2022 г. не отмечено «гиперцветение» воды. Целью работ 2022 г. была характеристика «фонового» состояния прибрежной экосистемы Куршского залива при низком уровне летнего развития синезеленых водорослей.

Данные и методы

Для получения данных о сезонных изменениях гидрологических и гидробиологических показателей в прибрежной зоне Куршского залива проводились ежемесячные исследования с апреля по сентябрь 2022 г. в районе научно-экспериментальной базы (НЭБ) «АтлантНИРО» (13 км Куршской косы). Отбор проб выполнялся на 2 стандартных точках, расположенных у берега (глубина 0,8 м) и на свале глубин в 200 м от берега (глубина 3,0 м).

Детальное пространственное исследование прибрежной зоны было проведено 11 августа 2022 г. вдоль Куршской косы на 4 разрезах: I) от пос. Лесной, II) от НЭБ «АтлантНИРО», III) от музея НП «Куршская коса», IV) от пос. Рыбачий. На каждом разрезе исследования выполнялись на 3 точках, расположенных соответственно у берега (глубина 0,5-0,8 м), на свале глубин в 150-200 м от берега (глубина 1,4-3,0 м) и в открытой акватории залива в 500-

600 м от берега (глубина 3,6-5,4 м)). Перед данными работами (3 августа 2022 г.) была исследована вся российская акватория залива с отбором проб на 11 точках (рис. 1).

Проводились натурные измерения и отбор проб в подповерхностном слое для определения гидрологических и гидробиологических (хлорофилл) показателей. Также в прибрежной зоне на 4 разрезах 11 августа 2022 г. отобраны пробы для проведения микробиологических исследований. Хлорофилл «а» определялся спектрофотометрическим методом согласно ГОСТ 17.1.04.02-90. Колониеобразующие единицы (КОЕ) сапрофитных бактерий подсчитывали после термостатной выдержки при 37 °С согласно МУК 4.2.1884-04.

Результаты

Куршский залив представляет мелководную лагуну (средняя глубина 3,8 м), для которой характерна выраженная сезонная динамика планктонных сообществ с максимумом обилия и продуктивности в летний период (июль-август). Начало активной вегетации фитопланктона часто наблюдается в конце марта – апреле [Александров, 2010]. В прибрежной зоне весной 2022 г. наблюдалось увеличение концентрации хлорофилла «а» (обилия фитопланктона), особенно на свале глубин с 15 мкг/л в апреле до 31 мкг/л в мае с прогревом воды от 7-8 до 14-15 °С. У берега концентрации хлорофилла «а» были в 2-3 раза ниже, возможно из-за конкурентных взаимодействий, в том числе с быстро растущими макрофитами (рис. 2). В июне наблюдалось характерное сезонное снижение обилия фитопланктона, до минимального уровня, как результат уменьшения концентрации биогенов. Согласно многолетним исследованиям при прогреве воды выше 20 °С в Куршском заливе наблюдается массовое развитие синезеленых водорослей, приводящее к «цветению» воды. В отдельные годы содержание хлорофилла «а» достигает величин, характерных для «гипертрофных» водоемов (>100 мкг/л), что может приводить к скоплению и разложению фитопланктона в прибрежной зоне и замору рыб [Александров, 2010].

В июле 2022 г. прогрев воды в прибрежной зоне Куршского залива достиг уровня (22-23 °С), благоприятного для массового развития синезеленых водорослей, однако развитие фитопланктона было низким и концентрация хлорофилла «а» составляла 27 мкг/л на свале глубин и всего 12 мкг/л у берега среди зарослей макрофитов.

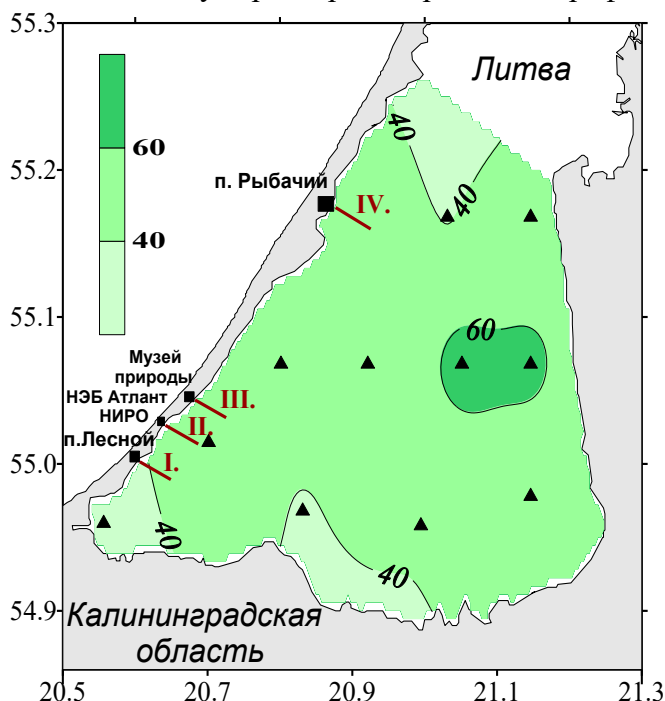


Рис. 1. Пространственное распределение хлорофилла «а» в российской части Куршского

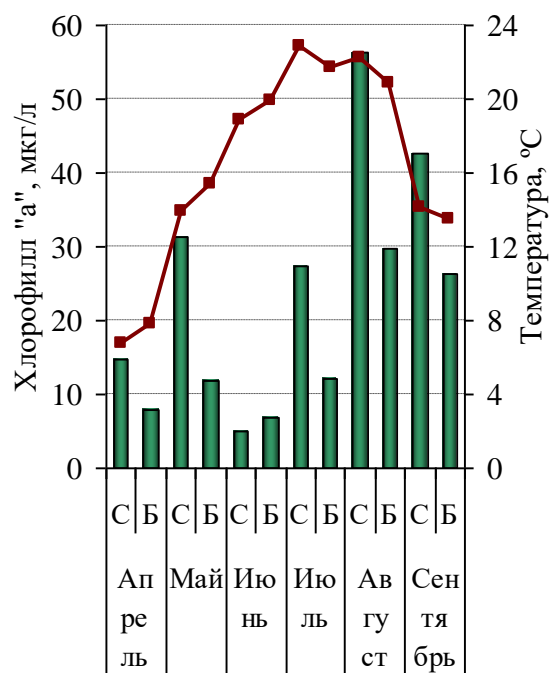


Рис. 2. Сезонная динамика хлорофилла «а» и температуры воды в прибрежной

залива в августе 2022 г. (▲ - точки мониторинга, зоне в 2022 г. (С - свал глубин, Б – у I-IV – разрезы в прибрежной зоне) берега).

Повышенное развитие фитопланктона, соответствующее достаточно низкому уровню «цветения» воды, наблюдалось только августе 2022 г., когда концентрации хлорофилла «а» на свале глубин превысили 50 мкг/л, с последующим снижением в сентябре до 40 мкг/л, одновременно с охлаждением воды. Скопления водорослей у берега не наблюдалось, и концентрации хлорофилла «а» оставались ниже в 2 раза (рис. 2).

Изучение всей российской акватории Куршского залива 3 августа 2022 г. также показало отсутствие «гиперцветения» вод летом 2022 г. Концентрации хлорофилла «а» в поверхностном слое не превышали 65 мкг/л, с максимумом в восточной части залива (рис. 1). Средняя концентрация хлорофилла «а» была всего 47 мкг/л, что в три раза ниже среднегодовой величины за 2000-2021 гг. и многократно ниже, чем в годы «гиперцветения» воды. Вдоль Куршской косы концентрация хлорофилла «а» характеризовались средним по заливу уровнем, в корне косы была минимальной (25 мкг/л).

Отсутствие «гиперцветения» вод из-за относительно слабого развития фитопланктона летом 2022 г. позволило провести детальные исследования прибрежной зоны вдоль Куршской косы для характеристики ее «фоновое» состояние без неблагоприятного воздействия массового развития потенциально-токсичных синезеленых водорослей.

В период экспедиционных работ 11 августа 2022 г. гидрологические условия характеризовались максимальным летним прогревом вод (22,0-23,6 °С), при этом разница между отдельными точками определялась динамикой суточного прогрева вод в заливе.

Концентрации хлорофилла «а» в районе исследования варьировали от 15 до 43, в среднем 26 мкг/л, что соответствует низкому уровню развития летнего фитопланктона Куршского залива (рис. 3). Наибольшие концентрации хлорофилла «а» (40-43 мкг/л) отмечены у открытого берега (без зарослей макрофитов) в районе поселков Лесной и Рыбачий, которые активно используются для рекреационных целей, относительно другой прибрежной территории национального парка «Куршская коса». Повышенный уровень фитопланктона в этих точках, возможно, обусловлен поступлением биогенных элементов с загрязненными водами с берега. В открытой акватории были близкие значения хлорофилла «а» (21-30 мкг/л), а на свале глубин обычно отмечался промежуточный уровень между берегом и открытой акваторией. Полученный на большинстве точек диапазон хлорофилла «а» был характерен для эвтрофных вод, имеющих слабо загрязненное качество (21-40 мкг/л), а в районе пос. Лесной и Рыбачий состояние вод ухудшалось до эв-политрофного уровня с умеренно загрязненными водами (хлорофилл «а» 41-75 мкг/л) [Шитиков и др., 2005].

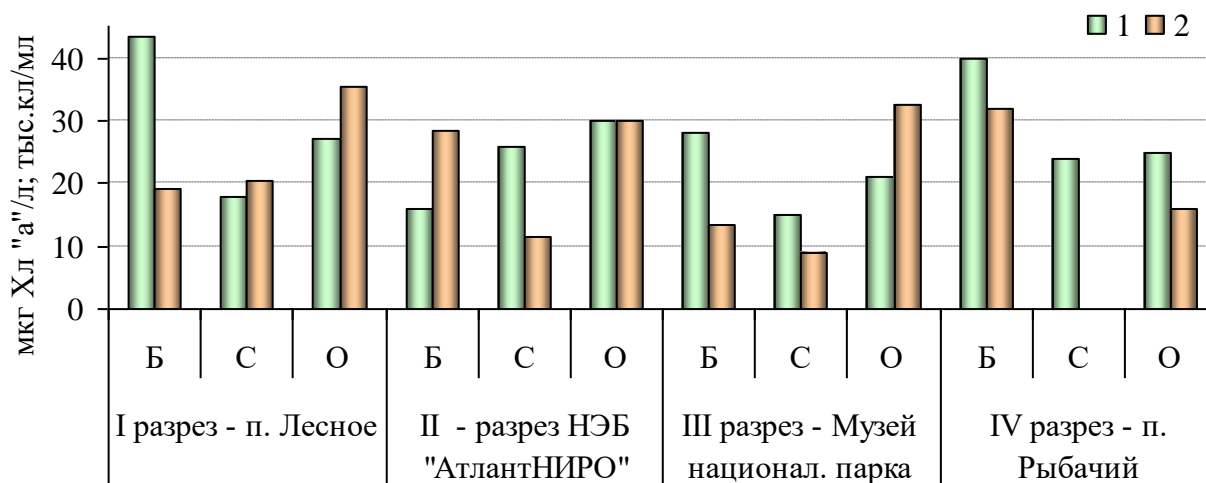


Рис. 3. Распределение хлорофилла «а» (1) и сапрофитных бактерий (2) на разрезах в Куршском заливе в августе 2022 г. (Б – у берега, С - свал глубин, О - открытая акватория).

Численность сапрофитных бактерий варьировала от 8,8 до 35,3, в среднем составляя 20,7 тыс. КОЕ/мл (рис. 3). Наибольшая их численность (> 30 тыс. КОЕ/мл) была в открытой части, возможно как результат разложения органического вещества синезеленых водорослей, образующегося при «цветении» залива. Как исключение, на разрезе у пос. Рыбачий численность сапрофитных бактерий была максимальна у берега без макрофитов, наряду с высоким содержанием в воде хлорофилла «а». Наименьшая численность сапрофитных бактерий (<13 тыс. КОЕ/мл) отмечена у берега и на свале глубина напротив музея национального парка, данный район удален от населенных пунктов и находится в зоне макрофитов, которые возможно оказывают деэвтрофирующее влияние на фитопланктон. Полученные в прибрежной зоне Куршского залива величины численности сапрофитных бактерий соответствуют α -мезосапробным «загрязненным» водам (10-50 тыс. КОЕ/мл) и только на одной станции у музея отмечено более высокое качество воды (β -мезосапробность) согласно ГОСТ 17.1.2.04-77. Отмеченный уровень сапробности по численности бактерий и по хлорофиллу «а» (обилию фитопланктона) в августе 2022 г. соответствует эвтрофному типу вод.

В условиях отсутствия интенсивного «цветения» открытой акватории залива, полученные в прибрежной зоне в августе 2022 г., концентрация хлорофилла «а» и численность сапрофитных бактерий были многократно ниже, чем наблюдалось ранее при «гиперцветении» воды. В частности, в отдельные годы эти показатели (до 500-800 мкгХл/л в августе 2002 г., до 100-400 тыс. КОЕ/мл в октябре 2014 г.) [Aleksandrov et al., 2018; Смирнова, 2017] соответствовали максимальному гипертрофному и гиперсапробному уровню, неблагоприятно воздействующему на экосистему залива (гибель рыб, заболевание гидробионтов и другое) [Александров, 2009].

Таким образом, отсутствие «гиперцветения» воды в Куршского заливе летом 2022 г. позволило провести исследования прибрежной экосистемы для характеристики «фонового» состояния без неблагоприятного воздействия массового развития синезеленых водорослей.

Финансирование

Экспедиционные исследования выполнены в рамках госзадания ФГБНУ «ВНИРО» № 076-00007-22-00, анализ и интерпретация данных выполнены в рамках госзаданий ИО РАН (тема FMWE-2021-0007 и № FMWE-2021-0012).

Список литературы

1. Александров С.В. Влияние «цветения» синезеленых водорослей на экологическое состояние Куршского залива // Вода: химия и экология. 2009. № 4. С. 2-6.
2. Александров С. В. Первичная продукция планктона в лагунах Балтийского моря (Вислинский и Куршский заливы). Калининград: АтлантНИРО, 2010. 227 с.
3. Смирнова М. М. Осенний бактериопланктон прибрежной части Куршского залива в районе музейного комплекса национального парка "Куршская коса" // Проблемы природопользования, сохранения биоразнообразия и культурного наследия на особо охраняемых природных территориях России. Лесной. БФУ им. И.Канта, 2017. С. 98-105.
4. Смирнова М.М. Микроцистины в литорали Куршского залива в 2017 г. по данным иммунохроматографического анализа // Морской биологический журнал. 2019. Т.4. № 1. С. 109-111.
5. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методика, критерии, решения. Кн.1. М.: Наука, 2005. 281 с.

6. *Aleksandrov S., Krek A., Bubnova E., Danchenkov A.* Eutrophication and effects of algal bloom in the south-western part of the Curonian Lagoon alongside the Curonian spit // *Baltica*. 2018. Vol. 31. No 1. P. 1-12.

ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ НА ВОДНУЮ СРЕДУ
УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ
ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ РАБОТ В ПОРТУ АРХАНГЕЛЬСК

TIME VARIABILITY OF THE NEGATIVE IMPACT ON THE WATER ENVIRONMENT
OF THE MOUTH OF THE NORTHERN DVINA DURING DREDGING IN THE PORT OF
ARKHANGELSK

Иглин Сергей Михайлович

ФГУП «Росморпорт», Москва

Iglin Sergey Mikhailovich

FSUE «Rosmorport», Moscow

Введение

Производство гидромеханизированных работ по изменению рельефа морского и речного дна (дноуглубительные работы, добыча сыпучих полезных ископаемых, строительство мостов, причалов, намыв новых территорий) оказывает определённое негативное воздействие на водную среду. Так, в ходе дноуглубительных работ (далее – ДР) наблюдается повышение концентраций взвешенных веществ, повышается мутность воды, разрушаются сложившиеся донные биоценозы, частично уничтожается фито- и зоопланктон, существует вероятность вторичного загрязнения поллютантами, аккумулирующимся в донном грунте [1]. При проведении масштабных капитальных работ по созданию новых судоходных путей может наблюдаться изменение гидрологического, гидро- и литодинамического режима акватории.

В морском порту Архангельск, находящимся в акватории устьевой области реки Северная Двина, ежегодно проводятся ДР по поддержанию глубин, необходимых для безопасного судоходства [2]. Углубляемые объекты находятся на различных участках в акватории порта, поэтому при проведении работ одними техническими средствами негативное влияние будет обуславливаться только изменчивостью природных факторов. Изменчивость характеристик режимов устьевой области Северной Двины имеет существенный пространственный и временной характер, и в большой степени зависит от гидрологического цикла реки (весенний половодье, летняя межень, осеннее паводок) [3].

В ходе проведения экспертной оценки по ранжированию и определению весовых коэффициентов факторов, определяющих уровень негативного воздействия ДР на водную среду, было установлено, что наиболее важными факторами являются загрязненность донных грунтов, объемы дноуглубления, концентрация взвешенных веществ в воде, загрязненность вод [4].

Цель настоящей работы оценить временную изменчивость факторов, влияющих на уровень негативного воздействия в ходе ДР в летнюю навигацию в морском порту Архангельск, в акватории канала Мудьюгских башен, Соломбальского и погрузочно-разгрузочного района (далее – ПРР) Бакарица.

Данные и методы

В качестве исследуемых объектов были выбраны акватории Мудьюгского и Соломбальского канала и ПРР Бакарица (Рисунок 1), они располагаются в различных зонах устьевой области (устьевое взморье, дельта и приустьевой участок, соответственно), имеют различный характер отложения наносов, различную степень загрязненности вод и донных грунтов [4].

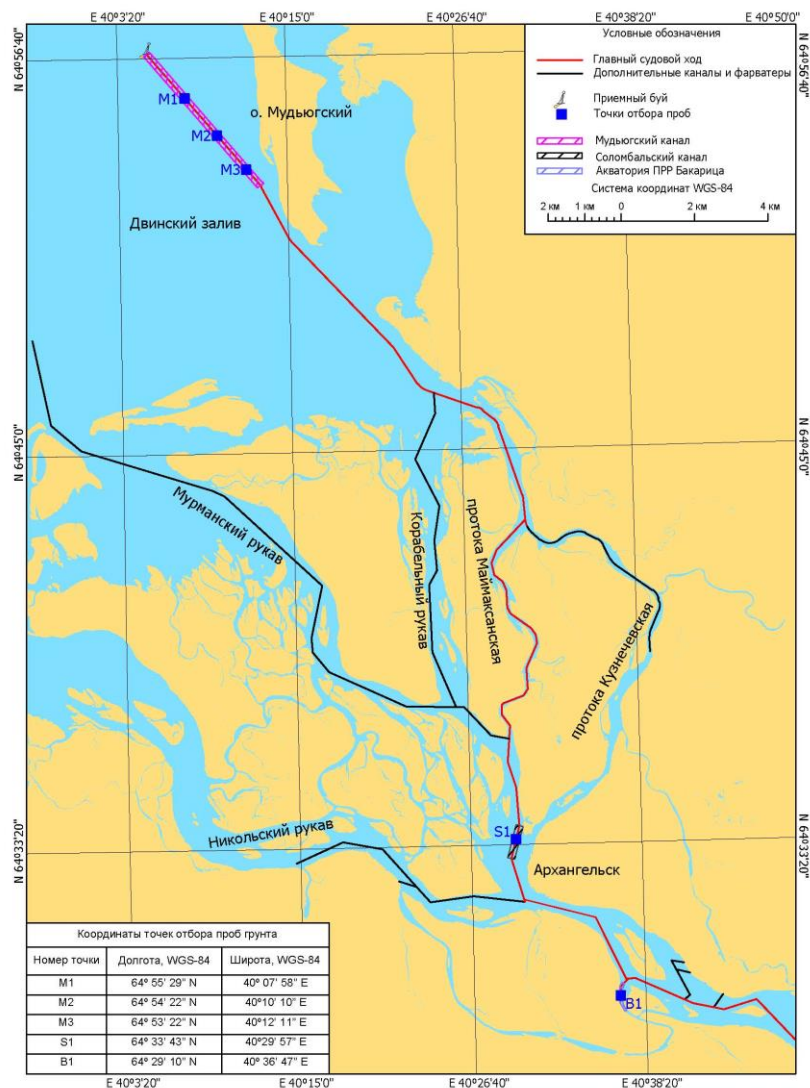


Рисунок 1. Схема расположения точек отбора проб на объектах дноуглубления в морском порту Архангельск.

Материалами для оценки послужили данные производственного экологического контроля, выполняемого на объектах дноуглубления в порту Архангельск за 2011-2017 годы.

Индексы загрязненности вод и донных грунтов рассчитывались по формуле (1):

$$ИЗ = \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i}{ПДК_i} \right), \quad (1)$$

где ИЗ – индекс загрязненности; n – количество показателей; C_i – концентрация i -го загрязняющего вещества в воде или грунте; $ПДК_i$ – предельно допустимая концентрация i -го загрязняющего вещества.

Расчеты индексов загрязненности выполнены по данным содержания тяжелых металлов (кадмий, свинец, цинк, медь), мышьяка и нефтепродуктов для вод и грунта. Для вод расчеты также выполнены по данным содержания растворенного кислорода и БПК₅.

Объемы заносимости рассчитывались по материалам гидрографических работ, проводимых Архангельским филиалом ФГУП «Росморпорт», и ранее проведенных исследований [2, 5]. Проводились расчеты медианных значений показателей факторов,

влияющих на уровень негативного воздействия в ходе дноуглубительных работ, для каждой акватории для трех временных промежутков: весеннее половодье, летняя межень и осенний паводок.

Результаты

Результаты исследования представлены на Рисунке 2.

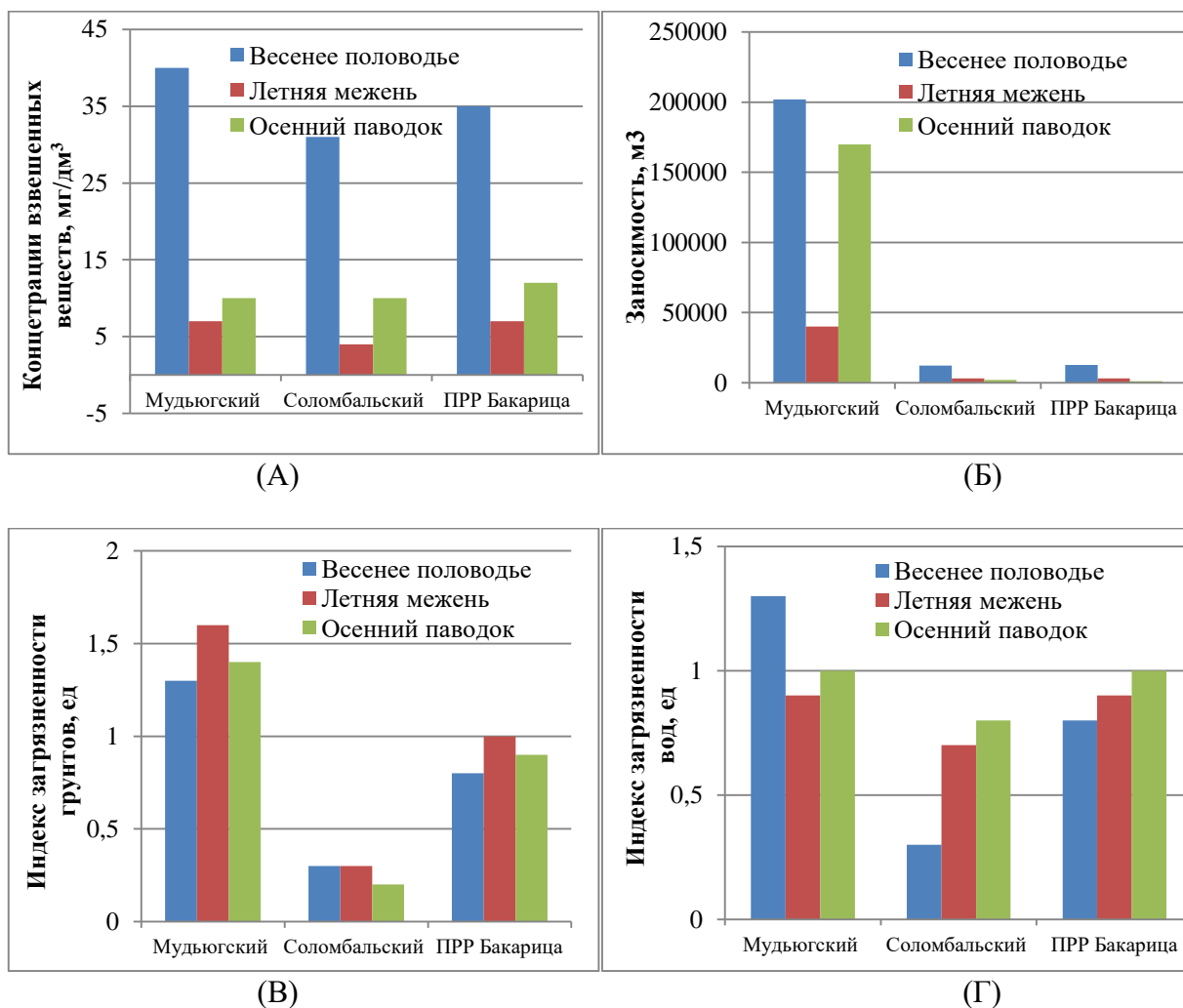


Рисунок 2. Временная изменчивость факторов, влияющих на степень загрязнения в ходе дноуглубительных работ в морском порту Архангельск. (А) – концентрации взвешенных веществ мг/дм³, (Б) – заносимость, м³, (В) – индекс загрязненности грунтов, ед., (Г) – индекс загрязненности вод, ед.

На рисунке 2-А представлены фоновые концентрации взвеси в воде, очевидно, что в ходе прохождения волны весеннего половодья концентрации взвеси в несколько раз превышают иные гидрологические фазы для рассматриваемых объектов дноуглубления. ДР, проводимые в период весеннего половодья и его затухания (май-июнь), будут оказывать потенциально меньший негативный эффект из-за несильного превышения фоновых концентраций взвеси в воде. На рисунке 2-Б показана изменчивость объемов наносов, поступающих на исследуемые судоходные объекты. Установлено, что наибольшие объемы наносов наблюдаются на Мудьюгском канале и во время весеннего половодья и во время осеннего паводка, это обусловлено с одной стороны аккумуляцией наносов в зоне мелководного бара, где под действием маргинального фильтра зоны смешения морских и речных вод происходит активное накопление взвешенных частиц и растворенных в воде элементов, а с другой

стороны под действием штормовых явлений интенсивность которых возрастает в осеннее время под действием ветров северных и северо-западных направлений [5, 6].

Загрязненность грунтов в устьевой области реки Северная Двина имеет существенную пространственную и временную изменчивость (рисунок 2-В), это обусловлено неодинаковой антропогенной нагрузкой на участки реки и взморья, а также природными процессами накопления химических элементов, способностью грунтов различных гранулометрических составов накапливать в себе поллютанты. Максимальные индексы загрязненности наблюдаются в летнюю межень после оседания взвешенных частиц, содержащихся в снежном покрове, а также смываемых весенним половодьем с берегов. Максимальные значения наблюдались на Мудьюгском канале в зоне маргинального фильтра, а также в зоне ПРР Бакарица, где проводится активная портовая деятельность. Загрязненность вод (рисунок 2-Г) в дельтовом и приустьевом участке реки возрастает к концу летнего навигационного периода, это обусловлено активной антропогенной деятельностью человека: портовыми работами, гидротехническим строительством, бункеровкой судов. В зоне устьевого взморья пики загрязнённости наблюдались во время весеннего половодья.

Заключение

Факторы, определяющие степень негативного влияния дноуглубления на морскую и речную среду, имеют существенную временную и пространственную изменчивость, они определяются фазами гидрологического режима, а также интенсивностью гидрометеорологических явлений в устьевом взморье реки Северная Двина. Результаты работы могут быть использованы для проведения пространственно-временного районирования акватории морского порта.

Список литературы

1. *Иглин С. М., Котова Е.И., Коробов В.Б.* Геоэкологическая оценка состояния вод и донных грунтов при проведении ремонтных дноуглубительных работ в порту Архангельск // Естественные и технические науки. – 2020. – № 5(143). – С. 76-87.
2. *Иглин С. М., Лещев А.В., Коробов В.Б.* Оценка масштабов заносимости судоходного канала в порту Архангельск // Инженерные изыскания. – 2019. – Т. 13. – № 1. – С. 46-55.
3. *Гордеев В.В., Шевченко В.П., Коробов В.Б., Коченкова А.И., Стародымова Д.П., Белоруков С.К., Лохов А.С., Яковлев А.Е., Чульцова А.Л., Золотых Е.О., Лобковский Л.И.* Концентрации химических элементов в воде и взвеси реки Северная Двина и их годовой валовый сток в Белое море // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2021. – Т. 500. – № 1. – С. 95-102
4. *Иглин С. М., Коробов В.Б.* Геоэкологическое районирование акватории морского порта Архангельск при проведении дноуглубительных работ // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2021. – № 2. – С. 131-149.
5. *Иглин С.М., Алабян А.М., Коробов В.Б.* Особенности штормовой заносимости канала Мудьюгских Башен в морском порту Архангельск в устье Северной Двины. – Океанология. – 2022 – т. 62, № 4. – С. 648-659.
6. *Коченкова А.И., Новигатский А.Н., Лисицын А.П., Гордеев В.В., Коробов В.Б., Белоруков С.К., Лохов А.В., Яковлев А.Е.* Особенности сезонного распределения взвеси и органического углерода по данным обсерватории "Маргинальный фильтр реки Северная Двина" // Океанологические исследования. – 2018. – Т. 46. – № 2. – С. 96-111.

**ТЕХНОГЕННОЕ ШУМОВОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКЕАНА: ИСТОЧНИКИ,
РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ПОСЛЕДСТВИЯ****TECHNOGENIC NOISE POLLUTION OF THE OCEAN: SOURCES, DISTRIBUTION
AND CONSEQUENCES****Трусов Александр Алексеевич***Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград***Trusov Alexander Alekseevich***Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad***Введение**

Океан не бесшумен. В нём нет тишины. В отличие от воздушной среды, в водной среде звук распространяется быстрее и дальше. Многие морские организмы – беспозвоночные, млекопитающие, рыбы и некоторые птицы – полагаются на создание, передачу и приём звуковых сигналов в ключевых аспектах жизни – в поиске добычи, партнёра и сородичей, обмене информации, исследовании, навигации. В настоящее время океан наполнен широкополосными шумами, источниками которых служит преимущественно хозяйственная деятельность человека, а также природные явления. С ростом мировой торговли и научно-технического прогресса уровень антропогенного шума в океане возрос и занимал всё больше акваторий, кроме того, уровню шумового загрязнения в океане также способствует изменение климата в виде учащающихся и усиливающихся штормов и других природных явлений (Erbe, 2021). Традиционные морские пути стали сегодня непрекращающимися шумовыми течениями в океане, где естественные шумы подавлены искусственными уже давно. В силу вышесказанного исследование техногенного шума в океане принимает все более актуальный характер.

Определение подводного шума и его география

Подводный шум – звуки разной значимости в морской среде, либо имеющие негативное воздействие на производителя и слушателя, либо «бесполезные» и не несущие какой-либо информации (van Geel, 2022). Например, шум от дождя или волн или судоходства, в частности, небольших судов, может классифицироваться как шум относительно безвредный для морских обитателей (и больше незаметный), а шум, исходящий от крупного судна, может причинить вред при длительном воздействии.

Антропогенный шум, основным источником которого является судоходство, встречается во всех океанах и большинстве морей (рис. 1). Так, грузовые суда составляют морских путей встречаются как в удалённых частях океанов (у берегов Гренландии, Новой Зеландии), так и в давно освоенных морских территориях – прибрежных акваторий Европы, особенно Балтийского и Средиземного морей, Восточной Азии, Индостана.

Морские транспортные маршруты проложены повсеместно (рис. 2), однако наиболее интенсивные пути встречаются чаще в Атлантическом океане, где они находятся от умеренных широт Северного полушария до тропических широт в Южном полушарии; в

Индийском океане морские пути лежат в основном в Восточной части; в Тихом океане морские перевозки приходятся на умеренные широты, а также Восточной Азии и Западной Океании.



Рис. 1. Карта грузовых судов. Грузовые судна фиксировались и наносились на карту в течение 7 дней наблюдений по раз в день (карта построена автором по данным www.marinetraffic.com)

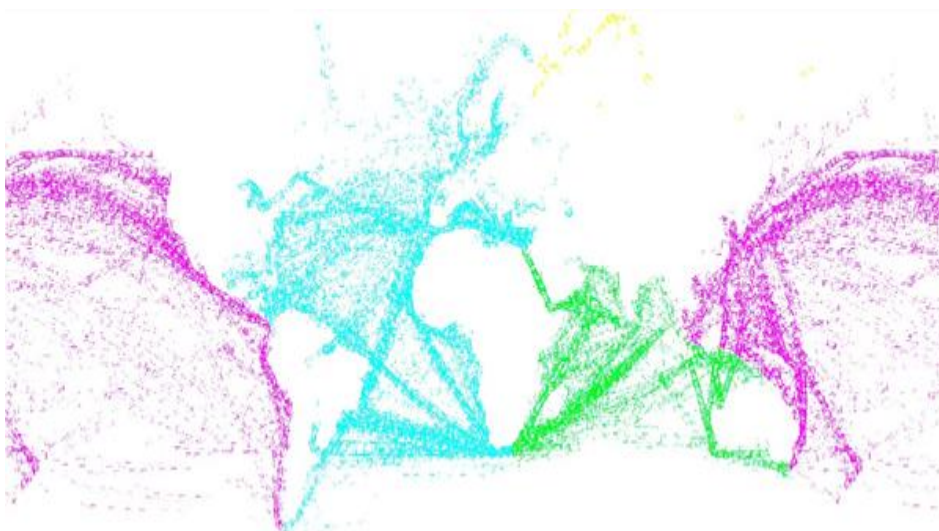


Рис. 2 Карта интенсивности грузовых судов на основе рис. 1, где цветом показаны наиболее интенсивные пути Тихого (фиолетовый), Атлантики (циановый), Северного Ледовитого (жёлтым) и Индийского (зелёный) океанов (карта построена автором по данным www.marinetraffic.com)

Источники антропогенного шума и его типы

Антропогенный шум исходит от всей деятельности человека на воде и под водой. Это могут быть военные учения морского флота, строительные, дноуглубительные работы, использование сонаров и акустических приборов и даже пролёты крупных самолётов. Антропогенные шумы делятся на *импульсные* и *непрерывные*, каждый из которых связан особым воздействием на морских обитателей, по-разному реагирующих на него в зависимости

от многих факторов – способности адаптироваться и привыкать, по времени (фазы жизни), сложности шумового воздействия (звуковые ландшафты), класса шумового поля, чувствительности, порога слышимости (Merchant, 2016).

Импульсный шум состоит из дискретных звуков с внезапным проявлением и высокой амплитудой, однако, по мере распространения, его характеристики ослабевают (Hastie, 2019). К нему относятся акустические импульсы от взрывов, забивки свай, сейсмических пневматических пушек. Последствия этого типа шума для морских обитателей могут выражаться во временной или постоянной потере слуха, стрессе и нарушении поведения или повреждении тканей морских обитателей. Так, шум забивания свай вызвал у европейского морского окуня физиологический стресс, а для китообразных импульсные шумы могут вызвать панические погружения, декомпрессионную болезнь и кровоизлияние в головной мозг и сердце в итоге. Помимо этого, акустический луч от взрывов сейсморазведки буквально косит воду и убивает зоопланктон, лежащий в основе трофических цепей в морских экосистемах (McCauley, 2017).

Непрерывный шум тесно связан с судоходством – с колеблющимися пузырьками, которые создаются листовой и вихревой кавитацией вблизи вращающегося гребного винта и которые излучают акустическую энергию на частотах, диапазон которых зависит от диаметра пузырьков. Непрерывный шум от судов оценивается по кавитации (размера, скорости, числа лопастей и глубины гребного винта), коэффициенту полноты (длина, ширина и осадка судна), Адмиралтейскому коэффициенту (мощности, скорости и водоизмещению), однако стоит учитывать больше индивидуальные характеристики судна, нежели сами коэффициенты (Meekan, 2021).

Источниками наибольшего непрерывного шума являются танкеры, балкеры, газо- и контейнеровозы, а также ледоколы и ледокольные караваны и плавучие морские нефтегазовые и промышленные сооружения (Таровик, Савченко, 2021). Непрерывный шум менее интенсивен по сравнению с импульсным, однако распространён повсеместно и в состоянии привести к более значительным последствиям, таким, как нарушение трофических цепей и снижение функционирования морских экосистем: маскировкой биосигналов животных, нарушением кормодобывания, развития водных видов, уменьшением пространства для обмена информации (Merchant, 2016; Simpson, 2016; Stanley, 2017).

Заключение

Подводный шум сегодня – одна из экологических проблем человечества наряду с химическим, биологическим, тепловым, радиационным и др. загрязнениями в океанах. В отличие от других типов загрязнения, шум носит временный характер, а его источники, если это антропогенный фактор, преимущественно связаны с судоходством. Разрешение шумового воздействия необходимо, поскольку оно негативно сказывается как на морских обитателях вплоть до смертельных случаев, так и на функционировании морских экосистем и трофических цепей. Игнорирование или недостаточная политика по уменьшению шума не приведёт к катастрофическим последствиям для морских экосистем, но заметно ударит по ним.

Список литературы

1. Таровик В.И. Савченко О.В, Кутаева Н.Г. Техногенный подводный шум как фактор экологической безопасности морской транспортной и промышленной деятельности в Арктике // Арктика: экология и экономика. – 2022. -т. 12, № 1. - С. 99-110.

2. Erbe Christine, Schoeman Renee, Peel David, Smith Joshua. It Often Howls More than It Chugs: Wind versus Ship Noise Under Water in Australia's Maritime Regions // *Mar. Sci. Eng.* – 2021. - Vol. 9(5). – P. 472.
3. Hastie Gordon, Merchant Nathan, Gotz Thomas, Russell Debbie, Thompson Paul, Janik Vincent. Effects of impulsive noise on marine mammals: investigating range-dependent risk // *Ecological applications.* – 2019. – Vol. 29(5). - e01906. - <https://doi.org/10.1002/eap.1906>
4. Meekan Mark et.al. A review and Meta-Analysis of Underwater Noise Radiated by Small (<25 m Length) Vessels // *J. Mar. Sci. Eng.* – 2021. - Vol. 9(8). P. 827.
5. McCauley R. D. et al. Widely used marine seismic survey air gun operations negatively impact zooplankton // *Nature Ecol. Evol.* – 2017. – Vol. 1. – P. 195. - doi: 10.1038/s41559-017-0195. PMID: 28812592.
6. Merchant Nathan D. et al. Underwater noise levels in UK waters // *Scientific Reports.* -2016. - Vol. 6. - Article number: 36942.
7. Nienke C. F. van Geel, Denise Risch, Anja Wittich. A brief overview of current approaches for underwater sound analysis and reporting // Elsevier. – 2022. – Vol. 178. - Article number 113610.
8. Simpson S.D. et al. Anthropogenic noise increases fish mortality by predation // *Nature Commun.* – 2016. – Vol. 7. – P. 10544. - <https://doi.org/10.1038/ncomms10544>
9. Stanley J., Van Parijs S., Hatch L. Underwater sound from vessel traffic reduces the effective communication range in Atlantic cod and haddock // *Scientific Reports.* - 2017. - Vol. 7. - Article number 14633.

УДК: 910.26

Рубрика: 39.01.29

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ НА ПРИМЕРЕ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «КУРШСКАЯ КОСА»

INFORMATION SUPPORT OF ENVIRONMENTAL PROBLEMS ON THE EXAMPLE OF THE NATIONAL PARK «CURONIAN SPIT»

Сукманова Татьяна Викторовна

Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта

Sukmanova Tatiana Viktorovna

Immanuel Kant Baltic Federal University

Введение

В настоящее время невозможно обойтись без средств массовой информации (СМИ) и различных Интернет-площадок (интернет СМИ и социальные сети) при освещении проблем, связанных с охраной окружающей среды. Кроме того, не последнюю роль занимают некоммерческие организации (НКО), которые поднимают вопросы или показывают особенность и важность определённой проблемы, связанной с окружающей средой. Особенность информационного обеспечения заключается в том, что этот инструмент может как популяризировать научную сферу, так и нанести ей непоправимый ущерб. Для исследования информационного обеспечения экологических проблем был выбран региональный кейс национального парка «Куршская коса», ряд проблем которого были представлены предельно некорректно и имеет все признаки манипулирования в целях известных некоммерческих организаций. Основной целью исследования было определение манипулирование общественным мнением и трактовкой полученных результатов. Выявления выгодоприобретателя от подобного манипулирования возможная задача при дальнейшем исследовании.

Район исследования

Куршская коса (объект всемирного наследия ЮНЕСКО) располагается на территории Калининградской области (Российская Федерация) и Клайпедского уезда (Литва). Коса омывается с запада Балтийским морем и с востока Куршским заливом. С литовской части коса разделяется проливом вблизи порта Клайпеда.

Длина песчаной насыпи составляет 98 км, из них половина (49 км) находится на территории России, а другая половина в Литве. Ширина косы колеблется от 0,38 км до 3,8 км. Рельеф косы сформировался в результате ветро-волновой деятельности, благодаря этому определились следующие зоны на территории косы (направление море – залив): морской пляж, авандюна, преддюнная равнина (пальве), дюнные массивы, призаливная терраса и пляж, примыкающий к Куршскому заливу. Почвы косы представлены подзолистыми, болотно-подзолистыми, дерново-глеевые и торфяные болотные верховые типами [2]. Лесистость косы на российской части составляет более 65%. Основными лесобразующими породами являются сосна, ольха черная, береза, ель [3, с. 26].

На территории косы располагаются 2 национальных парка: национальный парк «Куршская коса» (РФ) и Kuršių nerijis nacionalinis parkas (Литва), но больше всего внимания и критики СМИ, сотрудников некоммерческих организаций в областях охраны окружающей среды и жителей области получает национальный парк, который расположен на территории калининградской области. Существует определенное предвзятое мнение о деятельности, которую осуществляет руководство и отдельные сотрудники администрации парка. Поэтому доклады неправительственной организации «Экозащита!», которые были опубликованы в декабре 2020 г. и 2021 г., получили большой резонанс и негатив в сторону администрации ООПТ и федерального министерства.

Результаты

Исследование авантюны косы проводилось в период с 2020 по 2021 год. Было осуществлено более 10 полевых выездов на объект. Обследовалось 30 км авантюны, которая относится к российской части косы. Также в ходе работы были проанализированы научные работы с 2009 по 2019 год следующих авторов: Бадюковой Е. Н., Бобыкиной В. П., Бурнашова Е. М., Жуковской И. П., Харина Г. С., и др. Параметры оценки, на основе которых было сделано зонирование, которые в себя включают: количество котловин выдувание и степень их развития, ширина пляжа, наличие или отсутствие рекреационной зоны, наличие или отсутствие мероприятий по укреплению авантюны, наличие или отсутствие трав-песколобов на авантуне, выполнение или невыполнение функций по защите преддунной равнины (пальве), отсутствие авантюны на некоторых участках и на некоторых участках присутствует начальный этап образования авантюны. Результаты зонирования показаны на карте-схеме 1 (Б), а карта-схема 1 (А) зонирование из отчета общественной организации (рис. 1).



А) – зонирование из отчета по классификации общественной организации «Экозащита!» [4]



Б) – зонирование аванюны по рассматриваемым критериям (составлено автором).

Рис. 1. Зонирование аванюны национального парка общественной организации и автора.

На основе полученных результатов было проведено научно обоснованное зонирование аванюны на территории национального парка «Куршская коса», в котором выделены следующие виды состояния: неудовлетворительное, удовлетворительное, хорошее и исследуемый объект представлен фрагментарно. В местах, где выделено неудовлетворительное состояние, присутствует большое количество котловин выдувания разных классификаций (сквозная, поверхностная) многие из них укреплены фашинами и клетями. Для удовлетворительного состояния характерно малое количество котловин выдувания, которые укреплены фашинами, клетями и травами-песколюбями. А хорошее состояние характеризуется отсутствием котловин выдувания, закрепленными песками растительностью. Также в зонировании присутствуют зоны, где аванюны нет вследствие исторических событий.

Заключение

Подводя итог, можно сделать основной вывод, что в отчете неправительственной организации, присутствует информационное манипулирование в подачи полученных данных как фото-, так и текстового материалов. Основной целевой аудиторией этого отчета были обыватели, а не специалисты в области охраны окружающей среды.

Данная работа сопровождалась информационным обеспечением на разных интернет – площадках. Но также стоит отметить, что временной промежуток, когда новостное событие было актуальным, превышает две недели, что не является естественным медийным

событием. Обычный временной промежуток существования естественного потока информации без поддержания извне 3-5 дней, максимум 7-9 дней из-за провокационных или информативных заголовков [5, 6].

Для того чтобы оценить был ли действительно осуществлен подлог, и какую цель он преследует. Необходимо провести самостоятельное научное исследование. Оценка состояния авантюны Куршской косы была проведена с научной точки зрения, то есть оценивалось ширина пляжа, наличие или отсутствие котловин выдувания и степень их развития с учетом методик различных авторов, которые наблюдали за авантюной в определенный период. И только на основании этого и анализа ракурса съемки и других подобных действий можно делать вывод о том был ли сделан подлог или нет. Вопросы, в том числе информационного освещения экологических проблем должны заниматься не журналисты с дополнительным образованием по экологии, а специалисты в области охраны окружающей среды возможно с дополнительным образованием по журналистике.

Список литературы

1. *Об утверждении Перечня особо охраняемых природных территорий регионального и местного значения в Калининградской области.* Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Калининградской области от 18.01.2021 г. № 18. URL: https://minprirody.gov39.ru/upload/iblock/1f3/Приказ__18_от_18.01.2021.pdf (дата обращения: 15.02.2021).

2. *ФГБУ «Национальный парк «Куршская коса».* URL: <http://www.park-kosa.ru/> (дата обращения 10.04.2021).

3. *Лесохозяйственный регламент лесничества «Национальный парк "Куршская коса "» Калининградская область, 2016.*

4. *Реестр НКО, выполняющих функции иностранного агента [Электронный ресурс] / Министерство юстиции Российской Федерации, 2014. – Режим доступа: <http://unro.minjust.ru/NKOForeignAgent.aspx> (дата обращения 21.05.2021)*

5. *Ашманов И.* Информационная атака на ГК InfoWatch. Запись конференции «eTarget 2018», 07.05.2018. [Видеозапись] / YouTube. – Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=2d-73MVdkfU&list=PLym7zb2XMXvV5hKLNUSL7MagZIE8c6k-M&index=4> (дата обращения 13.04.2021)

6. *Щубенок Д.* Отражение информационной атаки. Запись конференции «eTarget 2018», 08.05.2018. [Видеозапись] / YouTube. – Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=Z2VDAhIOQlk&list=PLym7zb2XMXvV5hKLNUSL7MagZIE8c6k-M&index=3> (дата обращения 14.04.2021)

Об авторе

Сукманова Татьяна Викторовна, магистрант 2 курса направления «Экологии и природопользования», Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: tanja.sukmanova@yandex.ru

The author

Sukmanov Tatiana Viktorovna, second year master program Student «Ecology and Nature management», Immanuel Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: tanja.sukmanova@yandex.ru

УДК 504.054

Рубрика 87.19.15.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПОБЕРЕЖИЙ АРХИПЕЛАГА НОВАЯ ЗЕМЛЯ МОРСКИМ МУСОРОМ

STUDY OF MARINE LITTER CONTAMINATION OF THE COASTS OF THE NOVAYA ZEMLIA ARCHIPELAGO

**Воротниченко Екатерина Руслановна¹, Ершова Александра Александровна²,
Котельников Владимир Дмитриевич²**

¹ *Университет информации, технологии, механики и оптики, Санкт-Петербург*

² *Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург*

**Vorotnichenko Ekaterina Ruslanovna¹, Ershova Alexandra Alexandrovna², Kotelnikov
Vladimir Dmitrievich²**

¹ *University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint Petersburg*

² *Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg*

Введение

Морской мусор – это любой стойкий, изготовленный или обработанный твердый материал, который брошен, утилизирован или оставлен в морской и прибрежной среде [1]. Главным его представителем является пластик, который производится ежегодно в объеме более 300 млн тонн, при этом перерабатывается не более 9% от этого количества [2]. Он представляет большую угрозу для биоты: млекопитающие и птицы принимают яркие пластиковые предметы за еду, и, получая чувство насыщения, умирают от голода; морские млекопитающие и рыбы могут запутываться или застревать в сетях, пакетах и рыболовных снастях, а при проглатывании прокалывать себе внутренние органы острыми кусками мусора. Пластик может разрушаться под действием солнца и морской воды, и превращаться в микропластик, который по пищевой цепочке попадает в организм человека с пищей и водой [3].

Мониторинг берегового мусора

В рамках программы Арктический плавучий университет-2022: меняющаяся Арктика (АПУ) Северного арктического федерального университета (САФУ) летом 2022 года было исследовано 5 пляжей архипелага Новая Земля со стороны Баренцева и Карского морей. Метод учета берегового мусора основан на международном подходе ОСПАР, когда выбирается визуально самый загрязненный участок и закладывается полигон длиной 100 метров от уреза воды до линии растительности (или верхней линии пляжа). Из-за того, что зона наибольшей аккумуляции на всех пляжах разная ширина участка варьировала от 15 до 60 метров. Верхняя граница на островах Арктики обычно определяется по линии аккумуляции бревен (плавник). С выделенного участка собирается весь мусор крупнее 2,5 см. При камеральной обработке каждый предмет морского мусора заносится в международный классификатор, подсчитывается количество и вес, а также определяется его происхождение по сохранившимся этикеткам и надписям [4].

В ходе исследования был проведен сбор натуральных данных и выявлены зоны аккумуляции морского мусора на северной оконечности архипелага Новая Земля. Со стороны Баренцева моря был проведен мониторинг Русской Гавани на двух участках берега с разной экспозицией, собрано 547 и 753 предмета морского мусора соответственно. Далее в бухте Иванова, также со стороны Баренцева моря, было найдено 1023 предмета на 100-метровом участке пляжа. Мыс Желания – самая северная точка архипелага, которую омывают два моря – Баренцево и Карское. Со стороны Баренцева было собрано 880 предметов, а со стороны Карского 284 предмета морского мусора. Самым загрязненным пляжем на северной части архипелага является Бухта Мурманца, где со 100 метров было собрано почти 3000 предметов морского мусора общим весом 114 кг. Этот пляж находится на оконечности архипелага, но уже со стороны Карского моря, исследования на данном пляже проводились впервые. Наиболее вероятной причиной такого значительного количества мусора на данном побережье является принос мусора с ветвью течения из Баренцева моря, огибающего мыс Желания, и прижимающий эффект ледовой кромки со стороны Карского моря, не позволяющей мусору распространяться далее в Карском море. Таким образом весь мусор, который приносят течения, остается на побережьях в северной части архипелага. Это подтверждает тот факт, что далее на этой же стороне архипелага, но 40 км южнее, где исследовалась Ледяная Гавань, было найдено наименьшее количество мусора – всего 155 шт. с 100-метрового участка пляжа.

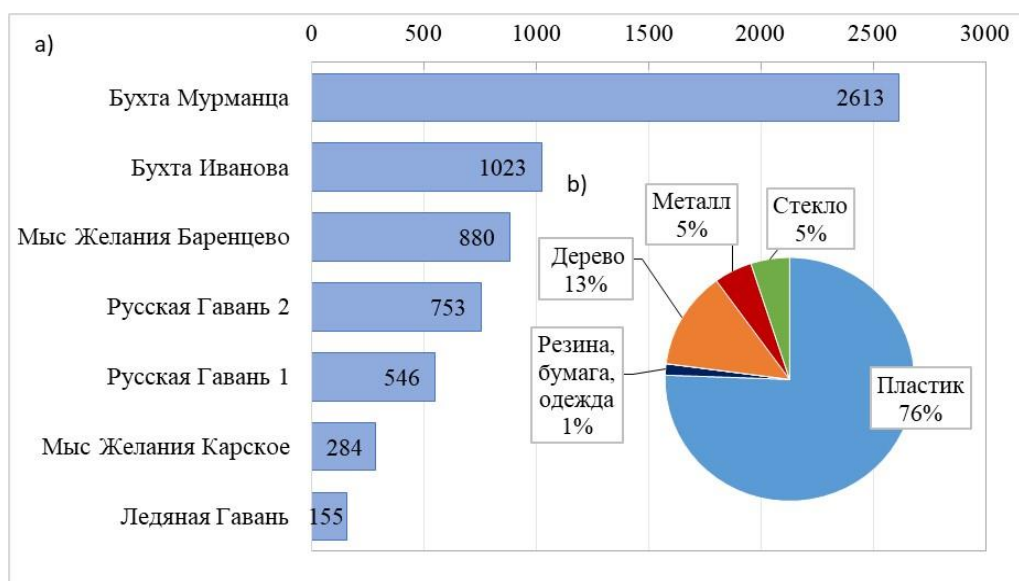


Рисунок 1 – Количество морского мусора на архипелаге Новая Земля в 2022 году: а – распределение морского мусора по пляжам архипелага Новая Земля; б – категории морского мусора со всех пляжей

На всех исследованных участках в составе мусора лидирует пластик, который составляет в среднем 76% от общего количества мусора (см. рис.1). Состояние предметов говорит о том, что на большинстве пляжей они пролежали долгое время, но точную цифру мы сможем узнать только после лабораторных исследований. Самые часто встречающиеся предметы - кусочки пластика до 50 см, рыболовные сети, крепежные ленты, пищевые контейнеры и крышки от напитков. На бытовой мусор, который выбросили возле берега с судов или принесло течениями из Атлантического океана, приходится 57% от общего количества. На мусор от отрасли рыболовства и торговых судов приходится 28% и 15% соответственно. Значительное

количество мусора имеет этикетки России, а также Норвегии, Дании, Великобритании и Германии.

Мониторинг морского мусора проводится на мысе Желания ежегодно, поэтому проведено сравнение с данными прошлой годней съемки в рамках экспедиции АПУ-2021. В 2021 году с участков пляжей со стороны Баренцева и Карского морей было собрано 1068 и 162 предмета соответственно (см. рис.2), что немного больше, чем в 2022 году, однако важно отметить, что в 2021 г. весь мусор был убран с исследуемых участков, таким образом цифра 2022 г. соответствует накоплению морского мусора на берегу за год. Также в 2022 году немного изменилась зона заплеска (изменился рельеф пляжа вероятно из-за сильных штормовых волн Баренцева моря).

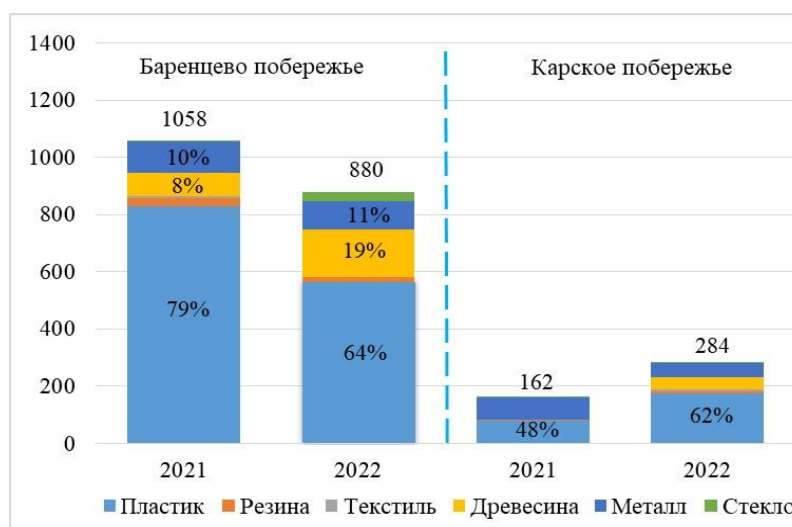


Рисунок 2 – Распределение морского мусора на Мысе Желания на Баренцевом и Карском побережьях в 2021 и 2022 гг

Мониторинг плавающего мусора

В ходе экспедиции АПУ-2022 на НИС «Профессор Молчанов» также проводились визуальные наблюдения за поверхностью моря, когда на мостике проводился учет плавающего мусора на поверхности моря по обоим бортам судна на расстоянии не более 50 м от борта. Каждый замеченный предмет морского мусора по ходу судна записывается в бумажный протокол с координатами и временем. Далее мусор идентифицируется в соответствии с международным классификатором и определяется трек плотности плавающего мусора на поверхности моря (рис. 3). Наблюдения проводились по ходу всего пути судна, начиная от горла Белого моря до льдов Карского моря и в обратном направлении. В результате всех наблюдений пластик встречается чаще остальных категорий: пакеты, куски рыболовных сетей и кусочки пластика. Плотность мусора на всем в среднем не превышает 5 частиц мусора на км². Наибольшее скопление отмечается у западного берега острова Южный архипелага Новая Земля и в районе Русской гавани у острова Северный. Максимальное скопление мусора со стороны Баренцева моря, скорее всего, связано с интенсивностью транспортного потока в этих местах и привнесом мусора течениями из южной части Баренцева моря.

Заключение

В ходе исследования был проведен сбор натуральных данных и выявлены зоны максимальной аккумуляции морского мусора в Баренцевом море в районе архипелага Новая Земля в 2022 году. Самым загрязненным пляжем является пляж в Бухте Мурманца на северной оконечности

архипелага, а также собрано практически такое же количество мусора на побережьях мыса Желания, как и в 2021 г., что говорит о накоплении мусора в этой части моря. В Баренцевом море выявлены зоны максимальной аккумуляции плавающего морского мусора, отмечено, что пластик встречается намного чаще остальных категорий как на берегах, так и на поверхности моря.



Рисунок 3 – Карта плавающего мусора по маршруту АПУ-2022 в Баренцевом море

У действующей методики ОСПАР выявлены следующие недостатки, которые могут быть учтены в будущем при мониторинге арктических побережий:

- в классификаторе не хватает кодовых для некоторых распространенных в данном регионе предметов: например, конвейер для разделки рыбы на судах, упаковочная пленка, металлические буи, бревна и др.;
- нет графы для указания расстояния наибольшей аккумуляции морского мусора от уреза воды;
- показано, что нельзя ограничиваться шириной полигона в 5 м от уреза воды, как принято в некоторых методиках, т.к. почти на всех исследованных пляжах мусор аккумулировался на расстоянии 10 м и более от уреза воды.

Список литературы:

1. Морской мусор UNEP - UN Environment Programme » [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.unep.org/ru/issleduyte-temy/okeyany-i-morya/nasha-deyatelnost/rabota-ro-regionalnym-moryam/morskoj-musor> (дата обращения: 14.09.2022)
2. Отчет GREENPEACE о пластиковом загрязнении берегов водных объектов в России, 2020.
3. Чубаренко, И.П. Микропластик в морской среде: монография / И.П. Чубаренко, Е.Е. Есюкова, Л.И. Хатмуллина, О.И. Лобчук, И.А. Исаченко, Т.В. Буканова. Москва: Научный мир, 2021. – 520 с.
4. Guideline for Monitoring Marine Litter on the Beaches in the OSPAR Maritime Area. OSPAR Commission, 2010.

НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ КУСТИСТЫМИ ЭПИФИТНЫМИ
ЛИШАЙНИКАМИ ВОДОСБОРА ОНЕЖСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

ACCUMULATION OF HEAVY METALS BY FRUTICOSE EPIPHYTIC LICHENS IN THE
WATERSHED OF THE ONEGA BAY OF THE WHITE SEA

**Шевченко Владимир Петрович¹, Саввичев Александр Сергеевич², Болотов Иван
Николаевич³, Стародымова Дина Петровна¹, Ключиткин Алексей Андреевич¹**

¹ *Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, Москва*

² *Институт микробиологии имени С.Н. Виноградского, ФИЦ Биотехнологии РАН,
Москва*

³ *Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени
академика Н.П. Лаверова УрО РАН, Архангельск*

**Shevchenko Vladimir Petrovich¹, Savvichev Alexander Sergeevich², Bolotov Ivan
Nikolaevich³, Starodymova Dina Petrovna¹, Klyuvitkin Alexey Andreevich¹**

¹ *Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow*

² *Winogradsky Institute of Microbiology, Research Centre of Biotechnology of the Russian
Academy of Sciences, Moscow*

³ *N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, the Ural Branch of the Russian
Academy of Sciences, Arkhangelsk*

Введение

Лишайники, являющиеся симбиозом грибов и зелёных водорослей или цианобактерий [Бязров, 2002], получают необходимую влагу, биогенные вещества и микроэлементы преимущественно из атмосферы; они обладают большой площадью поверхности, что делает их естественными биосорбентами [Bargagli, 1998]. Поэтому элементный состав лишайников может показать степень интегрального накопления загрязняющих веществ (тяжелых металлов, радионуклидов, стойких органических загрязнений) в экосистеме в результате атмосферного переноса [Шевченко и др., 2013, 2014; Опекунова, 2016; Meysurova, Notov, 2016; Sett, Kundu, 2016; Василевич, Василевич, 2018; Abas, 2021].

В водосборном бассейне Белого моря исследование элементного состава лишайников проводилось нами в рамках междисциплинарного проекта "Система Белого моря", которым руководил академик А.П. Лисицын [Шевченко и др., 2011, 2012, 2013]. В данной работе представлены результаты исследования накопления тяжёлых металлов кустистыми эпифитными лишайниками в водосборном бассейне Онежского залива, который находится в пределах Северодвинско-Верхнеднепровской подпровинции Североевропейской таёжной провинции, в подзоне средней тайги [Геоботаническое ..., 1989]. Пробы лишайников для определения содержания в них тяжёлых металлов были взяты из коллекции авторов доклада.

Материалы и методы

В 2004–2022 гг. 14 проб эпифитных кустистых лишайников (12 проб *Usnea dasopoga* (синоним – *Usnea filipendula*), 1 проба *Bryoria capillaris* и 1 проба *Alectoria sarmentosa* subsp. *sarmentosa*) были собраны в южной части Кенозерского национального парка вблизи деревни

Думино во время зимних экспедиций биогеохимической специализации Школы № 1553 имени В.И. Вернадского г. Москвы; в сентябре 2010 г. одну пробу *Alectoria sarmentosa* subsp. *sarmentosa* и одну пробу *Bryoria fuscescens* собрали на Лопском полуострове в Кожозерском государственном природном ландшафтном заказнике; в июле 2012 г. 1 проба *Usnea dasopoga* была собрана в окрестностях посёлка Ковкула на правом берегу р. Онега. Эти виды лишайников широко распространены в районе исследований [Фадеева, 2006; Пчелкин, 2019]. Схема расположения районов отбора проб показана на рис. 1.

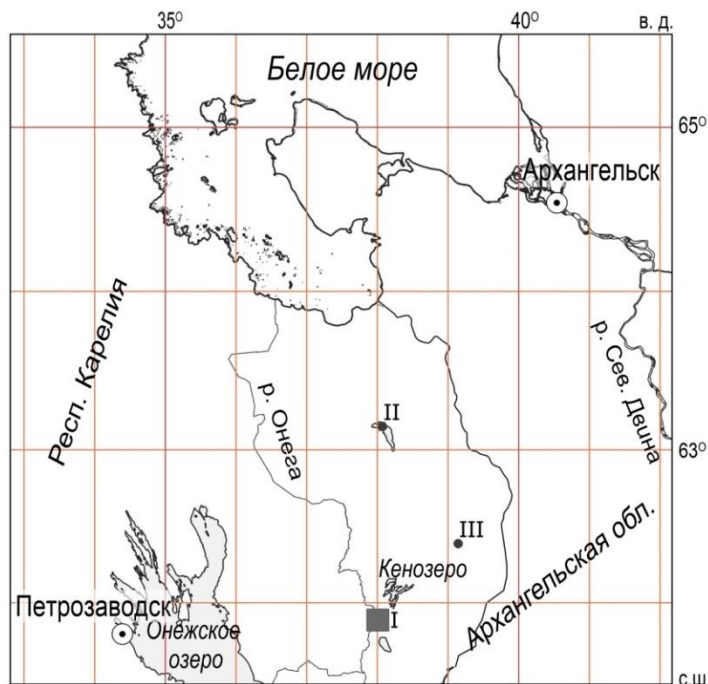


Рис. 1. Схема расположения районов отбора проб лишайников: I – Кенозерский национальный парк; II – Кожозерский государственный природный ландшафтный заказник; III – окрестности посёлка Ковкула.

Пробы лишайников отбирали с веток деревьев на высоте около 1,5 м в стерильные полиэтиленовые пакеты, используя одноразовые полиэтиленовые перчатки. Высушенные пробы растирали в агатовой ступке, разлагали смесью концентрированных ультрачистых кислот в тefлоновых контейнерах и анализировали методами масс-спектрометрии и атомной эмиссии с индуктивно-связанной плазмой [Карандашев и др., 2016].

Для выявления вклада литогенного или иного источника формирования микроэлементного состава лишайников был рассчитан коэффициент обогащения (КО) относительно среднего состава верхней части континентальной земной коры (з.к.) по формуле: $КО = (\text{Эл}/\text{Al})_{\text{проба}} / (\text{Эл}/\text{Al})_{\text{з.к.}}$, где Эл и Al – содержание химического элемента и алюминия в пробе и в верхней части континентальной земной коры [Rudnick, Gao, 2003]. Значения КО >10, свидетельствуют о дополнительном источнике элемента, отличном по составу от литогенного. На суше таким источником обычно является антропогенный.

Результаты и их обсуждение

Сравнение с литературными данными [Бязров, 2002; Московченко, Валева, 2011; Шевченко и др., 2011, 2014; Василевич, Василевич, 2018] показало, что содержание тяжёлых металлов в кустистых эпифитных лишайниках водосбора Онежского залива Белого моря находится на фоновом уровне. Изученные лишайники оказались значительно обогащены Cr, Mg, Ba, Ta, Sr, Cu, Rb, K, Pb, Bi, Ca, Sb, Mn, Zn, Cd (рис. 2). Обогащение лишайников Mg, Ba,

Sr, Rb, K, Ca, Mn может быть объяснено тем, что эти элементы, являясь биофильными, лучше усваиваются лишайниками. Поступление в лишайники Cu, Pb, Bi, Sb, Zn и Cd в исследуемом регионе происходит в основном за счет атмосферного переноса от удаленных антропогенных источников [Шевченко и др., 2011; Виноградова и др., 2017].

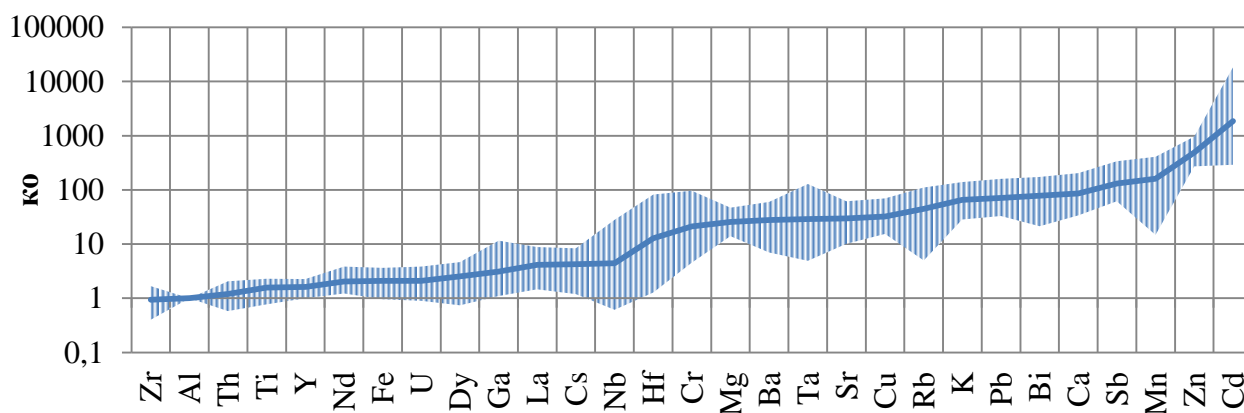


Рис. 2. Коэффициенты обогащения (КО) лишайников относительно верхней части континентальной земной коры [Rudnick, Gao, 2003].

Заключение

На основании проведённых исследований показано, что содержание тяжёлых металлов в кустистых эпифитных лишайниках водосбора Онежского залива Белого моря находится на фоновом уровне. Изученные лишайники оказались значительно обогащены Cr, Mg, Ba, Ta, Sr, Cu, Rb, K, Pb, Bi, Ca, Sb, Mn, Zn, Cd. Обогащение лишайников Mg, Ba, Sr, Rb, K, Ca, Mn может быть объяснено тем, что эти элементы, являясь биофильными, лучше усваиваются лишайниками. Поступление в лишайники Cu, Pb, Bi, Sb, Zn и Cd в исследуемом регионе происходит в основном за счет атмосферного переноса от удаленных антропогенных источников. Полученные результаты необходимы для понимания особенностей накопления тяжелых металлов в экосистеме района исследований.

Благодарности

Авторы благодарят администрацию Кенозерского национального парка и Кожозерского государственного природного ландшафтного заказника за предоставление возможности работать на их территориях, учащихся ГБОУ Школа № 1553 имени В.И. Вернадского города Москвы за помощь в сборе проб в Кенозерском национальном парке, М.П. Журбенко за определение видов лишайников, В.К. Карандашева за выполнение элементного анализа.

Интерпретация полученных данных выполнена при поддержке РНФ (проект № 22-77-10074).

Список литературы

1. Бязров Л.Г. Лишайники в экологическом мониторинге. М.: Научный мир, 2002. 336 с.
2. Василевич М.И., Василевич Р.С. Особенности накопления тяжелых металлов эпифитными лишайниками в таёжной зоне фоновых территорий Европейского северо-востока России // Экология. – 2018. – № 1. – С. 17–23.
3. Виноградова А.А., Котова Е.И., Топчая В.Ю. Атмосферный перенос тяжелых металлов в районы севера европейской территории России // География и природные ресурсы. – 2017. – № 1. – С. 108–116.

4. Геоботаническое районирование Нечерноземья европейской части СССР / Отв. ред. В.Д. Александрова, Т.К. Юрковская. Л.: Наука, 1989. 64 с.
5. Карандашев В.К., Хвостиков В.А., Носенко С.В., Бурмий Ж.П. Использование высокообогащенных стабильных изотопов в массовом анализе образцов горных пород, грунтов, почв и донных отложений методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2016. – Т. 82. – № 7. – С. 6–15.
6. Московченко Д.В., Валеева Э.И. Содержание тяжелых металлов в лишайниках на севере Западной Сибири // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. – 2011. – № 11. – С. 162–172.
7. Опекунова М.Г. Биоиндикация загрязнений. Учебное пособие. 2-е издание. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2016. 300 с.
8. Пчелкин А.В. Первичные сведения о лишайнобиоте государственного природного заказника «Лекшмох» // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – 2019. – Т. 30. – № 3–4. – С. 38–49.
9. Фадеева М.А. Лишайники // Природа и историко-культурное наследие Кожозерья / Под ред. В.А. Ефимова, А.Н. Давыдова. Архангельск: УрО РАН, 2006. С. 75–102.
10. Шевченко В.П., Алиев Р.А., Бобров В.А. и др. Эоловый материал в природных архивах // Система Белого моря. Т. II. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера. М.: Научный мир, 2012. С. 70–107.
11. Шевченко В.П., Покровский О.С., Стародымова Д.П. и др. Геохимия эпигейных лишайников водосборного бассейна Белого моря // Доклады Академии наук. – 2013. – Т. 450. – № 1. – С. 87–93.
12. Шевченко В.П., Стародымова Д.П., Афанасьева А.А. и др. Особенности накопления тяжелых металлов кустистыми эпифитными лишайниками в Республиках Алтай и Хакасия // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12. – С. 2373–2377.
13. Шевченко В.П., Стародымова Д.П., Кутенков С.А. и др. Содержание тяжелых металлов в кустистых эпифитных лишайниках Карелии как индикатор атмосферного переноса загрязняющих веществ // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 3. URL: www.science-education.ru/97-4692 (дата обращения 06.09.2022).
14. Abas A. A systematic review on biomonitoring using lichen as the biological indicator: A decade of practices, progress and challenges // Ecological Indicators. – 2021. – V. 121. – Article 107197.
15. Bargagli R. Trace Elements in Terrestrial Plants. An Ecophysiological Approach to Biomonitoring and Biorecovery. Berlin: Springer-Verlag, 1998. 324 p.
16. Meysurova A.F., Notov A.A. Metal contents in lichens from nature reserves adjacent // Journal of Applied Spectroscopy. 2016. – Vol. 83. – № 5. – P. 832–839.
17. Rudnick R.L., Gao S. Composition of the continental crust // Treatise on Geochemistry. Amsterdam: Elsevier, 2003. V. 3. P. 1–63.
18. Sett R., Kundu M. Epiphytic lichens: their usefulness as bio-indicators of air pollution // Donnish Journal of Research in Environmental Studies. – 2016. – Vol. 3. – № 3. – P. 017-024.

УДК 574.64

Рубрика 87.26.00

СРАВНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ОРГАНАХ МАЛОГЛАЗОГО МАКРУРУСА (*ALBATROSSIA PECTORALIS*) И ЧЕРНОГО ПАЛТУСА (*REINHARDTIUS HIPPOGLOSSOIDES*) ИЗ БЕРИНГОВА МОРЯ

COMPARISON OF THE CONTENTS OF MICROELEMENTS IN THE ORGANS OF THE SMALL GRANNY (*ALBATROSSIA PECTORALIS*) AND THE BLACK HALIBUT (*REINHARDTIUS HIPPOGLOSSOIDES*) FROM THE BERING SEA

Гамов Матвей Константинович¹, Боярова Маргарита Дмитриевна², Цыганков Василий Юрьевич¹

¹*Дальневосточный федеральный университет, Институт Мирового океана, Владивосток*

²*Дальневосточный федеральный университет, Политехнический институт, испытательный центр «Океан», Владивосток*

Gamov Matvey Konstantinovich¹, Boyarova Margarita Dmitrievna², Tsygankov Vasilii Yurievich¹

¹*Far Eastern Federal University, Institute of the World Ocean, Vladivostok*

²*Far Eastern Federal University, Polytechnic Institute, Test-center "Ocean", Vladivostok*

Введение

Тяжелые металлы (ТМ) – широкая группа химических элементов, в которую входит более 40 металлов с атомной массой выше 50 единиц. В качестве критериев принадлежности рассматривают такие параметры, как плотность, атомная масса, степень токсичности, распространенность в природной среде, уровень вовлеченности в природные и техногенные циклы [Dufus, 2002]. Они попадают в различные компоненты экосистем в результате естественных процессов и антропогенной деятельности [Li et al., 2019]. ТМ являются опасными поллютантами из-за их токсичности, персистентности и кумулятивного эффекта.

Большинство тяжелых металлов являются неотъемлемой составной частью организма. Наиболее физиологически важны такие поливалентные металлы, как медь (Cu), железо (Fe), марганец (Mn), никель (Ni) и цинк (Zn). В результате комплексообразования они входят в состав ферментов, гормонов, витаминов, пигментов, липидов и других веществ. [Dökmeci et al., 2014]. Однако такие микроэлементы, как кадмий (Cd), свинец (Pb) и мышьяк (As), способны негативно влиять на живые организмы даже в относительно невысоких концентрациях [Башкин и Касимов, 2004; Hassan & Aarts, 2011].

Для оценки токсичности тяжелых металлов и мышьяка, поступающих в водные экосистемы, в качестве индикаторов используют различные виды гидробионтов, в том числе и рыбы [Gernhöfer et al., 2001; Gaim et al., 2015]. Рыбы давно используются в качестве объектов для биомониторинга загрязняющих веществ водной среды и являются удобными индикаторами токсичности различных поллютантов [Tisler, Zagorc-Koncan, 2002]. Они постоянно подвергаются воздействию тяжелых металлов и мышьяка через жабры и кожу. Микроэлементы аккумулируются в их организме в количествах, во много раз превышающих

содержание в воде, что может приводить к снижению продуктивности водных экосистем и потенциальной опасности для человека.

В качестве объектов исследования нами выбраны такие ценные промысловые виды, как малоглазый макрурус (*Albatrossia pectoralis*) и черный палтус (*Reinhardtius hippoglossoides*), обитающие в придонном слое воды. Благодаря непосредственному контакту с морским дном они способны накапливать в себе значительные концентрации микроэлементов через донные осадки и/или с пищей.

Цель работы: сравнить уровни содержания тяжелых металлов и мышьяка в органах макруруса малоглазого (*Albatrossia pectoralis*) и черного палтуса (*Reinhardtius hippoglossoides*) из Берингова моря.

Материалы и методы

Образцы для анализа выловлены летом 2020 года в акватории Берингова моря. Для исследования отобрано 26 особей макруруса малоглазого (*Albatrossia pectoralis*) и 24 особи черного палтуса (*Reinhardtius hippoglossoides*). Рыба вскрывалась керамическими инструментами, промывалась бидистиллированной водой, взвешивалась и упаковывалась в полиэтиленовые пакеты. До химического анализа образцы хранились в морозильной камере при температуре -20°C .

В лаборатории ткани разрезались керамическим ножом, чтобы избежать загрязнения режущим инструментом. Образцы гомогенизировали и отбирали по 0.5 г. В дальнейшем применен метод микроволнового разложения (CEM, Inc. MARS Express®, Matthews, NC, USA) в соответствии с методом USEPA 3051. Гомогенат каждого образца помещался в тефлоновый сосуд для разложения с 10 мл концентрированной HNO_3 . Минерализованная смесь переносилась в кварцевые стаканы и упаривалась. Далее пробы разбавлялись 0.1 М раствором HNO_3 до 10 мл и переносились в пробирки для дальнейшего анализа. Определение тяжелых металлов и мышьяка выполнялось с использованием атомно-абсорбционного спектрофотометра Shimadzu AA-7000 с электротермическим атомизатором с графитовой печью GFA-7000 (Shimadzu). Точность измерения концентрации металлов контролировалась с помощью анализа стандартных образцов, загрязнение реактивов – с помощью холостых проб. Для атомизации использовалась графитовая кювета с ω -образной платформой, в качестве источника света использовались лампы с полым катодом. Для создания инертной среды использовался аргон высокой степени очистки (99.9999%).

Результаты и обсуждение

Мышьяк. Максимальные средние концентрации этого элемента обнаружены в мышцах черного палтуса и малоглазого макруруса 0.228 и 0.072 мг/кг сырой массы соответственно. Минимальные концентрации находились в печени палтуса и гонадах макруруса – 0.220 и 0.011 мг/кг сырой массы, соответственно (рис. 1). Средние концентрации располагались в порядке малоглазый макрурус: мышцы > печень > гонады. Черный палтус – мышцы > гонады > печень. Превышения ПДК не зафиксировано.

Кадмий. Максимальные средние концентрации этого элемента обнаружены в печени черного палтуса и малоглазого макруруса 0.265 и 0.251 мг/кг сырой массы соответственно. Минимальные концентрации находились в мышцах макруруса и палтуса – 0.031 и 0.004 мг/кг сырой массы, соответственно. Средние концентрации располагались в порядке малоглазый макрурус: печень > гонады > мышцы. Черный палтус печень > гонады > мышцы. Превышения ПДК не зафиксировано.

Свинец. Максимальные средние концентрации свинца обнаружены в печени черного палтуса, минимальные в мышцах 1.98 и 0.290 мг/кг сырой массы соответственно. В печени ПДУ [ТР ТС 021/2011] в 1.0 мг/кг сырой массы, превышен почти в 2 раза 1.98 мг/кг сырой массы. В малоглазом макрурусе максимальные средние концентрации находились в гонадах, минимальные в мышцах 0.057 и 0.017 мг/кг соответственно. Средние концентрации располагались в порядке малоглазый макрурус: гонады > печень > мышцы. Черный палтус печень > гонады > мышцы. По остальным органам превышения ПДУ не зафиксировано.

Марганец. Максимальные средние концентрации марганца обнаружены в гонадах малоглазого макруруса, минимальные в мышцах 1.03 и 0.178 мг/кг сырой массы соответственно. В черном палтусе максимальные средние концентрации находились в печени, минимальные в мышцах 0.600 и 0.324 мг/кг соответственно. Средние концентрации располагались в порядке малоглазый макрурус: гонады > печень > мышцы. Черный палтус печень > гонады > мышцы. Превышения ПДК не зафиксировано.

Никель. Максимальные средние концентрации никеля обнаружены в гонадах малоглазого макруруса, минимальные в печени 0.940 и 0.100 мг/кг сырой массы соответственно. В черном палтусе максимальные средние концентрации находились в гонадах, минимальные в печени 0.450 и 0.108 мг/кг соответственно. Средние концентрации располагались в порядке малоглазый макрурус: гонады > мышцы > печень. Черный палтус гонады > мышцы > печень. Превышения ПДК не зафиксировано.

Медь. Максимальные средние концентрации меди обнаружены в печени малоглазого макруруса, минимальные в мышцах 4.53 и 0.173 мг/кг сырой массы соответственно. В черном палтусе максимальные средние концентрации находились в печени, минимальные в мышцах 3.26 и 2.12 мг/кг соответственно. Средние концентрации располагались в порядке малоглазый макрурус: печень > гонады > мышцы. Черный палтус печень > гонады > мышцы. Превышения ПДК не зафиксировано.

Цинк. Максимальные средние концентрации цинка обнаружены в гонадах малоглазого макруруса, минимальные в мышцах 3.25 и 1.33 мг/кг сырой массы, соответственно. В черном палтусе максимальные средние концентрации находились в гонадах, минимальные в мышцах 2.89 и 1.40 мг/кг, соответственно. Средние концентрации располагались в порядке малоглазый макрурус: гонады > печень > мышцы. Черный палтус гонады > печень > мышцы. Превышения ПДК не зафиксировано.

Железо. Максимальные средние концентрации железа обнаружены в печени черного палтуса, минимальные в мышцах 9.23 и 1.57 мг/кг сырой массы, соответственно. В малоглазом макрурусе максимальные средние концентрации находились в печени, минимальные в мышцах 9.03 мг/кг соответственно. Средние концентрации располагались в порядке малоглазый макрурус: печень > гонады > мышцы. Черный палтус печень > гонады > мышцы. Превышения ПДК не зафиксировано.

Полученные нами результаты показали, что наибольшее содержание мышьяка и свинца, отмечается во всех исследуемых органах черного палтуса по сравнению с аналогичными органами малоглазого макруруса. Концентрации железа, марганца, никеля, меди и цинка в органах исследуемых нами рыб находятся примерно на одном уровне.

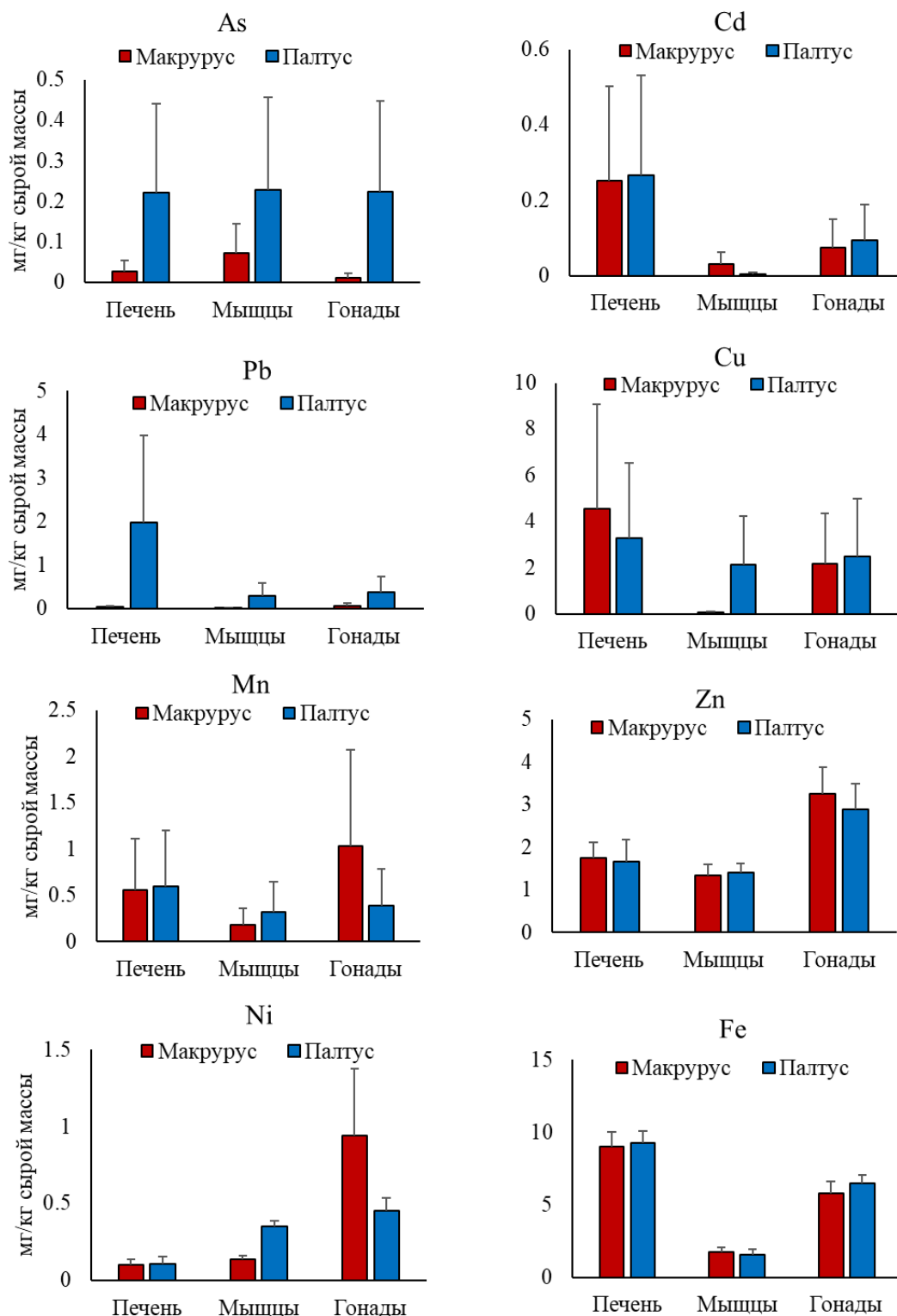


Рис. 1. Сравнение средних концентраций микроэлементов в органах черном палтусе и макрурсе малоглазом мг/кг сырой массы

Стоит сказать, что на величину концентраций элементов в организме рыб оказывает существенное влияние не только биогеохимический состав водной среды, грунтов и других источников микроэлементов для гидробионтов, но и физиологические особенности самих рыб. Так же нельзя не отметить нерестовый период, который непосредственно связан с созреванием половых продуктов, когда наблюдается не только изменение процессов

накопления элементов в системе окружающая среда-организм, но и активное перераспределение накопленных в предшествующий период элементов между его различными частями и органами и тканями в организме рыб.

Финансирование

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (№ 22-24-00465)

Список литературы

1. *Башкин, В.Н., Касимов Н.С.* Биогеохимия // Монография. – М.: Научный мир Москва, 2004. – 648 с.
2. ТР ТС 021/2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» / Комиссия Таможенного союза. – 2011. – 242 с.
3. *Dökmeci A.H., Yıldız T., Öngen A., Sivri N.* Heavy metal concentration in deepwater rose shrimp species (*Parapenaeus longirostris* Lucas 1846) collected from the Marmara Sea Coast in Tekirdağ // Environmental monitoring and assessment. – 2014. – V. 186, No. 4. – P. 2449–2454.
4. *Duffus J.H.* “Heavy metals” a meaningless term? (IUPAC Technical Report) // Pure and applied chemistry. – 2002. – V. 74. – P. 793–807.
5. *Gaim K., Gebru G., Abba S.* The effect of arsenic on liver tissue of experimental animals (fishes and mice)—a review article // International Journal of Scientific and Research Publications. – 2015. – V. 5., No. 5. – P. 1–9.
6. *Gernhöfer M., Pawert M., Schramm M., Müller E., Triebkorn R.* Ultrastructural biomarkers as tools to characterize the health status of fish in contaminated streams // Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery. – 2001. – V. 8., No. 3. – P. 241–260.
7. *Hassan Z., Aarts M.G.* Opportunities and feasibilities for biotechnological improvement of Zn, Cd or Ni tolerance and accumulation in plants // Environmental and Experimental Botany. – 2011. – V. 72, No. 1. – P. 53–63.
8. *Li C., Zhou K., Qin W., Tian C., Qi M., Yan X., Han W.* A review on Heavy Metals Contamination in Soil: Effects, Sources, and Remediation Techniques // Soil and Sediment Contamination: An International Journal. – 2019. – Vol. 2, No. 4. – P. 380–394.
9. *Tišler T., Zagorc-Končan J.* Acute and chronic toxicity of arsenic to some aquatic organisms // Bulletin of environmental contamination and toxicology. – 2002. – V. 69., No. 3. – P. 421–429.

ТЯЖЁЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ДОННЫХ ОСАДКАХ МАЛЫХ ОЗЁР ВОДОСБОРА ОБИ В
ЕЁ СРЕДНЕМ ТЕЧЕНИИ

HEAVY METALS IN THE BOTTOM SEDIMENTS OF SMALL LAKES IN THE OB
CATCHMENT IN ITS MIDDLE COURSE

**Шевченко Владимир Петрович¹, Воробьёв Сергей Николаевич², Стародымова Дина
Петровна¹, Алиев Рамиз Автандилович³, Лим Артём Георгиевич², Покровский Олег
Сергеевич^{4,2}**

¹*Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, Москва*

²*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск*

³*Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”, Москва*

⁴*Geosciences and Environment Toulouse, UMR 5563 CNRS, Тулуза, Франция*

**Shevchenko Vladimir Petrovich¹, Vorobyev Sergey Nikolaevich², Starodymova Dina
Petrovna¹, Aliev Ramiz Avtandilovich³, Lim Artyom Georgievich², Pokrovsky Oleg
Sergeevich^{4,2}**

¹*Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow*

²*Tomsk State University, Tomsk*

³*National Research Center “Kurchatov Institute”, Moscow*

⁴*Geosciences and Environment Toulouse, UMR 5563 CNRS, Toulouse, France*

Введение

Донные осадки озёр являются природными архивами и могут быть использованы для реконструкции экологической обстановки прошлого [Johansson et al., 1995; Богданов и др., 1997; Smol, 2002; Субетто, 2009; Leonova et al., 2015; Слукровский, Даувальтер, 2020]. Донные осадки удаленных от локальных источников антропогенного загрязнения озёр накапливают информацию о поступлении поллютантов из атмосферы от региональных и глобальных источников, а также дают возможность проследить изменения атмосферного загрязнения [Johansson et al., 1995; Шевченко и др., 2017; Tatsii et al., 2020].

Активное исследование накопления тяжелых металлов донными осадками озёр проводится на юге Западной Сибири [Leonova et al., 2015; Мальцев и др., 2019; Страховенко и др., 2019]. Однако озера среднего течения Оби изучены в меньшей степени. Здесь есть небольшие озера, затопляемые в весенний период, и озера, расположенные на верхних террасах реки [Vorobyev et al., 2015].

Материалы и методы

В августе 2020 г. керны донных осадков были отобраны в окрестностях научной станции «Кайбасово» Томского государственного университета в озерах Инкино (на затопляемой во время половодья пойме левого берега Оби) и Щучьем, находящимся на второй надпойменной террасе на правом берегу Оби. Из каждого озера было отобрано по одному керну отложений с использованием пробоотборника фирмы Aquatic Research Instruments®, оснащенного поликарбонатной трубкой (длина 60 см, внутренний диаметр 10 см). Схема расположения точек отбора проб показана на рис. 1.

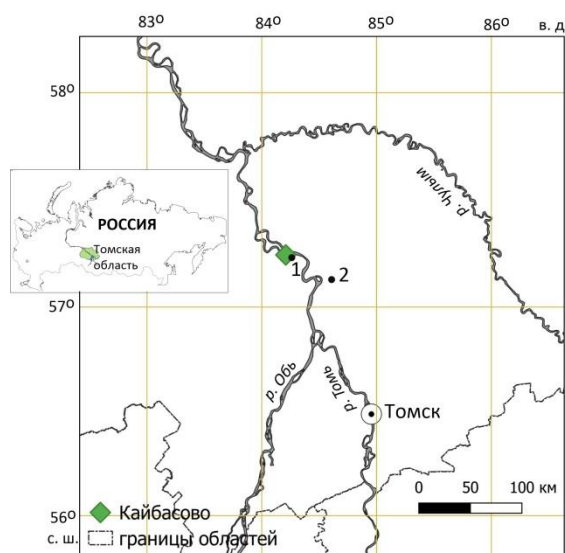


Рис. 1. Схема расположения районов отбора проб: 1 – озеро Инкино, 2 – озеро Щучье.

Высушенные в лиофилизаторе Martin Christ Alpha 2–4 LDplus пробы растирали в агатовой ступке, разлагали смесью концентрированных ультрачистых кислот в тefлоновых контейнерах и анализировали методами масс-спектрометрии и атомной эмиссии с индуктивно-связанной плазмой [Карандашев и др., 2016]. Потери при прокаливании (ППП) определяли в пробах при 550°C для оценки содержания органических веществ в соответствии с [Heiri et al., 2001]. Активность ^{210}Pb и ^{137}Cs измеряли гамма-спектрометрически на детекторе HPGe GEM-C5060P4-B (Ortec) и рассчитывали скорости осадконакопления по методике, описанной в [Robbins, Edgington, 1975; Aliev et al., 2007].

Для выявления вклада литогенного или иного источника формирования микроэлементного состава донных осадков был рассчитан коэффициент обогащения (КО) относительно среднего состава верхней части континентальной земной коры (з.к.) по формуле: $\text{КО} = (\text{Эл}/\text{Al})_{\text{проба}} / (\text{Эл}/\text{Al})_{\text{з.к.}}$, где Эл и Al – содержание химического элемента и алюминия в пробе и в верхней части континентальной земной коры [Rudnick, Gao, 2003]. Значения $\text{КО} > 3$, свидетельствуют о дополнительном источнике элемента, отличном по составу от литогенного. На суше таким источником обычно является антропогенный.

Результаты и их обсуждение

Значения потерь при прокаливании (ППП) в донных осадках озера Инкино постепенно снижаются вниз по керну с 19,9 до 3,2%. Содержание Al_2O_3 колеблется от 13,0 до 16,0%, его распределение по колонке неравномерно, в целом наблюдается постепенное уменьшение Al в сторону нижних частей керна. Осадки этого озера можно отнести к минерагенному типу донных осадков [Страховенко и др., 2019]. Аналогичное вертикальное распределение характерно для Mg, K, Fe, а также для ряда элементов-примесей (Li, Be, Sc, V, Ni, Rb, Cs и др.). Вертикальное распределение Cd, Pb, Bi, Zn показывает высокие содержания элементов в верхних 2 см керна и постепенное снижение вглубь (рис. 2).

Значения ППП в донных осадках озера Щучьего варьируют от 59 до 90%, что соответствует сапропелям, и такие осадки можно отнести к органогенным [Страховенко и др., 2019]. По составу керн делится на два неоднородных участка: 0–7 см и 7–24 см. В верхней части наблюдается более высокое содержание алюминия и более низкие значения ППП. В вертикальном распределении Al, Mg, K, Ti, Sc, Rb, Cr, Zn, Cs, Cd, Bi, Pb и др. наблюдается отчетливое разделение на два интервала – более высокое и равномерное

содержание на глубине 0–7 см и уменьшающаяся с глубиной – в интервале 7–24 см. Содержание Pb на глубине 0–3 см в 1,5–2 раза выше, чем в нижележащих слоях (рис. 2).

Оценка скорости осадконакопления в озере Инкино составляет 0,75 мм/год по измерениям как ^{210}Pb , так и ^{137}Cs . Оценить скорость седиментации в озере Щучьем по ^{210}Pb не представляется возможным из-за низкой активности и неудовлетворительной статистики измерений, а по активности ^{137}Cs она составляет около 2,3 мм в год.

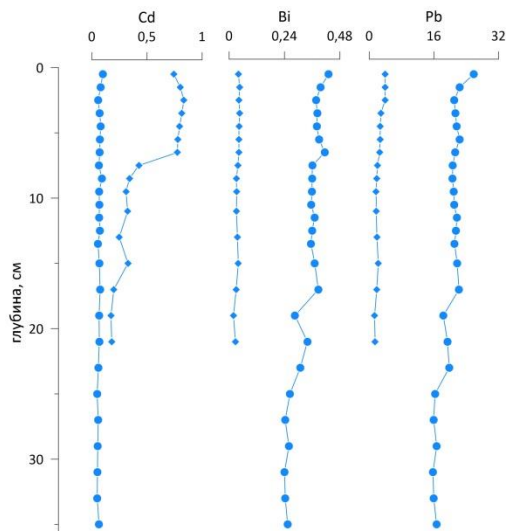


Рис. 2. Содержание металлов – загрязнителей окружающей среды в донных осадках озёр Инкино (кружки) и Щучье (ромбы), мкг/г.

Сравнение состава донных осадков озера Инкино с взвесью реки Обь [Савенко, 2006] показывает сходство их элементного состава. Разница между содержаниями таких элементов, как Al, Ti, V, Cr, Co, Ni, Ba в взвеси Оби и в верхнем слое донных отложений озера не превышает 13%. Таким образом, основным источником вещества в донных осадках озера Инкино, вероятно, является взвесь Оби, что хорошо согласуется с положением этого озера в пойме реки.

На основании значений КО донных осадков озера Щучьего можно предположить дополнительные источники, кроме литогенного, для следующих элементов: Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Cd, Sb, Ba, P, S, Ca, Mn, Fe. Относительное обогащение верхнего горизонта по сравнению с нижними получено для Ni, P, Zn, Co, Cd, что может свидетельствовать как о накоплении биофильных элементов (Zn, P) органическим веществом, так и об увеличении поступления этих элементов со временем, в частности из антропогенных источников.

Заключение

Донные осадки исследованных озер относятся к разным типам озерных отложений – минеральным (Инкино) и органогенным (Щучье), что влияет на особенности накопления тяжелых металлов в осадках. Донные осадки изученных озёр обогащены рядом тяжелых металлов. Обогащение этими металлами в основном определяется природными процессами; однако по сравнению с доиндустриальными отложениями увеличилось поступление Cr, Co, Cu, Zn, Cd, Sb, Pb и Bi.

Благодарности

Авторы благодарят Л.П. Борило, Л.Г. Колесниченко, А.В. Сорочинского за помощь в отборе проб, А.И. Осипова и В.В. Труфанова за участие в подготовке проб к анализам, В.К. Карандашева за выполнение элементного анализа.

Исследования проведены при поддержке РФФИ (грант № 19-05-50096).

Список литературы

1. Богданов Ю.А., Купцов В.М., Шевченко В.П. и др. Современные потоки химических элементов из водной толщи в донные осадки озера Байкал // Доклады Академии наук. – 1997. – Т. 352. – № 1. – С. 100–104.
2. Карандашев В.К., Хвостиков В.А., Носенко С.В., Бурмий Ж.П. Использование высокообогащенных стабильных изотопов в массовом анализе образцов горных пород, грунтов, почв и донных отложений методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2016. – Т. 82. – № 7. – С. 6–15.
3. Мальцев А.Е., Леонова Г.А., Бобров В.А., Кривоногов С.К. Геохимия сапропелей голоценовых разрезов из малых озер юга Западной Сибири и Восточного Прибайкалья. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2019. – 444 с.
4. Савенко В.С. Химический состав взвешенных наносов рек Мира. М.: ГЕОС, 2006. – 175 с.
5. Слуковский З.И., Даувальтер В.А. Особенности накопления свинца, сурьмы и кадмия в отложениях малых озёр юга Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. – 2020. – № 4. – С. 75–94.
6. Страховенко В.Д., Овдина Е.А., Малов Г.И. и др. Генезис органоминеральных отложений озёр центральной части Барабинской низменности (юг Западной Сибири) // Геология и геофизика. – 2019. – Т. 60. – № 9. – С. 1231–1243.
7. Субетто Д.А. Донные отложения озёр: палеолимнологические реконструкции. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2009. – 339 с.
8. Шевченко В.П., Любас А.А., Стародымова Д.П. и др. Особенности геохимии тяжелых металлов в донных осадках малых озер урочища Пымвашор (Большеземельская тундра) // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 1. – С. 105–110.
9. Aliev R.A., Bobrov V.A., Kalmykov S.N. et al. Natural and artificial radionuclides as a tool for sedimentation studies in the Arctic region // J. Radioanal. Nucl. Chem. – 2007. – V. 274. – P. 315–321.
10. Heiri O., Lotter A.F., Lemcke G. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results // Journal of Paleolimnology. – 2001. – V. 25. – P. 101–110.
11. Johansson K., Andersson A., Andersson T. Regional accumulation pattern of heavy metals in lake sediments and forest soils in Sweden // Science of the Total Environment. 1995. V. 160/161. P. 373–380.
12. Leonova G.A., Bobrov V.A., Krivonogov S.K. et al. Biogeochemical specifics of sapropel formation in Cisbaikalian undrained lakes (exemplified by Lake Ochki) // Russian Geology and Geophysics. – 2015. – V. 56. – P. 745–761.
13. Robbins J.A., Edgington D.N. Determination of recent sedimentation rates in Lake Michigan using Pb-210 and Cs-137 // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 1975. – V. 39. – P. 285–304.
14. Rudnick R.L., Gao S. Composition of the continental crust // Treatise on Geochemistry. Amsterdam: Elsevier, 2003. V. 3. P. 1–63.
15. Smol J.P. Pollution of Lakes and Rivers: A Paleoenvironmental Perspective. London: Arnold, 2002. 208 p.
16. Vorobyev S.N., Pokrovsky O.S., Kirpotin S.N. et al. Flood zone biogeochemistry of the Ob River middle course // Applied Geochemistry. – 2015. – V. 63. – P. 133–145.

ПОСТУПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ АТМОСФЕРЫ НА ВОДОСБОР БЕЛОГО МОРЯ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

INPUT OF METALS FROM THE ATMOSPHERE INTO THE WATERSHED OF THE WHITE SEA IN WINTER

Стародымова Дина Петровна, Котова Екатерина Ильинична

Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, Москва

Starodymova Dina Petrovna, Kotova Ekaterina Ilyinichna

Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow

Введение

Состав атмосферных осадков является индикатором антропогенной нагрузки, поскольку они способны вымывать из атмосферы химические соединения, в том числе тяжелые металлы. В течение зимнего сезона, когда суша покрыта снегом, и влияние литогенного источника сведено к минимуму, основным фактором, влияющим на состав атмосферных осадков, становятся антропогенные эмиссии. В течение холодного периода снежный покров накапливает загрязняющие вещества, поступающие из атмосферы, а при снеготаянии высвобождает большое количество загрязнителей, оказывая существенное влияние на качество природных вод и почв. Особенно значительным это накопление оказывается для районов с устойчивым многомесячным снежным покровом. Изучение элементного состава (взвешенной и растворимой фазы) снежного покрова позволяет оценить влияние различных источников загрязнения атмосферы, а также позволяет оценить пространственное распределение загрязняющих веществ относительно расположения источников антропогенных эмиссий.

Геохимия снежного покрова севера европейской части России была изучена многими авторами [Шевченко и др., 2012; Василевич и др., 2015 и пр.]. Особое внимание исследователи уделяли внимание районам, подверженным значительным антропогенным нагрузкам: от горно-обогатительных комбинатов [Reimann et al., 1996; Caritat et al. 1998], от объектов транспортной инфраструктуры [Стародымова и др., 2018], предприятий нефтегазодобывающей отрасли [Walker, 2005; Котова и др., 2021] в населенных пунктах [Чагина, Иванченко, 2012]. В Архангельской области регулярные исследования геохимии снежного покрова ведутся, начиная с 2014 г. [Шевченко и др., 2015; Стародымова и др., 2018; Котова и др., 2022]. Новизна данного исследования состоит в том, что отбор проб производился на ежемесячной основе, что позволяет оценить изменчивость потоков элементов в течение зимнего сезона.

Материалы и методы

Пробы атмосферных осадков отбирались с ноября 2020 года по февраль 2021 года. Осадкосборники были установлены в трех точках Архангельской области: Онега (водосбор Онежского залива Белого моря), Северодвинск (водосбор Двинского залива), Заборье (бассейн р. Северная Двина, 260 км от моря). Одна пробоотборная установка в течение всего месяца была открыта, вторую открывали на период выпадения осадков. Каждая проба представляет собой суммарную пробу за месяц. В период максимального снегозалегаания (февраль 2021

года) вблизи каждой точки была отобрана проба снежного покрова. После отбора осадки и снег растапливали, и фильтровали через предварительно взвешенные ядерные фильтры диаметром 47 мм с диаметром пор 0.45 мкм. Фильтры с нерастворимыми частицами были взвешены, а исходя из объема профильтрованной воды и массы нерастворимых частиц, были вычислены концентрации частиц в снеге и поток нерастворимых частиц. Также в растопленном снеге с помощью мультипараметрического прибора MultiLine 3420, WTW (Германия) измеряли значения рН и общую минерализацию.

Полученный фильтрат анализировался методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) на приборе Agilent 7500. Нерастворимые частицы на фильтрах были разложены смесью концентрированных кислот (HNO_3 , HCl , HF), полученный раствор был также проанализирован методом ИСП-МС. В полученных образцах были определены концентрации Li, Al, V, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Cd, Cs, Ba, РЗЭ, Pb, Bi, Th, U.

Для выявления источников поступления элементов в снежный покров был рассчитан коэффициент обогащения (КО) относительно среднего состава верхней части континентальной земной коры (з.к.) по формуле: $\text{КО} = (\text{Эл}/\text{Al})_{\text{проба}} / (\text{Эл}/\text{Al})_{\text{з.к.}}$, где Эл и Al – содержание химического элемента и алюминия в пробе и в верхней части континентальной земной коры [Rudnick, Gao, 2003]. Значения $\text{КО} > 5$, свидетельствуют о дополнительном источнике элемента, отличном от литогенного. Как правило, таким источником является антропогенный.

Результаты и их обсуждение

Наибольшие потоки нерастворимых частиц получены для станции Северодвинск, расположенной вблизи одноименного города – центра судостроения и машиностроения. В течение периода пробоотбора на всех изученных станциях происходит закономерное увеличение потока частиц в марте и, особенно, в апреле, что связано с увеличением поступления вещества за счет выдувания частиц почвы, освобождающейся от снежного покрова.

При сопоставлении двух типов пробоотборников, значимые различия выявляются в весенние месяцы – пробы, отобранные с помощью пробоотборников открытого типа, характеризуются более высокой концентрацией нерастворимых частиц и более высокой общей минерализацией.

В диапазоне 7–40 мг/л присутствует прямая линейная зависимость между общей минерализацией и концентрацией нерастворимых частиц в снеге. Концентрации элементов в растворенной и взвешенной фазе находятся на уровне, характерном для севера Европы [Ross, Granat, 1986; Caritat et al., 1998; Василевич и др., 2015].

Состав нерастворимой фракции снега значительно отличается от литогенного вещества (рис. 1). В среднем, пробы, отобранные на станции Северодвинск, характеризуются более высоким содержанием Al. Все образцы нерастворимой фракции снега оказались обогащены Zn, Cd, Pb, Bi относительно среднего состава земной коры (значения КО достигают нескольких сотен). Некоторые образцы оказались обогащены Cu, Ni, Mn, As (значения КО достигают десятков и первых сотен). Отмечено, что образцы, отобранные на станции Северодвинск, характеризуются меньшими значениями КО по сравнению с другими станциями, что связано с более высоким содержанием литогенной пыли в образцах со станции Северодвинск. Источником данной пыли может служить песок, используемый для посыпки дорог в зимнее время. На всех изученных станциях значения КО для упомянутых элементов снижаются в апреле с увеличением поступления литогенного вещества.

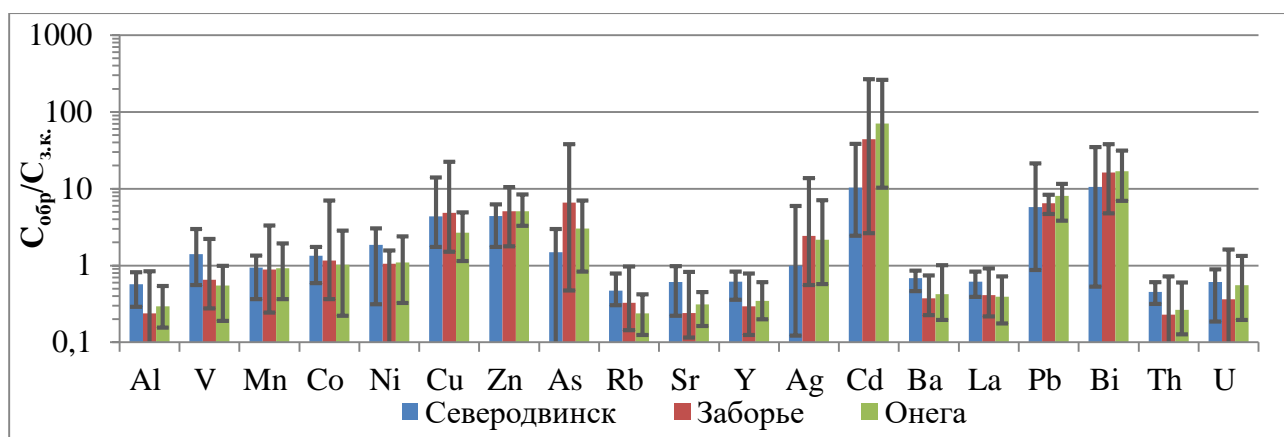


Рис. 1. Содержания элементов в образцах нерастворимых частицах снега, нормированные на средний состав верхней части континентальной земной коры [Rudnick, Gao, 2003].

Потоки тяжелых металлов, измеренные на станции Северодвинск выше, чем на других станциях (рис. 2), а поступление металлов на этой станции происходит в основном во взвешенной форме. На фоновых станциях (Заборье и Онега), доля растворимой фракции в потоке тяжелых металлов выше. Наибольшая доля растворимой фракции в общем потоке получена для Zn и Cd.

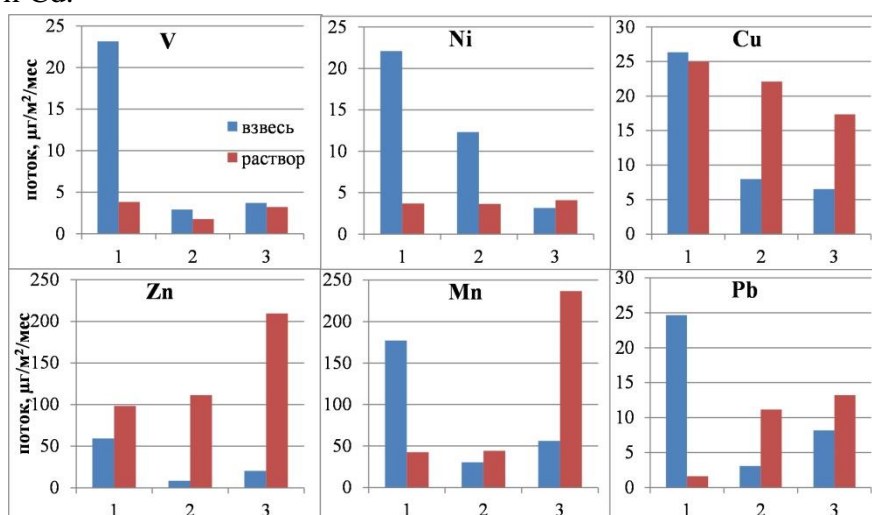


Рис. 2. Среднемесячные потоки тяжелых металлов во взвешенной и растворенной фракции, измеренные на станциях Северодвинск (1), Заборье (2), Онега (3)

Заключение

Потоки нерастворимых частиц на станции Северодвинск существенно выше, чем на других станциях. На всех трех станциях поток нерастворимых частиц увеличивается весной. Состав нерастворимых частиц значительно отличается от среднего состава земной коры. Значения коэффициентов обогащения говорят о дополнительном (антропогенном) источнике поступления Zn, Cd, Pb, Bi во всех пробах, а также Cu, Ni, Mn, As во многих пробах. Наибольшая доля литогенного вещества получена для проб, отобранных на станции Северодвинск. Cd и Zn присутствуют в основном в наиболее подвижном, растворенном в воде виде.

Благодарности

Авторы благодарят Котова А.А., Молокова В.А., сотрудников морской гидрометеорологической станции Северодвинск за помощь в отборе проб.

Интерпретация полученных данных выполнена при поддержке РФФ (проект № 22-77-10074).

Список литературы

1. *Василевич М.И., Безносиков В.А., Кондратёнок Б.М.* Накопление растворимых и малорастворимых форм металлов в снежном покрове таежной зоны европейского северо-востока России // *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология.* – 2015. – № 2. – С. 111–118.
2. *Котова Е.И., Пучков А.В., Яковлев Е.Ю., Иванченко Н.Л., Бедрина Д.Д.* Состав снежного покрова западной части Ненецкого автономного округа (тяжелые металлы и радиоактивность) // *Экологический мониторинг и моделирование экосистем.* – 2021. – Т. 32. – № 3–4. – С. 58–70.
3. *Котова Е.И., Стародымова Д.П., Шевченко В.П. и др.* Состав атмосферных осадков, выпадающих на территории Архангельской области в зимний период // *Геология морей и океанов. Материалы XXIV Международной научной конференции (Школы) по морской геологии.* – 2022. – С. 96–99.
4. *Стародымова Д.П., Шевченко В.П., Белоруков С.К. и др.* Геохимия рассеянного осадочного вещества снега в Приморском районе Архангельской области // *Успехи современного естествознания.* – 2018. – № 2. – С. 140–145.
5. *Чагина Н.Б., Иванченко Н.Л.* Тяжелые металлы в снеговых выпадениях Архангельской области // *Успехи современного естествознания. Материалы конференций.* – 2012. – № 10. – С. 105–106.
6. *Шевченко В.П., Алиев Р.А., Бобров В.А. и др.* Эоловый материал в природных архивах // *Система Белого моря. Т. II. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера.* М.: Научный мир, 2012. – С. 70–107.
7. *Шевченко В.П., Стародымова Д.П., Филиппов А.С. и др.* Исследование нерастворимых частиц в снежном покрове водосбора Белого моря // *Природные ресурсы и комплексное освоение прибрежных районов арктической зоны. Сборник научных трудов. ФГБУН "Архангельский научный центр Уральского отделения Российской академии наук".* – 2015. – С. 60–64.
8. *Caritat P. de, Åyräs M., Niskavaara H. et al.* Snow composition in eight catchments in the central Barents Euro-Arctic region // *Atmos. Environ.* – 1998. – V. 32. – P. 2609–2626.
9. *Reimann C., Niskavaara H., de Caritat P. et al.* Regional variation of snowpack chemistry in the vicinity of Nikel and Zapoljarnij, Russia, northern Finland and Norway // *Sci. Total Environ.* – 1996. – V. 182. – P. 147–158.
10. *Ross H.B., Granat L.* Deposition of atmospheric trace metals in northern Sweden as measured in the snowpack // *Tellus.* – 1986. – V. 38B. – P. 27–43.
11. *Rudnick R.L., Gao S.* Composition of the continental crust // *Treatise on Geochemistry.* Amsterdam: Elsevier, 2003. – V. 3. – P. 1–63.
12. *Walker T.R.* Comparison of anthropogenic metal deposition rates with excess soil loading from coal, oil and gas industries // *Polish Polar Research.* – 2005. – V. 26. – No. 4. – P. 299–314.

УДК 001.891.5

Рубрика 87.19.00.

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ НЕФТЯНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ВОДАХ КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА БАРЕНЦЕВА МОРЯ.

LONG-TERM DYNAMICS OF THE CONTENT OF OIL HYDROCARBONS IN THE WATER OF THE KOLA BAY OF THE BARENTS SEA.

Чекменева Наталья Алексеевна¹, Долгова Анна Олеговна¹, Коршенко Александр Николаевич¹

¹ *ФГБУ «Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова», г. Москва*

Chekmeneva Natalia Alekseevna¹, Dolgova Anna Olegovna¹, Korshenko Alexandr Nikolaeovich¹

¹ *State Oceanographic Institute named after N.N. Zubova, Moscow*

Введение

Оценка содержания растворенных форм нефтяных углеводородов (НУ) в Кольском заливе Баренцева моря имеет важное значение. Баренцево море ледовитое, но именно Кольский залив никогда не замерзает благодаря тёплому течению Гольфстрим. Глубины залива достигает 300 метров, протяженность залива вдоль северо-западной части Кольского полуострова составляет 57 км. С юга в Кольский залив впадают заполярные реки Тулома и Кола. К нашему времени Кольский залив стал одной из основных транспортных артерий в системе Северного морского пути.

Данные и методы

Ежегодно работы по отбору проб воды Кольского залива, в рамках системы государственного мониторинга, осуществляют морская гидрометеорологическая станция Мурманск (МГ Мурманск). Определение базовых гидрохимических параметров и выполнение химических анализов на биогенные и загрязняющие вещества проводит лаборатория мониторинга загрязнения поверхностных и морских вод (ЛМВ) Центра мониторинга загрязнения окружающей среды (ЦМС) ФГБУ «Мурманское УГМС». Отбор проб осуществляется на станциях государственной службы наблюдения и контроля загрязнения объектов природной среды – станции ГСН I и II категории наблюдений. Станция водпоста в торговом порту г. Мурманска (ВПМ) – единичная контрольная станция I категории, которая предназначена для оперативного контроля уровня загрязнения моря (рис.1). Такие станции обычно располагаются в особо важных или постоянно подверженных интенсивному загрязнению районах моря. Станции II категории в Южном, Среднем и Северном «коленах» Кольского залива относятся к единичным станциям или разрезам и служат для получения систематической информации о загрязнении морских и устьевых вод, а также для исследования сезонной и межгодовой изменчивости контролируемых параметров.



Рис. 1. Акватория Кольского залива Баренцева моря. Южное, Среднее и Северное «колена», станции отбора проб морских вод на определение НУ, станция ВПМ в торговом порту г. Мурманск.

В период 2011-2014 гг. включительно исследования в рамках системы государственного мониторинга проводились на станциях в Южном, Среднем и Северных «коленах» и на ст. ВПМ в торговом порту г. Мурманск несколько раз в год. Начиная с 2015 г. из-за отсутствия плавсредств отбор проб производился только на ст. ВПМ в период с января по ноябрь один раз в два месяца.

Отбор проб на определение нефтяных углеводородов (НУ) проводился на всех станциях. Исследования проб воды проведены по природоохранному нормативному документу ПНД Ф 14.1:2:4.128-98 «Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природной, питьевой и сточной воды флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «ФЛЮОРАТ-02» (издание 2012 г. изменение №1 от 13.07.2017 г.) [3]. Данная методика предназначена для анализа массовой концентрации нефтепродуктов в природных водах, включая морские.

Содержание НУ в морской воде Кольского залива

Наличие нефтяных углеводородов в торговом порту Мурманска на ст. ВПМ наблюдается постоянно. В выбранный временной период 2011-2021 гг. значения выше ПДК были зафиксированы каждый год. Начиная с 2014 г. наблюдается заметная тенденция уменьшения как максимальных, так и среднегодовых значений содержания НУ (рис. 2). В период 2016-2018 гг. отмечено уменьшение среднегодовых значений до близкого к ПДК уровня – 0,05 мг/дм³ [4]. В 2019 г. был зафиксирован существенный рост среднегодовой и максимальной концентрации НУ. А в последние два года их содержание опять значительно снизилось и вернулось к предыдущим значениям. Анализ многолетней динамики показывает,

что в 2020 г. впервые средняя концентрация была на уровне значения ПДК (0,05 мг/дм³), а в 2021 г. ниже уровня ПДК – 0,03 мг/дм³.

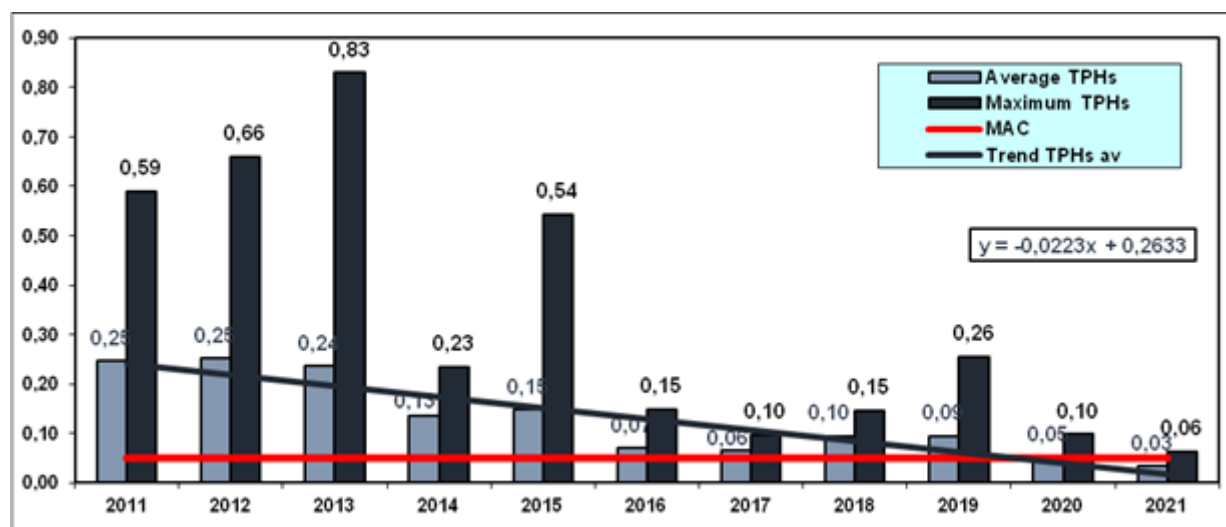


Рис. 2. Динамика среднегодового и максимального содержания нефтяных углеводородов в торговом порту Мурманска (ст. ВПМ) в 2011-2021 гг.

За исследуемый период времени пробы морской воды отбирались шесть раз в год, в зимнее время года – январь и март, летнее – май и июль и осенью – в сентябре и ноябре. Это позволило определить средние и максимальные значения в каждом сезоне и провести сравнительный анализ внутригодовой динамики. Наибольшие значения НУ зафиксированы в холодное время года, зимой и осенью, нежели в весенне-летний период.

Согласно оценке динамики по сезонам года средней концентрации НУ на ст. ВПМ до 2016 г. наибольшие средние значения также зафиксированы в холодное время года – зимой; а позднее в 2017-2019 гг. – в весенне-летний период. Более высокие значения в холодное время года определяются низкими температурами морской воды, пониженным содержанием биогенных элементов и низкой продуктивной способностью Кольского залива зимой в условиях низкой солнечной активности во время полярной ночи. Это приводит к низкому содержанию микроорганизмов (бактериопланктона) и низким скоростям микробиологических процессов.

Важное значение для окисления микроорганизмами нефтяных углеводородов имеет наличие биогенных элементов в водной среде [5]. В рамках наших исследований не выявлено прямой положительной корреляционной зависимости от содержания фосфатов и соединений азота - нитратов и нитритов. С целью выявления зависимости содержания НУ от средних, максимальных и минимальных значений кислорода и солёности был проведён корреляционный анализ. Он показал отсутствие корреляции между всеми средними, максимальными и минимальными значениями солёности и НУ. А по соотношению максимальных значений кислорода и НУ выявлена неполная корреляционная зависимость.

Как сказано выше, в период 2011-2014 гг. включительно исследования, в рамках системы государственного мониторинга, проводились и на станциях в Южном, Среднем и Северных «коленах» (см. табл. 1). К сожалению, с 2015 г. исследования в «коленах» не проводились. Всего, в Кольском заливе, 15 станций ГСН (Государственной наблюдательной сети); станции 1-7 расположены в Южном «колене», станции 8-11 – в Среднем и станции 12-15 – в Северном.

В 2011 г. пробы были отобраны в Южном «колене» в июле, в поверхностном горизонте, значения НУ были зафиксированы только на ст. 1-3, расположенных южнее ст. ВПМ, но не превышали ПДК, находились в диапазоне 0,020-0,040 мг/дм³. 2012 год был годом, в котором исследования были проведены во всех трёх «коленах», но превышений ПДК не было зафиксировано, за исключением ст. ВПМ, где средняя концентрация составила 0,25 мг/дм³, а максимальная – 0,66 мг/дм³. В 2013 г. исследования проводились в Среднем и Северном «коленах», в июне. Нефтяные углеводороды были зафиксированы только на ст. 11, концентрация составила 0,113 мг/дм³ (2,7 ПДК), на остальных станциях значения не превышали предела обнаружения методики анализа. В 2014 г. были исследованы Южное и Среднее «колена». В Среднем колене были зафиксированы значения выше ПДК на трёх станциях из четырёх.

Заключение

Незамерзающий глубоководный порт Мурманск – единственный порт в европейской части России с коротким и удобным доступом к океанским магистралям [1]. И нефтяные углеводороды остаются приоритетными загрязняющими веществами в морской воде Кольского залива. Проведенные нами исследования в долговременной динамике (2011-2021 гг.) пространственно-временной изменчивости значений концентрации НУ показывают, что в последние годы происходит снижение содержания поллютанта. В 2020 г., среднегодовая концентрация была впервые на уровне значения ПДК (0,05 мг/дм³), а в 2021 г. впервые ниже ПДК (0,03 мг/дм³). Анализ изменчивости концентрации НУ по сезонам года показал, что наибольшие средние значения зафиксированы в холодное время года – зимой; в период с 2017 по 2019 гг. – в весенне-летний период, но выявление взаимосвязи содержанием биогенных элементов, низкой продуктивной способностью в холодное время года, не выявлено. Проведенные ранее исследования, другими авторами, также показывают, что существенного снижения УВ-окисляющей активности микроорганизмов в зимний период по сравнению с летним периодом не наблюдается [7]. Исследования, проведенные на станциях ГСН в Южном, Среднем и Северном «коленах» Кольского залива показали разные значения НУ в разные годы, но выявлена закономерность снижения концентрации к северной части Кольского залива, в Северном «колене».

Благодарность

Авторы благодарят руководство и сотрудников лаборатории мониторинга загрязнения поверхностных и морских вод (ЛМВ) Центра мониторинга загрязнения окружающей среды (ЦМС) ФГБУ «Мурманское УГМС»

Список литературы

1. *Кольский залив и нефть: биота, карты уязвимости, загрязнение* / под ред. д-ра геогр. наук А. А. Шавыкина; ММБИ КНЦ РАН. – СПб.: Реноме, 2018. – 520 с
2. *Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2020.* – под ред. Коршенко А.Н., Москва, «Наука», 2021, 230 с.
3. *ПНД Ф 14.1:2.4.128-98 «Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природной, питьевой и сточной воды флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «ФЛЮОРАТ-02» (издание 2012 г. изменение №1 от 13.07.2017 г.)*

4. ПДК 2016 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения». - Приказ министра сельского хозяйства Российской Федерации А.Н. Ткачева от 13 декабря 2016 г., №552, 156 с.
5. Петрухина И. В., Ильинский В. В., Литвинова М. Ю. Определение скоростей биodeградации нефтяных углеводородов в воде литорали Кольского залива //Вестник Мурманского государственного технического университета. – 2006. – Т. 9. – №. 5. – С. 828-832.
6. Израэль Ю.А., Цыбань А.В. Антропогенная экология океана. - Л., Гидрометеиздат, 528 с., 1989.
7. Литвинова М. Ю. и др. Распространение и потенциальная активность углеводородоксиляющих бактерий в воде среднего и северного колен Кольского залива //Вестник Мурманского государственного технического университета. – 2012. – Т. 15. – №. 3. – С. 533-540.
8. Овчинникова С. И., Широкая Т. А., Папкина О. И. Основные тенденции изменения гидрохимических показателей водной экосистемы Кольского залива (2000-2011 годы) //Вестник Мурманского государственного технического университета. – 2012. – Т. 15. – №. 3. – С. 544-550.

УДК 502.504

Рубрика 87.19.00

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОБЕРЕЖЬЯ НЕВСКОЙ ГУБЫ ФИНСКОГО ЗАЛИВА МОРСКИМ МУСОРОМ И МИКРОПЛАСТИКОМ В 2022 Г.

CONTAMINATION OF THE COAST OF THE NEVA BAY OF THE GULF OF FINLAND BY MARINE LITTER AND MICROPLASTICS IN 2022

Голубева Екатерина Андреевна, Ершова Александра Александровна

ПластикЛаб, Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

Golubeva Ekaterina Andreevna, Ershova Alexandra Alexandrovna

PlasticLab, Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg

Введение

Восточная часть Финского залива, а особенно Невская губа, подвержены сильному антропогенному воздействию как Санкт-Петербурга, так и Ленинградской области. В результате интенсивной антропогенной деятельности в Невской губе к настоящему времени образовалась береговая техносфера, основными компонентами которой являются портовые сооружения с подходными путями и фарватерами и искусственно сформированные прибрежные территории [1].

Возведение комплекса защитных сооружений (КЗС), практически изолировавшего Невскую губу от остального залива, нарушило систему течений и превратило её в закрытый водоём с высокой степенью загрязнения и низкой способностью к самоочищению. В связи с этим, одной из проблем данного региона является накопление морского мусора различных фракций и состава на побережьях.

Материалы и методы исследования

Мониторинг морского мусора лабораторией ПластикЛаб, РГГМУ проводится ежегодно в летнее время на 13 пляжах Санкт-Петербурга и Ленинградской области, расположенных на побережье восточной части Финского залива и Невской губы. Важно отметить, что пляжи отличаются по морфогенетическим типам берегов, отбор проб осуществляется при различных метеорологических условиях, регулярно наблюдаются стонно-нагонные явления, а также ветер и волны.

В 2022 году были исследованы пляжи регулярного мониторинга РГГМУ, кроме о.Декабристов, на котором в 2022 г. начались строительные работы (намыв территории) и данную станцию мониторинга пришлось заменить на новую – пляж на Канонерском острове (справа и слева от ЗСД – Западного скоростного диаметра).

Исследования ведутся с помощью двух международных методик отбора проб морского мусора на песчаных побережьях: метод Sand Rake («грабли») и Frame-метод. Они предназначены для оценки аккумуляции крупных частиц микро-мусора (2-5 мм), а также мезо-мусора (5-25 мм) в верхнем слое песка (30-50 мм). В данной работе анализируются результаты отбора проб «Фрейм»-методом в зоне заплеска (область воздействия волн и аккумуляции морского мусора) [2].

Результаты исследования

В ходе исследования были проанализированы особенности распространения морского мусора на побережье восточной части Финского залива и Невской губы в 2022 г. и проведено сравнение с результатами мониторинга микромусора в 2021 году (см. рис.1).

Наиболее загрязненными пляжами как микромусором, так и крупными фракциями мусора, являются пляжи вблизи от центра города Санкт-Петербург - Канонерский остров и Жемчужный пляж в 2022 г. и пляж на о.Декабристов и в Парке 300-летия в 2021 г. Главными источником морского мусора здесь является рекреационная нагрузка (Жемчужный пляж) и вынос мусора со стоком рукавов реки Нева (Канонерский о. и о. Декабристов). Самые высокие значения макромусора 2022 г. наблюдались на пляжах Канонерского о-ва (справа от ЗСД – 9,65 шт/м², и слева от ЗСД – 5,86 шт/м²), наименьшие – на пляже в Большой Ижоре (0,15 шт/м²), на северном пляже З. Котлина (0,2 шт/м²) и на пляже в Солнечном (0,28 шт/м²). Это может объясняться тем, что по мере удаления от города и наличия волонтерских или регулярных уборок на пляжах, наличие макромусора на побережьях уменьшается.

Также возможной причиной сильного загрязнения пляжей на Канонерском острове может быть близкое расположение Центральной станции аэрации на о. Белый, со стоками которой в Невскую губу могут выноситься микро- и мезопластиковые частицы из бытовых стоков, не фильтруемые очистными сооружениями. Основными материалами мусора на данных пляжах являются пластик и стекло. Наименее загрязненные пляжи в Невской губе расположены в удалении от города - на севере города (Лахта, Лисий Нос) и на юге – Александрия, Ломоносов.

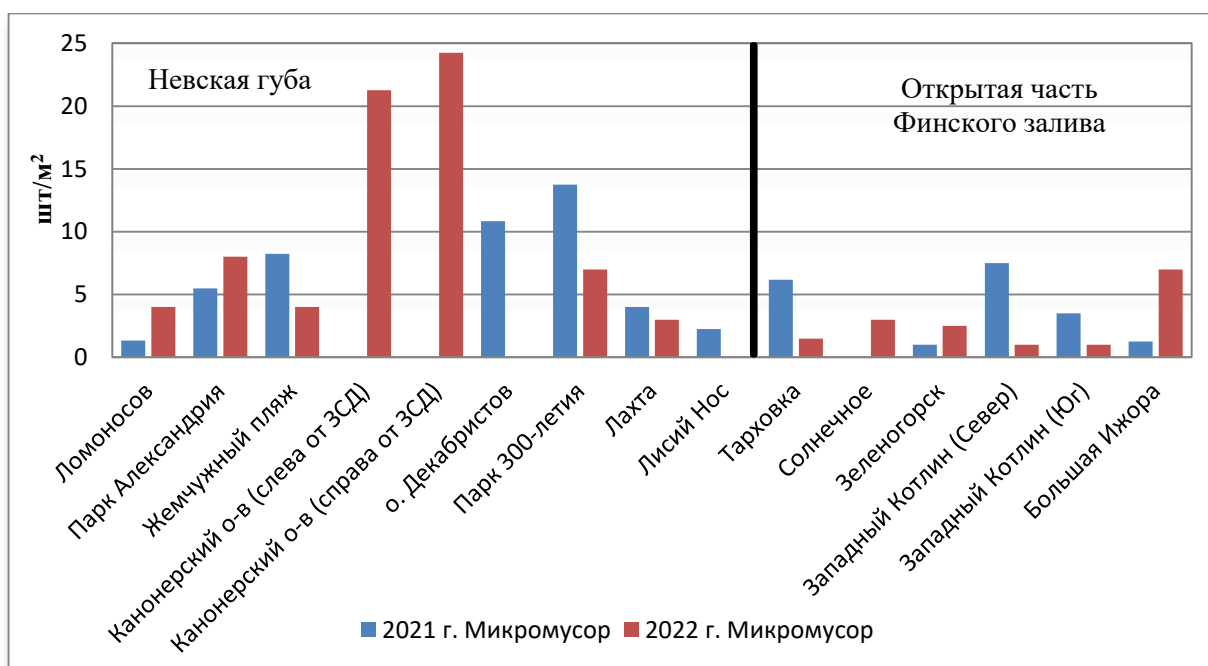


Рис 1. Количество частиц микромусора в зоне заплеска, 2021-2022 гг.

При этом состав морского мусора в зоне заплеска на этих пляжах в 2022 г. различается (см. рис. 2). Основными материалами морского мусора на побережьях Невской губы и восточной части Финского залива являются пластик и стекло. Наибольшие значения доли пластика в пробах микромусора отмечены на Жемчужном пляже (100 %), минимальные - в единичных количествах на пляжах Парка 300-летия и в парке Александрия, где встречаются частицы категории «бумага», «металл» и «пластик» соответственно. Предметы категории «сигареты»

были найдены только в пробах макромусора. Частицы металла встречаются редко – только на пляжах острова Котлин (северный пляж) и в Парке 300-летия.

В открытой части Финского залива находятся наименее загрязненные пляжи, однако в 2021 году концентрации микромусора были в целом выше, чем в 2022 г. Побережья здесь в значительной степени подвержены влиянию сгонно-нагонных явлений и ветрового волнения, которые сильно влияют на изменчивость концентраций частиц морского мусора в зоне заплеска.

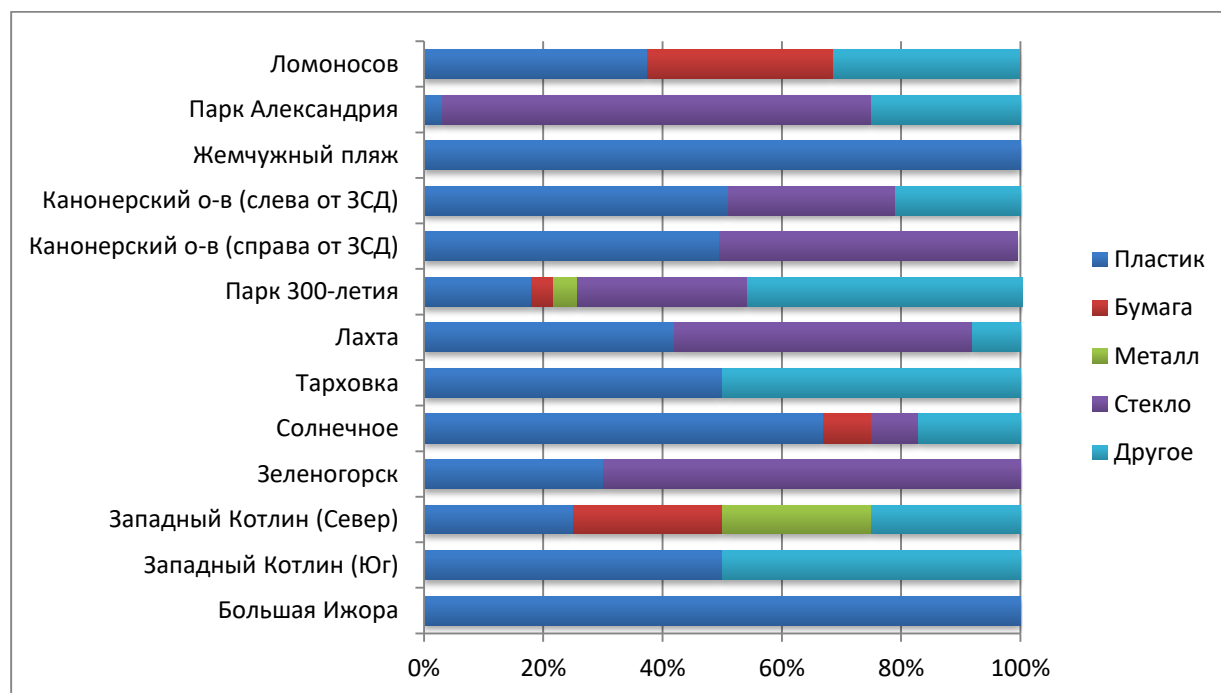


Рис 2. Качественный состав проб микромусора (фрейм-метод), 2022 г., в том числе доля микропластика в микромусоре на пляжах Невской Губы и открытой части Финского залива.

Заключение

Результаты мониторинга морского мусора на побережьях невской губы и восточной части Финского залива показали, что распределение морского мусора здесь зависит от удаления станции мониторинга от устья р. Нева. Больше всего морского мусора найдено на Канонерском острове, меньше всего на о. Котлин. Наибольшее количество макромусора было найдено на пляжах Канонерского острова, Жемчужном пляже и на пляже парка Александрия. Наибольшее количество микромусора было найдено на пляжах Канонерского острова и на пляже в парке Александрия. Наиболее загрязненным микропластиком являются пляжи Канонерского острова и Жемчужный пляж. Сравнение результатов с исследованиями 2021 г. показало снижение количества микромусора на побережьях в открытой части Финского залива, но в самой Невской губе ближе к центру города, происходит наибольшее накопление микромусора.

Список литературы

1. Результаты исследований техносферы Невской губы в РГГМУ / М. Б. Шилин, В. И. Сычев, В. Л. Михеев [и др.]. — // Гидрометеорология и экология. — 2020. — № 60. — С. 351-370.

2. Ершова А.А. Мониторинг морского мусора на побережьях лагун / замкнутых заливов / эстуариев рек (Невская губа): Методическое пособие по производственной практике: Санкт-Петербург, 2018. – 5 с.
3. Кузьмина А. С., Ершова А. А. Загрязнение микрочастицами морского мусора песчаных побережий восточной части Финского залива Балтийского моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2022. № 2. С. 86-100. doi: 10.22449/2413-5577-2022-2-86-100

УДК 551.4.042; 504.054

Рубрика 39.01.94

ТИПЫ БЕРЕГОВ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ РОССИИ И ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ К РАЗЛИВАМ НЕФТИ

TYPES OF RUSSIAN ARCTIC COASTS AND THEIR ECOLOGICAL SENSITIVITY TO OIL SPILLS

Ермолов Александр Александрович¹, Кизяков Александр Иванович¹, Илюшин Денис Григорьевич^{2,3}, Исаченко Артём Игоревич⁴

¹ *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва*

² *ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова», г. Москва*

³ *Фонд поддержки научно-проектной деятельности студентов, аспирантов и молодых ученых «Национальное интеллектуальное развитие» (Фонд «НИР»), г. Москва*

⁴ *ООО «Арктический Научный Центр», г. Москва*

Ermolov Aleksander Aleksandrovich¹, Kizyakov Aleksander Ivanovich¹, Pyushin Denis Grigorievich^{2,3}, Isachenko Artem Igorevich⁴

¹ *Lomonosov Moscow State University, Moscow*

² *“Marine Research Center LLC of the Lomonosov Moscow State University”, Moscow*

³ *Foundation “National Intellectual Resource”, Moscow*

⁴ *“Arctic Research Center”, Moscow*

В работе представлены результаты многолетних исследований геоморфологического строения берегов морей Баренцева, Карского и Лаптевых и их региональная характеристика. Основой районирования стала оригинальная морфодинамическая типизация берегов, разработанная с учетом сложившихся представлений о геоморфологии и литодинамике региона, существующих классификаций берегов арктических морей [Попов и др., 1988; Берега, 1991; Огородов, 2003; Арэ, 2012]. Комплексный геоморфологический анализ выполнен с использованием большого объема картографических и литературных данных, материалов экспедиционных исследований авторов и их коллег. Информация о труднодоступных берегах получена с использованием опубликованных и спутниковых данных.

В отличие от ранее опубликованных материалов представленная региональная морфодинамическая характеристика охватывает всю протяженность береговой линии российского сектора морей Баренцева, Карского и Лаптевых, в том числе острова арктических архипелагов, и включает детальные оригинальные карты типов берегов, которые являются незаменимой основой для дальнейших фундаментальных и прикладных исследований в регионе. Выбранный масштаб исследования позволил весьма детально охарактеризовать берега материковой части и островов, учитывая сложность предмета исследования и необходимую степень генерализации данных при картографировании. Разработанная типизация является универсальной применительно к задачам исследования и может рассматриваться как основа для характеристики берегов восточных арктических морей.

В соответствии с различиями геологического строения побережий выделены три основные группы берегов — выработанные в коренных породах, сложенные осадочными отложениями

и ледяные, образованные ледниковыми куполами и выводными ледниками арктических островов (табл. 1). Многообразие рельефообразующих процессов и рельефа в условиях ограниченного числа взаимодействующих компонентов предопределили необходимость объединения абразионных типов с доминирующей ролью абразионных, термоабразионных и термоденудационных процессов в общую группу отступающих берегов, сложенных рыхлыми (нелитифицированными) отложениями, в том числе многолетнемерзлыми. Наличие современного оледенения на островах арктических архипелагов и сравнительно широкое распространение уникальных по своим характеристикам ледяных береговых уступов послужило основанием для выделения отдельного типа термоденудационных берегов, образованных ледниковыми куполами и выводными ледниками. На аккумулятивных участках принимались во внимание особенности перемещения и аккумуляции наносов, морфология надводной и подводной части (подводного берегового склона), значимость приливно-отливных явлений и флювиальных процессов в формировании рельефа береговой зоны и ее динамике. С целью детализации морфодинамических типов берега выделены характерные элементы рельефа волноприбойной зоны с различным составом отложений, подчеркивающие различия литодинамических обстановок.

Таблица 1. Морфодинамические типы берегов

Тип берега		Характерные элементы рельефа волноприбойной зоны
Берега, выработанные в коренных породах:		
1.	Абразионные	клиф, бенч
2.		береговой уступ с валунно-глыбовой отмосткой
3.	Абразионно-денудационные	береговой уступ, валунно-глыбовая отмостка (в заливах и проливах)
Берега, выработанные в ледниках:		
4.	Термоденудационные ледяные (образованные ледниковыми куполами и выводными ледниками)	ледяной уступ (стена, барьер)
Берега, сложенные рыхлыми отложениями (включая многолетнемерзлые породы):		
5.	Абразионные, термоабразионные и термоденудационные	береговой уступ с прислоненным песчано-галечным пляжем / глинистым бенчем
6.		береговой уступ (в заливах и проливах)
7.	Аккумулятивные выровненные (включая бары, косы и др.)	песчаный пляж
8.		песчано-галечный пляж
9.		галечный и/или валунно-глыбовый пляж
10.	Аккумулятивные отмелые лагунно-бухтовые (в заливах, лагунах и пр.)	регулярные осушки и мелководья
11.		лайды (марши)
12.	Дельтовые	устьевые аккумулятивные формы

На основе представленной геоморфологической типизации и районирования береговой зоны была проведена оценка и сравнительный анализ экологической чувствительности берегов к нефтяным разливам в соответствии с международной системой индексов

экологической чувствительности ESI (Environmental Sensitivity Index) [Petersen, 2019]. Чувствительность берегов к нефтяным разливам определялась на основе экспертной оценки согласно международной методике и включала анализ геоморфологических, геологических, мерзлотных и гидродинамических условий каждого выделенного сегмента берега. Детальный анализ проводился в рамках литодинамических систем или береговых районов, обладающих схожими показателями морфологии, литологии и динамики. Используя сочетание рассмотренных факторов, каждому участку присваивался индекс чувствительности к нефтяному загрязнению в соответствии с международной системой индексов ESI.

Всего на побережье морей Баренцева, Карского и Лаптевых выделено 12 типов берегов с различным уровнем экологической чувствительности (табл. 2). На разработанных картах каждый уровень имеет цветную кодировку в соответствии с увеличением индекса экологической чувствительности от холодного цвета к теплomu, согласно принятой цветовой шкале. Это обеспечивает наглядную идентификацию экологической чувствительности берега при картографировании и работе с геоинформационными системами, упрощает оперативную работу при ликвидации разливов.

С целью адаптации оригинальных названий международной системы индексов к региональным условиям при разработке легенды в названия отдельных экологических типов берегов были внесены изменения, которые можно считать минимальными. Градация крупности пляжевых отложений соответствует системе индексов ESI.

Таблица 2. Типизация берегов по их экологической чувствительности к разливам нефти

Тип берега		Индекс ESI
1.	Скалистые уступы	1A
2.	Скалистые уступы с валунно-глыбовой отмосткой	1C
3.	Защищенные уступы и берега	8D
4.	Ледяные уступы	1D
5.	Песчано-глинистые уступы	3B
6.	Защищенные песчано-глинистые уступы	8A
7.	Пляжи разнoзернистые	4
8.	Пляжи песчано-галечные	5
9.	Пляжи валунно-галечные	6B
10.	Приливные и ветровые осушки	9A
11.	Лайды	10A
12.	Приустьевые участки	10E

Таким образом, в результате комплексного эколого-геоморфологического анализа условий и факторов развития, строения и динамики берегов материковой и островной части побережья морей Баренцева, Карского и Лаптевых разработана сводная типизация, проведено районирование и сформирована электронная база пространственных данных, положенная в основу классических картографических материалов. Среднемасштабное районирование, пространственный и статистический анализ протяженности демонстрируют большое разнообразие и неравномерность распространения различных типов арктических берегов. Это обусловлено различным геолого-геоморфологическим и структурно-тектоническим строением побережий и связанными с ними условиями развития береговых процессов и формированием берегов в голоцене, неоднородными гидрометеорологическими условиями и

разнонаправленными неотектоническими движениями, во многом предопределившими современные очертания береговой линии.

Материалы публикации подготовлены в рамках выполнения работ по анализу и обобщению результатов экологических исследований морей Российской Федерации, разработке экологических атласов в рамках серии «Экологические атласы морей России» по заказу ПАО «НК «Роснефть» и работ по публикации результатов экологических исследований, проведенных ООО «Арктический Научный Центр» в 2012–2017 гг. в рамках серии «Атласы морей Российской Арктики» [Экологический., 2016, 2017, 2020] по заказу ООО «Арктический Научный Центр», научный институт ПАО «НК «Роснефть»; по темам ГЗ 121051100167-1; 121051100164-0.

Список литературы

1. *Арэ Ф.Э.* Разрушение берегов арктических приморских низменностей. – Новосибирск.: Гео, 2012. 291 с.
2. *Каплин П.А., Леонтьев О.К., Лукьянова С.А., Никифоров Л.Г.* Берега. М. Изд-во Мысль. 1991. 479 с.
3. *Огородов С. А.* Морфодинамическое районирование береговой зоны Печорского моря. Геоморфология. 2003. № 1. С. 72–79.
4. *Попов Б.А., Совершаев В.А. и др.* Береговая зона морей Печорско-Карского региона. Исследование устойчивости геосистем Севера. М. Изд-во МГУ. 1988. С. 176-201.
5. *Petersen J.* NOAA Technical Memorandum NOS OR&R 52. Environmental Sensitivity Index Guidelines. Version 4.0, 2019.
6. *Экологический Атлас. Карское море.* ООО "Арктический научный центр". Москва, 2016, 271 с.
7. *Экологический Атлас. Море Лаптевых.* ООО "Арктический Научный Центр". Москва, 2017. 303 с.
8. *Экологический Атлас. Баренцево море.* Фонд НИР. Москва, 2020. 450 с.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДИНАМИКИ БЕРЕГОВ ОБСКОЙ
ГУБЫ КАРСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

ENGINEERING-GEOMORPHOLOGICAL ASSESSMENT OF THE OB BAY OF THE
KARA SEA COASTS DYNAMICS ACCORDING TO REMOTE SENSING DATA

**Ермолов Александр Александрович, Белова Наталия Геннадиевна, Новикова Анна
Владиславовна**

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

**Ermolov Aleksander Aleksandrovich, Belova Natalia Gennadievna, Novikova Anna
Vladislavovna**

Lomonosov Moscow State University, Moscow

В докладе представлены отдельные результаты исследований морфологии и динамики аккумулятивных берегов Обской губы Карского моря и рассмотрены некоторые аспекты инженерно-геоморфологической оценки устойчивости рельефа на участках промышленного освоения прибрежных территорий (район Салмановского (Утреннего) НГКМ, район пос. Сабетта). Актуальность такого рода исследований связана с необходимостью обеспечения промышленной и экологической безопасности при строительстве инженерных сооружений в береговой зоне ледовитого моря с одной стороны, и важностью установления роли глобальных климатических изменений в Арктике в динамике низких относительно стабильных и аккумулятивных берегов, подверженных размыву в современных условиях.

Количественные оценки устойчивости берегов в условиях техногенных воздействий до настоящего времени не разработаны [Совершаев, Камалов, 1992]. В то же время техногенные нарушения существенно изменяют направленность и интенсивность береговых процессов, которые по своим масштабам на отдельных участках могут превосходить естественные изменения. Техногенные нарушения естественных почвенно-растительных покровов берега вызывают резкую активизацию деструктивных процессов (термокарст, термоэрозию, термоденудацию), а изъятия наносов с пляжей и осушек, из русел рек, дноуглубительные работы и гидротехническое строительство ведут к активизации размыва берегов. Поэтому в качестве одного из основных критериев геодинамической устойчивости территории и интенсивности развития береговых процессов рассматривается изменение положения береговой линии. Это обусловлено высокой восприимчивостью арктических берегов к любым изменениям природным условий или техногенным воздействиям и быстрой реакцией на них, выражающейся, как правило, в отступании или выдвигении линии берега.

Следует учитывать, что полная стабилизация береговой зоны при естественном развитии возможна лишь при условии формирования профиля динамического равновесия подводного склона и стабилизации береговой зоны как целого. Достижение этих условий на сравнительно молодых (в эволюционном плане) арктических берегах в условиях глобальных климатических изменений и повышения уровня Мирового океана возможно лишь теоретически. В действительности же, речь должна идти об относительной устойчивости береговой зоны,

когда отмечается некоторое постоянство (динамическое равновесие) формы подводного склона при отсутствии резких масштабных изменений берегового рельефа.

Как известно, береговая линия на снимках различного качества и в различное время года может определяться по-разному в зависимости от природных условий региона, качества и детальности спутникового изображения. В условиях низких арктических берегов с нечеткими границами форм берегового рельефа в большинстве случаев береговая линия определяется либо по положению границы, непосредственно разделяющей водную поверхность моря от суши, либо по границе плотной растительности. Такой подход обусловлен, 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.

На берегах Обской губы Карского моря отмечается широкое распространение песчаных отложений, слагающих низкие морские и аллювиально-морские террасы, и развитие эоловых процессов охватывает значительные площади [Арэ, 2012; Попов, Совершаев, 1988]. В сочетании с техногенным нарушением целостности почвенно-растительного покрова на участках хозяйственного освоения (п.Саббета и др.) это определяет целесообразность использования при дешифрировании положения линии берега на спутниковых снимках данных о положении уреза воды.

С целью анализа положения береговой линии в разные годы на участках активного промышленного освоения побережья Обской губы и оценки динамики отдельных береговых районов был выполнен подбор, подготовка, взаимная привязка, дешифрирование и сравнительный анализ разновременных спутниковых снимков высокого разрешения. В результате были получены сведения о динамике положения береговой линии за различные периоды времени и рассчитаны средние многолетние скорости отступления или выдвижения берега, проведено районирование территории по направленности и интенсивности береговых процессов. Полученные данные послужили основой для разработки прогнозной инженерно-геоморфологической оценки и выработке рекомендаций для проведения мониторинга динамики берегов.

Инженерно-геоморфологическая оценка динамики береговой зоны и разработка прогноза проводились с учетом климатических изменений в Арктике, сопровождающихся увеличением штормовой активности, повторяемости нагонов и усилением процессов абразии и термоабразии. При этом большое внимание уделялось локальным геолого-геоморфологическим факторам, определяющим пространственную неоднородность динамики берегов - экспозиция берега, глубина моря в прибрежной зоне, уклоны и рельеф подводного берегового склона, высота берегового уступа, ширина пляжа и параметры других береговых форм рельефа, литологический состав и льдистость отложений, наличие пластовых и жильных льдов и прочее.

Установлено, что освоение низких берегов Обской губы ведет к снижению общей устойчивости рельефа в целом и дестабилизации береговых систем в частности. Основываясь на данных расчета средних многолетних скоростей отступления береговой линии на участке строительства на берегу Гыданского полуострова до начала освоения территории и в период строительства, можно говорить об многократном увеличении скорости отступления береговой линии в отдельные годы в результате техногенного воздействия. В сочетании с природными факторами эти процессы могут приобретать катастрофический характер и представлять угрозу безопасной эксплуатации инженерных сооружений в береговой зоне, наносить серьезный ущерб окружающей среде. Это определяет необходимость учета влияния техногенных

факторов при оценке динамики морских берегов, развитии литодинамических процессов и прогнозировании развития береговой зоны на этапах строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений и инженерных объектов. 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 условий его развития на долгие годы.

С целью снижения негативного влияния на устойчивость рельефа арктических побережий, строительство должно осуществляться с учетом рекомендаций по минимизации техногенного воздействия и сопровождаться мониторингом опасных экзогенных процессов. Для исключения возможных природных рисков и опасностей, связанных с береговыми процессами (такими как абразия и термоабразия, ледовая экзарация, штормовые нагоны и пр.) и устойчивого функционирования береговой инфраструктуры необходимо понимание причин и механизмов развития таких процессов, их прогнозирование, и на основе этого – грамотное проектирование и ведение строительных работ с учетом всех возможных негативных последствий для природной среды и инженерных сооружений.

Материалы публикации подготовлены в рамках выполнения работ по госбюджетной теме лаборатории геоэкологии Севера географического ф-та МГУ им. М.В. Ломоносова 121051100167-1.

Список литературы

1. *Арэ Ф.Э.* Разрушение берегов арктических приморских низменностей. – Новосибирск.: Гео, 2012. 291 с.
2. *Попов Б.А., Совершаев В.А. и др.* Береговая зона морей Печорско-Карского региона. Исследование устойчивости геосистем Севера. М. Изд-во МГУ. 1988. С. 176-201.
3. *Совершаев В.А., Камалов А.М.* Оценка устойчивости берегов // Геоэкология Севера (введение в геокриологию) / Под ред. В.И. Соломатина. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – С. 175-180.

ИССЛЕДОВАНИЯ ОКЕАНИЧЕСКИХ БИОРЕСУРСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ДОСТИЖЕНИЙ СОВРЕМЕННОЙ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ

STUDIES OF OCEANIC BIORESOURCES USING THE ACHIEVEMENTS OF MODERN
MATHEMATICS

Чернышков Павел Петрович, Тристанов Александр Борисович

Калининградский государственный технический университет, Калининград

Chernishkov Pavel Petrovich, Tristanov Alexander Borisovich

Kaliningrad state technical university, Kaliningrad

В последние 2-3 десятилетия существенно возросла значимость использования биологических ресурсов Мирового океана. Спрос на пищевую и техническую продукцию из водных биоресурсов океанов и морей постоянно растет. Это обусловлено как ростом численности населения Земли, так и расширением технологий и возможностей добычи и переработки сырья океанического происхождения. Стремительное развитие во многих странах аквакультуры существенно увеличило спрос и на малоценные промысловые объекты, которые служат сырьем для производства кормов для аквакультуры.

Мировое рыболовство в настоящее время представляет собою мощную транснациональную структуру по эффективному использованию этого природного ресурса, который является возобновляемым и при рачительном использовании «вечным».

Рациональное использование биоресурсов основано на достоверности результатов диагноза состояний популяций промысловых объектов и определения на этой основе параметров этого использования, что предъявляет высокие требования к качеству и обоснованности результатов научного обеспечения рыболовства.

Однако, по оценкам Всемирной организации по сельскому хозяйству и продовольствию (ФАО), большинство традиционных объектов промысла эксплуатируется в настоящее время на уровне допустимого изъятия или даже превышают его. Реальные резервы увеличения вылова существуют только вылова только в южной части Тихого океана (ставрида *Trachurus murphy*) и в Антарктике, преимущественно в ее анатлангический части (антарктический криль *Euphausia Superba*)

Районы промысла антарктического криля (пелагическая креветка) в южной части Атлантического океана и океанической ставриды в юго-восточной части Тихого океана за пределами 200-мильных исключительных экономических зон прибрежных государств были открыты в середине 70-х годов прошлого века учеными и рыбаками бывшего СССР. До начала 90-х годов там велся широкомасштабный отечественный промысел с ежегодным выловом 1 млн. т ставриды и около 450 тыс. т криля. Затем промысел был прекращен по причинам, не связанным с состоянием сырьевой базы рыболовства.

В настоящее время, в соответствии со «Стратегией развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации до 2030 г.», утвержденной Правительством РФ в 2020 г., необходимо возобновление российского промысла в этих районах.

Для организации и ведения рационального и эффективного промысла необходимо соответствующее научное обеспечение, которое возможно на основе созданных по результатам исследований в 70-80-х годах прошлого века баз знаний, а также принципиально новых данных дистанционного зондирования океана. Это – спутниковые альтиметрические измерения высоты уровенной поверхности океана с точностью ± 2 см в рамках проекта TOPEX/Poseidon) и результаты зондирования толщи океана автономными буями проекта «Арго». Альтиметрические измерения позволяют еженедельно получать схемы динамики вод, которая является главным фактором, определяющим формирование промысловых скоплений криля и ставриды (1-3).

Анализ колоссальных объемов оперативно поступающих результатов дистанционных измерений структуры и динамики вод (проекты TOPEX/Poseidon и «Арго») совместно с ретроспективными промыслово-океанологическими данными требует эффективного использования современных достижений прикладной математики что в свою очередь, требует участия в научном обеспечении российского рыболовства высококвалифицированных молодых специалистов.

В Институте рыболовства и аквакультуры Калининградского технического университета (КГТУ) в настоящее время успешно реализуются образовательные программы бакалавриата «Рациональное использование ресурсов Мирового океана» и магистратуры «Промысловая океанология». Студенты пишут курсовые и дипломные работы с использованием новых видов океанологической информации для решения практически важных задач по научному обеспечению российского рыболовства. Однако уровень подготовки специалистов при этом не соответствует современным реалиям и прежде всего – на современной научно-методической основе обеспечивать защиту интересов Российской Федерации в сфере международного рыболовства.

С целью повышения качества промыслово-океанологических исследований в настоящее время в мире созданы и успешно функционируют международные автономные системы сбора натуральных океанологических данных. В анализе больших объемов собираемых в рамках этих проектов натуральных данных в зарубежных странах в процессе диагноза и прогноза состояния биологических ресурсов весьма активную роль играют высококлассные специалисты-океанологи, владеющие современными достижениями в области информатики и прикладной математики. Прежде всего – так называемый «интеллектуальный анализ данных», важнейшей составляющей которого является технология «Data Mining» (4-5)

В связи с этим в Институте цифровых технологий КГТУ успешно внедрена новая образовательная форма - Проектная магистратура. Это индивидуализированный формат обучения в магистратуре, когда каждый студент работает над реальным проектом и составляет для этого персональную траекторию. С 2022 г. этот подход планируется реализовать в соответствующих профилях образовательных программ подготовки специалистов для работы в области промысловой океанологии.

Подготовка специалистов в области прикладной математики и информационных технологий так или иначе требует из специализации в одной из предметных областей, которая является плацдармом для отработки профессиональных навыков в области анализа и обработки данных. Формируя программу магистратуры по направлению «Информатика и вычислительная техника» был сформирован комплекс дисциплин, обеспечивающий глубокий уровень проработки фундаментального материала в области интеллектуального анализа данных.

Data Mining является одним из бурно развивающихся направлений обработки данных, которое лежит на пересечении таких областей знаний как теория баз данных, математическая статистика и теория искусственного интеллекта. Изначально разрабатывалась как технология бизнес-приложений и наиболее широкое применение эта технология нашла в маркетинге, банковском деле, страховании и т.д. В настоящее время данная технология все больше охватывает науки о Земле и прежде всего – а науках о рациональном использовании ресурсов Мирового океана.

Следует отметить, что технология Data Mining - это объединение методик, ориентированных на решение «интеллектуальных» задач, а именно классификации, кластеризации, регрессии и поиска ассоциативных правил. Первичным в интеллектуальном анализе данных является постановка решаемой задачи и отнесение ее к одному из типов задач интеллектуального анализа. Для решения данных задач могут привлекаться самые разнообразные методы, нацеленные на получение новых знаний.

Широко известные методы математической статистики оказываются полезными главным образом для проверки заранее сформулированных гипотез, тогда как определение гипотезы иногда бывает достаточно сложной и трудоемкой задачей. Современные технологии Data Mining обрабатывают информацию с целью автоматического поиска паттернов, характерных для каких-либо фрагментов неоднородных многомерных данных. Отметим, что Data Mining - это не один, а совокупность большого числа различных методов обнаружения знаний. Выбор метода часто зависит от типа имеющихся данных и от решения конкретной прикладной задачи.

Заметим, что получаемые знания считаются оправдывающими затраты на построение системы Data Mining, если они не могут быть получены более простыми методами. Так, в области промысловой океанологии существуют хорошо отработанные методы исследования и интерпретации океанографической информации. Получаемые знания должны быть практически значимыми и должны служить основой для получения новой информации об объекте исследования, позволять более полно его описывать и судить о его природе. Знания должны быть доступны для понимания человеком, то есть система Data Mining должна представлять информацию в доступном для интерпретации человеком виде, поэтому сами знания должны обладать возможностью быть интерпретированными. К сожалению, бездумное применение данной технологии может породить большое количество информации, сопоставимое по неопределенности с исходными данными.

Применение технологии Data Mining в анализе новых видов океанологической информации, получаемых из разнообразных источников от систем спутникового зондирования до показаний фиксируемых дрейфующими буями даст существенно новый результат практического применения обозначенных данных.

Технология Data Mining представляет собой совокупность методов и подходов к обнаружению в «сырых» данных ранее неизвестных, нетривиальных, практически полезных и доступных интерпретации знаний, необходимых для принятия решений в данном случае в области промысловой океанологии.

Традиционно положительным эффектом применения данной технологии является такой результат анализа, который мог быть получен в результате деятельности опытного эксперта, тем самым обеспечивая автоматизацию процессов анализа. Таким образом, создание моделей в рамках данной технологии позволит в некоторой степени решить проблему нехватки квалифицированных специалистов в предметной области, путем сохранения экспертного опыта в разрабатываемых алгоритмах.

К задачам Data Mining относят три больших класса задач: классификация (в том числе регрессия), кластеризация и ассоциация.

Список литературы

1. Чернышков П.П., Краснобородько О.Ю., Чурин Д.А., Шустин А.Я. Современная океанологическая информация в исследованиях среды обитания криля в Атлантической части Антарктики и ставриды – в Южной части Тихого океана, с целью увеличения российского вылова этих объектов // «Рыбное хозяйство», 2022. – №1. – с. 4-12
2. Краснобородько О.Ю., Архипов В.И., Чернышков П.П. Мировое рыболовство: экосистемы, управление, прогнозирование // Земля из космоса. – № 2(24). – 2017. – С. 24-29.
3. Чернышков П.П., Андрианов Г.Н., Ремеслов А.В и др. Методы многомерного статистического анализа в промыслово-океанологических исследованиях // Калининград, изд АтлантНИРО. – 2002г. – 207 с.
4. Паклин Н.Б., Орешков В.И. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям. – Москва [и др.] . – 2009.
5. Барсегян А., Куприянов М., Степаненко В., Холод И. Технологии анализа данных. Data Mining, Text Mining, Visual Mining, OLAP – Санкт-Петербург. – 2008.

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ РЕКРЕАЦИОННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОРСКИХ
ПОБЕРЕЖИЙ РОССИИ НА ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ

ON THE ISSUE OF THE INFLUENCE OF RECREATIONAL USE OF THE RUSSIAN SEA
COASTS ON THEIR ECOLOGICAL STATE

Санин Александр Юрьевич

*Государственный океанографический институт имени Н.Н.Зубова, Росгидромет,
Москва*

Sanin Alexander Yurievich

N. N. Zubov State Oceanographic Institute, Roshydromet, Moscow

Введение

Рекреационное использование прибрежных территорий подразумевает несколько меньшее воздействие на природные ландшафты по сравнению, например, с промышленным и некоторыми другими типами природопользования, но, тем не менее, может иметь ряд негативных последствий для природных ландшафтов, а, следовательно, и для туристов и местных жителей в приморских рекреационных территориях.

Некоторые негативные аспекты влияния туризма на экологическое состояние морей и их прибрежных зон:

-загрязнение морей и прибрежных зон бытовым и строительным мусором, в частности, загрязнение вод морей микропластиком;

-поступление неочищенных или не полностью очищенных коммунальных стоков, что особенно сказывается на качество вод небольших бухт и заливов (Севастопольская, Цемесская бухты, залив Петра Великого и т.д.);

-истребление рядов видов флоры и фауны или значительное уменьшение их численности;

-трансформация природных ландшафтов, особенно в местах строительства объектов рекреационной инфраструктуры, а также в местах «скоплений» туристов, особенно неорганизованных.

В связи с пандемией COVID-19 и событиями в Украине в 2022 году наблюдается резкое снижение числа зарубежных туристических поездок и перераспределение туристических потоков внутри России, в том числе и среди приморских регионов. Для некоторых из них возможно значительное увеличение туристического потока, что неизбежно усилит воздействие на их природные системы и может существенно усилить уже имеющие место негативные последствия воздействия туризма и иных видов хозяйственной деятельности на приморские территории. Следовательно, растет актуальность поиска путей повышения эффективности управления рекреационным природопользованием на приморских территориях для снижения негативного воздействия человека на их природные ландшафты.

Данные и методы

Исследование базируется на анализе массива имеющихся данных, к которым относятся:

- нормативная литература;
- опубликованные научные и научно-популярные труды;
- публицистика, соответствующая по тематике, особенно за 2020-2022 гг.;

- фондовые данные, в частности, результаты экологического мониторинга исследуемых территорий за разные годы;
- разнообразная картографическая информация;
- данные дистанционного зондирования Земли;
- статистические данные и прочие источники информации.

Кроме перечисленных данных, для осуществления исследования были использованы результаты полевых выездов на исследуемые территории, в частности, собранные фотоматериалы.

Активно использовались общенаучные методы, в частности, анализ и синтез, индукция и дедукция. Объект исследования – приморские туристические районы России- рассматривался как в целом, так и его отдельные составляющие. Выводы и результаты, полученные для конкретных приморских территорий, например, по итогам анализа статистических данных или полевых выездов, экстраполировались на все остальные, с учетом их особенностей; выявленные закономерности для прибрежных зон в целом «примерялись» для конкретных приморских территорий.

Для понимания механизма применения вышеперечисленных методов необходимо знать все составляющие объекта исследования- приморские туристические территории, для которых она проводилось. К прибрежным туристическим территориям авторы относят те участки побережья Российской Федерации, для которых характерен массовый туризм, в частности, так называемая пляжно-купальная рекреация. Это небольшая часть от общей протяженности морских берегов нашей страны и прибрежные зоны некоторых внутренних водных объектов (в данном исследовании не рассматриваются). Они перечислены ниже:

1. Крым
2. Северокавказское побережье Черного моря (от границы с Абхазией до Керченского пролива)
3. Азовское море (вне пределов Крыма)
4. Побережье Ленинградской области
5. Побережье Калининградской области
6. Берега Каспийского моря в пределах РФ
7. Берега Японского моря в окрестностях Владивостока

Результаты.

В результате исследования для морских побережий России, для которых характерно активное рекреационное использование, были выявлены следующие его последствия:

1. Антропогенная трансформация ландшафтов прибрежных территорий, которая снижает их устойчивость и эстетическую привлекательность.
2. Активизация неблагоприятных и опасных явлений природы (НОЯ) на некоторых участках [Природные..., 2007], в частности, абразионных процессов в связи с изъятием материала в пределах береговой зоны и на участках, смежных с укрепленными, оползней как следствие «подрезки» склонов при строительных работах (отмечена для Южного берега Крыма [Клюкин, 2007] и на других побережьях.
3. Превышение рекреационной емкости на некоторых участках побережья, что создает серьезную угрозу их природно-рекреационному потенциалу.
4. Обострение конкуренции рекреационной и других видов хозяйственной деятельности за одни и те же участки берега, которое приводит к появлению новых конфликтов природопользования и активизации имеющихся.

5. Снижение качества вод, особенно в полузамкнутых заливах и бухтах со сравнительно небольшими объемами вод, загрязнение прибрежной полосы и смежных территорий строительным и бытовым мусором, поступление мусора, в частности, пластика, в акваторию морей (часть из которого впоследствии перемешивается с пляжными отложениями).

6. Деграция многих экологических услуг, оказываемых природными системами прибрежных территорий, и, как следствие, существенное снижение их стоимости. Данная тенденция требует особого внимания из-за значительной и во многом недооцененной стоимости экосистемных услуг, оказываемых природными системами. Показано [Кулаковская, Санин, 2021 и др.], что суммарная стоимость только тех экосистемных услуг, которые удастся оценить количественно (а это далеко не все), может превышать стоимость выгод, получаемых от хозяйственного использования природных ландшафтов.

7. Снижение качества отдыха рекреантов и жизни местных жителей из-за общего ухудшения экологической ситуации: трансформации естественных ландшафтов, шумового и визуального загрязнения, загрязнения водной и воздушной среды и т.д.

Перечисленные негативные последствия антропогенного воздействия нуждаются в противодействии, так как без преодоления негативных последствий или, по меньшей мере, их смягчения, невозможно устойчивое развитие приморских рекреационных территорий, сохранения их привлекательности для рекреантов и местных жителей. Для смягчения негативных последствий деятельности человека на приморских рекреационных территориях рекомендуется следующее:

1. Оценка устойчивости для приморских территорий с наибольшей интенсивностью антропогенной деятельности и защита их эстетической привлекательности (с привлечением специалистов в области урбанистики и архитектуры, с проведением общественных слушаний и опросов для ознакомления с мнениями местных жителей). К настоящему времени так называется услуга эстетической ценности природных геосистем количественно не оценена, так как способы такой оценки для нее не разработаны, но есть все основания предполагать, что ее стоимость весьма значительна, что поднимает вопрос о необходимости ее сохранения.

2. Мониторинг абразионных процессов и иных НОЯ, избегания хозяйственного использования тех участков берега, на которых они проявляются наиболее интенсивно, противодействие им на наиболее ценных с точки зрения рекреации и других видов хозяйственной деятельности, на которых размещены наиболее ценные инженерные сооружения (дороги, здания и т.д.).

3. Оценка рекреационной емкости участков побережья, наиболее активно используемых для рекреации, и перераспределение рекреационных потоков в пространстве и времени при необходимости.

4. Выявление имеющихся конфликтов между разными типами хозяйственной деятельности и принятие мер по снижению их остроты за счет максимального учета интересов всех природопользователей (совместное использование территории, предоставление земельных участков на других участках берега или в некотором удалении от него и т.д.).

5. Мониторинг качества вод, особенно для тех акваторий, воды которых достаточно сильно загрязнены (Севастопольская бухта [Грузинов и др., 2019], Цемесская бухта [Пашкевич, Алексеенко, 2016], залив Петра Великого и т.д., что показывают многочисленные исследования качества вод, проводимые в этих акваториях), борьба с загрязнителями вод, в частности, с поступлением неочищенных сточных вод, а также с замусориванием прибрежной зоны, для чего возможно широкое привлечение экологических волонтеров.

6. Осуществление количественной оценки экосистемных услуг, оказываемых природными ландшафтами прибрежных территорий, выявление причин ее снижения, противодействие деградации экосистемных услуг, в частности, путем сохранения экологических каркасов для приморских территорий, создание особо охраняемых природных территорий для защиты наиболее ценных природных ландшафтов.

7. Для улучшения экологической ситуации в приморских территориях необходимо выполнение рекомендаций, прописанных в пункте 5. Однако остаются еще и другие экологические проблемы, в частности, качество воздуха, на которое часто влияют источники загрязнения и за пределами прибрежной зоны (впрочем, это зависит и от того, каким образом проводить ее границу).

Заключение

Проблема оценки антропогенного влияния на приморские территории, популярные для рекреации, носит комплексный характер. Прослеживаются ряд негативных последствий этого влияния, которые в конечном итоге могут (и в некоторых случаях уже снижают) существенно снизить качество отдыха рекреантов и жизни для местных жителей. Во многом эти последствия объясняются интенсивным характером рекреационной и иной хозяйственной активности человека. Некоторые из таких негативных последствий, в частности, снижение качества вод, захламление прибрежной зоны бытовым и строительным мусором, ее визуальное загрязнение, хорошо заметны. Другие, например, превышение рекреационной емкости территорий или деградация экосистемных услуг, оказываемых природными системами прибрежных территорий, могут быть не так заметны, но они неизбежно снижают качество отдыха рекреантов и жизни местных жителей, а с точки зрения экономики приморских территорий приводят к скрытым финансовым потерям, размеры которых могут быть весьма существенными. Они могут быть вызваны как неполученными от рекреантов доходами и ослаблением мультипликативного эффекта от туризма, так и затратами на противодействия неблагоприятным и опасным явлениям природы, и это только два примера, причин экономических убытков может быть намного больше.

Список литературы

1. Грузинов В.М., Дьяков Н.Н., Мезенцева И.В., Мальченко Ю.А., Жохова Н.В., Коршенико А.Н. Источники загрязнения прибрежных вод Севастопольского района // *Океанология*. - 2019. - Т. 59. - №4. - С. 579-590. doi: 10.31857/S0030-1574594579-590
2. Клюкин А.А. Экзогеодинамика Крыма. Издание: Таврия, Симферополь, 2007 г., 320 с.
3. Кулаковская В. А., Санин А. Ю. К вопросу об экономической оценке экосистемных услуг, оказываемых геосистемами прибрежной зоны Балтийского моря // Государственное управление. Электронный вестник (Электронный журнал). — 2021. — № 86. — С. 115–140.
4. Пашкевич М. А., Алексеенко А. В. Использование макрофитов для эколого-геохимического мониторинга состояния Цемесской (Новороссийской) бухты // *Вода: химия и экология*. — 2016. — № 2. — С. 18–23.
5. Природные опасности России в 6 т. / Под ред. В.М. Кутепова, А.И. Шеко. М.: Изд. фирма «Крук», 2002, 348 с.

УДК 371.38; 502.2; 574.4; 574.5

Рубрика 14.27.00, 43.01.00

КОМПЛЕКСНАЯ ШКОЛЬНАЯ МОРСКАЯ ПРАКТИКА НА БЕЛОМ МОРЕ.

INTEGRATED SCHOOL MARINE PRACTICE ON THE WHITE SEA.

Азаров Виктория Мария¹, Барымова Александра Андреевна², Кокорин Александр Игоревич², Тиунова Мария Владимировна¹

¹ ГБОУ школа «Интеллектуал», Москва

² ООО «Центр Морских исследований МГУ им. М. В. Ломоносова», Москва

Azarov Viktoria Maria¹, Barymova Alexandra Andreevna², Kokorin Alexander Igorevich², Tiunova Maria Vladimirovna¹

¹ Moscow State School "Intellectual", Moscow

² Lomonosov Moscow State University Marine Research Center, Moscow

Введение

В июле 2021 года на базе туристического центра «Полярный круг» (д. Нильмогуба, Кандалакшский залив Белого моря) специалистами ЦМИ МГУ была проведена практика морского класса школы «Интеллектуал». Школьники 10 класса изучали донные сообщества губы Нильма Кандалакшского залива и береговые биогеоценозы острова Конюга, применяя и отрабатывая знания, полученные в ходе годового курса «Океанология».

Целью практики было ознакомление школьников с различными методами исследования морских акваторий и прибрежных зон, а также приобщение к природе, формирование тесных взаимоотношений участников с морскими экосистемами и создание целостной картины того, зачем нужны экологический мониторинг и науки о море.

Работы проводились на двух полигонах - морском и прибрежном. Задачами было картографирование биотопов (для морского полигона) и биогеоценозов (для прибрежного полигона).

Материалы и методы

Морская часть

Работа на морском полигоне включала в себя следующие этапы:

- 1) Анализ Google-карты района работ, батиметрической карты и сонограммы гидролокатора бокового обзора, выделение на них областей, схожих по глубине и рельефу дна с предположением, что эти факторы влияют на биотопы; составление карты-гипотезы и выбор точек пробоотбора.
- 2) Заверка карты-гипотезы прямыми методами с борта НИС «Профессор Зенкевич», предоставленного Беломорской биологической станцией МГУ им. Н.А. Перцова. На всех точках было отобрано по одной пробе с помощью дночерпателя «Океан». На борту проводилось геологическое описание грунта. Затем грунт промывали на сите, макробентос собирался в контейнеры, для дальнейшего анализа на берегу.
- 3) Камеральная обработка собранного материала: бентосные организмы определялись с помощью атласа флоры и фауны Белого моря, выделялись доминирующие виды

по биомассе и/или численности в пробе. А также проводился минералогический анализ грунта под микроскопом.

- 4) Сопоставление дистанционных и прямых методов исследования; подготовка итоговой карты распределения биотопов на полигоне.

Литоральная часть

Береговая часть практики состояла из следующих этапов:

- 1) Выбор острова для проведения исследований, аэрофотосъёмка выбранного острова с помощью квадрокоптера Mavic Platinum, создание ортофотоплана в программе Agisoft Metashape, выделение на ортофотоплане различных по цвету и текстуре зон.
- 2) Заверка дистанционных данных прямыми методами по трансектам. Трансекты выбирались таким образом, чтобы захватить как можно больше различных биогеоценозов. Работа на трансекте включала в себя её визуальное разделение на зоны и измерение их протяжённости, описание грунтов, отбор животных, полевое определение макрофитов и зарисовка профиля. В лаборатории животные из проб были определены до вида.
- 3) Сопоставление полученных данных и составлении общей карты биогеоценозов. На основе полученных данных проведена оценка степени экологической чувствительности берегов (индекс ESI).

Результаты

Морская часть

После камеральной обработки данные с каждой пробы были экстраполированы на ранее выделенные области сходные по абиотическим факторам. Всего было выделено 5 участков со следующими характеристиками (рис. 1):

1. Мелководное прибрежное сообщество с преобладанием асцидий и полихет, грунт – миктит с разнозернистым песком
2. Мелководное прибрежное сообщество с преобладанием полихет *Euchone analis*, грунт – разнозернистый песок с гравием
3. Мелководное сообщество с преобладанием *Astarte borealis* и *Galathowenia oculata*, грунт – разнозернистый песок с гравием
4. Сообщество средних глубин с преобладанием *Galathowenia oculata*, а также наличием немертин и *Nicomache minor*, грунт – алевро-пелит с небольшой примесью мелкого песка
5. Сравнительно глубоководное сообщество с преобладанием двустворок *Nuculana pernula*, грунт – алевро-пелит с примесью песка, большое количество детрита.



Рис.1 Карта-схема биотопов акватории губы Нильма

Литоральная часть

Сопоставление дистанционных данных и прямых наблюдений позволило составить карту-схему биогеоценозов острова Конюга (рис. 2), и карту экологической чувствительности. По 10-балльной шкале ESI уязвимость берегов оценивается от 5 до 10.

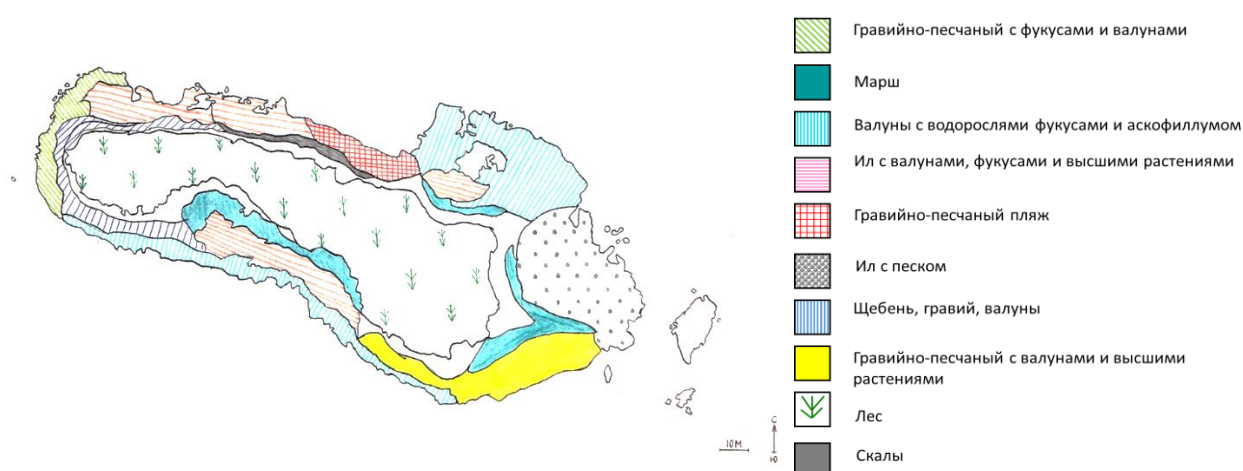


Рис. 2 Карта биогеоценозов о. Конюга

Роль практики в учебном курсе

Участники практики смогли получить практический опыт морских исследований и закрепить знания о методах исследования океанов. Все задачи, начиная от обсуждения программы работ и заканчивая разбором проб, были полностью делегированы школьникам, с минимальным участием взрослых руководителей.

Очень важным аспектом любой научно-исследовательской или природоохранной деятельности является организация и командная работа. Такой опыт даёт понимание того, с какими трудностями взаимодействия можно столкнуться в подобных работах и как важен этап организации и распределения задач.

Безусловно, естественнонаучные практики ещё и позволяют подрастающему поколению ближе соприкоснуться с природой, что развивает глубокий интерес, уважение и бережное отношение к ней.

Заключение

По итогам практики была составлена карта-схема распределения биотопов на тестовом полигоне в акватории губы Нильма, карта-схема биогеоценозов побережий острова Конюга и проведена оценка экологической чувствительности берегов острова по шкале ESI.

В ходе работ школьники получили практический опыт в исследовании морских экосистем. Это помогло им закрепить теоретические знания, которые они получили в ходе курса «Океанология», а также дало более глубокое понимание комплекса методов и помогла им ближе соприкоснуться с морской природой.

Подводное наследие и водолазные методы

Устные доклады

Underwater heritage and diving methods

Oral presentations

УДК 902.034

Рубрика 13.61.00

ПРОБЛЕМА КОНСЕРВАЦИИ МОКРОЙ АРХЕОЛОГИЧЕСКОЙ ДРЕВЕСИНЫ ПОДВОДНО-АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

THE PROBLEM OF CONSERVATION OF WET ARCHAEOLOGICAL WOOD OF UNDERWATER ARCHAEOLOGICAL COMPLEXES

Фазлуллин Сергей Маратович

Российский государственный гуманитарный университет, Москва

Fazlullin Sergey Maratovich

Russian State University for the Humanities, Moscow

Введение

2001 году научная общественность отмечала 100-летие со дня начала научного этапа в изучении подводных объектов. Принято считать, что научный этап в развитии подводной археологии был заложен греческой экспедицией, организованной в 1900–1901 гг. для изучения остатков и груза античного судна, затонувшего у острова Антикитера в I в. до н.э. За это столетие подводная археология оформилась как наука, было сделано огромное количество подводных находок.

Особую остроту вопрос сохранения затонувших кораблей и затопленных городов приобрел к концу XX в. Буквально на глазах найденные под водой объекты стали расхищаться охотниками за сокровищами. Все это стало беспокоить историков, культурологов, политиков, да и просто граждан. Под руководством ЮНЕСКО началась работа международных экспертов, которая завершилась в 2001 г. разработкой и утверждением текста Конвенции об охране подводного культурного наследия. После того, как в 2008 г. Конвенция была подписана более чем 20 странами, она вступила в действие. На сегодняшний день к этой конвенции присоединилось 67 стран.

Главной идеей Конвенции является безусловный приоритет сохранения объектов подводного культурного наследия в тех условиях, в которых они были найдены. Извлечение предметов из-под воды должно сопровождаться продуманным планом действий, в котором предусмотрено все: от проведения подводных раскопок до глубокой консервации поднятых предметов (особенно это касается предметов, поднятых из соленой воды) и организации музейных комплексов или выставочных экспозиций. Огромное значение при этом уделяется вопросам консервации, потому что утрата любого музейного экспоната из-за неправильной консервации может быть невозможной.

Консервация объектов подводного культурного наследия нуждается во всесторонних знаниях об окружающей среде, в которой они были найдены. Как только судно или предметы попадают в воду (в результате кораблекрушения, случайной потери или изменения уровня моря), они становятся объектами воздействия морской воды: происходит заполнение пор, коррозия, обрастание водорослями, абразионное воздействие песка, гидролиз, и т. д. Процесс разрушения и изменения обусловлен особенностями параметров окружающей среды, такими как физико-химические характеристики морской воды, активность воздействия живых организмов или геолого-геохимические условия дна. Существует тесная связь между глубиной нахождения объекта (предмета), природой субстрата и продолжительностью нахождения в этих условиях.

Если поднятые из моря предметы высыхают без необходимой предварительной обработки, то это ускоряет их разрушение. Такое высыхание является причиной растрескивания керамики, расслоения стекла, усушки и деформации древесины, коры, кожи, ткани и других органических материалов, растрескивания и коррозии металлов. Наиболее

подвержены разрушениям предметы из чугуна и кованого средневекового железа из болотных руд. При краткосрочном или среднесрочном воздействии высыхание без необходимой консервации вызывает частичное ухудшение качества поверхности и утрату орнамента, а при долгосрочном – и разрушение всего предмета.

Небольшие объекты, поднятые из-под воды, должны быть сразу же помещены в условия, аналогичные или близкие к тем, в которых они ранее находились. Это рассматривается как превентивная (профилактическая) консервация. Затем они должны быть «стабилизированы» путем быстрого извлечения солей (хлоридов кальция, натрия и магния) и других химических соединений, которые являются причинами разрушения материалов.

В дальнейшем в лабораториях по консервации и реставрации используются специальные приемы обработки материала, базирующиеся как на традиционных, так и на новых методах. Целью такой обработки является раскрытие первоначальной поверхности и его атрибутов: украшения (орнамента), клейм производителя и следов использования, – все, что может дать информацию о его происхождении, технологии создания и назначении.

Можно выделить следующие этапы лабораторной консервации: а) превентивная консервация; б) диагностика состояния материала предмета; в) очистка от обрастаний; г) стабилизация разрушения (коррозии) и д) финальная обработка.

Агрессивность морской среды

Морская вода имеет сложный состав, в который входят вода, растворенные минералы и газы, бактерии, пищевая цепочка микро- и макроорганизмов, взвеси органического происхождения и осадки. Для археологов наиболее важны процессы химических и электрохимических реакций в морской среде, механическое воздействие волн (движение частиц) и донных отложений, а также биологическое воздействие (особенно колоний бактерий) на исследуемые предметы.

Фактором, который существенно ухудшает состояние предмета, является содержание растворенного кислорода как во время нахождения объекта под водой, так и во время его подъема при раскопках. Для металлов, например, растворенный кислород определяет степень окисления. Количество растворенного кислорода может меняться от одного географического положения к другому. В конкретном месте количество растворенного кислорода уменьшается с глубиной, температурой (согласно сезонам) и природой подстилающей поверхности дна (песок, ил или скала).

В целом, объекты, находящиеся на больших глубинах, сохраняются значительно лучше. Предметы, погребенные в толще более плотных илистых донных отложений, оказываются в хорошей степени сохранности. За время нахождения объекта под водой большее количество растворенного кислорода приводит к большему его разрушению. Это вызвано сочетанием влияний параметров воды и воздействием песка, перемещаемого волнами. В конечном счете, чем глубже проникают в предмет растворенные соли, тем дольше время его консервации.

Еще одним значимым фактором, который может влиять на процедуру, консервации предметов из подводно-археологических комплексов является процесс современного минералообразования в донных отложениях и на границе вода – осадок. В результате этих процессов могут формироваться различные группы минералов:

Сульфиды железа: гидротроилит, пирит, марказит, грейгит, мельниковит.

Сульфиды тяжелых металлов: галенит, сфалерит, халькопирит.

Карбонаты: кальцит, магниезальный кальцит, арагонит, доломит, минералы изоморфного ряда сидерит — магнезит, сидерит — родохрозит, поликомпонентная изоморфная смесь кальция, магния, железа и марганца.

Сульфаты: гипс, ангидрит, барит, целестин.

Фосфаты: подолит (даллит), курскит, штаффелит, коллофанит, вивианит, керченит.

Окислы и гидроокислы: железа, марганца, кремния, алюминия, титана и др.

Силикаты: минералы группы каолинита, гидрослюд, монтмориллонита, смешаннослойные фазы, палыгорскит, сепиолит, глауконит, лептохлориты, цеолиты.

Аутигенные минералы могут формироваться во всем объеме пористого материала подводных объектов, что очень осложняет дальнейшую работу с такого рода материалом. Присутствие кислорода воздуха, например, может запускать процесс образования серной кислоты внутри материала, что в свою очередь приводит к его деградации и утрате ценного артефакта. Поэтому, прежде чем поднимать предметы из подводно-археологического комплекса, необходимо детально изучить процессы местного минералообразования и составить план выведения этих минералов из массива материала.

Прежде чем будут проводиться любые мероприятия с объектом, исследователь должен остановить процесс коррозии металла и убрать растворенные соли из неорганических и органических материалов обрабатываемого объекта. Чтобы лучше оценить различные методы, их продолжительность и их стоимость, исследователи должны обладать всесторонним знанием процессов деградации подводных объектов во время и после раскопок. Самое серьезное повреждение археологических объектов происходит, если им позволить сохнуть частично или полностью на открытом воздухе. От начала раскопок, их раскрытия, извлечения и профилактической консервации с обрабатываемым предметом происходят микро и макроизменения. Это может запустить необратимые физические и химические процессы, способные к частичной или полной потере объектов и информации, которую они содержат. В связи с этим важно уменьшить взаимодействие предмета с кислородом воздуха во время консервационных мероприятий, хранить предмет в условиях, близких к условиям первоначального нахождения (превентивная консервация), и начать удаление солей сразу же после работы с предметом (первый этап консервации). Оптимальным для сохранения затонувших объектов и отдельных предметов является их нахождение в тех условиях, в которых они были обнаружены до решения всех технологических, организационных и финансовых проблем.

Этапы консервация – краткое описание приемов

Существует пять главных стадий процедуры консервации объектов, извлеченных во время раскопок: превентивная консервация, диагностика, очистка от обрастаний, извлечение растворенных солей и финальная обработка.

Превентивная консервация и диагностика. Цель профилактического сохранения состоит в том, чтобы ограничить или остановить любое ускорение в деградации объектов после их открытия. Объект повторно погружается в идентичную окружающую среду или близко к той, в которой он был найден. Это предотвращает его от воздействия изменившейся среды. Проведение консервации может занять достаточно продолжительное время, поэтому выбираемые технологические приемы должны быть простыми и легкими в применении.

Очистка обрастания, стабилизация изменений и опреснение. Большинство объектов в процессе длительного пребывания в морской среде покрываются карбонатной коркой. После того как поверхность объекта очищена от корок и процесс дальнейшего разрушения остановлен, становится более понятно, в каком направлении вести дальнейшие консервационные работы. Твердость, толщина и пористость корок обрастания зависят от условий морской среды. Твердость и состав корок обрастания на предмете определяют дальнейший метод очистки: механический (микроспектроструй, микродолото или скальпель), химический (растворение) или электрохимический. При электрохимической очистке используется катодная поляризация (электролиз) для объектов из металла и электрофорез для неорганических или непроводящих материалов.

Электролиз используется для очистки от обрастаний пушек, якорей и других больших археологических объектов, а также для удаления хлор-иона. При использовании электрического тока на поверхности металла образуются микропузырьки газообразного водорода, что способствует отслоению корок, происходят химические изменения в продуктах коррозии, что также приводит к ускорению извлечения ионов хлора. Электролиз также служит

для удаления хлоридов и поверхностной коррозии с поверхности непроводящих органических материалов (древесина) и иногда керамики.

В случае со стеклом после удаления хлоридов следует контролируемая сушка на воздухе или, в зависимости от состояния поверхности объекта, закрепление поверхностных слоев, в том числе и многократным погружением в раствор лактата этила с последующим очень постепенным контролируемым высыханием после каждого погружения. Для органических материалов стабилизирующая обработка сводится к предотвращению неконтролируемого высыхания, в результате чего могут возникнуть сжатие и деформация. Наиболее известны два метода, препятствующих этому: постепенное замещение воды в порах растворами полиэтиленгликоля (ПЭГ) различной концентрации и молекулярного веса, а также трехстадийный метод (ополаскивание предмета раствором ацетона, пропитка древесины полистерстиреновой смолой и полимеризации смолы под воздействием радиоактивного излучения).

При обработке металлов сосредотачиваются, главным образом, на удалении ионов хлорида, чтобы стабилизировать коррозию. Для больших или сильнозасоленных предметов самым эффективным средством является электрохимическая обработка. В зависимости от металла процесс может занять от шести месяцев для кованого железа до более трех лет для чугуна.

Завершение и долгосрочная консервация. После стабилизации объекты подвергаются контролируемой сушке. В течение этого периода начинается завершающая двухступенчатая фаза: восстановление поверхности, максимально приближенной к первоначальной, и долговременное закрепление. Это включает деликатную обработку с растительными или минеральными абразивами в соответствии с твердостью поверхности, выявление орнаментов, узоров и/или надписей. Такую процедуру необходимо время от времени повторять, чтобы укреплять обработанную поверхность или восстанавливать ее. Эта операция проводится в музеях в кооперации с хранителями коллекций с использованием обратимой консервации соответствующими восками, лаками, смолами и т. д. В конце концов, применение защитных покрытий (воск, лак, смола), соответствующих условиям хранения (в помещении или вне его), позволяют сохранять объекты в течение длительного времени.

Превентивная консервация *in situ*

Месяцы и часто годы могут пройти между открытием подводного участка и начальными исследованиями, фактическими раскопками, подъемом объектов, и обеспечением фондов, чтобы их изучать и сохранять. Это то, почему на месте превентивная консервация *in situ* приобретает важность от года к году при различных используемых подходах:

- зондирование, изучение и раскопки участков, затем повторное их закрытие для новых технологий и будущих поколений;
- профилактическое сохранение участков и их преобразования в подводные археологические парки;
- профилактическое сохранение объектов в подготовке их к раскопкам или долгосрочному сохранению.

Можно выделить три подхода при сохранении артефакта на месте, которые могли бы быть классифицированы по происхождению защищаемых материалов:

- подход для объектов из органических материалов, при котором предполагается перезахоронение объекта после проведенных исследований для хранения в течение долгого времени;
- подход по демонстрации подводного культурного наследия, который сосредотачивается на создании подводных археологических парков;
- подход по сохранению кораблей (предметов) из металла, который предлагает выбор катодной защиты и окончательное извлечение артефактов, с одной стороны, и открытия подводных парков – с другой.

Консервация влажной археологической древесины.

Органический материал — это категория материалов, которая включает в себя все артефакты, изготовленные из растительных волокон, тканей животных или костей. Наиболее частыми подводными археологическими материалами органического происхождения, обнаруживаемыми в реках, озерах, море или водно-болотных угодьях, являются дерево, кость, слоновая кость, кожа, текстиль и шнур. Уровень сохранности археологических объектов из органических материалов, которые годами находились под водой или во влажной почве, различен и зависит от типа материала, условий окружающей среды, в которой они были найдены, и, прежде всего, от их биodeградации различными микроорганизмами.

Консервация артефактов из органических материалов, от их извлечения из воды или влажной почвы до хранения и демонстрации, — это длительный процесс, требующий компетентности и проверенных технологических приемов. Археологическая древесина представлена находками крупных деревянных артефактов и других старых деревянных изделий, которые раскрывают информацию о людях и культуре. К сожалению, древесина подвержена разложению под воздействием атмосферных условий, микроорганизмов и других разрушительных факторов. Древесина, как вещество, вырабатываемое растениями, химически состоит из: углеводов (целлюлозы, гемицеллюлозы), лигнина (фенольных веществ) и других компонентов (алифатических кислот, спиртов, белков и неорганических веществ) в значительно меньшем количестве. При этом, поглощение или испарение воды Основным элементом в структуре древесины является клетка, которая в своем живом состоянии состоит из мембраны и протоплазмы. Когда клетки умирают, протоплазма постепенно исчезает. Остается только мембрана, то есть стенки, которые утолщились и одревеснели, и просвет (полость клетки), заполненный воздухом или водой, в зависимости от уровня влажности в древесине. Стенки ячеек, которые являются гигроскопичными, поглощают или пропускают влагу, в зависимости от влажности окружающей среды. Это приводит к изменению размеров и объема древесины. Уровень влажности необработанной древесины, в зависимости от влажности окружающей среды, может варьироваться от 25 до 65%, где около трети приходится на гигроскопичную или связанную влагу.

Древесина, поднятая из воды (рек, озер или морей), и древесина, добытая из водно-болотных систем, называют влажной археологической древесиной. Её можно определить как древесину, которая не содержит или содержит мало воздуха внутри своих клеток, капилляров и микрокапилляров. Её структура также ослабляется биологическим разложением. Влажная археологически древесина часто выглядит хорошо сохранившейся; этому способствуют холодные и темные подводные условия, которые замедляют биологическое разложение. Однако переувлажненная древесина очень слаба и портится из-за того, что водорастворимые вещества, такие как крахмал и сахар, минеральные соли, пигменты и дубильные вещества, первыми растворяются в природных водах. Целлюлоза проходит через процесс гидролиза и подвергается атаке анаэробных бактерий, которые разлагают ее, оставляя только лигниновую структуру. В течение длительного времени лигнин также постепенно разлагается. Результатом разложения целлюлозы и лигнина является увеличение пространства между клетками и внутри клеток, что делает древесину более пористой и проницаемой для воды. Все полости заполняются водой, и именно эта впитанная вода и остатки лигнина поддерживают первоначальную форму древесины. Эта, казалось бы, хорошо сохранившаяся древесина, мягкая и губчатая на ощупь, может сохранить свою первоначальную форму только во влажном состоянии. Резкое воздействие воздуха на влажную древесину приводит к испарению избытка воды, формированию внутреннего напряжения внутри древесины и к разрыву, и без того ослабленных клеточных стенок. Происходят значительные изменения в размерах, то есть сжатие, расслоение и деформация древесины. Изменения в размерах зависят от уровня разложения и количество присутствующей воды. По мере высыхания древесины изменения в размерах являются наибольшими в направлении годовичных колец роста древесины (тангенциальная усадка), несколько меньшими в направлении медуллярных лучей (радиальная усадка) и в незначительных количествах параллельно волокон древесины (продольная усадка). В целом, изменения размеров зависят от степени разложения и

количества присутствующей воды. При этом большее количество присутствующей воды означает меньшее количество целлюлозы и лигнина, и это также является закономерным результатом биологического и химического разложения древесины. Изменения в древесине, возникающие в результате обезвоживания, являются постоянными, поскольку последующая гидратация древесины не вернет клетку в исходное состояние. Поэтому рекомендуется оставлять древесину на месте находки до тех пор, пока не будут созданы необходимые условия для ее сохранения.

Сохранение влажной археологической древесины позволяет проводить ее дальнейшее изучение и размещать в музейных экспозициях. Важным аспектом сохранения артефактов из влажной древесины является их стабилизация, т. е. укрепление их структуры и сохранение их внешнего вида и первоначального размера. Это сложный процесс, который включает замену воды пропитывающим веществом, которое укрепит структуру древесины, и удаление воды таким образом, чтобы древесина не усыхала и не разваливалась. Существует ряд известных методов консервации древесины, которые отличаются друг от друга используемым пропитывающим веществом и процессом его нанесения.

Консервационно-реставрационные работы с влажной археологической древесиной можно разделить на следующие этапы:

1. Фотографическая документация и подробное описание первоначального состояния
2. Очистка объекта
3. Предварительное обследование
4. Выведение солей пресной водой
5. Пропитка укрепляющими растворами
6. Сушка

Пропитка укрепляющими растворами Консервация переувлажненной древесины – это сложный процесс, который включает пропитку древесины, то есть замену воды материалом, который укрепит структуру древесины, и удаление воды таким образом, чтобы древесина не сжималась и не разваливалась. Существует ряд известных методов консервации, которые отличаются друг от друга используемым пропитывающим веществом и процессом его нанесения.

Полиэтиленгликоль. Полиэтиленгликоль (ПЭГ) представляет собой синтетический полимер, изготовленный из мономеров окиси этилена и воды с общей формулой $\text{HO}-(\text{CH}_2\text{OCH}_2)_n-\text{H}$, где "n" - количество мономеров в молекуле ПЭГ. Для консервации древесины используется ПЭГ с молекулярными массами от 200 до 4000. Он используется при консервации переувлажненной древесины в качестве замены воды в структуре древесины, поскольку образует водородные связи и обеспечивает механическую поддержку поврежденной древесины. ПЭГи с более низкой молекулярной массой, от ПЭГ-200 до ПЭГ-600, являются жидкими при комнатной температуре и глубже проникают в структуру древесины, в то время как ПЭГи с большей молекулярной массой, от ПЭГ-1500 до ПЭГ-4000, находятся в твердом состоянии, и, хотя они проникают меньше, они превосходят с точки зрения стабилизации структуры древесины. Они растворимы в воде, спирте, бензоле и других органических растворителях и из-за своей низкой токсичности относятся к веществам, не представляющим опасности для здоровья. Консервация переувлажненной древесины ПЭГом одновременно удаляет воду и пропитывает древесину. Дезинфицирующее средство применяется 2%-ный раствор смеси борной кислоты и буры в соотношении 7:3. Если в качестве растворителя используется спирт, дезинфицирующее средство не требуется. Температура раствора в емкости доводят до температуры 60°C. После того, как древесина пропитана пропитывающим веществом, ее вынимают из емкости и постепенно сушат.

Для небольших объектов в растворе ПЭГ вместо воды можно использовать спирт. Рекомендуется, чтобы древесина была обезвожена перед помещением в раствор ПЭГ/спирт. Обезвоживание производится путем помещения древесины по меньшей мере в три ванны с этанолом. Однако не критично, чтобы перед обработкой из древесины была удалена вся вода,

поскольку ПЭГ растворим как в воде, так и в спирте. Использование спирта вместо воды значительно сокращает время обработки, а готовый продукт становится легче как по весу, так и по цвету. Однако, процесс консервации является дороже, и всегда существует риск, связанный с нагреванием спирта из-за его воспламеняемости. Метод консервирования полиэтиленгликолем является одним из первых и наиболее часто используемых методов. Сохранение находок крупного размера (деревянное судно) обычно требует строительства специальных ангаров, в которых должен осуществляться процесс консервации путем орошения древесины раствором ПЭГ. Недостатком метода является длительность процесса. Это длительный процесс, и на его нагрев затрачивается много энергии и материалов. В качестве пропитывающего вещества ПЭГ хорошо стабилизирует древесину, но он делает ее темнее по тону, тяжелее и придает ей вид, имеющий был покрыт воском. ПЭГ также вызывает коррозию таких металлов, как железо, свинец, медь, бронза и алюминий. Поэтому его нельзя использовать в качестве пропитывающего вещества для древесины в сочетании с любым из указанных металлов. Кроме того, после консервации и с течением времени элементарная сера, которая является составной частью структуры древесины, окисляется. При окислении серы синтезируется серная кислота и ее соли, которые повышают кислотность древесины и вызывают ее деградацию. Синтез серной кислоты и ее соли видны в виде светло-желтого налета на поверхности обработанной древесины. Предотвращение этого синтеза и устранение синтезированной серной кислоты и ее солей является серьезной проблемой, влияющей на деревянные находки, консервированные методом ПЭГ.

Помимо методик с использованием ПЭГ, существуют ещё несколько продуктивных методов консервации, которые могут быть использованы в практике работы с предметами из подводно-археологических комплексов. К ним относятся:

- Способ консервирования влажной археологической древесины сахарозой;*
- Ацетоно-канифольный способ;*
- Обработка силиконовым маслом.*

Источники

Ambrose W.R. The freeze-drying of swamp degraded wood. In: Conservation of stone and wooden objects. IIC, London, 1970, 53-57.

Florian Mary-Lou, R. Renshaw-Beachamp. Anomalous wood structure: a reason for failure of PEG in freeze-drying treatments of some waterlogged wood from Ozette Site. Proceedings of the ICOM Waterlogged Wood Working Group Conference Ottawa. 1981. pp. 85-98.

Grattan, D. Some observations on the conservation of waterlogged wooden shipwrecks. ACCM Bulletin, Vol.12. 3, 4, 1986.

Grosso G.H. Эксперименты по использованию сахара при консервации мокрой археологической древесины. 6-th Triennial Meeting, ICOM/ Ottawa, Sept. 1981//Музееведение и охрана памятников. Реставрация и консервация музейных ценностей. Науч. Реф. сб. Вып. I. М. 1983, с. 15.

Hamilton D.L. Methods of conserving archeological material from underwater sites. Revision number 1. Anthropology 605. Conservation of archeological resources I. Nautical Archeological program. Department of Anthropology. Texas A&M University. College Station, Texas 77807. January 1999.

McCawley. Some experiments on freeze-drying: design and testing of a nonvacuum freeze dryer. In Proceedings of the ICOM Waterlogged wood working group conference, Ottawa, Canada, 1981, pp. 253-262.

Morgos A. The sucrose conservation of 15-16-th c. waterlogged wooden finds // 9-th Triennial Meeting Dresden, GDR. 26-31 August 1990, vol. I, p. 241-242.

Nautical Archaeology Program // Wood Conservation [Электронный ресурс]
<https://nautarch.tamu.edu/CRL/conservationmanual>

Watson, Jacqui. The application of freeze-drying on British Hardwoods from archeological excavations. Proceedings of the ICOM Waterlogged wood working group conference. 1981/1982. pp. 237-242.

ПОДВОДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АНТИЧНЫХ ПОРТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ
ФАНАГОРИИ (ТАМАНСКИЙ ПОЛУОСТРОВ).

UNDERWATER INVESTIGATIONS OF THE ANTIQUE PORT FACILITIES OF
FANAGORIA (TAMAN PENINSULA)

Хотылев Алексей Олегович¹, Ольховский Сергей Валерьевич², Майоров Александр Александрович^{1,2}

¹ *Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва*

² *Центр подводного археологического наследия ИА РАН, Москва*

Khotylev Alexey Olegovich¹, Olkhovsky Sergey Valerievich², Mayorov Alexander Alexandrovich^{1,2}

¹ *Moscow State University M. V. Lomonosov, Moscow*

² *Centre for Underwater Archaeological Heritage Institute of Archaeology of the Russian Academy of Sciences, Moscow*

Введение

Город Фанагория был основан греками в VI в. до н.э. на южном берегу Таманского залива и на протяжении более тысячи лет являлся крупным транзитным центром Черноморского региона, связывая морские пути из Средиземноморья в Азов с Прикубаньем. В результате повышения уровня Черного моря прибрежная часть города, в том числе портовые сооружения, были затоплены и полностью перекрыты слоями донных отложений. Для выявления археологических объектов на крупном (более 20 Га) участке акватории нами выполнены комплексные геофизические исследования (гидромагнитная съемка, акустическое профилирование), результаты которых заверены серией шурфов.

В результате гидромагнитной съемки в акватории города выявлена каменная насыпь, ориентированная перпендикулярно берегу. Объект представляет собой крупное портовое сооружение – причал классического времени, его изучению и посвящена данная работа.

Данные и методы

Размеры сооружения достаточно велики: расположенный перпендикулярно берегу главный (основной) причал не менее 180 м в длину и 65 м в ширину. В его центральной части расположены ответвление северо-западного простирания, длиной до 80 м и шириной до 30 м (малый причал). Оба объекта полностью закрыты современными осадками мощностью 0.5-0.7 м. Только на самом северном окончании главного причала на дне фиксируются открытые развалы глыб и валунов.

Причал сложен крупными валунами и глыбами, образующими каркас сооружения, интервалы между которыми заполнены более мелкими обломками или рыхлыми осадками. Для оценки размеров каменного материала были измерены ширина, длина и высота отдельных камней (более 700 образцов). Глыбы каркаса в среднем имеют размеры – 160 × 114 × 70 мм, и несколько большего размера (182 × 122 × 75 мм) в бортовых частях причала. Камни каркаса представлены широким спектром пород, как осадочных, так и вулканических, причем не менее 40% этого каменного материала импортного происхождения [Хотылев и др., 2022]. Заполнение представлено неокатанными и редко полуокатанными обломками карбонатных (известняки и мергели) и в меньшей степени иных (вулканыты, сланцы) пород размером от 10–20 до 100–120 мм (209 обр.). Высока доля вторично расколотых камней, которые были изначально окатанными, но затем расколоты на несколько частей.

Конструкция основного причала несколько различается в разных его частях. Верхние зоны причала, вскрытые представляют собой плотную конструкцию из валунов, глыб и

мелкого угловатого камня, местами с многочисленными обломками керамики, забитого между крупными камнями. Остальное пространство заполнено супесью или песками. Иногда, особенно в краевых частях, кровля отсыпана мелкой хорошо сортированной галькой размером 1–5 см.

Ниже по разрезу подобная кладка сменяется конструкцией из валунов такого же размера, как и в остальных частях сооружения, но заполнение представлено только песком, а мелкий камень почти отсутствует, обломки керамики попадаются редко.

В теле малого причала кладка с дробленным камнем ниже сменяется валунами с многочисленной галькой в заполнении, причем локально галька образует несцементированные, легко высыпающиеся линзы и горизонты мощностью до 20–30 см. Размеры гальки колеблются в интервале от 1 до 5 см и лишь единичные достигают размера 6–8 см.

Для установления время строительства причала, были извлечены и определены фрагменты керамических изделий, обнаруженные в конструкции причала. При раскопках керамика извлекалась послойно – отдельно из перекрывающих осадков, отдельно из самой конструкции причала. Так как сооружение явно сохранило изначальную конструкцию, не было разрушено или перестроено, имеет единую структуру и в целом единый стиль строительства, то оно представляет собой закрытую систему. Керамика, попавшая между камнями во время строительства, не могла быть извлечена оттуда, равно как и какие более поздние изделия не могли оказаться внутри конструкции после ее возведения. Таким образом, мы имеем возможность датировать объект на основании возраста керамических изделий, считая, что время строительства не древнее возраста керамики.

Всего на сегодняшний день непосредственно из тела причала было извлечено 863 фрагмента амфор, из которых 82% относятся к Хиосу, Менде, Фасосу, Гераклее, Синопе, и датируются 4–3 вв. до н.э. В подстилающем причал слое донных отложений найдены крупные фрагменты пухлогорлых хиосских, сероглиняных лесбосских, протофассоских амфор на сложнопрофилированной ножке, датирующихся 2–3 четвертью 5 в. до н.э. в результате, мы полагаем, что строительство этого причала началось на рубеже 5–4 вв. до н.э. (450–350 гг. до н.э.).

Обсуждение результатов

Проходкой шурфов подтверждено, что реальные размеры большого причала с запада на восток совпадают с размерами магнитной аномалии, проведенными по границам розовых (высоких) и синих (низких) значений (рис. 1). Фактически, это обозначает, что предполагавшиеся ранее исключительно по форме аномалии размеры сооружения были подтверждены, и мы имеем право использовать эти размеры при расчетах объемов и веса сооружения. Таким образом, можно считать, что ширина большого причала составляет не менее 65 м, длина – не менее 180 м. Оценка аналогичным образом размеров малого причала дает значения не менее 80 м в длину и 30 м в ширину. С учетом вертикальной мощности сооружений (2–2.5 м) позволяет нам оценить объемы сооружений в 24 000 м³ для большого причала и 4 800 м³ для малого причала. При этом кровля обоих сооружений находится на едином уровне с погрешностью 10–20 см, что позволяет считать их единым комплексом сооружений, использовавшихся одновременно. В бортовых (восточный и западный) зонах сооружений высота кровли постепенно понижается на 30–110 см – мы предполагаем, что это следствие разрушения волнами конструкции. Наличие крупных валунов и гальки в осадках рядом с причалом на уровне кровле и ниже подтверждает это предположение.

Плотная укладка камня кровли причала, выровненная поверхность, местами отсыпка кровли галькой позволяют предполагать, что сооружение было не просто волноломом, а именно причалом, по которому могли перевозить грузы или ходить. Для волнолома формирование такой ровной поверхности было бы лишним.

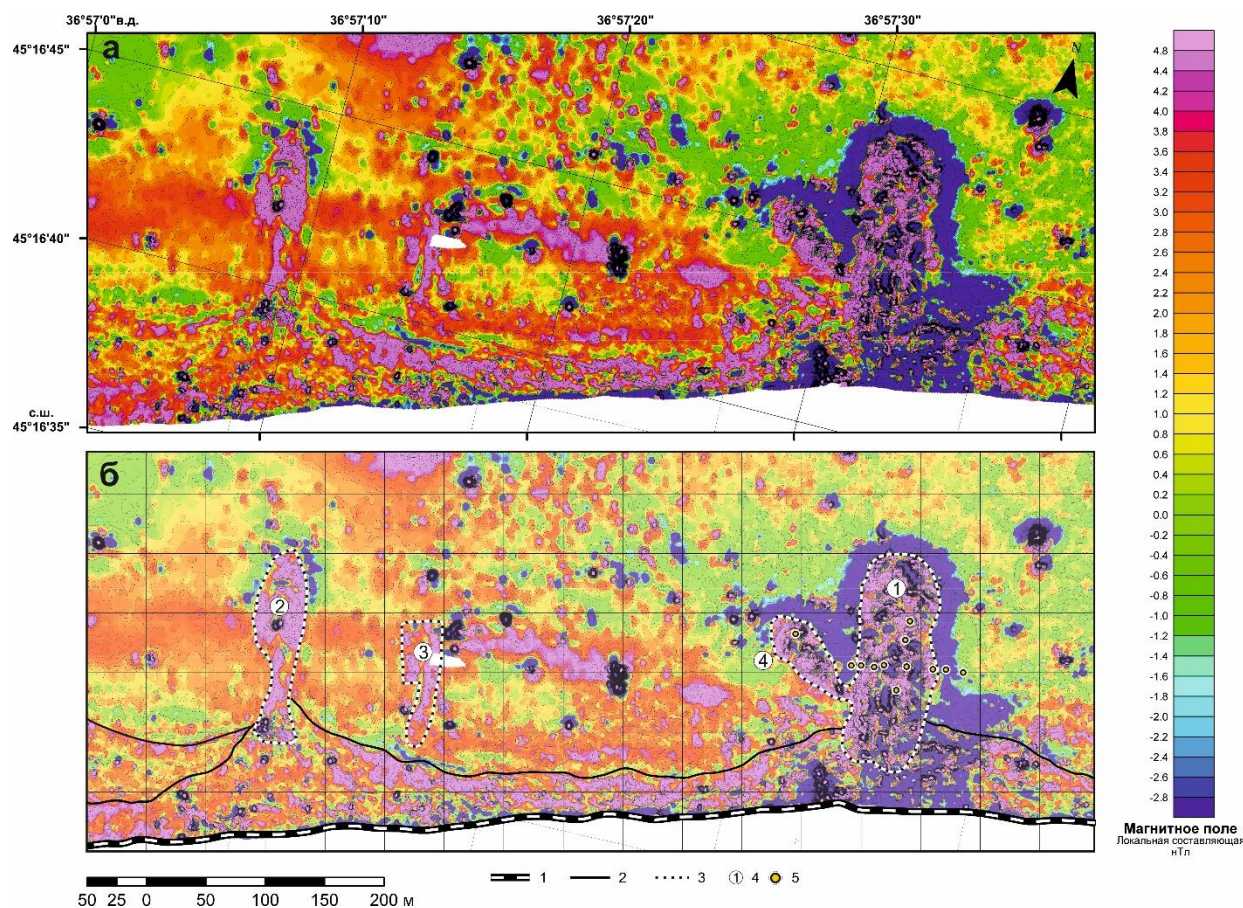


Рис 1. Карта локальной составляющей магнитного поля в акватории Фанагории (а) и схема расположения изученных объектов (б). 1 – контур современной береговой линии; 2 – шлиховые аномалии палеобереговых линий; 3 – контуры обсуждаемых объектов; 4 – обсуждаемые объекты; 5 – раскопы (шурфы). Обозначены: 1 – причал классического времени; 2 – западный мол; 3 – ряж римского времени; 4 – точка расположения остова судна 64 г. до н.э.

Обнаруженный объект является не единственным причальным сооружением по берегам Боспора Киммерийского. Объекты, интерпретируемые как причалы или молы, описаны в разное время в Пантикапее (Керчь) – эллинский мол длиной около 400 м, в районе горы Опук (восток Крымского полуострова) на месте античного города Киммерик – стена длиной по разным данным до 115 до 300 м и шириной до 2.1 м, сложенная из известняковых глыб, и ряд других объектов, лишь упоминавшийся в источниках разного времени (в Феодосийской бухте, в районе Чокракского озера, в районе мыса Тузла) [Никонов, 1998].

Изученный причал расположен не в произвольном месте. Он возведен на оконечности дугообразной положительной магнитной аномалии, вытянутых вдоль берега (рис. 1). Такие аномалии формируются за счет скопления тяжелых минералов (в частности, высокомагнитных магнетита и ильменита [Lanza, Meloni, 2006]) в волноприбойной зоне. Естественные шлихи формируются и сегодня на побережье Фанагории после сильного волнения и представляют собой пятна и полосы шириной 20–25 см на линии заплеска волны. Таким образом, шлиховые аномалии маркируют контуры древней береговой линии дугообразной формы, а насыпи были возведены на двух косах, уходящих в море и ограничивающих небольшую лагуну. Сооружение и было возведено на косе, как на самой мелкой и удобной зоне. Западнее, на противоположном окончании этой косы расположены еще одно сооружение, обозначенное на рис. 1 как «западный мол». Его функциональное назначение и возраст пока еще не установлены, однако, судя по результатам рекогносцировочных работ, он очень похож по составу и структуре на причал классического времени.

Значительно более поздний прямоугольный ряж римского времени [Голофаст, Ольховский, 2016] расположен в самой лагуне в центральной части акватории (рис. 1, «ряж римского времени»), который датируется 4–6 вв. н.э. Вероятно, греческие сооружения к моменту римского времени уже были не функциональны (засыпаны или частично разрушены) и не подлежали восстановлению, и было проще возвести новое сооружение на свободном мелководья. Однако, в середине 1 в. до н.э. причал, вероятно еще использовался – на южном борту малого причала лежит остов судна, затонувшего в 64 г. до н.э. (рис. 1). Даже если сооружение активное уже и не использовалось, то, по крайней мере, в этом месте еще сохранялась глубина достаточная, чтобы судно с осадкой 0.5-0.7 м могло подойти к нему [Boetto, Poveda, Olkhovskiy, 2022].

Выводы

1. В затопленной портовой части Фанагории обнаружен крупный каменный причал хорошей сохранности.
2. Границы причала, изначально выделенные по контурам магнитной аномалии полностью подтверждены раскопами, что делает гидромагнитную съемку эффективным средством для поиска, оконтуривания каменных объектов и планирования их исследований в акваториях, даже если они полностью закрыты современными осадками.
3. Причал состоит из двух тех – большого и малого причала, построенных по сходным технологиям, имеющих единую дневную поверхность и использовавшихся одновременно.
4. Время начала строительства причала приходится на границу 5–4 вв. до н.э.
5. Причал заложен на косе, направленной перпендикулярно к берегу, как на наиболее мелководной части акватории. На аналогичной косе в западной части расположено еще одно каменное сооружение (западный мол), назначение которого пока не выяснено.

Список литературы

1. Голофаст Л.А., Ольховский С.В. Комплекс керамики из подводного фундамента в акватории Фанагории // Фанагория. Результаты археологических исследований. Под общей редакцией В.Д. Кузнецова. Том 4. Материалы по археологии и истории Фанагории. Вып. 2. Под редакцией А.А. Завойкина. М.: Институт археологии РАН. – 2016. С. 46-82
2. Никонов А.А. Затопленные остатки античных сооружений по берегам Боспора Киммерийского (в связи с проблемой изменения уровня моря) // Российская археология. 1998. №3. С. 57-66
3. Хотылев А.О., Ольховский С.В., Майоров А.А., Хотылев О.В., Хубанов В.Б. Применение методов изотопной геохронологии для локализации регионов импорта каменного материала // Российские нанотехнологии. 2021. №5. в печати
4. Хотылев А.О., Ольховский С.В., Майоров А.А., Хотылев О.В. Каменный материал некоторых построек акрополя Фанагории // Проблемы истории, философии, культуры. 2022. №5. В печати.
5. Lanza R., Meloni A. The Earth's Magnetism - An Introduction for Geologists, Springer Berlin Heidelberg New York 2006, 287p doi:10.1007/978-3-540-27980-8
6. Boetto G., Poveda P., Olkhovskiy S.V. The Hellenistic Shipwreck of Phanagoria (Taman Peninsula, Black Sea, Russia): a Small Military Vessel // Int. J. of nautical archaeology. 2022. <https://doi.org/10.1080/10572414.2022.2049165>

УДК 904

Рубрика 03.41.00

ПОДВОДНОЕ НАСЛЕДИЕ ДЕРБЕНТА И ВКЛЮЧЕНИЕ ЕГО В СОСТАВ
ВСЕМИРНОГО НАСЛЕДИЯ ЮНЕСКО (АКТУАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ)

UNDERWATER HERITAGE OF DERBENT AND ITS INCLUSION IN UNESCO WORLD
HERITAGE (UPDATING THE TASK)

**Гусев Сергей Валентинович¹, Гаджиев Муртазали Серажутдинович², Фазлуллин
Сергей Маратович³**

Русское географическое общество, г. Москва

*Институт истории, археологии и этнографии Дагестанского федерального
исследовательского центра РАН*

Российский государственный гуманитарный университет, Москва, Россия

**Gusev Sergey Valentinovich¹, Gajiyev Murtazali Serazhutdinovich², Sergey Maratovich
Fazlullin³**

¹ Russian Geographical Society, Moscow

*² Institute of History, Archeology and Ethnography of the Dagestan Federal Research Center of
the Russian Academy of Sciences*

³ Russian State University for the Humanities, Moscow, Russia

Исследования подводных сооружений средневекового Дербента проводились Дербентской археологической экспедицией Института истории, языка и литературы Дагестанского филиала АН СССР (ныне – Институт истории, археологии и этнографии Дагестанского федерального исследовательского центра РАН) во второй половине 80-х гг. XX века – в 1983, 1985-1989 гг. [Кудрявцев А.А., Гусев С. В.; Kudrjavcev A.A., Gadziev M.S. 2001; Кудрявцев А.А., Гаджиев М.С. 2002].

В результате проведенных работ были выявлены Северная и Южная морские стены, являющиеся, по сути, продолжением соответственно Северной и Южной городских стен середины VI н.э. Поперечная городская стена, ныне находящаяся в зоне прибоя и отделяющая прибрежную зону от городской, впервые была выявлена в 1949 г., [Николаева Р.В., Хан-Магомедов С.О. 1962]. была принята за остатки мола или волнолома. Верная ее идентификация ее была осуществлена позднее, когда в результате регрессии Каспия стало возможным провести ее более точное обследование, в том числе в результате понижения уровня Каспия зимой-весной 2021 г. (подробнее см.: [Гаджиев М.С., Гаджиев Б.Х. 2021]) (рис. 1).

В 1985 г. одним из авторов доклада (С.В. Гусев) был снят план подводных сооружений г. Дербент с помощью теодолита 2Т2, с разрешением до 30". Этот план ляжет в основу фиксации подводных развалов блоков сасанидских и более поздних сооружений для постановки на учет подводного культурного наследия в качестве памятника Всемирного наследия. Такая постановка вопроса актуальна и обоснована: в 2003 г. в список Всемирного наследия ЮНЕСКО были включены цитадель, старый город и крепостные сооружения города, Северная и Южная стены с башнями и воротами, но не развалы морских стен, которые являлись продолжением городских стен. Прибрежная поперечная стена Дербента в 2021 г. была включена в «Единый государственный реестр объектов культурного наследия (памятников

истории и культуры) народов Российской Федерации» как объект, обладающий признаками объекта культурного наследия и объект археологического наследия «Приморская поперечная оборонительная стена Дербента».



Рис. 1. Обнажившаяся прибрежная стена Дербента. Вид с ССЗ. Фото: март 2021 г.

Конвенция об охране подводного культурного наследия 2001 г. в полной мере начала работать в России с 2022 г. с момента вступления в силу дополнений к Федеральному закону № 73-ФЗ (статья 3 Закона 73 -ФЗ). В настоящий момент необходимо и должно выполнить букву закона и поставить на учет и взять под охрану объект подводного наследия – «Средневековый порт Дербента».

В 80-е гг. XX века было выявлено несколько сооружений под водой, возможно перекрывавших фарватер от прямого выхода на берег.

В Северной морской стене был выявлен участок, выложенный при строительстве в сер. VI в. на суше на расстояние до 150 м от береговой линии, когда уровень Каспия был примерно на 4 м ниже современного уровня и составлял около -31,5-32,0 м абс. (см.: [Кудрявцев А.А., Гусев С.В., 1988; Kudrjavcev A.A., Gadziev M.S. 2001; Кудрявцев А.А., Гаджиев М.С. 2002]), а также ступенчатые зубцы-мерлоны башни, один из которых был доставлен на берег.

Дербентский оборонительный комплекс был возведен в правление шахиншаха Хосрова I Ануширвана (531-579 гг.), а Северная городская стена и цитадель, как показал анализ среднеперсидской надписи № 3, содержащей дату строительства, и военно-политической ситуации в регионе, в 568-569 гг. [Гаджиев М.С. 2006; Gadjiev M.S. 2008]. Дербентская оборонительная система включает цитадель Нарын-кала, Северную и Южную городские стены, перекрывающие 3-километровый проход между морем и горами и уходящие в море, и Горную стену Даг-бары, протянувшуюся в горы на 42 км от цитадели до хребта Кара-сырт. Арабские и персидские письменные источники IX-X вв. содержат важнейшую информацию о средневековом порте Дербенте, методах строительства его стен и функционирования гавани, сообщают о специальном коменданте порта (подробней см.: [Kudrjavcev A.A., Gadziev M.S.

2001; Кудрявцев А.А., Гаджиев М.С. 2002]). Основателем морской гавани Дербента арабские источники IX-X века также называют Хосрова I Ануширвана. Южная морская стена начала возводиться, очевидно, тогда же, но несколько позже Северной морской стены (заметим, что Северная городская стена имеет конструктивную перевязку с цитаделью, свидетельствующую об их единовременном строительстве, тогда как Южная стена построена впритык – см.: [Кудрявцев А.А. 1982. С. 103; Кудрявцев А.А., Гаджиев М.С., Гамзатов Г.Г., Салимов С.Б., Хазанов А.М. 1978. С. 126]). Средневековый порт Дербента являлся крупнейшим портом на Каспии и играл важнейшую роль в системе международной морской торговли по Волжско-Каспийскому торговому пути (см. [Гаджиев М.С. 2004]).

На настоящий момент в качестве первоочередной задачи необходимо зафиксировать Северную, Южную морские и поперечную приморскую стены с помощью современных приборов и средств фиксации (GPS-приборов, подводных беспилотных аппаратов, беспилотных летательных аппаратов с привязкой к поперечной стене, с точной фотофиксацией).

Точная фиксация подводных участков необходима в связи с планируемой работой по созданию набережной Дербента и строительству защитных сооружений.

В числе ближайших изысканий намечается провести геофизическую съемку территории порта с применением гидролокатора бокового обзора, работы по боковому сканированию подводных Северной и Южной морских стен. На первом этапе запланирована съемка с шагом в 20 м.

Подводным сооружениям Дербента предполагается придать статус достопримечательного места с выделением внутри его границ археологического наследия, точнее – включения их в состав объекта культурного наследия федерального значения «Достопримечательное место «Цитадель и исторический город в крепостных стенах Дербента»» (см.: Распоряжение Правительства РФ от 06.02.2014 г. №153-р). Сведения о границах территории объекта культурного наследия, подлежащие включению в акты соответствующих органов охраны объектов культурного наследия должны содержать графическое описание местоположения границ территории объекта культурного наследия, включенного в единый государственный реестр объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации, перечень координат характерных точек этих границ в системе координат, установленной для ведения Единого государственного реестра недвижимости (в ред. Федеральных законов от 29.07.2017 N 222-ФЗ, от 03.08.2018 N 342-ФЗ).

В 80-е гг. XX века в ходе проведения подводных археологических работ в акватории Дербента удалось достать каменные и металлические якоря (с точной фиксацией их места нахождения на дне), которые ныне экспонируются в цитадели Нарын-кала и являются одними из достопримечательностей, вызывающих огромный интерес многочисленных туристов.

В связи с развитием туризма в Дербенте планируется создание морского и подводного кластера познавательного, культурно-эстетического и созерцательного воздействия на посетителей Дербентского туристического комплекса.

В рамках Морской доктрины Российской Федерации Дербент, как памятник Всемирного культурного наследия, может и должен занять свое достойное место в ряду объектов морского и подводного наследия нашей страны и мира.

Список литературы

1. *Гаджиев М.С.* Дербент как торгово-культурный центр VIII- начала XIII в. // Великий Волжский путь. Материалы III-го этапа Международной научно-практической конференции «Великий Волжский путь», Астрахань – Махачкала – Дербент – Баку – Энзели – Тегеран – Актау – Астрахань, 3-14 августа 2003 г. – Казань, 2004. – С.73-83.
2. *Гаджиев М.С.* Определение абсолютной даты строительства цитадели и северной городской стены Дербента и произведенных трудозатрат // Вестник Института истории, археологии и этнографии. – 2006. – № 1. – С. 77-94.
3. *Гаджиев М.С., Гаджиев Б.Х.* Новые исследования прибрежной поперечной стены Дербента середины VI века // Морские исследования и образование (MARESEDU-2021). Труды X Международной научно-практической конференции. – Тверь, 2021. – С. 397-401.
4. *Кудрявцев А.А.* Древний Дербент. – М.; Наука, 1982.
5. *Кудрявцев А.А., Гусев С.В.* Мореходное дело и рыболовный промысел средневекового Дербента // Промыслы и ремесла средневекового Дагестана. Махачкала, 1988. С. 85 –
6. *Кудрявцев А.А., Гаджиев М.С.* Подводные археологические исследования в акватории Дербента // Проблемы истории, филологии, культуры. – 2002. – Вып. XII. – С. 396-414.
7. *Кудрявцев А.А., Гаджиев М.С., Гамзатов Г.Г., Салимов С.Б., Хазанов А.М.* Исследования в Дербенте // Археологические открытия 1977 г. – М.: Наука, 1978. – С.
8. *Николаева Р.В., Хан-Магомедов С.О.* Новые данные об уровне Каспийского моря за историческое время // Труды Института океанологии Академии наук СССР. – 1962. – Т.
9. *Gadjiev M.S.* On the Construction Date of the Derbend Fortification Complex // Iran and the Caucasus. – Vol. 12. No. 1. – Yerevan – Leiden: Brill, 2008. – P. 1-15.
10. *Kudrjavcev A.A., Gadjiev M.S.* Archäologische Unterwasseruntersuchungen an der Küste von Darband // Archäologische Mitteilungen aus Iran und Turan.– 2001. – Band 33. – S. 333-356.

УДК 904.000
Рубрика 03.41.00

СРЕДНЕВЕКОВЫЙ «ВЕЛИКИЙ МОСТ»: ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ.

MEDIEVAL "GREAT BRIDGE": PALEO GEOGRAPHICAL ASPECTS

Степанов Айвар Владимирович

Институт археологии Российской академии наук, Москва

Stepanov Ayvar Vladimirovich

Institute of Archeology of the Russian Academy of Sciences, Moscow

Исторические ландшафты в окрестностях Великого Новгорода требуют не только охраны, но и пристального комплексного изучения. Одной из немногих работ посвящённой теме является - Антропогенные изменения гидрографической сети в Великом Новгороде Н.В. Васильевой [Васильева, 2011. С. 215-222]. В настоящей работе рассмотрены результаты подводно-археологических исследований в р. Волхов с точки зрения возможностей для палеогеографической реконструкции развития ландшафта в его истоке.

В озеро Ильмень впадают более пятидесяти рек, р. Волхов – единственная, вытекающая из него. Ильменские воды Волхов несет в Ладожское озеро на протяжении 224 км. Но базисом эрозии являются Волховские пороги. Максимальная отметка дна Меньшиковской гряды (72-й км от Ладожского озера) в настоящее время - 13,9 м БС. Проектный уровень воды - 16,80 м БС. В устье Волхова проектный уровень воды - 4,20 м БС [Виноградов и др., 2019. С. 193].



Рис. 1. Исток р. Волхов.

Истоком р. Волхов является глубоко врезающийся в сушу воронкообразный залив на севере озера Ильмень. Соответствующего топонима для залива не существует, т.к. есть Волховская губа – залив в Ладожском озере. Рыбаки залив оз. Ильмень являющийся истоком

р. Волхов именуют Волховина. Западный, высокий, плотно заселенный берег называется Поозерьем, а восточный берег сформирован заболоченной дельтой р. Мста (Рис. 1). Местом, где берет начало течение реки Волхов считается траверз села Троица, где начинается видимое течение. Минимальные отметки дна озера составляют 13,3 м БС. Проектный уровень воды, в истоке - 17,00 м, средний – 18,00 БС. В среднем весенний подъем воды весной составляет около 3 м. Но периодически уровень половодья превышает эту величину и может достигать 8,00 м (1922 г.).

Современный рельеф в районе истока Волхова сформировался в результате ледниковой и водно-ледниковой аккумуляции последнего (валдайского) оледенения. Основная часть территории занята плоскими озерно-ледниковыми слабоволнистыми моренными равнинами. На левом берегу, в 3,5 км от с. Троица, на песчаном холме располагается Перынский скит Юрьева монастыря, также расположенного на песчаной гряде, вытянутой с ЮЗ на СВ. В 2,4 км ниже Скита правый берег разрезает Сиверсов канал, прорытый между р. Мстой и Волховом в 1798 - 1803 гг. для улучшения судоходства Вышневолоцкой водной системы. Канал разрушил часть городищенского холма, а также перерезал главный исток рукава Малый Волховец – р. Спасовку. Теперь истоком рукава является бывший его приток - ручей Жилотуг, отделяющийся от Волхова в 1,4 км ниже канала. Малый Волховец образует огромную пойму, окружающую Великий Новгород с востока, и вновь примыкает к Волхову в 12 км ниже по течению в районе Хутынского монастыря и Холопьево городка. В 1,7 км от Городища правый берег разрезает ручей Тарасовец (Копань), являющийся южной границей и частью рва окольного города Славенского конца Великого Новгорода.

Левый берег от Юрьева монастыря до Детинца составляет пойменная коса, называемая Рель. Она отделяет от Волхова Мячинское озеро. Значительное влияние на гидрологический режим в истоке Волхова оказало строительство насыпи шоссейной дороги Санкт-Петербург – Москва 1817—1834 гг., перегородившей пойму Малого Волховца. Устройством насыпи под незаконченную железную дорогу Петербург – Новгород – Орел в 1916 г. было перекрыто русло р. Ситенки, перерезано оз. Мячино. На месте впадения протоки из оз. Мячино в р. Волхов в 1974 г. был выкопан Гребной канал. На коренном берегу за заросшей поймой теперь уже Гребного канала оказался один из древнейших районов Новгорода - Людин конец.

Новую информацию принесли подводные археологические раскопки. Исследования дна реки Волхов были начаты в 2005 г. и до 2014 гг. были направлены по большей части на изучение археологизированных остатков Великого моста, существовавшего в Новгороде в 70 м выше по течению от современного пешеходного с XII по XIX вв.. С 2017 г. основные исследования были направлены на участок еще на 100 м выше по течению, где был выявлен новый памятник – мост X в. Подводные раскопки вместе с дистанционными методами сканирования дна дали уникальный материал для анализа динамики изменения конфигурации речного русла.

Для локализации места нахождения остатков средневекового моста в 2005 г. проводилась съемка дна гидролокатором бокового обзора СМ2 (С-МАХ, Великобритания) с частотой 780 кГц. Сонограмма показала наличие двух групп локальных положительных форм рельефа, ориентированных поперек русла. Водолазные исследования, проведенные методом подводных шурфовок, показали, что ближайшие к оси мостов, существовавших с XIX в. по наше время, холмы сложены остатками свайно-ряжевых опор XVIII - XIX в. Под полуметровым слоем валуна, осыпавшегося после демонтажа опор в 1831 г., выявлен культурный слой мощностью до 1 метра. Состав предметов из культурного слоя немногим отличается от городского и датируется в диапазоне с XIII - XIX вв. Дубовые сваи, обнаруженные в подводных шурфах, датированы радиоуглеродным методом XII – XIV в. Три подводных шурфа общей площадью 82 м² разрабатывались по оси русла среди двух открытых груд камня. Участок отличается минимальной седиментацией, когда источником осадочных напластований была исключительно антропогенная деятельность. Уровень поверхности дна составлял 13,9 - 14,5 м БС с учетом груд камня, отметка материка около 13,0 м БС.

Траншея №4 общей площадью 108 м² была заложена в 2007 г. Начало траншеи заложено в условно определенной точке, выбранной ближе к левому берегу, на 10 метров выше оси

предполагаемого «прямого моста» и промыто вниз по течению на 35 м Дно ровное, уровень поверхности составлял около 14,5 м БС. Вскрытие грунта на глубину 1,5 м, шириной 2 м на протяжении 16 м не выявило никаких следов мостовых конструкций. На глубине - 0,7 - 1,0 м попадались единичные находки керамической посуды разных хронологических периодов, древесные остатки неясного происхождения. На участке 16-20 метров обнаружены первые сваи ледорезов опоры моста нового времени, и появились первые средневековые индивидуальные находки. Участок траншеи 16 - 35 м разрабатывался шириной 4 м Отметка материка около 13,0 м БС.

Подводные раскопки 2006 – 2014 гг. не подтвердили гипотезу о существовании «прямого моста», но позволили установить, что уровень дна до начала формирования культурного слоя на всех изученных участках имел отметку около 13,0 м БС. С начала функционирования мостового перехода в XII в. в центральной части русла почти не накапливались речные осадки. Тогда как развал камней в 40 м к левому берегу оказался полностью погребен речными наносами. Следовательно процесс аккумуляции продолжался после разрушения опор в 1831 г.

В 100 м выше по течению еще в 2005 году, при гидроакустической съемке дна гидролокатором бокового обзора, была обнаружена группа из трех бугров. Было очевидно, что они тяготеют к правому берегу. Был произведен беглый водолазный осмотр, показавший, что холм сложен из камня. Но полученная, спустя 12 лет с помощью многолучевого эхолота SeaBat T50 (Teledyne RESON) трехмерная модель дна, показала картину в контексте русловых процессов.

Профиль русла в этом месте асимметричен. К правому берегу (Торговая сторона) прижимается глубокая часть русла, с отметками от 13,3 м БС, а примерно от середины реки, в сторону левого берега (Софийская сторона), уровень дна поднимается, а затем продолжается обширной подводной террасой с незначительным уклоном (Рис. 3). Стало очевидно, что четвертый (от правого берега) холм скрывается в бровке этой террасы, имеющей явно аккумуляционное происхождение, а это обстоятельство указывало на вероятность, что ряд каменистых холмов продолжается под поверхностью дна и дальше к левому (Софийскому) берегу.

С 2018 г. проводятся исследования с целью изучения выявленной структуры. Для шурфовки был выбран участок на аккумулятивной террасе по центру реки в гипотетической точке нахождения 5-го холма. Для этого от 4-й возвышенности в створе выявленных холмов было отложено расстояние равное просвету между их центрами. Поверхность дна в этом месте видимых деформаций не имеет. Уровень поверхности грунта соответствует 14,5 м (БС). Было вскрыто около 40 м² грунта. Выявлена опора моста ряжевого типа. Это пятиугольный сруб из семиметровых бревен, забутованный камнем. Датирование ЦКП «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» Института географии РАН и центра изотопных исследований Университета Джорджии (США) методом ускорительной масс-спектрометрии (AMS) относит его строительство к середине третьей четверти X в. У ряжа деформирован водорез (треугольная часть), а профили нижней кромки сооружения имеют перепад с 13,0 до 12,0 м БС в сторону правого берега. Это могло произойти в результате подмыва грунта, но вероятнее всего, в результате сдвига.

Интересными являются стратиграфические наблюдения. Под нижними венцами ряжа изменения характера грунта не заметно. У основания срубной опоры накапливались илистые осадки, перемежающиеся в половодье с песком, практически не содержащем включений. Они покрывают сруб на высоту до 7 сохранившихся венцов. Только поверхностный слой супеси обильно насыщен раковинами и их обломками, а также антропогенными включениями, по составу сходными с культурным слоем моста XII - XIX вв. Аккумуляция двухметрового слоя аллювиальных отложений вокруг опоры моста имеет важное значение в осознании геоморфологической ретроспективы.

Для верховьев реки интенсивные аккумуляционные процессы не характерны, напротив, должны преобладать эрозионные. Однако р. Волхов имеет свою особенность. Восточным берегом Волховской губы – Волховины является западная часть дельты р. Мста. Так что исток

Волхова является базисом эрозии р. Мста. Дельта р. Мста относится к типу многорукавных дельт выдвигания. К 2012 г. площадь дельты составляла 220,78 км². Скорость прироста дельты р. Мста определена в 0,24 км²/год. [Бабиц, 2015. С. 18-26]. Следовательно, за 10 веков при таких темпах площадь прироста составила 240 км², что превышает ее современную площадь. Точность расчётов весьма относительная, однако суть процесса формирования дельты р. Мста остается важнейшим условием для палеореконструкции геоморфологии истока р. Волхов.

Палеогеографические и археологические исследования в пойме показывают, что уровень озера Ильмень тысячу лет назад был на 2 м ниже, настоящего [Еремеев, 2018. С. 39-58, Виноградов и др., 2019. С. 212]. Подпор мог создать размывый ныне каменистый порог у Холопьяго Городка [Степанов, Луций, 2019. С. 290].

Можно полагать, что в X в. очертания северо-восточного берега оз. Ильмень сильно отличались от современных. Дельта р. Мста и исток р. Волхов представляли собой заливы, разделенные множеством островов и полуостровов. Большая часть речных осадков р. Мста откладывалась в устьевой губе, где скорость течения падала до нуля, и только волновые процессы способствовали перемещению аллювия к истоку Волхова. Конус выноса дельты рос, постепенно заполняя проливы между островами, создавались рукава и заболоченные озера. В образовавшихся узкостях появлялись постоянные течения, способствовавшие увеличению скорости и объемов переноса осадков к Волхову. По мере уменьшения поперечного сечения Волховины возрастала скорость течения, и количество Мстинского аллювия, попадающего в Волхов, увеличилось. Заполнялась пойма, и формировались рукава Малого Волховца, а от Юрьевского полуострова в сторону южного Софийского холма стала протягиваться коса – рель, разделив залив и образовав Мячинское озеро. Данная ситуация соответствует «закону Фарга»: линия наибольших глубин вдоль по течению реки стремится прижаться к вогнутому берегу; песок и ил откладываются в форме пляжей или широких отмелей на противоположном выпуклом берегу [Янин, 2002. С.49].

Подводные исследования показали, что гидрология радикально изменилась к XII в. Юрьевская, Княжеская рели и озеро Мячино отмечаются в письменных источниках в 1134 г. [Янин, 1977. С. 63]. Подходящим определением является одно из значений в словаре Даля – «Рель, новг. наносная, наволочная гряда в воде, вдоль берега, но в расстоянии от него, так что между релью и берегом стоит вода» [Даль 1882. С.92].

Русло реки значительно сузилось, что привело к увеличению скорости течения и амплитуды половодий. Это обстоятельство способствовало подмыву берега Городищенского и Холопьяго холмов, разрушению оборонительных сооружений [Еремеев, Носов, 2018. С. 56].

Мост, построенный в X в. в вершине «Волховского залива», оказался перед изменившимися гидрологическими условиями - увеличением скорости течения, изменением его направления, интенсивными ледоходами - в конце концов, был разрушен. Его остатки быстро занесены речными наносами. До XIV в. эти процессы остановились. Соотношение сечения русла и количество транспортируемых осадков, поставляемых р. Мстой, достигло своего баланса, и динамика аккумуляции речных наносов в этом месте сошла на нет. Об этом свидетельствуют археологические находки XIII – XVII вв. в поверхностном слое грунта, покрывающем остатки опоры X в.

На шведских планах XVII в. акватория южнее Новгорода представлена как сужающийся залив, разделенный грядой островов. На реплике 1672 г. шведского плана 1611 г. до границы окольного города располагается надпись *Imen Lacus* (озеро Ильмень), а *Wolkowa Fluvius* подписан рукав, расположенный правее (восточнее островов). На плане Пальмквиста 1673 г. исток Волхова назван русским термином *Wolchowa Guba* (Волховская губа - залив), река же подписана только ниже моста [Янин, 1999. Рис. 3, 4].



Рис. 4. Участок р. Волхов выше по течению от Новгорода до строительства Гребного канала, на аэрофотосъемке Люфтваффе в половодье (вверху) и межень (внизу) (NARA - Национальный архив США, Вашингтон).

Аэрофотосъемка мая 1944 г. наглядно демонстрирует заполненную водой пойму р. Волхов (Рис. 4) до создания Гребного канала и зарастания рели. Рель едва видна, река выглядит как залив озера Ильмень.

Представленная палеогеографическая реконструкция не выходит за рамки гипотетической. Ее аргументационную базу следует верифицировать естественно-научными методами. В результате должна появиться убедительная историко-географическая реконструкция развития региона.

Автор благодарит генерального директора ИТЦ «Спецработ» Е. П. Паля за материально-техническую поддержку исследований.

Список литературы

1. *Бабич*, 2015 – *Бабич Д. Б., Виноградова Н. Н., Иванов В. В. [и др.] Дельты рек, впадающих в озера: морфогенетические типы и современная динамика // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2015. – № 4. – С. 18-26.*
2. *Васильева*, 2011с – *Васильева, Н. В.* Антропогенные изменения гидрографической сети в Великом Новгороде // *Общество. Среда. Развитие. – 2011. – № 1(18). – С. 215-222. – EDN NTLVLT.*
3. *Виноградов и др.*, 2019 – *Виноградов А. Ю., Обязов В. А., Субетто Д. А. [и др.] Уровенный режим озера Ильмень // Гидросфера. Опасные процессы и явления. – 2019. – Т. 1. – № 2. – С. 190-218.*
4. *Даль 1882 – Даль В. И.* Толковый словарь живаго великорускаго языка Владимира Даля. Том четвертый. Р — V. Тип. Товарищества М.О. Вольф, СПб.-М. 1882.
5. *Еремеев*, 2018 – *Еремеев, И. И.* Новые археологические данные о динамике увлажненности Северо-Запада России во II тыс. До Н.Э. - I тыс. Н.Э. (по материалам поселений Ильмень-Волховского региона) // *Археология Владимиро-Суздальской земли. – 2018. – № 8. – С. 39-58. – DOI 10.25681/IARAS.2018.978-5-94375-265-0.39-58. – EDN CPGRID.*
6. *Степанов, Луций*, 2019 – *Степанов А. В., Луций С. А.* Исследования дна реки Волхов дистанционными методами // *НиНЗ ИА. Великий Новгород: НГОМЗ, 2019. Вып. 32. С. 290–297.*
7. *Янин*, 1977 – *Янин В. Л.* Очерки комплексного источниковедения. М., 1977.
Янин, 1999.
8. *Янин*, 1999 — *Янин В. Л.* Планы Новгорода Великого XVII–XVIII веков. М., 1999.
9. *Янин*, 2002 – *Янин Е. П.* Русловые отложения равнинных рек геохимические особенности условий формирования и состава). - М.: ИМГРЭ, 2002. С.49

УДК 902.034

Рубрика 03.41.00

**НОВЕЙШИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАМЯТНИКОВ АНТИЧНЫХ
КОРАБЛЕКРУШЕНИЙ: ПРОБЛЕМЫ. РЕШЕНИЯ. ПЕРСПЕКТИВЫ**

**THE LATEST RESEARCH ON THE MONUMENTS OF ANCIENT SHIPWRECKS:
PROBLEMS. DECISIONS. THE PROSPECTS**

Писаревский Николай Петрович

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»

Pisarevskiy Nikolay Petrovich

FGBOU VO "Voronezh State University"

Введение

Средиземное море играло и продолжает играть решающую роль в формировании нашего понимания истории античной цивилизации вообще, взаимодействия её населения с морем, в частности. Последнее - не случайно. Со времени Позднего палеолита сложилось два направления человеческой деятельности, одно из которых было связано с развитием земледелия и скотоводства, а второе - с освоением моря. Это последнее, развивалось как вдоль побережий, так и в связи с развитием морского дела, судостроения, судоходства и мореплавания. Представлявшее собой, борьбу человечества со стихией моря, оно оставило память не только в мифах, эпических поэмах и свидетельствах античных авторов, но и непосредственно в нём самом.

Памятники античных кораблекрушений и история

Значение памятников античных кораблекрушений в изучении проблем истории морского дела, судоходства и мореплавания античной эпохи в акваториях Средиземного и Чёрного морей было осознано в науке второй половины XX века, а исследованиями первого двадцатилетия века следующего, это понимание, материализовалось в каскаде разнотипных, но феноменальных по своему значению открытий. В научный оборот были введены неизвестные ранее факты социально-экономической, политической истории, идеологии и культуры обществ континентальных областей и островного мира II-I тыс. до н.э., на основе которых, фактически, реализовался провидческий прогноз перспектив археологии В.И. Равдоникаса, согласно которому, в конце концов, она поднимется на философскую высоту. Обобщающий труд «Философия древнего судостроения» (2004), знаменовал собой только один из показателей революционных перемен, которые в ней произошли к настоящему времени.

Археология моря в указанном отношении является весьма показательной. Достижения на эмпирическом, теоретическом и экспериментальном уровнях затронули практически не только все аспекты античной истории, но и способствовали развитию её самой. Экспериментальные плавания, совершённые на построенных с учётом древних технологий копиях- аналогах морских судов и боевых кораблей античной эпохи, стали естественным следствием внедрения современных научных методов в исследование

памятников античных (и более раннего времени) кораблекрушений (в первую очередь, междисциплинарного подхода), позволивших зримо представить и оценить их тактико-технические, инженерно-строительные и навигационные особенности (Улу бурун, Алонисос, Мандрагу де Жьен и др.).¹ В различных видах подводно-археологических исследований стали внедряться новейшие достижения науки и техники. Роботизация средств поиска, обнаружения и фиксации на дне морей разнотипных памятников античной цивилизации, разделение методов и применение различных методик, имели своим следствием разработку как теоретических, так и конкретно-научных задач морских археологических исследований.

Акустическое дистанционное зондирование, интерпретация акустических морских магнитных данных, компьютеризация их обработки в контексте археологической и виртуальной реконструкций архитектуры кораблей и обустройства морских портов, определения дизайна морских судов военного и торгового флота - далеко не полный перечень проблем, в разрешении которых к настоящему времени, учёными, достигнут положительный результат. Своё непосредственное выражение он нашёл в комплексном исследовании истории морского дела античности как глобальной проблемы, развернувшейся в зарубежной науке в рамках двух программ - «Морской культурный ландшафт» эпохи древности и «Политэкономия островных обществ Эгеиды эпохи бронзы». Серьёзное внимание было обращено на метеорологию и гидрологию морских акваторий, и их воздействие не только на морские сражения античности, но и на само формирование памятника античного кораблекрушения (о. Лада, Саламин, Эгады и др.).

Методы исследований

Особую эффективность в их исследовании, как и в изучении протяжённости и ориентации античных судоходных трасс, показал сетевой метод исследования, развёрнутый на всех его уровнях ведущими специалистами в морской археологии и истории античного мореплавания. Это позволило им провозгласить т.н. «Манифест

¹ В настоящее время в афинском пригороде Фалер экспонируется копия античной триеры – «Олимпия», построенная в 1985—1987 гг. в Пирее на средства ВМС Греции и британского мецената Ф. Уэлша. Находки археологов и различные дошедшие до наших дней свидетельства позволяют воссоздать внешний вид и представить устройство триер. Основой их конструкции служила килевая балка, к которой крепились шпангоуты, расстояния между ними (шпация) варьировались, но оставались довольно небольшими. Обшивка делалась из толстых досок и, как правило, была двойной, а ее внешний край не прилегал к килю, а крепился в проделанный в нем паз. Для соединения частей корабля, крепления обшивки и т.д. использовались бронзовые гвозди, деревянные шипы и нагели, специальные соединительные планки и даже бронзовые накладки. Стыки между досками обшивки (да и вообще все щели) тщательно конопатились. Подводная часть судов нередко покрывалась тонкими свинцовыми листами, причем для большой триеры требовалось до 20 т свинца. Morrison J.S., Coates J.F., Rankov B, *The Athenian Trireme: the History and Reconstruction of An Ancient Greek Warship*. Cambridge, 2000. P. 48–49

Торонто-2013», в котором были изложены задачи и перспективы изучения комплексной историко-археологической проблематики античного мореплавания в целом.²

Интерпретации и реконструкции

Наконец, объектом первостепенной важности за последние годы стало изучение античного корабля в его основных измерениях, чему в немалой степени способствовало использование экспериментальных трёхмерных реконструкций в программном обеспечении Rhinoceros и Orca 3D на основе археологических данных. Указанные подходы позволили определить, как основные размеры корпуса (его первичные размерения), так и создать модели-образы, на достижение которых нацелена техническая реконструкция судовых корпусов, важнейших узлов конструкции, элементов стоячего и бегучего такелажа античных парусных и гребных судов VIII-III вв. до н.э., включая сюда определение способов, связанных с технологиями самого судостроения. Иными словами, их использование обеспечивает формирование дальнейших перспектив исследований в выполнении разнотипных подводно-археологических раскопок, интерпретационных исследований, построения линейных чертежей, программ трёхмерного проектирования и масштабных когнитивных и физических моделей античных боевых кораблей и торгово-транспортных морских судов-аналогов.

Заключение

Главным (и основным) вкладом подводной археологии в изучение истории античного мореплавания являются результаты полевых и камеральных исследований памятников античных кораблекрушений и сооружений инфраструктуры античных военных гаваней. Они позволили выяснить традиции и особенности судостроения в Древней Греции и Риме, особенности конструкции их морских торговых судов и боевых кораблей, включая основные размерения судовых корпусов.

Литература

1. Вахонеев В.В. Морская археология. Учебное пособие для вузов. М., 2022.
2. Зинько А.В. К вопросу о локализации якорных стоянок древних судов на Боспоре Киммерийском // Материалы по археологии, истории и этнографии Таврии. 2018. Вып. Выпуск XXIII. С. 55-69.
3. Кисельников А.Б. К вопросу о классификации греческих и римских торговых судов V в. до н.э. - II в. н.э. // Античный мир и археология. 2006. Вып. 12. С. 313-333.
4. Adams J. Ships and Boats as Archaeological Source Material // World Archaeology. 2001. Vol. 32. N. 3. P. 292-310.
5. Basch L. Ancient Wrecks and the Archaeology of Ships // International Journal of Nautical Archaeology. 2007. Vol. 1. Iss. 1. P.1 - 58.
6. Blackman D. Ancient Shipsheds // Häfen und Hafenstädte im östlichen Mittelmeerraum von der Antike bis in byzantinische Zeit. Neue Entdeckungen und aktuelle Forschungsansätze Harbors and Harbor Cities in the Eastern Mediterranean from Antiquity

² Leidwanger J., Knappett C., Arnaud P. et al. A manifesto for the study of ancient Mediterranean maritime networks // Antiquity. 2014. Vol. 88. Iss. 342 (<http://journal.antiquity.ac.uk/projgall/leidwanger342>) (дата обращения 13.07. 2022).

- to the Byzantine Period: Recent Discoveries and Current Approaches. Band 2. Herausgegeben von Sabine Ladstätter, Felix Pirson, Thomas Schmidts. Istanbul, 2014. P. 523-542. (BYZAS 19).
7. Carlson D. N. The seafarers and shipwrecks of ancient Greece and Rome // *The Oxford handbook of maritime archaeology* / Edited by A. Catsambis, B. Ford, and D. L. Hamilton. Oxford, 2011. P. 379–405.
 8. Crumlin-Pedersen O., McGrail S. Some Principles for the Reconstruction of Ancient Boat Structures // *International Journal of Nautical Archaeology*. 2006. Vol. 35. Iss. 1. P.53–57.
 9. Fourdrinoy J et al. The naval battle of Actium and the myth of the ship-holder: the effect of bathymetry // [https://www.semanticscholar.org/paper/The-naval-battle-of-Actium-and-the-myth-of-the-the-Fourdrinoy Caplier/9ed34d2a3a0567c71911e297713eccb4ce3317d4](https://www.semanticscholar.org/paper/The-naval-battle-of-Actium-and-the-myth-of-the-the-Fourdrinoy-Caplier/9ed34d2a3a0567c71911e297713eccb4ce3317d4) (дата обращения 5.07. 2022).
 10. Gabrielsen V. The Piraeus and the Athenian Navy: recent archaeological and historical advances // *Proceedings of the Danish Institute at Athens*.2014. Vol. VII. P. 37-48.
 11. Lovén B. The Ancient Harbours of the Piraeus: I.1: The Zea Shipsheds and Slipways: Architecture and Topography. Aarhus, 2011. P. 172.
 12. McGrail S. Ship Archaeology // *Encyclopedia of Global Archaeology* / Ed. by Claire Smith. New York, 2014. P. 6602–6613.
 13. Morrison J.S., Coates J.F., Rankov B, The Athenian Trireme: the History and Reconstruction of An Ancient Greek Warship. Cambridge, 2000.
 14. Oron A. The Athlit ram bronze casting reconsidered: scientific and technical re-examination // *Journal of Archaeological Science*. 2006. Vol. 33. P. 63-76.
 15. Polakowski, M. 2016. Warships of the First Punic war. An archaeological investigation and contributory reconstruction of the Egadi 10 warship from the battle of the Egadi islands 241 B. C. In: *Warships of the First Punic war: an archaeological investigation and contributory reconstruction of the Egadi 10 warship from the battle of the Egadi islands (241 B. C.)* East Carolina University. P. 97-112. (URL: https://www.academia.edu/30405668/WARSHIPS_OF_THE_FIRST_PUNIC_WAR_AN_ARCHAEOLOGICAL_INVESTIGATION_AND_CONTRIBUTORY_RECONSTRUCTION_OF_THE_EGADI_10_WARSHIP_FROM_THE_BATTLE_OF_THE_EGADI_ISLANDS_241_B_C_pdf).
 16. *The Oxford Handbook of Maritime Archaeology* / Ed. by Ben Ford, Donny L. Hamilton, Alexis Catsambis. Oxford, 2011.
 17. *The site of the Battle of the Aegates Islands at the end of the First Punic War: fieldwork, analyses and perspectives, 2005-2015* / Ed. by Jeffrey G. Royal and Sebastiano Tusa. Roma, 2020 (2019).

УДК 902.034

Рубрика 03.01.39

ПОДВОДНОЕ КУЛЬТУРНОЕ НАСЛЕДИЕ В ВЫСТАВОЧНЫХ ЭКСПОЗИЦИЯХ МУЗЕЯ-ЗАПОВЕДНИКА «ХЕРСОНЕС ТАВРИЧЕСКИЙ»

UNDERWATER CULTURAL HERITAGE IN THE EXPOSITIONS OF THE MUSEUM- PRESERVE "TAURIC CHERSONESE"

Букатов Андрей Алексеевич

*ФГБУК «Государственный историко-археологический музей-заповедник «Херсонес
Таврический», Севастополь*

Bukatov Andrey Alekseevich

The State Museum-Preserve "Tauric Chersonese", Sevastopol

Введение

Акватория Черного моря вблизи Гераклейского полуострова насыщена объектами подводного культурного наследия [Окорочков, 2016], отражающими практически всю богатую историю Севастополя и Крыма. За последние двадцать лет интерес к изучению подводного культурного наследия заметно вырос. Несмотря на это, экспозиции, посвященные объектам подводного культурного наследия, существуют только в четырех музеях страны [Фазлуллин, 2017]. Херсонес Таврический, основанный на пересечении основных судоходных маршрутов, оставался одним из узловых центров морской торговли региона на протяжении около 2000 лет. Многочисленные археологические предметы, обнаруженные при подводных исследованиях отдела подводной археологии, пополнили фонды Музея-заповедника и стали экспонатами тематических выставок. Находки относятся к широкому временному диапазону, включая артефакты середины XIX в., относящиеся к периоду Крымской (Восточной войны). Эти предметы являются хорошей иллюстрацией для множества обширных тем, связанных как с важными историческими событиями прошлого, так и актуальными проблемами изучения, охраны и сохранения богатого отечественного подводного культурного наследия.

Выявленные объекты культурного наследия (ОКН) в бухтах Гераклейского полуострова.

В результате работы экспедиции отдела подводной археологии Музея-заповедника «Херсонес Таврический», четыре объекта культурного наследия, расположенные в бухтах Севастополя, прошли процедуру выявления и постановки на государственный учет. В Карантинной бухте локализованы два ОКН: «Участок строительных сооружений Херсонеса Таврического и культурного слоя в Карантинной бухте» и «Затопленный участок гончарного производства в кутовой части бухты Карантинная». Первый из них, представляет собой участок акватории с видимыми остатками строительных сооружений и затопленным культурным слоем древнего города. Выявлен при исследовании акватории (с проведением шурфовки) в ходе плановых подводных археологических исследований 2020 г., а также на основе археологических исследований 1960-х годов (В.И. Кадеев, 1964-1966 гг.). Его границы – многоугольник в плане общей площадью около 1,04 га. Массовые археологические находки на этом участке отражают весь период существования Херсонеса. Сохранившиеся на дне бухты строительные остатки являются ценнейшим и интересным памятником. Второй объект, расположенный в кутовой части бухты и поставленный на учет в 2021 г. – затопленный участок гончарного производства площадью около 0,20 га. Археологические находки представлены многочисленными фрагментами амфор с мелким зональным рифлением, которые здесь и производились, о чём свидетельствует не только обилие однотипного

материала, но и находки брака (в том числе дообжигового), а также фрагменты пода печей и печной обмазки. Археологический материал позволяет датировать объект VIII-IX вв.

В 2020 г. был включен в перечень выявленных ОКН «Участок культурного слоя на отмели в центральной части бухты Круглая» общей площадью около 4,5 га. Он был выявлен при исследовании акватории (с проведением шурфовки) в ходе плановых подводных археологических работ, а также на основе археологических исследований 1960-х годов (В.И. Кадеев, 1964, 1965 гг.). По археологическому контексту, объект датируется IV в. до н.э. – XIII в. н.э.

По итогам полевого сезона 2021 г. был поставлен на учет ОКН «Участок культурного слоя на отмели у восточного берега бухты Казачья». Остатки культурного слоя на скалистой отмели площадью около 0,4 га датируются средневековым временем. Прилегающая акватория дала, в том числе, и многочисленный материал середины XIX в., т.к. Казачья бухта являлась местом базирования неприятельского флота во время Крымской войны, с 1854 по 1856 г.

Процедуре выявления всех этих подводных объектов предшествовал достаточно длительный период разведок и шурфовок, в результате которых собирался и обрабатывался археологический материал.

Выставочные экспозиции в Музее-заповеднике «Херсонес Таврический» по теме подводного культурного наследия

В декабре 2017- февраля 2018 г. в музее-заповеднике «Херсонес Таврический» проходила первая подводная археологическая выставка [Букатов, Дюженко, 2018], получившая название «Где волн понтийских не смолкает шум...» и посвященная роли моря в жизни Херсонеса (рис. 1). Особое внимание заслуживала тема истории подводных исследований в Херсонесе, в прибрежных водах которого зарождалась и развивалась отечественная подводная археология. Но рассказ о подводных исследованиях был бы неполным без истории древнего приморского города. Поэтому было принято решение объединить историю Херсонеса и историю его подводных исследований единой морской тематикой. Выставка, в итоге, получилась разноплановой, рассчитанной на самый широкий круг посетителей разного возраста и разного уровня подготовки.



Рис. 1. Зал экспозиции выставки «Где волн понтийских не смолкает шум...».

При построении экспозиции были выделены основные аспекты жизни города, связанные с морем: судоходство, морской промысел, торговля, военное дело. Экспозиция строилась с использованием археологических находок, а также современных методов визуализации. Основной археологический материал, который дают подводные исследования – это керамические изделия (амфоры, пифосы, столовая посуда, кровельная черепица и т.п.), а также якорные камни, якоря и их детали. В фондах музея хранятся предметы, поднятые со дна моря еще в 60-х годах. Для создания выставки были использованы полевые фотоматериалы и средневековые амфоры, полученные при обследовании двух глубоководных кораблекрушений в районах Фороса (2010 г.) и Балаклавы (2015 г.). Включены и сухопутные находки, повествующие о морских путях Херсонеса, или связанные непосредственно с морской темой. Представлялись также предметы из современных разведок на участках акватории Карантинной бухты, в дальнейшем получивших статус объектов культурного наследия. Рассказ об истории основания города сопровождался схемой основных морских путей по Чёрному морю. По амфорам и керамическим клеймам на тарных сосудах и черепице, мы узнаём, откуда в Херсонес поступали импортные товары, а также то, что город сам производил вино в больших количествах и экспортировал его. Тема моря, морских мифов – излюбленные сюжеты древних художников, расписывающих чернолаковую посуду, а также резчиков по камню. Изображения рыб, дельфинов, креветок были представлены на сердоликовых вставках-инталиях для колец, служивших печатями. Значительная часть экспозиции – разнообразные снасти древних рыбаков. Это металлические крючки, иглы для плетения сетей, фрагмент реконструкции плетёной сети, а также керамические и свинцовые грузила. Большое количество разнообразных рыбьих костей и раковин устриц, встречающихся при раскопках, свидетельствуют о большой популярности морепродуктов среди жителей города. Нередкие находки при раскопках Херсонеса – различные средиземноморские раковины, свидетельство оживленных межрегиональных контактов.

Посетителям выставки были показаны проксенические декреты в честь судовладельцев и торговцев, а также посвященные надписи моряков.



Рис. 2. (а) Часть экспозиции «Полевой дневник. Археологические исследования 2014-2018 годов в Херсонесе и его округе». (б) Зал экспозиции «Археология и Крымская война. Эпизоды».

Первая морская тематическая выставка в музее-заповеднике «Херсонес Таврический» позволила реализовать в жизнь уже накопленные материалы и знания, донести их до заинтересованных посетителей, а также заложила новые идеи и перспективы для будущих экспозиций.

Значительное количество интересных экспонатов, происходящих из современных подводных разведок, представлялась на выставке, прошедшей в Музее-заповеднике в 2019 г. и получившей название «Полевой дневник. Археологические исследования 2014-2018 годов в Херсонесе и его округе». В рамках экспозиции, посвященной археологическим исследованиям в Музее-заповеднике, были выставлены и предметы, найденные в Стрелецкой, Казачьей и Карантинной бухтах (рис. 2, а).

В 2020 году была подготовлена выставка «Археология и Крымская война. Эпизоды», которая рассказала о первых раскопках в Херсонесе и судьбах его исследователей, на фоне грандиозных событий Восточной (Крымской) войны (рис. 2, б). Территория Государственного музея-заповедника «Херсонес Таврический» была ареной этого военного противостояния, самым непосредственным образом повлиявшего на проведение археологических работ на территории Херсонеса и судьбы его исследователей. Хорошей иллюстрацией и ценным источником информации стали подводные находки из бухты Казачьей [Букатов, Прохорова, 2021].

При формировании экспозиции была использована научная концепция, отражающая на примере Крымской войны взаимную связь между отдельным событием в истории и археологией как видом получения исторической истины путем проведения полевых работ. В данном аспекте мы рассматриваем военные события, в ходе которых могли вестись и велись археологические работы, и археологию новейшего времени, избравшую предметом своего исследования предметы Крымской войны. Диалектическая суть данного процесса показана с помощью предметного и иллюстративного ряда. В качестве основных на выставке приняты принципы наглядности и предметности, где главными экспонатами выступают археологические находки, книги, репродукции гравюр, фотографий и литографий, а также архивные материалы. Главный метод экспонирования – тематико-хронологический, она рассчитана на широкий круг посетителей, доходчива и универсальна. Лаконичное художественное оформление и единство стиля усиливают эстетическую сторону восприятия. Вся экспозиция поделена на экспозиционные разделы, представляющие собой составные части экспозиции, которые выражают определенную законченную мысль, определенную идею. Таких комплексов выделено четыре.

Первый раздел посвящен археологическим исследованиям, которые велись на территории Херсонеса и его округи до начала Крымской войны, и охватывает хронологический период с 1827 г. (начало археологического изучения Херсонеса) до 1853 г. (год начала Крымской войны и время последнего предвоенного полевого сезона в Херсонесе под руководством графа А. С. Уварова).

Второй раздел состоит из предметов, рассказывающих в сжатом виде об отдельных эпизодах Крымской кампании 1854–1855 гг. Представлена карта из атласа Э. И. Тотлебена, рисунки художника У. Симпсона, фотографии Р. Фентона, повествующие о расположении лагерей противоборствующих сторон, показывающие некоторые сюжеты военно-полевой жизни, дающие общее представление о быте и атмосфере пребывания англичан и французов в Крыму. Содержательно с ним связан третий раздел выставки, основу которого составляют артефакты, полученные в ходе подводных археологических работ в 2017–2018 гг. Эти экспонаты дают представление о полевом быте и предметах, бывших в употреблении у союзников. Некоторые из представленных здесь находок позволяют делать отсылки к другим темам – революционному развитию промышленного производства середины XIX в. (изображение на фаянсовой посуде павильона Первой всемирной промышленной выставки в Лондоне), развитию морских судоходных путей (посуда с эмблемами судоходных компаний), культурных трендах в обществе того времени (кружка, оформленная сценами из романа Гарриет Бичер-Стоу «Хижина Дяди Тома»).

Четвертый заключительный раздел выставки посвящен последствиям войны. Событие это, сложное и противоречивое, можно оценивать и с позиций ее значения для общемировой и российской истории, а также с точки зрения ее практического значения, в том числе и для археологии. В данном ключе Крымская война стала причиной разрушения ряда памятников силой оружия и руками «черных археологов». В то же время предметы, которые сегодня также являются предметами старины, оставшиеся на полях сражений, на месте лагерей, в местах кораблекрушений и якорных стоянок, могут составить самостоятельные археологические коллекции, которые, без сомнения, найдут своего исследователя.

Заключение. Перспективы выставочных экспозиций по теме подводного культурного наследия.

В настоящее время ведется работа над несколькими перспективными темами. Одна из планируемых выставок будет посвящена якорям, которые не только являются интересными памятниками, иллюстрирующими развитие мореходства, но и имеют глубокий сакральный смысл. В фондах Музея-заповедника хранятся разнообразные якорные камни, якоря и их штоки, позволяющие охватить широкий хронологический диапазон, от античности до средних веков.

Планируемые в музее выставки ориентированы на самую широкую аудиторию посетителей, от детей до специалистов-профессионалов. Подводные исследования, особенно в последние годы, ведутся с активным использованием междисциплинарных и дистанционных методов. Результатом этих работ стал большой массив разнообразной информации, включающий геологические, гидроакустические данные, сведения о морских обитателях, ортофотопланы археологических объектов, фото и видеоизображения подводных ландшафтов. При геофизических исследованиях получены трехмерные модели поддонного строения морских отложений, содержащих погребенные археологические объекты. На основе геофизических и археологических данных строятся реконструкции затопленных строительных сооружений и очертаний древнего берега Карантинной бухты.

По мере дальнейшей работы экспедиции, эти данные постоянно уточняются и дополняются. С учетом современных методов визуализации, появилась возможность создавать «многослойные» экспозиции – интересные, информативные и дополняемые. На этом контрастном фоне археологические предметы приобретают новый глубокий смысл.

При создании постоянной экспозиции, посвященной «подводному Херсонесу», планируется использовать как археологические предметы, так и данные, полученные в ходе междисциплинарных исследований. В охватываемое общей темой пространство входит также затопленная сельскохозяйственная территория древнего города. Работа над экспозицией уже ведется.

Список литературы

1. *Букатов А.А., Прохорова Т.А.* «Археология и Крымская война. Эпизоды»: материалы подводных исследований и опыт создания выставки в Государственном музее-заповеднике «Херсонес Таврический». Ученые записки КФУ им. В.И. Вернадского. Исторические науки. Т.7, №1. Симферополь, 2021. С. 46-62.
2. *Букатов А.А., Дюженко Т.В.* Первая подводно-археологическая выставка в музее-заповеднике «Херсонес Таврический». Мировые тренды и музейная практика в России. Сборник статей Международной научной конференции. Москва, 30-31 октября 2018 г. Москва, 2019. С. 377- 384.
3. *Окороков А.В.* Свод объектов подводного культурного наследия России. Ч. 1. Черное и Азовское моря. М.: Институт наследия, 2016. 440 с.
4. *Фазлуллин С.М.* Подводное культурное наследие и проблемы его музеефикации // Вопросы музеологии. – 2017. – №1(15). – С. 3-16.

УДК 902.21

Рубрика 03.41.00

ПОДВОДНЫЕ АРХЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КРЕПОСТИ САРКЕЛ-БЕЛАЯ
ВЕЖА, ЗАТОПЛЕННОЙ В ЦИМЛЯНСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

UNDERWATER ARCHAEOLOGICAL RESEARCH OF THE FORTRESS SARKEL-
BELAYA VEZHA, FLOODED IN THE TSIMLYANSK RESERVOIR

**Хохлов Сергей Александрович¹, Иванов Сергей Владимирович², Бардашов Михаил
Николаевич¹, Ткаченко Юрий Георгиевич¹, Пивнев Петр Петрович³**

¹ АНО «Подводное археологическое общество», Москва

² Институт археологии Крыма РАН, Симферополь

³ Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения Южного Федерального
университета, Таганрог

Khokhlov Sergey¹, Ivanov Sergey², Bardashov Mikhail¹, Tkachenko Yury¹, Pivnev Petr³

¹ ANO (Autonomous non-profit organization) "Underwater Archaeological Society", Moscow

² Institute of Archeology of Crimea of the Russian Academy of Sciences, Simferopol

³ Institute of Nanotechnology, Electronics and Instrumentation of the Southern Federal
University, Taganrog

Саркел (по-хазарски «белая крепость»), затем Белая Вежа — хазарский, позже древнерусский город-крепость на левом берегу реки Дон. В настоящее время находится на дне Цимлянского водохранилища. В июле - сентябре 2022 года, при поддержке президентского фонда культурных инициатив, были проведены два этапа археологической экспедиции с целью исследования Левобережного Цимлянского городища (Саркел – Белая Вежа). Экспедиция проводилась совместными усилиями ФГБУН «Институт археологии Крыма РАН», АНО «Подводное Археологическое Общество» при участии Южного Федерального Университета (ЮФУ). Левобережное Цимлянское городище, крепость Саркел было достаточно подробно исследовано экспедицией М.И. Артамонова [1] до затопления городища водами Цимлянского водохранилища в 1953 году. Однако значительная часть средневекового памятника осталась не изученной, а координаты самого поселения не сохранились. В 2019 году городище было локализовано на дне Цимлянского городища [2]. Экспедиция 2022 года провела первые исследования Саркела со времени его затопления.

Цель археологических разведок - подтверждение информации о локализации Левобережного Цимлянского городища, исследование его дистанционными методами и оценка современного состояния памятника. В рамках экспедиции были проведены дистанционные археологические исследования с использованием различного гидрофизического оборудования: съемка дна гидролокаторами бокового обзора (ГБО), построение батиметрической карты дна с использованием эхолотов (рис. 1), съемка профиля дна акустическими профилографами, магнитометрическая съемка в непосредственной близости от дна. Исследования проводились с борта маломерных судов. Кроме того, были совершены погружения на памятник, в результате которых произведён визуальный осмотр радиусным способом перспективных точек, видеофиксация объекта и собран подъемный

материал с поверхности дна. Артефакты (плинфы, из которых была сложена крепость) после изучения и описания, были переданы в Волгодонский эколого-исторический музей.

Используя подробные археологические отчеты о проведенных раскопках экспедицией М.И. Артамонова и полученные данные гидрофизических исследований, было проведено сопоставление и сведение планов в ГИС. Это позволило выяснить современное состояние городища и сравнить различные гидрофизические комплексы между собой. При этом памятник является хорошим полигоном для проверки данных гидрофизического оборудования, которые можно сравнить с археологическими отчетами раскопок проведенных до затопления. В рамках археологической разведки, была осуществлена съемка памятника с использованием двух различных гидролокаторов бокового обзора - разработки компании ООО «НЕЛАКС» с частотой 250 кГц и гидролокатором Humminbird Helix Chirp G4N с частотой 1050 кГц. Примеры съемки для сравнения одного участка представлены на (рис. 2). Оба прибора показали хорошие результаты. Съемка с меньшей частотой позволяет лучше высветить тени и получить более выразительную картину. Съемка с большей частотой отобразила только объекты в полосе шириной 30 метров, но с более хорошим разрешением. На (рис. 3, 4) показаны результаты сканирования дна в сравнении с аэрофотосъемкой 1950-х годов. Так же был проведен визуальный осмотр водолазами наиболее перспективных точек, обнаруженных с использованием гидролокатора, радиусным способом. Погружения проводились на глубину от 7 до 18 метров. Благодаря собранной статистике, были установлены условия для погружений в различные месяцы. В мае 2019 г. видимость на дне Цимлянского водохранилища была 1-1,5 метра. Дневной свет проникал на глубины до 14 метров. Температура воды была 16 градусов. В июле 2022 г. поверхностное цветение водохранилища сделало невозможным проникновение света ниже 6 метров. На дне царил полная темнота, поэтому работы проводились с использованием фонарей. Видимость на объекте была 1,5-2 метра при том, что видимость до глубины 6 метров не превышала одного метра. Температура воды в дни июльских погружений на дне была 22 градуса. В сентябре 2022 года поверхностное цветение водохранилища также сохранялось. На дне была полная темнота и видимость у дна с фонарем составила около 1 метра, такая же неудовлетворительная, как и на поверхности. Столь неподходящие для визуального исследования условия, могли быть связаны со штормами, прошедшими накануне, либо это сезонное явление. Дальнейшие работы возможно дадут ответ на этот вопрос. Температура воды не превышала 16 градусов.

В результате водолазных работ были обнаружены остатки зданий, раскопанных экспедицией М.И. Артамонова. С использованием сканирования ГБО и ГИС (рис. 5) было установлено, что остатки кирпичного сооружения, лучше всего выступающие из донных отложений, являются описанным в археологических отчетах остатками здания II [3]. Стены здания возвышаются над дном на высоту до 70 см. При визуальном осмотре было выяснено, что низины на местах раскопов прошлого века, заполнены илом на глубину не менее 70 см (рис. 6).

Несмотря на столь сложные условия для проведения археологических разведок, учёные в следующем году планируют провести дополнительные исследования на городище Саркел – Белая Вежа, и придать памятнику охранный статус.

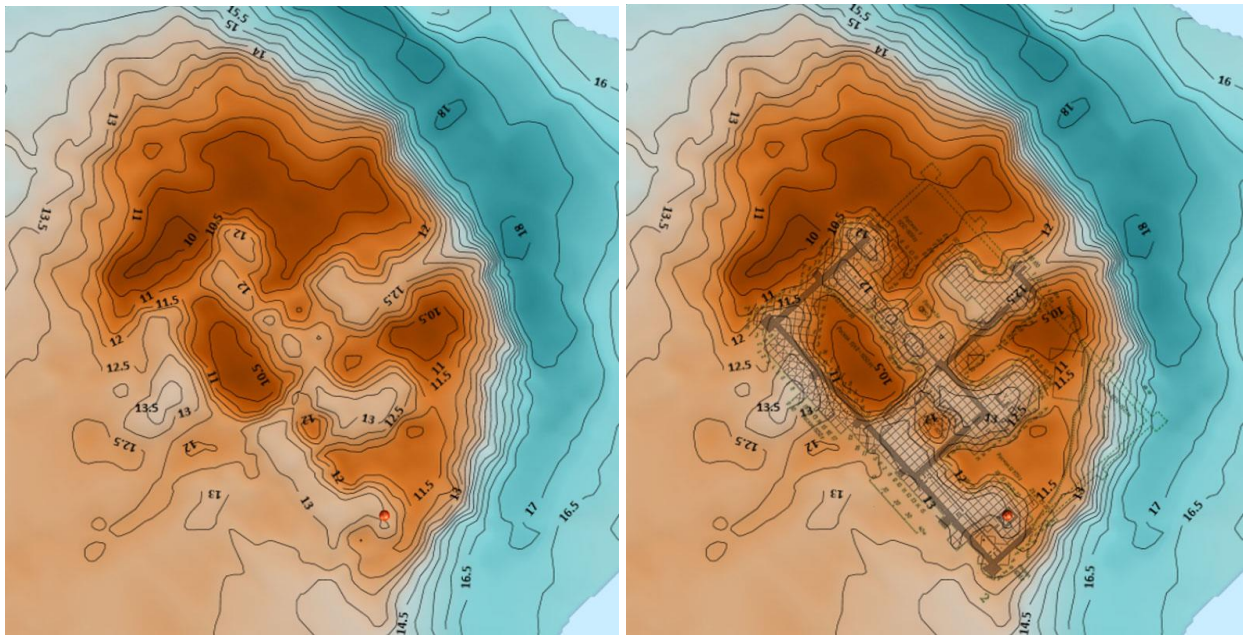


Рис. 1. Батиметрия Левобережного Цимлянского городища (Саркел). Красным маркером отмечено место обнаруженных остатков кирпичного здания.

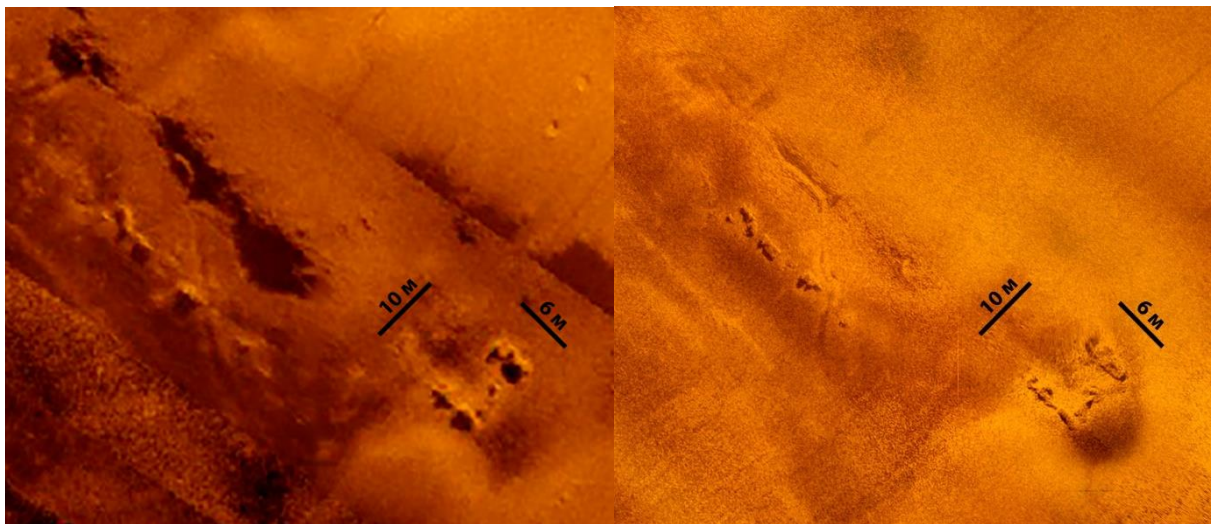


Рис. 2. Сравнение работы ГБО 250 кГц и 1050 кГц

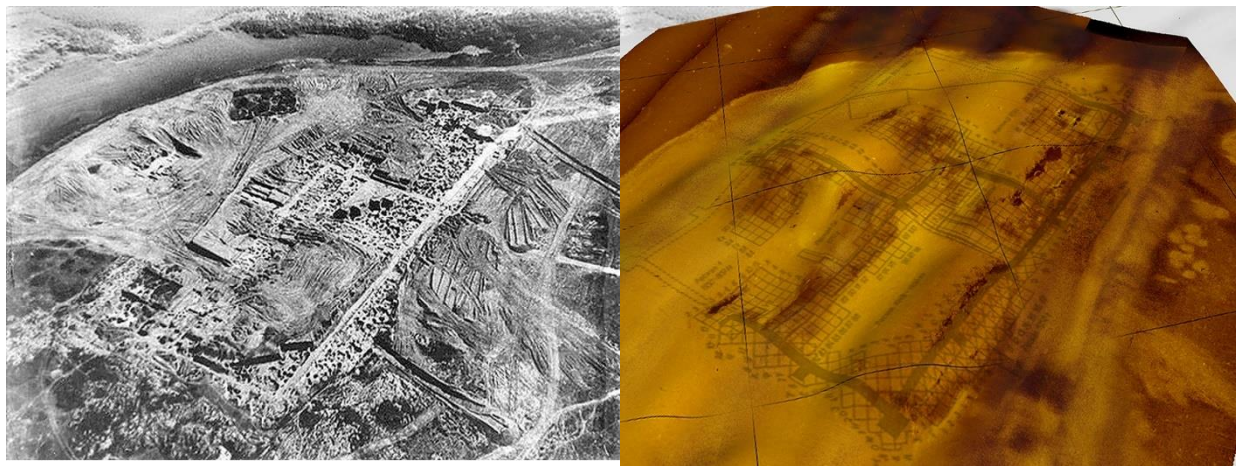


Рис. 3. Сравнение аэрофотосъемки 1951 года с 3D-моделью выполненной на основе батиметрии и данных ГБО

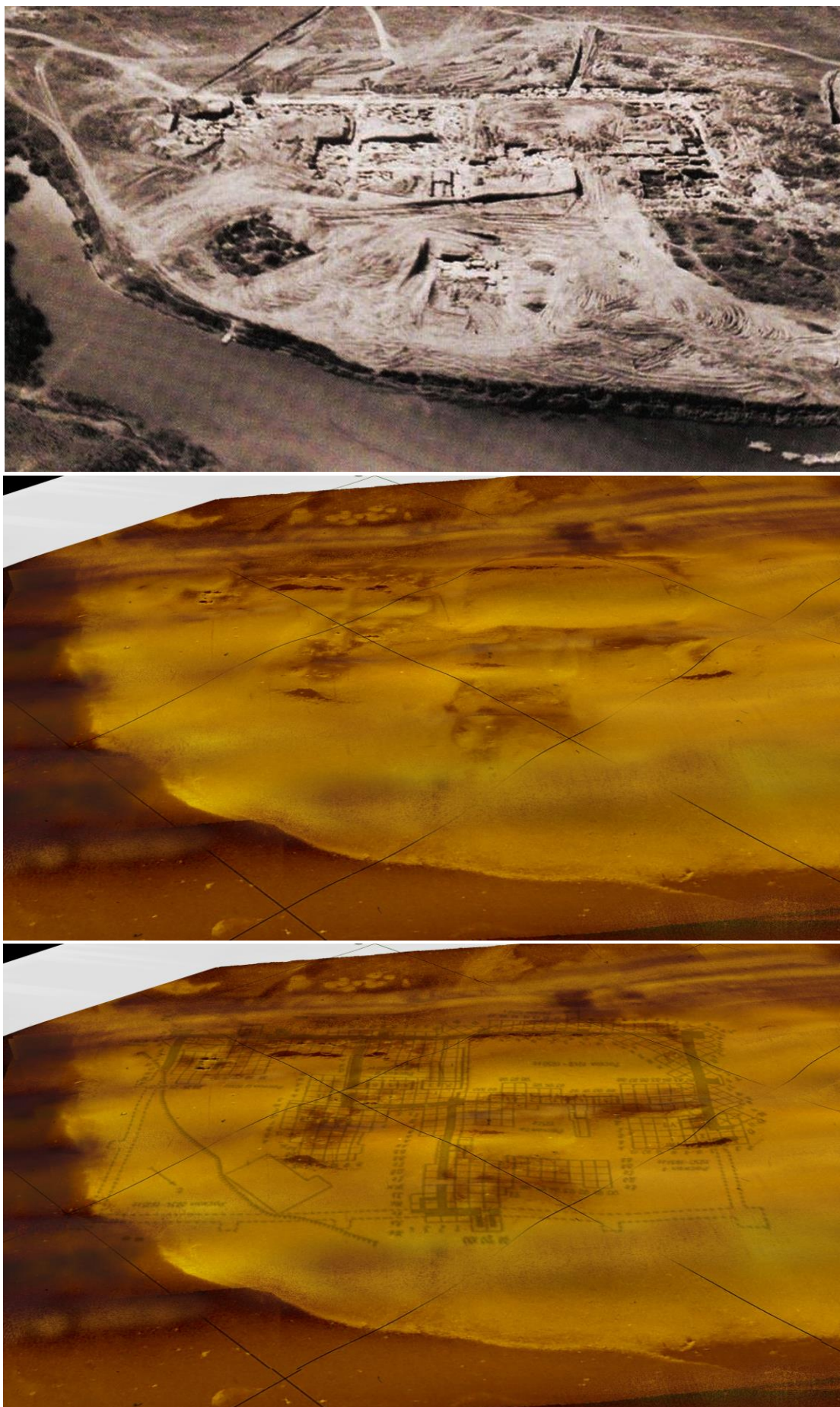


Рис. 4. Сравнение аэрофотосъемки 1951 года с 3D-моделью выполненной на основе батиметрии и данных ГБО.

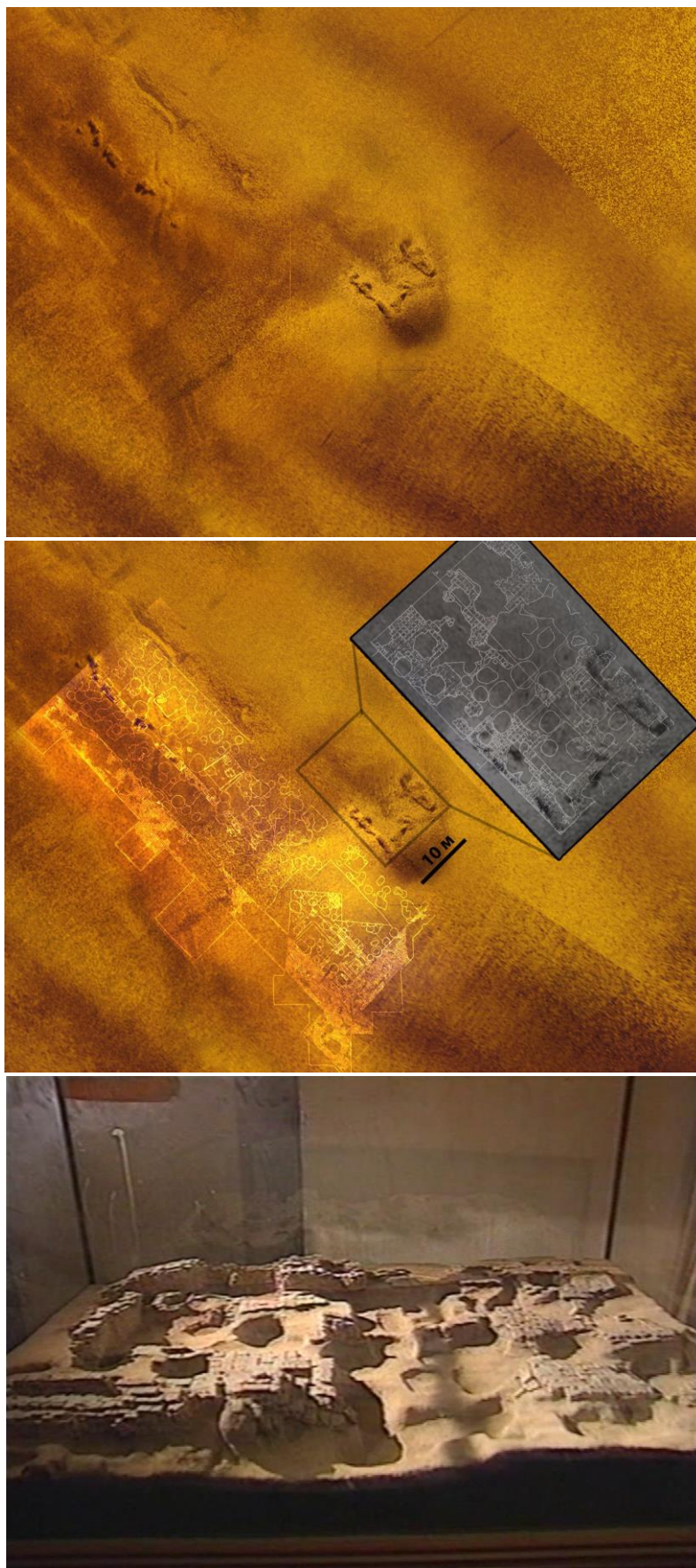


Рис 5. Сверху съемка ГБО района южной башни и здание II с наложением планов раскопов [3]. Внизу - модель раскопа Саркела из фондов Эрмитажа, предположительно того же участка.



Рис. 6. Здание II под водой

Список литературы

1. *Артамонов М. И.* Саркел - Белая Вежа // Тр. Волго-Донской археолог. экспедиции. М.; Л. МИА; № 62. Т. I., 1958.
2. *Ткаченко Ю. Г., Хохлов С. А., Горлов И. О., Бардашов М. Н., Садеков Р. Н., Фазлуллин С. М.* Локализация и современное состояние Левобережного Цимлянского городища – Саркел (Белая Вежа)// ХА. Т. 17. – М., 2020. С. 326-338.
3. *Раппопорт П. А.* Крепостные сооружения Саркела // Тр. Волго-Донской археолог. экспедиции. М.; Л. МИА; № 75 Т. II., 1959. С.29-31. Рис. 25

ЛОКАЛИЗАЦИЯ И ПЕРВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДВОДНО-АРХЕОЛОГИЧЕСКОГО
КОМПЛЕКСА ЛИНЕЙНОГО КОРАБЛЯ «СВЯТОСЛАВ»

LOCALIZATION AND FIRST STUDIES OF THE UNDERWATER ARCHAEOLOGICAL
COMPLEX OF THE BATTLESHIP "SVYATOSLAV"

Фазлуллин Сергей Маратович¹, Золотарев Олег Александрович²

1 Российский государственный гуманитарный университет, Москва

2 Тульское областное отделение Русского географического общества, Тула

Fazlullin Sergey Maratovich¹, Zolotarev Oleg Alexandrovich²

1 Russian State University for the Humanities, Moscow

2 Tula Regional Branch of the Russian Geographical Society, Tula

Введение

Поход и стратегические действия русского Балтийского флота в Средиземном море в 1769–1774 годах во время русско-турецкой войны 1768–1774 годов известны, как первая Архипелагская экспедиция. В ходе похода Балтийского флота в Средиземное море в Чесменской бухте, в районе между западной оконечностью Анатолии и островом Хиос произошло кульминационное событие - Чесменское сражение (1770). Османская империя потеряла в этом сражении практически весь свой средиземноморский флот – 15 линейных кораблей и около 11 тысяч человек. Сражение оказало существенное влияние на ход Русско-турецкой войны 1768–1774 гг., коренным образом изменив ситуацию в Восточном Средиземноморье и соотношение военно-политических сил в Европе. Оно стало важным аспектом в заключении Кючук-Кайнарджийского мирного договора, создавшего условия для перехода Крыма и Северного Причерноморья под контроль России. В результате значительно возрос международный авторитет Российской империи.

В наиболее значимых событиях 1770 года принимал участие и 80-пушечный корабль «Святослав». Он был спущен на воду 28 мая 1769 г. В 1769 включен в состав 1-й Архипелагской эскадры. 27 июля корабль вышел из Кронштадта но уже 9 августа из-за открывшейся течи отделился от нее. По прибытии в Ревель он был введен в гавань для проведения срочного ремонта. В конце ноября 1769 года «Святослав» прибыл на Эльсинорский рейд, где соединился со 2-й Архипелагской эскадрой контр-адмирала Д. Эльфинстона. В начале декабря корабль «Святослав» в составе эскадры покинул Эльсинорский рейд и 27 декабря прибыл в Портсмут, где был вновь поставлен в док. Для улучшения мореходных качеств с корпуса корабля него сняли верхний дек в результате чего «Святослав» был преобразован в двухдечный 72-пушечник. В составе эскадры 2 апреля 1770 года корабль вышел из Портсмута в Средиземное море.

22 мая 1770 г. эскадры Д. Эльфинстона и Г. Спиридова соединились у острова Цериго и вышли в Архипелаг на поиски турецкого флота. 24 июля «Святослав» принял участие в сражении в Хиосском проливе находясь во главе арьергарда под флагом контр-адмирала Д. Эльфинстона. В составе отдельной эскадры 1 июля корабль был направлен для блокады пролива Дарданеллы. 5 сентября «Святослав» выдвинулся к острову Лемнос для поддержки русского десанта, но утром 6 сентября корабль сел на камни восточнее острова. На помощь ему пришли корабли и суда эскадры, но из-за штормовой погоды спасательные работы были затруднены. 12 сентября экипаж со «Святослава» был снят, и в скором времени корпус корабля разбило о камни. 27 сентября его остатки были сожжены, согласно официальной версии – русскими моряками, – дабы ценное имущество не досталось противнику.

Впервые информация об обнаружении места гибели корабля «Святослав» появилась в 2013 году. Руководитель проекта «Русский след» Алексей Никулин и его команда 26 ноября 2013 г. погрузились к остаткам корабля у острова Лемнос, которые предварительно были идентифицированы, как остатки «Святослава». Через год во время рекогносцировочного посещения в этом месте побывала группа подводников с Мальты на исследовательском судне «U Boat Navigator». Сделанные этой командой 20 сентября 2014 г. исследования подтвердили местонахождение остатков корабля. Однако, дополнительных сведений о нем фактически не было получено. Сделанный план нахождения предметов под водой был очень приблизительным и не давал общего понимания параметров подводно-археологического комплекса.

Экспедиционные исследования

Исследование данного объекта стало одной из основных задач экспедиции «Пламя Чесмы. Греческий гамбит», проходившей в Эгейском море на фрегате «Штандарт» с 8 по 23 октября 2021 года. Проект данной экспедиции был подготовлен и реализован председателем Костромского областного отделения Русского географического общества Романом Рябинцевым и генеральным директором компании SKYFIRST Алексеем Никулиным. Поддержку экспедиции оказал Фонд Президентских грантов и Русское географическое общество.

Место крушения 80-пушечного корабля «Святослав» находится на восточной Лемноской отмели примерно в 8 милях к юго-востоку от мыса Плака. Погружения на предполагаемое место крушения корабля участников экспедиции «Пламя Чесмы. Греческий гамбит» проводились 18 и 19 октября 2021 года. Обнаружить остатки корабля удалось 19 октября около 12.00. Обследование места крушения, фото и видеосъемка проводились подводно-археологической группой, состоявшей из четырех человек в течение полутора часов. В группу дайверов входили: О. Золотарев (Тула), Ю. Муравьева (Санкт-Петербург), М. Сайтерс (Рига), А.Тарасов (Москва). Руководитель подводно-археологической группы – С. Фазлуллин (Москва).

Местонахождение остатков корабля «Святослав» представляет собой каменистый риф, поросший морской травой *Posidonia oceanica*, с глубинами от 4 до 6 метров. Дно песчаное, пространство между рифовыми массивами также заполнено песком. Наибольшее скопление предметов с корабля расположено на участке размерами 35x40 метров.

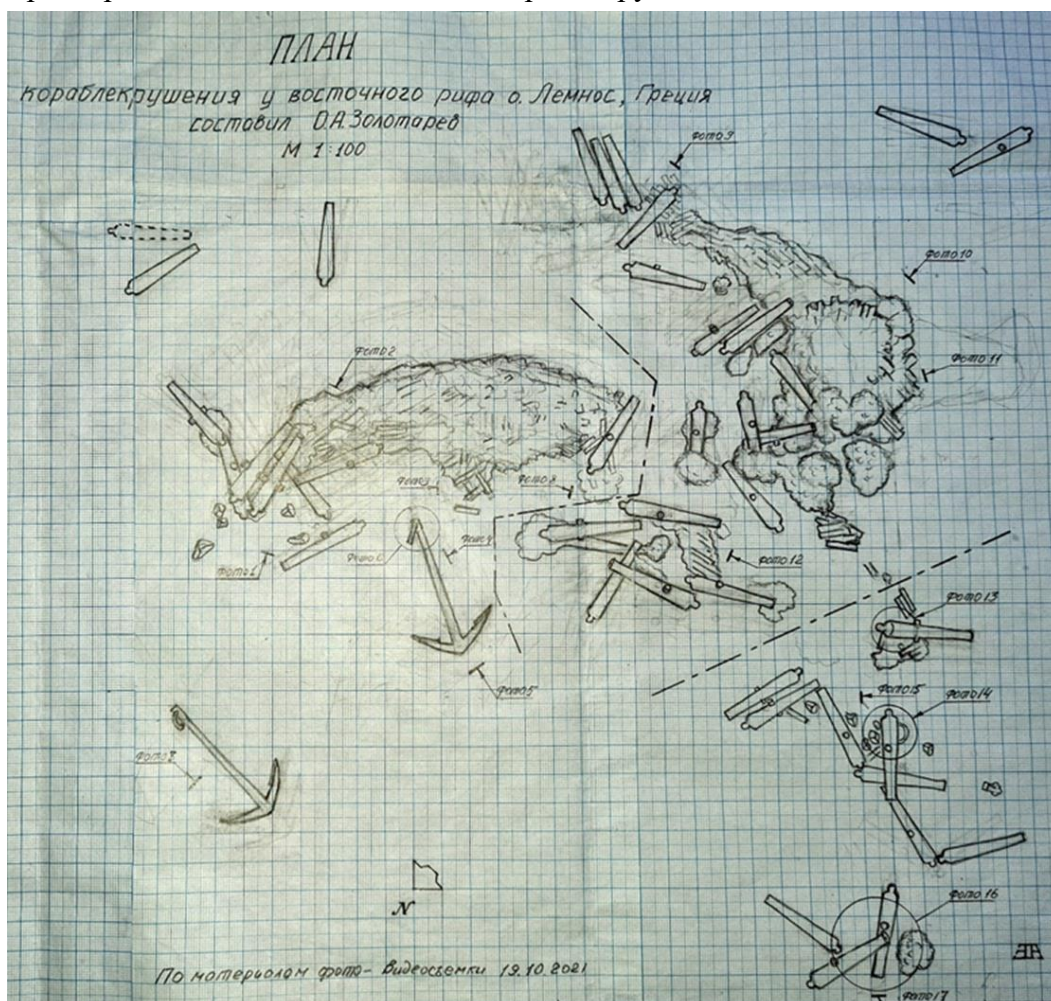
Сохранившиеся на дне предметы представлены крупными объектами из черного металла: якоря, пушки, балластные бруски, скопления ядер. Фрагментов деревянного корпуса корабля обнаружить не удалось. Следы кораблекрушения вытянуты по дуге к югу в общем направлении восток-запад на расстоянии 45–50 метров. На основании обследования места крушения и глазомерного плана остатков корабля можно условно выделить три крупных скопления находок.

Восточная группа. Представлена двумя якорями, десятью пушками и грядой их балластных брусков. Семь пушек беспорядочно навалены друг на друга и примыкают к северной оконечности гряды из балласта и камней. Гряда простирается в общем направлении от пушек к юго-западу на расстояние 10-12 м и ограничивается лежащей поперечно гряде пушкой. К северо-западу от скопления пушек и балласта находятся два адмиралтейских якоря длиной по пять метров каждый. Общая ориентация веретен якорей – восток-запад. Пятки якорей направлены на восток, рымы для крепления якорного каната расположены с западной оконечности веретен. Две (возможно три) пушки расположены в 5-7 м к юго-востоку от скопления из семи пушек. Учитывая расположение якорей и их ориентацию можно предположить, что данная группа представляет собой остатки носовой части корабля.

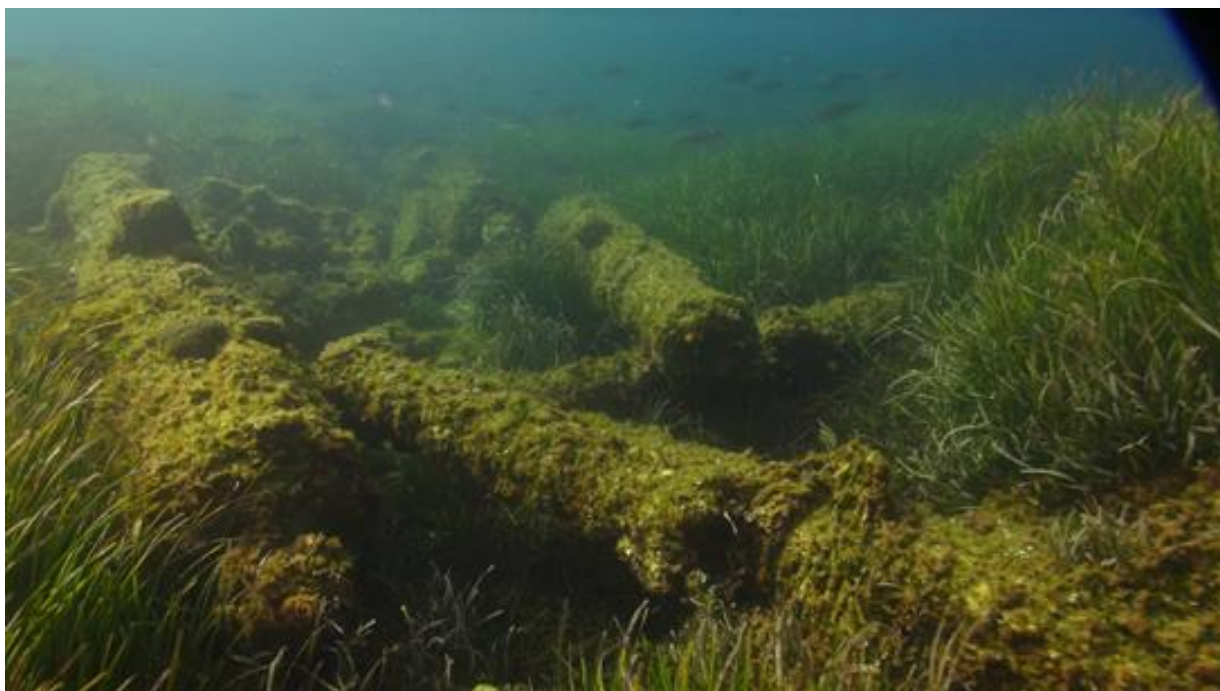
Центральная группа. Представлена двадцатью пушками, конгломератами из пушечных ядер и чугуном балластом. С восточного края данная группа ограничивается тремя пушками, плотно спаявшимися в одно целое. Все три пушки своими казенными частями направлены к основному скоплению находок, дульными – в открытое море. От пушек

начинается сначала узкая, затем постепенно расширяющаяся в северо-западном направлении полоса из навала балластных брусков. В начале полосы расположена еще одна пушка, направленная дульной частью в сторону первой группы находок и одна пушка лежит на песке к северу от полосы балласта. В южном направлении от общего скопления предметов на видеосъемке были замечены еще две пушки, которые так же нанесены на план и включены в центральную группу. Через 5–6 метров навал балластных брусков от трех пушек примыкает к основному скоплению находок центральной группы, составляющему по площади участок примерно 6 x 7 м. Здесь находится семь пушек, ориентированных в разных направлениях, множество балластных брусков и несколько крупных скоплений пушечных ядер. К северу в 3–5 метрах от основного скопления предметов центральной группы находятся еще шесть пушек. Среди них видны хаотично рассыпанные балластные бруски. Северо-западная оконечность центральной группы ограничивается отдельно стоящим конгломератом из балластных брусков.

Западная группа. Данная группа находок состоит практически из одних пушек и лишь небольших вкраплений балласта и пушечных ядер. С южной стороны она отмечена хорошим ориентиром на месте крушения корабля – пушкой-«колонной». Ее казенная часть возвышается над дном под углом около 30 градусов. Ствол этой пушки направлен вниз, ее казенная часть опирается на конгломерат из балластных брусков. На северо-запад от пушки-«колонны», на отрезке в 10–12 метров расположены десять пушек. Две из них были измерены, их длина вместе с наростами составила 3 метра и 3.40 метра. Под казенной частью первого от пушки-«колонны» орудия виден фрагмент кольцеобразного предмета. Предположительно, это часть обруча от бочки. На этой же пушке, лежащей крест-накрест с другим орудием, сохранились обрывки рыбацкой сети с поплавками. Это так же послужило хорошим ориентиром при составлении плана места кораблекрушения.



Глазомерный план расположения корабельных остатков «Святослава» у о. Лемнос.



Пушки из Центральной группы

Рекомендации по результатам работ у острова Лемнос:

- Проведение детального картирования акватории в месте гибели корабля «Святослав» с целью нахождения всех затонувших предметов, с использованием современных геофизических методов.

- Учитывая, что остатки «Святослава» находятся вне территориальных вод Греции и Турции, необходимо проработать вопрос юридического сопровождения возможного подъема предметов с места крушения корабля.

- Получение разрешения на комплектование российского музейно-выставочного центра на о. Парос предметами со «Святослава».

- Обратиться к греческим коллегам с просьбой о передаче 6–8 пушек в Россию для установки в памятных Чесменскому сражению местах: (могила Спиридова в селе Нагорье Переславского района Ярославской области, Центральный военно-морской музей имени императора Петра Великого в Санкт-Петербурге, Центральный музей Вооруженных Сил РФ в Москве, Военно-патриотический парк культуры и отдыха «Патриот» Вооруженных Сил РФ Западного военного округа в Кронштадте).

- Организовать дайвинг центр РГО и экспозицию «Святослава» в одном из морских портов острова Лемнос - Мирине или Мудросе (по согласованию с греческими властями).

- Издать книгу-фотоальбом на трех языках о подводных исследованиях РГО на островах.

Заключение

Обнаруженные на месте кораблекрушения к востоку от острова Лемнос предметы: якоря, пушки, балласт, ядра – по своим параметрам вполне соответствуют типовому вооружению и оснащению линейных кораблей Российского флота. Учитывая сохранившиеся документальные свидетельства о крушении на восточном Лемносском рифе 6 сентября 1770 года корабля «Святослав», есть все основания утверждать, что экспедицией «Пламя Чесмы. Греческий гамбит» было обследовано место крушения именно данного корабля – участника знаменитого Чесменского сражения.

НОВЕЙШИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СЕНОТАХ МЕКСИКИ: РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

RECENT RESEARCHES IN THE CENOTES OF MEXICO: RESULTS AND PERSPECTIVES ON STUDY

Борисова Галина Александровна

Российский государственный гуманитарный университет

Borisova Galina

Russian State University for the Humanities

Вода являлась одним из ключевых элементов в мифологии и жизни древних майя. Особое значение воды обусловлено аграрным характером цивилизации майя, что находит свое отражение во всех аспектах культуры, в том числе в иероглифических текстах, иконографии и ритуалах. На полуострове Юкатан, где отсутствуют реки и в целом ограничены источники пресной воды, особое значение приобретают сеноты, которые в большинстве случаев являлись единственным источником пресной воды. Гидрографическая специфика Юкатана должна была влиять и на восприятие воды – данный факт был отмечен еще испанскими хронистами, в том числе Диего де Ландоу [Ланда Д. де, 1994].

Благодаря уникальной стабильной водной среде внутри сенотов в них сохраняются органические материалы, которые очень быстро разрушаются на суше в тропическом – жарком и влажном – климате Юкатана. В сенотах, напротив, присутствуют благоприятные условия для сохранения органических материалов: температура воды составляет примерно +25° круглый год и отсутствие солнечного света.

Одна из наиболее примечательных находок последних лет была сделана осенью 2021 г. недалеко от Чичен-Иццы, в сеноте, который получил название Сан-Андрес. находка была сделана в рамках охранных археологических работ, которые проводятся перед строительством железнодорожного полотна. Внутри сенота было обнаружено каноэ, которое вырезано из цельного ствола дерева. Его длина 1,6 м, ширина 80 см, высота 40 см. Каноэ ориентировочно датируется 830-950 гг. н.э., ближе к концу классического периода. Каноэ, вероятнее всего, использовалось для размещения ритуальных подношений. Это первая подобная находка в области майя – до этого были известны изображения лодок в различных источниках, например, в кодексах, настенных росписях Чичен-Иццы, костях из Тикаля и др., однако насколько хорошо сохранившееся каноэ обнаружено впервые. До этого были найдены только фрагменты похожих лодок на Юкатане, в Гватемале и Белизе [Archaeological Institute of America, 2021].

Изображения лодок встречаются в иконографии – например, в Дрезденском кодексе, обычно в них плывет бог дождя Чак. В Дрезденском кодексе начитывается 6 изображений лодок, отдельный интерес представляет сцена на странице 46. Там находится большое изображение Чака, плывущего на лодке. На носу лодки можно видеть торговую сумку и шляпу Бога L, покровителя торговцев, что, возможно, является указанием на связь между Чаком и

торговлей. Кроме того, это единственное изображение, которое связывает между собой путешествия в каноэ и торговлю. Несмотря на значимую роль морской торговли в постклассический период, все боги, связанные с торговлей, в кодексах изображены идущими. В тексте рядом с изображением упоминается, что бог приходит с востока, т.е. с моря. В идеальной картине Дрезденского кодекса – восток изобилует. Изображена большая торговая лодка – это референция к торговым путям в Карибском море, которые связывали между собой Юкатан, Косумель и другие регионы. В «Сообщении о делах в Юкатане» есть упоминания о торговых связях с Гондурасом, куда майя плавали за рабами и какао [Ланда Д. де, 1994]. На фреске из Храма воинов в Чичен-Ице также представлены большие торговые лодки, плывущие по морю.

В настоящее время продолжают работы с каноэ, они включают в себя дендрохронологический и радиоуглеродные анализы, а также фотограмметрию, создание 3D-модели лодки и точной копии находки. Помимо каноэ в сеноте была также обнаружены фрагменты 40 сосудов, намеренно разбитых во время ритуалов, ритуальный нож и наскальные изображения в виде отпечатков рук в надводной части сенота. Во время погружения в сенот на глубине 4,5 м археологи обнаружили пещеру, в которой и находилось каноэ. Судя по отложениям на стенке сенота, 1000 лет назад уровень воды в сеноте был на 4-5 м ниже [Descubren una canoa maya en un cenote en Yucatán, 2021].

В 2019 г. были опубликованы новые данные по исследованию костных останков из Священного сенота в Чичен-Ице. В рамках этого исследования анализировались изотопы стронция и кислорода, которые откладываются в зубной эмали человека – их соотношение меняется в зависимости от региона. Эмаль формируется в течение первых лет жизни, и остается практически неизменной в том числе и после смерти.

Сравнение результатов анализа костных останков из Священного сенота с информацией о соотношениях изотопов стронция $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в различных регионах области майя и в других близлежащих регионах позволяет предположить, что люди, которые нашли свою смерть в сеноте, прибыли из разных частей Мексики и, возможно, из других регионов Мезоамерики. Их предполагаемое происхождение, вероятно, отражает модели движения населения и социальные связи, существовавшие между Чичен-Ицей и как соседними, так и отдаленными регионами – в том числе центральной Мексикой и Центральной Америкой [Price, Tiesler, Freiwald, 2019].

Чичен-Ица была одним из крупнейших и важнейших городов майя в классический и ранний постклассический период, в период расцвета население города могло достигать 50 000 человек. Недалеко от центральной площади находится Священный сенот – естественный круглый карстовый провал диаметром 60 м с вертикальными стенками. Вода в сеноте находится примерно в 27 м от поверхности земли, максимальная глубина составляет 14 м. Священный сенот был местом паломничества на протяжении продолжительного периода времени, в том числе и после прихода испанцев, о чем свидетельствуют колониальные хроники. Исследования сенота проводились с начала XX в., в ходе работ было извлечено множество ритуальных предметов, в том числе из золота, и большое количество человеческих останков. Среди скелетных останков из сенота было идентифицировано более 200 человек, и результаты подводных археологических исследований позволяют предположить, что не меньшее количество до сих пор находится на дне. Сравнительный анализ костных останков показал, что большая часть жертв были мужского пола, и в основном детьми от 4 до 12 лет. Примерно треть из 200 черепов имеет явные следы травм, как послуживших причиной смерти,

так и нанесенных посмертно. В частности, у каждого четвертого человека есть признаки сдирания кожи, расчленения, удаления плоти [Price, Tiesler, Freiwald, 2019].

Анализ изотопов стронция и кислорода позволяет определить место происхождения человека. Зубная эмаль формируется в младенчестве и практически не изменяется в более позднем возрасте и относительно мало изменяется после смерти. Кости, напротив, регулярно обновляются. Зубная эмаль формируется из химических элементов, полученных из пищи и воды, которые ребенок и его мать употребляют в младенчестве и раннем детстве. В то же время химический состав костей формируется из питательных веществ, употребляемых в течение последних лет жизни. Таким образом, химический состав зубной эмали отражает место рождения.

Изотопы стронция различаются в разных типах горных пород и попадают в организм по пищевой цепочке – сначала из горных пород в почву, потом в растения, которые употребляют в пищу животные и человек. В целом, более старые породы имеют более высокие показатели соотношения $87\text{Sr}/86\text{Sr}$. Изотопы стронция измеряются в гидроксипатите, основном минеральном компоненте зубной эмали. При этом локальные соотношения $87\text{Sr}/86\text{Sr}$, характерные для определенного региона, остаются неизменными в течение десятков тысяч лет. Экзотические значения $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ иногда могут указывать на определенное место, однако обычно представляется затруднительным определить точное место, где родился человек, т.к. соотношение изотопов может быть одинаковым в разных областях. Различия в соотношениях изотопов стронция в Мезоамерике значительны и тесно связаны с геологией [Price, Tiesler, Freiwald, 2019].

Показатели изотопов кислорода в костях и зубах в основном отражают химический состав воды, которую употребляет человек. Основными факторами, влияющими на соотношение изотопов в осадках, являются широта, высота над уровнем моря, количество осадков и расстояние от источника испарения (например, океана), т.е. географические факторы. Как и стронций, кислород встраивается в зубную эмаль в виде ионов карбоната и фосфата в младенчестве и в раннем детстве человека. Их соотношение остается неизменным во взрослом возрасте и после смерти. Таким образом, изотопы кислорода, как и стронций, могут быть использованы для исследования человеческой мобильности и социальных связей, существовавших между Чичен-Ицой и как соседними, так и отдаленными регионами – в том числе центральной Мексикой и Центральной Америкой.

Всего в данном исследовании были проанализированы 40 зубов. Большинство из 40 человек в выборке имеют значения изотопов стронция $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ за пределами локального диапазона Чичен-Ицы и, вероятно, родились в другом месте. 14 человек родились в Чичен-Ице. Среди местных жителей, принесенных в жертву водам Священного сенота, было 5 взрослых мужчин, 1 ребенок (5–7 лет) и 1 подросток (10–15 лет). У последнего были обнаружены переломы левых теменных костей и порезы, предположительно от разрыва левой жевательной мышцы и, возможно, вместе с ней нижней челюсти. Среди жертв из других регионов в основном дети. 4 человека, вероятнее всего, родились не в регионе низменностей майя, возможно они из Копана или Тулы – эти области подходят по значениям $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ [Price, Tiesler, Freiwald, 2019].

Наиболее важным является тот факт, что органический материал, извлеченный из сенотов, находится в прекрасной сохранности. Подобные находки уникальны для области майя. В отдельных случаях, неожиданные находки способны преподнести даже давно известные сеноты – помимо Священного сенота можно привести и пример сенота Шлаках, который

является частью археологической зоны Цибильчальтун. В течение 2017 года группа дайверов выполняла задачи по очистке сенота Шлаках. Со дна удаляли заросли водяной лилии с целью сокращения популяции инвазивных видов рыб, обитающих в зарослях этих растений. Во время работ был также удален весь мусор, скопившийся на дне сенота. Во время одной из последних уборок был обнаружен вход в боковую пещеру, на дне которой были обнаружены фрагменты доиспанской керамики, фрагменты человеческих скелетов и кости крупных животных, возможно, от крупного рогатого скота, который содержался в загоне рядом с сенотом в колониальный период [Forssmann, 2018]. Результаты исследований показывают, что находки из сенота Шлаках охватывают широкий временной период от конца классического периода, когда население города составляло 10 000 – 15 000 человек, до настоящего времени. При недавних исследованиях в этом районе были также обнаружены обработанные камни, вероятно, являвшиеся элементами кладки доиспанских построек [INAH, 2022].

Список литературы

1. Ланда Д. де. Сообщение о делах в Юкатане. – М., 1994.
2. Descubren una canoa maya en un cenote en Yucatán. 2021. URL: https://historia.nationalgeographic.com/es/a/descubren-canoa-maya-cenote-yucatan_17401
3. Forssmann A. Hallazgos prehispánicos en un cenote de Yucatán. 2018. URL: https://historia.nationalgeographic.com/es/a/hallazgos-prehispanicos-cenote-yucatan_12554
4. Hallazgos en el cenote de Xlakah / Instituto Nacional de Antropología e Historia. 2022. URL: <https://www.inah.gob.mx/foto-del-dia/hallazgos-en-el-cenote-de-xlakah?>
5. Price D., Tiesler V., Freiwald C. Place of origin of the sacrificial victims in the sacred Cenote, Chichén Itzá, Mexico // American Journal of Physical Anthropology, 2019. – 170(1).
6. Well-Preserved Maya Canoe Discovered in Mexico / Archaeological Institute of America. 2021. URL: <https://www.archaeology.org/news/10118-211102-mexico-maya-canoe>

УДК 37; 355.75

Рубрика 13.07.77

МЕТОДОЛОГО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ИЗУЧЕНИЯ И СОХРАНЕНИЯ МОРСКОГО КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

METHODOLOGICAL ISSUES OF STUDYING AND PRESERVING THE MARINE CULTURAL HERITAGE

Мозговой Сергей Александрович

¹*Российский научно-исследовательский институт культурного и природного наследия имени Д.С. Лихачёва, Москва*

²*Русское географическое общество, Москва*

Mozgovoy Sergey Aleksandrovich

¹*Russian Heritage Institute, Moscow*

²*Russian Geographical Society, Moscow*

Фундаментальным методологическим основанием природного и культурного наследия является Человечество, в жилах которого течет кровь первозданного океана. Человек заселил планету благодаря технологическим достижениям, орудиям труда и средствам передвижения. Вот почему мы выделяем деятельностный подход в качестве основного методологического основания формирования морского культурного наследия. Морская деятельность связана с миграцией по морским и речным коммуникациям, расселением вдоль обильных пищевых водных артерий, созданием морских и речных цивилизаций, освоением водных пространств, борьбой за господство на море и т.п. [1. С. 358-359]. Таким образом, именно морская деятельность, в ходе которой появляется ценный опыт и имеющие ценность предметы и объекты является катализатором появления морского наследия. Данный методологический подход важен для понимания процессов появления морского наследия, его накопления и влияния на иные сферы жизни: социально-политические, геополитические, военно-дипломатические, торгово-экономические, культурно-исторические и др. Поэтому для изучения морского наследия мы используем методы исторической и географической науки, философии и культурологии [2].

Ныне накоплен определенный мировой и отечественный опыт изучения и сохранения морского наследия [3],[4], проведена работа по формированию понятийно-категориального аппарата (дано определение понятию «морское наследие»), осуществлена классификация и типологизация объектов морского культурного наследия (ОМКН) [2].

Классификация объектов морского культурного наследия может быть по следующим основаниям: а) по характеру объектов: материальные; нематериальные; б) по виду морского наследия: культурные; природные; смешанные. в) по сфере нахождения: подводные и на суше; г) по статусу: объекты всемирного наследия; федеральные ОКН; региональные ОКН; местные памятники - объекты морского культурного наследия. д). Классификация по сфере (среде) нахождения: объекты морского культурного наследия

(береговые и на воде); объекты подводного культурного наследия, а также е) движимые и недвижимые.

Типологизация выделяет следующие типы: 1. Памятники, связанные с историей морской деятельности: исторические плавсредства; памятники кораблям и самолетам; архитектурные и инженерные сооружения и др.; гидротехнические сооружения; навигационные знаки, исторические маяки; береговые объекты фортификации; морские мемориалы и памятники, отдельные захоронения; флотские культовые сооружения; подводные объекты; памятники археологии, связанные с историей морской деятельности. 2. Ансамбли, связанные с историей морской деятельности: комплексы архитектурных и инженерных сооружений; комплексы гидротехнических сооружений; комплексы навигационных сооружений; мемориальные комплексы; комплекс захоронений (некрополь); комплексы культовых сооружений. 3. Достопримечательные места: места морских боев и сражений, участия флота в сухопутных операциях, места дислокации войск и сил флота, штабов и др.; мемориальные места на море, связанные с гибелью судов, места отдания воинских почестей; места, связанные с историей освоения новых территорий и с жизнью выдающихся мореплавателей и первопроходцев; элементы морского и прибрежного культурного ландшафта, связанного с традиционным природо- и морепользованием; традиционные районы промысла рыбы и морского зверя; историческое поселение, порт, верфь; система исторических водных и волоковых путей, каналов, обеспечивающих связь между морями; культовый комплекс, связанный с морской историей в окружающей природной среде, а также памятное место не сохранившегося морского храма, часовни, культового сооружения. [2].

Сохранению ОКН способствует статус объекта. Высшей степенью охраны в соответствии со своим статусом обладают Объекты всемирного наследия ЮНЕСКО. Следует отметить, что процедура номинирования культурных и природных объектов для их включения в Список всемирного наследия ЮНЕСКО требует дополнительного серьезного изучения и проведения комплекса охранных мероприятий. Успешно зарекомендовали себя методические рекомендации и практики номинирования культурных и природных объектов для их включения в Список всемирного наследия ЮНЕСКО. Постепенно выработался и постоянно совершенствовался механизм номинирования объектов. На примере номинации, утверждения и сохранения объектов всемирного наследия отрабатывались методические рекомендации [5], которые полезно практиковать для изучения морских ОКН любого статуса [6][7].

Изучение и сохранение морского культурного наследия осуществляется в ходе научно-исследовательской и экспедиционной деятельности, работ по выявлению, описанию и постановке на учет – включение объектов культурного наследия в реестр, которое сопровождается проведением и заключением государственной историко-культурной экспертизы, последующими операциями в соответствии с законодательством [ФЗ-73] и методическими рекомендациями, а также проведением мероприятий по музеефикации наследия.

Увековечиванию памяти о заслуженных моряках служит мемориальная работа. Российское законодательство определяет порядок создания и содержания захоронений, включая те, которые отнесены к объектам культурного наследия. Основными правовыми актами для проведения этой работы являются Закон РФ от 14 января 1993 г. № 4292-1 «Об увековечении памяти погибших при защите Отечества», Федеральный закон от 25 июня 2002 г. № 73-ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры)

народов Российской Федерации», а также законодательные акты субъектов Федерации и муниципальных образований [8].

Особую значимость в структуре морского наследия имеют исторические корабли – памятники, включая корабли-музеи. В настоящее время в Кронштадте ведутся работы по музеефикации первой советской атомной подводной лодки К-3 «Ленинский комсомол» и нельзя допустить гибели нашего первенца атомного флота или выбора такого способа «музеефикации», в результате которого может быть утрачено корабельное вооружение, оборудование и многие корабельные системы, характеризующие убранство корабля. Главным принципом музеефикации боевого корабля должен быть принцип сохранения его целостности и аутентичности, не допустив «расчленения» на отдельные части, в результате чего корабль может быть утрачен для потомков даже в качестве «корабля-музея». [9]. Разработка методических рекомендаций по музеефикации исторических кораблей является насущной задачей, так как это важнейшее направление музеефикации представляет собой экспромт, несмотря на разнообразие реализованных проектов.

В последнее время все большее значение уделяется ландшафтному подходу в изучении наследия. Морское наследие характеризуется наличием уникальных морских, речных и озёрных ландшафтов, которые украшают морской фасад страны, а также включают маршруты походов наших предков по рекам и через волоки, ландшафты морских и подводных парков. Исторические морские ландшафты также вбирают в себя акватории морских сражений, морские крепости, мемориальные кладбища и могилы погибших моряков, храмы и часовни, установленные на месте сражений и гибели воинов, музеи, хранящие память о событии и другие сведения, описанные в научно-исследовательских трудах [10], [11].

Отдельный большой блок изучения и сохранения культурного наследия принадлежит вопросам подводного культурного наследия (ПКН). Приоритетным вариантом охраны подводного культурного наследия считается возможность его сохранения *in situ*, таким образом, чтобы на него не оказывалось негативного воздействия. Сохранению ПКН способствует музеефикация и создание подводных историко-культурных парков. [12].

В целях охраны ПКН многие страны мира ратифицировали и руководствуются положениями Конвенции об охране подводного культурного наследия (2001 г.). В России долгое время эта деятельность практически не регламентировалась, и только спустя 20 лет в 2021 г. в отдельные законодательные акты Российской Федерации внесены дополнения и изменения, касающиеся объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации. В частности, в сферу правового регулирования и соответственно управления вопросами изучения и сохранения подводного наследия введены положения об объектах культурного наследия в пределах внутренних морских вод и территориальном море Российской Федерации (ст.91, 92, 94, 161 ФЗ-73) и другие законодательные акты).

Вопросы изучения и сохранения морского нематериального культурного наследия (МНКН) опираются на положения Конвенции об охране нематериального культурного наследия (2003 г.) и заключается в умении определять - выявлять, фиксировать, изучать, передавать от поколения к поколению данные объекты. Творчески интерпретируя основные идеи Конвенции применительно к сфере морской деятельности МНКН изучаются посредством исследования истории флота и истории военно-морского искусства, исторических традиционных способов и технологий строительства судов, результаты

морских наук и достижения военно-морской науки, отражающие военно-морские идеи, нацеленные на создание «морской силы» и «морской мощи»; опыта судовождения, способов морехозяйственной деятельности, морской практики, морской культуры, морской терминологии, фольклора, легенд, кухни «людей моря», традиций, ритуалов и обычаев, международного морского права, военно-морского протокола и церемониала, морской топонимики, маринистики, мифах, исторической памяти и морских знаменательных (памятных) датах. МНКН сохраняется и воспроизводится как живое морское наследие в новых кораблях и судах (также в репликах исторических кораблей и судов), тактике их применения, искусстве управления судами, ведения морского боя, морских фестивалях, в докладах, лекциях, воспитательных беседах, музейно-выставочных экскурсиях, концертах флотских ансамблей песни и пляски, художественной самодеятельности экипажей судов, морских песнях и танцах и т.п. Оно влияет на формирование морского сознания и самосознания нации [2]. Например, образы, традиции, функции, практики и рефлексии морского наследия Поморья, которые создают атмосферу «морского духа» исследовал С. Звягин [13].

В заключение отметим, что главным в методологии и методике работы с объектами наследия является выделение важнейших характеристик ценности и уникальности объекта, его исторической и культурной значимости, сохранение в целостности и аутентичности с сохранением сущностных признаков.

Список литературы

1. *Мозговой С.А.* Основные методологические подходы изучения морского культурного наследия // Морские исследования и образование (MARESEDU-2021). Труды X Международной научно-практической конференции. Том III (III). Тверь, 2021. Издательство: Общество с ограниченной ответственностью "ПолиПРЕСС". С. 358-362. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48490188> Дата обращения: 15.09.2022.
2. *Мозговой С.А.* Морское культурное наследие России: изучение, сохранение, музеефикация / С. А. Мозговой. — М. : Институт Наследия, 2021. — 434 с. : - ил., прилож. URL: <https://heritage-institute.ru/?books=morskoe-kulturnoe-nasledie-rossii-izuchenie-sohranenie-muzeefikacziya-s-a-mozgovej-m-institut-naslediya-2021> Дата обращения: 15.09.2022
3. *Мозговой С.А.* Об отечественном и зарубежном опыте изучения и сохранения морского культурного наследия // Морской сборник. 2017. № 10. С. 40-45. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30601265> Дата обращения: 15.09.2022.
4. *Николаев И.Р.* Морское культурное наследие: основные концепции в отечественной культурологии // Культурное наследие России. 2020. №2. С. 20-26.
5. *Максаковский Н.В., Буторин А.А.* Методические аспекты российской практики продвижения новых объектов в Список всемирного наследия ЮНЕСКО. Проблемы региональной экологии. 2019. №1. С. 97-102.
6. *Мозговой С.А.* О статусе морского наследия // Морской сборник № 5, 2017. С. 31-38. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29043091>. Дата обращения: 15.09.2022.
7. *Мозговой С.А.* Морское наследие: сущность, содержание, структура // Морской сборник, – № 9, 2013. – С. 31-40. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20154482>. Дата обращения: 15.09.2022.
8. *Остапенко В.В., Мозговой С.А.* К вопросу об увековечении памяти о заслуженных моряках к вопросу об увековечении памяти о заслуженных моряках // Морской сборник,

2019. № 7. С. 42-44. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38590756> Дата обращения: 15.09.2022.
9. *Мозговой С.А.* К вопросу о музеефикации кораблей (судов) // Морские исследования и образование (MARESEDU-2021). Труды X Международной научно-практической конференции. Том III (III). Тверь, 2021. Издательство: Общество с ограниченной ответственностью "ПолиПРЕСС". С. 423-427. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48490228> Дата обращения: 15.09.2022.
10. *Мозговой С.А.* Наследие Чесмы // Морской сборник, 2020, – 11, – С. 82-88, + ил. URL: <https://morskoysbornik.ric.mil.ru/Stati/item/280953/> Дата обращения: 15.09.2022/
11. *Мозговой С.А., Фазлуллин С.М.* Морское и подводное историко-культурное наследие России в Средиземном море // Труды IX Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2020)» Том II (III): [сборник]. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2020, С.: 221-224. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44512650> Дата обращения: 15.09.2022.
12. *Фазлуллин С.М.* Подводное культурное наследие и проблемы его музеефикации // Вопросы музеологии, 1 (15) / 2017. С. 3-16.
13. *Звягин С.А.* Морское наследие Поморья: образы, функции, практики. Екатеринбург: УрО РАН, 2020. 240 с.

ЛЕЧЕНИЕ ДЕКОМПРЕССИОННОЙ БОЛЕЗНИ (ДКБ) В КИСЛОРОДНОЙ БАРОКАМЕРЕ – ЗА И ПРОТИВ

DECOMPRESSION ILLNESS (DCI) TREATMENT IN MONOPLACE OXYGEN HYPERBARIC CHAMBER – PRO AND CONTRA

Митрохин Андрей Анатольевич, Левина Ольга Аркадьевна

Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В.Склифосовского, Москва

Mitrokhin Andrei Anatolievich, Levina Olga Arkadevna

Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine

Введение

Подводная деятельность человека стремительно развивается: любительская, промышленная, исследовательская и другие. Несмотря на совершенствование снаряжения и правил безопасности, ДКБ остаётся актуальной проблемой. По данным DAN в 2018 по всему миру зафиксировано 624 случая ДКБ, 103 % к среднему за 10 лет¹. По РФ таких данных нет. В больницу Боткина и НИИ Склифосовского в 2010 – 2022 обратились 370 пациентов с ДКБ, в 2018 – 54, 145% к среднему за 10 лет. Однако в связи с полной коммерциализацией любительского дайвинга в РФ, годности кандидатов на обучение по здоровью и ознакомлению их с рисками уделяется явно недостаточно внимания, что вносит вклад в заболеваемость дайверов. Основа патогенетического лечения ДКБ – рекомпрессия в барокамере. Классические водолазные барокамеры в РФ малодоступны, в системе МЗ отсутствуют. Лечение ДКБ методом ГБО подробно описано в зарубежной литературе², и включено в перечень доказанных показаний к ГБО Европейской Комиссии по гипербарической медицине³. Тем не менее, в среде дайверов и большинства ведомственных водолазных врачей широко распространено мнение о том, что необходима именно водолазная многоместная барокамера, кислородная малоэффективна и применима только в лёгких случаях⁴, что нередко приводит к задержкам начала лечения. Наш опыт лечения ДКБ в кислородной одноместной барокамере (1430 сеансов 370 пациентам) подтверждает возможность безопасного и эффективного лечения ДКБ (как легкой, так и средней – а иногда и тяжелой степени тяжести) методом ГБО, что вполне коррелирует с последними данными о механизмах ДКБ² и эффектах гипероксии⁵.

Данные и методы

В больницу Боткина и НИИ Склифосовского в 2010 – 2022 обратились 724 пациента по различным вопросам водолазной медицины, как с заболеваниями (n=430), так и для обследований/консультации (n=294). Из заболевших ДКБ (n=370) имели диагноз и получали лечение методом ГБО, от 1 до 35 сеансов, в среднем 4. 179 пациентов (48 %) получили по 1 – 2 сеанса. 350 пациентов обратились после погружений в отдалённых локациях, как за рубежом, так и в РФ, то есть через 2 и более дней после причинного погружения. Только 20 человек заболели в Москве и обратились в более ранние сроки, все – профессионалы,

работающие на водных объектах, например, 3 водолаза, обслуживавших аквариум в ТЦ «Авиапарк» (фото1).



Фото 1. Декомпрессионное поражение суставов пальцев и кожи стопы.

Лечение проводили в кислородных барокамерах БЛ КС 303МТ (фото 2) и БЛ 307 «Хруничев» (фото 3).



Фото 2. Одноместная кислородная барокамера БЛ КС 303 МТ.



Фото 3. Одноместная кислородная барокамера БЛ 307 «Хруничев».

Лечение проводили в режиме кислородной рекомпрессии по Hart et al.,⁶ (Рисунок 1) один раз в сутки.

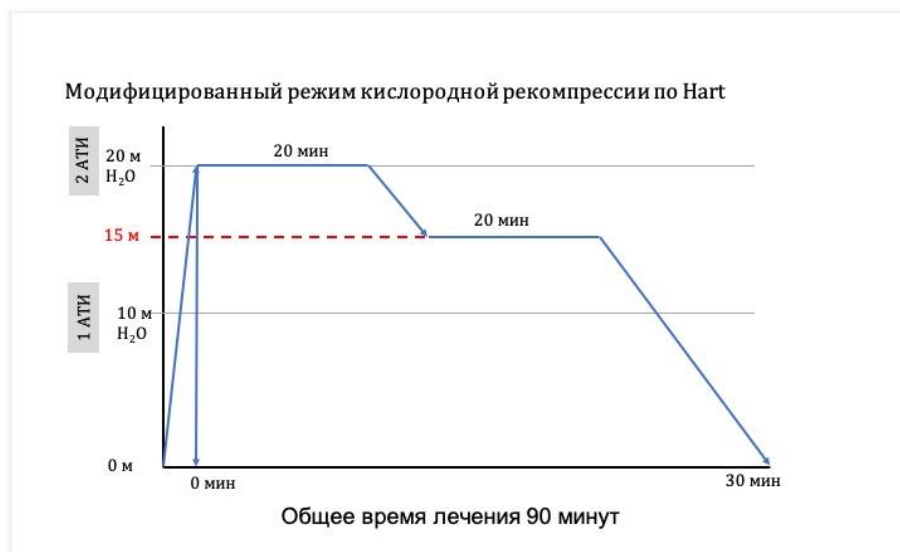


Рисунок 1.

Целью лечения было полное устранение симптоматики, но значительное количество пациентов принимали самостоятельно решение о прекращении лечения, находя своё состояние уже вполне удовлетворительным – в основном проживающие в отдалённых от клиники районах. Приезжавшие на лечение из других городов (в связи с отсутствием там барокамер и/или специалистов) часто были ограничены временем пребывания в Москве и получали по 2 сеанса в день с перерывом не менее 1 часа. Не было зафиксировано ни одного осложнения лечения. Эффект во всех законченных случаях варьировал от полного до хорошего.

Обсуждение

Применение воздушных и кислородно-воздушных водолазных барокамер традиционно основывалось на «пузырьковом» механизме ДКБ: при быстром всплытии образуются пузырьки азота, которые закупоривают/сдавливают/растягивают ткани, вызывая боль и ишемию. В последние десятилетия доказана значительная роль в развитии ДКБ активации системы комплемента с формированием системного воспалительного ответа (СВО), существенно лучше объясняющая разнообразие её симптоматики². В этот же период установлено, что гипероксия оказывает выраженное тормозящее действие на СВО через подавление адгезии нейтрофилов, синтеза хемокинов и других звеньев его механизма⁵. Таким образом гипероксия, в более значительной степени обеспечиваемая кислородными камерами, усиливает этот компонент воздействия на ДКБ. Усиливается также эффект денитрогенизации тканей и сред организма, а также пузырьков азота, если они еще остаются.

К недостаткам одноместных камер относятся: (1) ограниченное пространство, исключая присутствие сопровождающих и немедленный контакт с пациентом при внезапной необходимости; (2) ограниченное время пребывания в связи с риском токсического действия кислорода и отсутствием санитарных условий. В тоже время они (1) дешевле многоместных; (2) проще в эксплуатации и (3) более доступны.

К недостаткам многоместных камер (фото 4) относятся: (1) высокая стоимость; (2) техническая сложность; (3) трудность помещения маломобильных пациентов через люк, что делает их малопригодными для лечения массовой соматической патологии.



Фото 4. Многоместная декомпрессионная барокамера БКД-1600

Заключение

Представленный обширный опыт лечения ДКБ в кислородных одноместных барокамерах позволяет уверенно предположить, что у дайверов и водолазов с ДКБ лёгкой/средней тяжести (а при отсутствии нарушения витальных функций – и тяжелой) такое лечение (наряду с остальными средствами лечения ДКБ) эффективно и может быть рекомендовано. В срок более 2 суток от причинного погружения его, вероятно, следует предпочесть лечению в водолазной многоместной камере, особенно если доставка к такой камере займёт несколько часов.

Список литературы

1. *Tillmans F.* (Editor) DAN Annual Diving Report. A report on 2018 diving fatalities, injuries and incidents. p. 31. 2020 Edition
2. *Moon R.E., Mitchell J.S.* Decompression sickness. Chapter 7 in *Hyperbaric Oxygen Therapy Indications*, 14th Editions, Chair and Editor Moon R.E. 2017 p. 327-334 Best Publisher Company, USA
3. *Mathieu D, Marroni A, Kot J.* Tenth European Consensus Conference on Hyperbaric Medicine: recommendations for accepted and non-accepted clinical indications and practice of hyperbaric oxygen treatment.
4. *Соколов Г.М., Смолин В.В., Дудков М.Д., Мотасов Г.П.* Глава 9 в книге *Медицинское обеспечение водолазов при спусках на малые и средние глубины*. Стр. 192 – 206. Издательство «Рестарт» 2011 Москва.
5. *Bosco G, Rizatto A, Camporesi A.M.* Mechanism of Action of Hyperbaric Oxygen Therapy. Chapter 15 in *Hyperbaric Oxygen Therapy Indications*, 14th Editions, Chair and Editor Moon R.E. 2017 p. 327-334 Best Publisher Company, USA
6. *Diving and Hyperbaric Medicine*. 2017 March; 47(1):24-32 *Neuman, Tom S.; Thom, Stephen R.* (2008). "14 - Decompression sickness". *Physiology and Medicine of Hyperbaric Oxygen Therapy*. Elsevier Health Sciences. pp. 296–300. ISBN 9781416034063. Retrieved 26 February 2016.

Подводное наследие и водолазные методы

Стендовые доклады

Underwater heritage and diving methods

Poster presentations

ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ ПОДВОДНОЙ АРХЕОЛОГИИ КИПРА

HISTORY OF THE STUDY OF UNDERWATER ARCHAEOLOGY OF CYPRUS

Атеш Мария Атилиловна

Российский Государственный Гуманитарный Университет, Москва

Atesh Maria Attilovna

Russian State University for Humanities, Moscow

Введение. Это исследование направлено на представление полной картины подводной археологии, подводного культурного наследия и управления ими в комплексном подходе на острове Кипр. Со временем подводная археология превратилась в систематическую дисциплину, управляемую кипрским государством, где ее начало произошло как спорадические подводные работы, выполняемые иностранными миссиями. Управление подводным наследием и его систематизация на острове Кипр включает большое разнообразие подходов и действий. С целью представить целостную картину подводной археологии и управления подводным наследием на Кипре, это исследование охватывает подводные работы, проводимые на Кипре; формирование неправительственных организаций и государственных учреждений, а также включение подводной археологии в академию; законы вступившие в силу о подводной археологии и подводном культурном наследии и управлении ими; валоризация (повышение ценности) подводного культурного наследия; и исследование завершает тему будущими перспективами подводной археологии и подводного культурного наследия на Кипре.

История подводно-археологических исследований. Подводные проекты на Кипре начали выполняться с первых дней существования дисциплины. Проекты были довольно спорадическими. До образования Республики Кипр в кипрских водах работали иностранные миссии, а после образования республики, с разрешения министра Департамента древностей на Кипре, иностранные миссии продолжали приезжать и выполнять работы на Кипре.

В 1930-х годах новаторская работа, проведенная Джоан дю Плат Тейлор в городе и гавани Агиос Филон, древняя Карпасия, характерна для значительных, хотя и спорадических записей подводных и морских археологических проектов на Кипре с самых первых дней существования дисциплины.

Гавань Неа Пафос и заливе Лара, Акамас, были впервые исследованы в 1959 и 1961 годах Британским объединенным акваклубом, командой британских военных водолазов, во время проекта под названием «Операция Афродита».

Настоящая археологическая группа под руководством Витольда Дашевского в 1965 году вернулась в гавань Неа Пафоса вскоре после этого.

Николас Флемминг исследовал гавань Саламина, обновив неопубликованные исследования, проведенные Линдером и Рабаном в 1971 году.

Совместная группа из Университетского музея Пенсильванского университета и Исследовательской лаборатории археологии и истории искусства Оксфорда прибыла на Кипр для поиска затонувших кораблей в 1967 году. Сразу же после этого оксфордская группа продолжила очень важное прибрежное исследование на мысе Кейптаун, Андреас, Карпасия.

Обломки корабля были обнаружены у побережья Кирении и раскопаны в 68 и 69 годах. Деревянный корпус корабля сохранился в исключительной степени, что послужило причиной

того, что это кораблекрушение до сих пор является важной вехой в истории морской археологии.

В 1972 году шведские группы провели еще одно подводное исследование на мысе Кити в Ларнаке с целью найти гавань близлежащего участка позднего бронзового века в Хала Султан Текке.

В то же время морские проекты развивались на суше тоже. Хонор Фрост была приглашена для изучения каменных якорей из Китиона. Акватории для быращения рыбы были фиксированы и зарегистрированы в Лапитосе в рамках исследования Департамента древностей.

Как выразился Харпстер: «К концу 1973 года Кипр быстро становился центром морских археологических работ в Средиземном море». Даже недавно созданный Институт морской археологии (INA) был готов основать исследовательский центр после обнаружения кораблекрушения Кирении на Кипре, но планы были сорваны вооруженным конфликтом 1974 года на острове.

В связи с конфликтом работы по подводной археологии переместились к южному побережью Кипра с северных берегов оспариваемой земли. Помимо нескольких систематических исследований, проводимых иностранными миссиями, Департамент древностей Республики Кипр был очень занят спасательными раскопками по всему побережью в результате активизации строительства инфраструктуры для туризма как основной отрасли на острове. Параллельно Департамент древностей продолжал прежнюю политику приема иностранных археологических миссий для раскопок важных мест на побережье.

Исследования вдоль мыса Кит шведскими группами продолжались в 1977 и 1980 годах, хотя и не достигли своей первоначальной цели - найти гавань города бронзового века, раскопанного на соседнем участке Хала Султан Тэкке.

В 2006 г. были обнаружены обломки кораблекрушения Мазотос, и дайверы-любители сообщили о находках властям. Это, был корабль классического периода в хорошо сохранившегося состоянии. В 2007 году Департамент древностей дал разрешение Университету Кипра на проведение исследований в ноябре 2007 года в сотрудничестве с Фондом THETIS. Фонд THETIS обеспечил финансирование, и Университет Кипра дал гарантию, что группа исследователей будет усилена специалистами из-за рубежа.

Таким образом, первый кипрский подводный археологический проект был организован в Мазотосе в ноябре 2007 года. Это стало важной вехой в развитии подводной археологии на острове Кипр.

В 2014 году началось еще одно расследование кораблекрушения, из османского периода, в Ниссии, Паралимни, также проводила основноц кипрской группой со многими участниками из-за рубежа.

В 2018 году в рамках наземного проекта Аканту-Татлысу было проведено подводное исследование, на этот раз на северном побережье с участием основной группы киприотов-турок.

После вооруженного конфликта 1974 года на Кипре, который разделил остров на две части, географически, политически и общинно – на турецкую и греческую общины, «до сих пор неразрешенная» ситуация на Кипре привела к разделению и проводимых археологических работ. Что касается культурного наследия, кипрский конфликт привел к реализации Гаагской конвенции 1954 года об оспариваемых землях Кипра. Поэтому после конфликта 1974 г. и реализации на острове Гаагской конвенции 1954 г. подводные работы и исследования сместились в основном на южную часть Кипра, а на северной географии пришли к длительному замедлению. С 1974 года на северном Кипре было проведено всего несколько подводных работ. Самым известным и последним из них является подводное исследование Акантоу-Татлысу. К большому сожалению для археологов и ученых, ситуация де-факто в значительной степени препятствует целостному археологическому исследованию и, следовательно, целостному взгляду на культурное наследие острова.

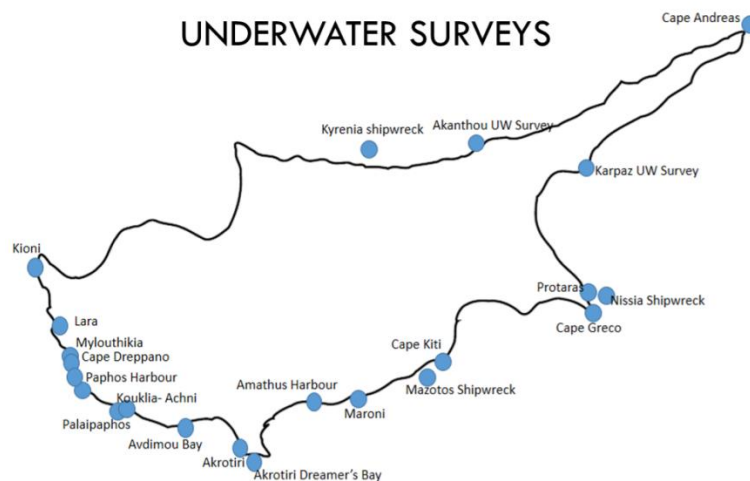


Рис. 1. Расположение наиболее значимых объектов подводного культурного наследия у побережья о. Кипр.

По словам Шевкетоглу и ее союзников, отсутствие исследований в северной части острова помешало развитию действительно общеоостровной археологии. для сохранения богатого культурного наследия острова. Тем не менее, между двумя сторонами Кипра налажено успешное сотрудничество, которое доказало, что изменение отношения может быть конструктивным и позитивным в деле защиты, сохранения и исследования культурного наследия на острове.

Опять же, по словам Шевкетоглу и его союзников, «плохое состояние культурного наследия на Кипре, особенно на севере, было в основном связано с проблемами, возникающими из-за чрезмерно затянувшейся аномальной ситуации, нехватки финансовых ресурсов на севере из-за эмбарго. и сложная политическая ситуация. Эти проблемы усугублялись нежеланием всех сторон сотрудничать, несмотря на то, что это было возможно в других областях. Кампании дискредитации с обеих сторон также создали атмосферу недоверия между двумя общинами. Тем не менее, между двумя сторонами Кипра налажено успешное сотрудничество, которое доказало, что изменение отношения может быть конструктивным и позитивным в деле защиты, сохранения и исследования культурного наследия на острове.

Управление подводным культурным наследием. Управление наследием — это применение методов управления для сохранения и развития культурных ресурсов, чтобы они продолжали существовать как частью культурного наследия с долгосрочной ценностью и пользой для широкой публики. В практику вовлечены правительственные организации, неправительственные организации, академические учреждения и общественность. Археологические исследовательские институты играют важную роль в создании исследовательских и образовательных платформ для подводной археологии с национальным и международным влиянием.

В 1993 году на Кипре в Университете Кипра было создано подразделение археологических исследований. Еще, на Кипре были организованы две международные конференции. Один, в 1993 году, был организован только что созданным археологическим исследовательским отделом Кипрского университета и Управлением портов Кипра под названием «Кипр и море». Второй, под названием «Res Maritimae: Кипр и Восточное Средиземноморье от предистории до поздней античности», был организован Кипрско-американским археологическим институтом (СААРИ) год спустя, в 1994 г. который был посвящен морским делам в восточном Средиземноморье с раннего голоцена до римского периода.

Фонд THETIS был основан на Кипре в 2004 году Адонисом Пападопулосом, кипрским бизнесменом, у которого были средства и энтузиазм, чтобы помочь начать подводную

археологию. Сам Фонд исследований не проводил; его общая цель заключалась в документировании и популяризации морского культурного наследия острова, главным образом путем финансовой поддержки археологических исследований в кипрских водах.

Хотя не существует руководства о том, как создать новую субдисциплину в археологической практике страны, Конвенция ЮНЕСКО, безусловно, заложила основу передового опыта для этой цели. В отношении полевых работ, например, директивы ясны: хорошо обученные и образованные археологи должны участвовать правительственным агентствам и авторитетным исследовательским организациям, которые, в свою очередь, должны проводить обширные исследования для картирования подводных древностей, прежде чем отдавать приоритет инвазивным процессам, таким как раскопки. Это описывает проактивную, а не реактивную практику, которая, однако, еще не нашла много успешных применений.

В 2010 году Департамент древностей создал Лабораторию консервации заболоченных артефактов, первоначально для обработки находок Мазотоса. Несмотря на свой первоначальный реактивный характер, эти значительные инвестиции в инфраструктуру имели ключевое значение для проактивного подхода к подводной археологии.

В 2012 году MARELab был создан в Университете Кипра, и особое внимание было уделено образованию и обучению. Курсы морской археологии были включены в учебную программу бакалавриата, чтобы студенты познакомились с предметом, независимо от того, какую специальность они могут выбрать в будущем. На сегодняшний день студенты-исследователи пишут диссертации по морской тематике, тем самым дополняя предыдущую работу по морским вопросам на кафедре.

Магистерская программа «Полевая археология на суше и под водой» была введена в 2014 году в Университете Кипра, и все большее число студентов выбирают специализацию в области морской археологии.

В 2016 г. Археологический закон Кипра был изменен на основе Правил Приложения к Конвенции ЮНЕСКО 2001 г. (Официальный вестник правительства Кипра, выпуск 4956, Закон № 218, страницы 1609–15). В соответствии с новой практикой, перед любыми строительными работами в море необходима археологическая оценка; эта служба на данный момент передана на аутсорсинг, но контролируется Департаментом древностей.

Между тем, благодаря исследованиям и раскопкам затонувшего корабля Мазотос под руководством кипрской основной группы, с 2007 года было организовано в общей сложности шесть целевых полевых школ для повышения потенциала в области подводной археологии. Начиная с 2007 г. и продолжая в 2008, 2009, 2015, 2016 и 2017 гг., в этих шести полевых школах прошли обучение 48 киприотов (43 студента-археолога и 5 дайверов), а также 18 участников из других стран.

Туризм культурного наследия: новая тенденция и перспективы подводного культурного наследия. Туризм культурного наследия (или просто туризм наследия) – это отрасль туризма, ориентированная на культурное наследие места, где происходит туризм. Понятие культурного туризма очень сложное, и среди ученых ведутся долгие споры о его определении и концептуализации, в связи с чем существует множество определений этого термина.

Согласно определению, принятому Генеральной Ассамблеей ЮНВТО на ее 22-й сессии (2017 г.), культурный туризм подразумевает «вид туристической деятельности, в котором основной мотивацией посетителя является изучение, открытие, опыт и потребление материальных и нематериальных культурных достопримечательностей». Объекты в туристическом направлении эти – достопримечательности / объекты относятся к набору отличительных материальных, интеллектуальных, духовных и эмоциональных особенностей общества, которое охватывает искусство и архитектуру, историческое и культурное наследие, кулинарное наследие, литературу, музыку, творческие индустрии и живые культуры с их образом жизни, ценностью, системы, верования и традиции».

Море, окружающее Кипр, является важной частью кипрского подводного культурного наследия, и для более целостного представления о культурном наследии острова подводное культурное наследие необходимо тщательно изучить и представить зрителям для более целостной картины. Сегодня на острове Кипр есть многочисленные затонувшие корабли, музеи и подводные исторические памятники, служащие туристическими достопримечательностями. Это составляет более 20 регионов кораблекрушений вокруг Кипра, затонувших либо естественным путем из-за аварии, либо намеренно служащих подводным аттракционом для дайверов. Эти кораблекрушения когда то служили торговыми судами, военными кораблями, рыбацкими лодками, прогулочными пассажирскими судами, кораблями береговой охраны, происходящими из России, Швеции, Великобритании, Германии, и сегодня они служат аттракционами для аквалангистов, отдыхающих под морской водой на глубине от 7 до 42 метров.

Мы можем добавить гавань Аматуса в качестве одной из подводных археологических достопримечательностей для посетителей культурного туризма. Древняя гавань была открыта для широкой публики в качестве подводной археологической достопримечательности в июле 2022 года в рамках проекта «Андикат». Проект, совместно финансируемый Европейским Союзом (ERDF) и национальными ресурсами Греции и Кипра (Программа сотрудничества Interreg V-A Греция – Кипр 2014-2020). Он был запущен в июле 2022 года и в настоящее время служит туристической достопримечательностью.

Признавая, что культурное и природное наследие составляет неотъемлемую часть уникального подводного ландшафта Аматуса, постоянные вторжения, сделанные проектом ANDIKAT, были минимальными и служат открытым приглашением для различных общественных групп посетить древнюю гавань и ее окрестности. Три информационных щита, один у входа в археологические раскопки Аматуса и два вдоль прибрежной дорожки, предоставляют информацию для пешеходов, а четыре подводных информационных щита служат ориентирами для пловцов. Поскольку это сайт с открытым доступом, упор был сделан на персонализированные посещения. С этой целью для смартфонов было создано приложение «Гавань Амафуса», для предоставления посетителям дополнительную информацию о районе на греческом и английском языках.

Удаленная навигация возможна с помощью интерактивной карты, которая предоставляет информацию, дополненную аудиовизуальными средствами. Находясь на сайте, приложение показывает географическое положение посетителя, указывая достопримечательности, которые находятся поблизости. Пользователи также могут улучшить впечатления от посещения, активировав аудиоэкскурсию, которая поможет им открыть для себя самые важные останки. Прогуливаясь по постоянно меняющемуся побережью и слушая или читая об истории и окружающей среде этого ландшафта, посетители могут создать свои собственные маршруты, прежде чем отправиться в плавание, чтобы поближе познакомиться с остатками древней гавани Аматуса.

Культурно-исторический туризм – это инструмент экономического роста и развития за счет привлечения посетителей из-за пределов принимающего сообщества, которые полностью или частично мотивированы интересом к историческим, художественным, научным или образам жизни/наследию, предлагаемым сообществом, регионом, группой или учреждением. Такое туристическое путешествие будет включать знакомство с культурной средой, включая пейзажи, изобразительное и исполнительское искусство, а также особый образ жизни, ценности, традиции и события.

Валоризация (повышение ценности) подводного культурного наследия рассматривается в контексте включения политического участия и совместных усилий государственных и частных организаций по развитию туризма. Чтобы валоризовать / повысить ценность подводного культурного наследия, должна быть разработана стратегическая политика, включающая правительство, государственные и частные секторы, сосредоточенные на культуре и дайв-туризме.

Заключение. В последние годы валоризация подводного культурного наследия и включение этой ценности к туристической деятельности стало неотъемлемой частью

культурного туризма. Проект BLUEMED — проект в рамках программы ЕС Interreg Med 2014–2020 (<https://bluemed.interregmed.eu/>, по состоянию на 30 ноября 2021 г.) с целью «согласовывать/интегрировать политику регионального развития, планы и методы управления подводными музеями и дайвинг-парками для валоризации/повышения ценности туризма подводного природного и культурного наследия в соответствии с принципами устойчивого, ответственного, голубого роста». Проект распространяет практику. BLUEMED стремится определить руководство для потенциальных пользователей всех данных и продуктов, связанных с морской средой, в поддержку экономического роста региона. Модель BLUEMED представляет собой интегрированный план, разработанный в рамках проекта BLUEMED, который продвигает подводное культурное наследие как для дайверов, так и для тех, кто не занимается дайвингом, посредством создания доступных объектов подводного культурного наследия (AUCHS) и направлен на повышение устойчивого развития местного туризма в прибрежных районах и на островах.

Республика Кипр прошла долгий путь, актуализируя подводную археологию и подводное культурное наследие, что уже видно в древней гавани Аматыса. В сочетании с недавними событиями, как запущенные подводные археологические работы в северной географии Кипра, валоризация подводных проектов Аматыс и Аканту-Татлысу может привести к более целостному взгляду на подводного культурного наследия Кипра. В зависимости от проактивных усилий и подходов властей острова Кипр может быть представлено и более целостное представление, который охватит больше национальной и международной аудитории, а также улучшить управление и эксплуатацию подводного культурного наследия, вызывая растущий региональный доход и улучшая видимость целостную картину культурного наследия острова Кипр.

Список литературы

1. INTERNATIONAL CULTURAL TOURISM CHARTER Managing Tourism at Places of Heritage Significance (1999)
2. DEMESTICHA, Stella. Cutting a Long Story Short?: Underwater and Maritime Archaeology in Cyprus. *Journal of Eastern Mediterranean Archaeology & Heritage Studies*, 2018, 6.1-2: 62-78.
3. HARPSTER, Matthew. Maritime archaeology and maritime heritage protection in the disputed territory of Northern Cyprus. *Journal of Maritime Archaeology*, 2008, 3.1: 3-13.
4. MANGLIS, Angelos; FOURKIOTOU, Anastasia; PAPADOPOULOU, Dimitra. A Roadmap for the Sustainable Valorization of Accessible Underwater Cultural Heritage Sites. *Heritage*, 2021, 4.4: 4700-4715.
5. NUNES, C. H.; ROEDER, F. Tourism and Algarve's underwater heritage valorisation. A case study. *Journal of Maritime Research*, 2014, 11.1: 35-44.
6. ROSENFELD, Raymond. (2008). CULTURAL AND HERITAGE TOURISM.
7. ŞEVKETOĞLU, Müge; TUNCEL, Riza; ŞAHOĞLU, Vasif. Protecting the cultural heritage of Cyprus: international laws and concerns. *Journal of Eastern Mediterranean Archaeology & Heritage Studies*, 2015, 3.2: 141-148.
8. 2001 Unesco Convention on the Protection of the Underwater Cultural Heritage
9. <https://ucyweb.ucy.ac.cy/marelab/en/research/andikat-project?tmpl=component&print=1&page=>

УДК 37; 355.75

Рубрика 13.61.09

МОРСКОЕ НАСЛЕДИЕ ПЕТРА ВЕЛИКОГО: СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ.

PETER THE GREAT'S MARITIME HERITAGE: STRUCTURE AND CONTENT

Мозговой Сергей Александрович

¹ *Российский научно-исследовательский институт культурного и природного наследия имени Д.С. Лихачёва, Москва*

² *Русское географическое общество, Москва*

Mozgovoy Sergey Aleksandrovich

¹ *Russian Heritage Institute, Moscow*

² *Russian Geographical Society, Moscow*

Морское наследие России во многом зиждется на тех основах и принципах, которые заложил основатель регулярного флота России и основоположник сохранения морского наследия Петр Великий. Структурно морское наследие Петра можно рассмотреть следующим образом:

Петр I – основатель Российского регулярного флота. Петровское морское наследие появлялось в результате активной морской деятельности практически одновременно с созданием регулярного военного флота, отсчет которого в отечественной историографии принято считать решение Боярской думы «Морским судам быть...», состоявшееся 20 (30) октября 1696 г. Рассматривая этот вопрос видно зарождение и становление морского дела в России, включающее морские реформы Петра I, судостроение (создание верфей, опыт строительства кораблей, судов), освоение морских наук и технологий в период «Великого Посольства» и основание морского образования в России, борьба Петра за выход к морям (Азовские походы Петра I, основание Санкт-Петербурга и Балтийского флота и др.), морские сражения и победы Петровского военно-морского флота. Каждое из этих вех морской деятельности Петра весьма объёмно, а потому выделено в историографии. Например, это исторические аспекты строительства флота и его применение в азовских походах, в Северной войне (1700-1721); Русский флот в Персидском походе (1722-1723) и др. и как следствие зарождение отечественной школы военно-морского искусства. А также забота Петра об исследовании морей и океанов, ведении морской торговли. Все эти темы были в поле зрения исторической науки.

При Петре I было положено начало созданию регулярного флота. В 1696 г. по указу Петра I началось строительство Азовского флота. В ходе Северной войны за сравнительно короткий срок был создан Балтийский флот, сыгравший важную роль в победе над Швецией и выдвинувший Россию в число сильных морских держав. Именно создание флота и строительство крепости и города на берегу Финского залива позволило Петру, прорубив «окно в Европу», разгромить противника и модернизировать Россию, благодаря чему она вышла в число сильных стран. Благодаря успешной морской деятельности и господству на море все развитые государства мира, включая Россию, добились своего военного и экономического могущества. [1. С.8-32]

Благодаря Петру I развитие морского дела в России оказалось поднятым на государственный уровень, созданы учреждения, осуществляющие руководство морской деятельностью, появилось судостроение, учрежден регулярный военный флот, созданы предпосылки для появления торгового флота и для исследования морей, описания берегов. [2. С. 26.].

По инициативе Петра в России была начата подготовка кадров для флота как за границей, так и в России (Мореходная школа в Азове, «Школа математических и навигационных, то есть мореходных хитростно наук учения», т.е. Навигацкая школа, Морская академия), накоплены знания в области морских и иных наук, разработан ряд уставных документов («Указ по галерам», 1696 г; «Книга Устав морской. О всем, что касается доброму управлению в бытности флота на море», 1720 г. и др.). Заслуга авторов первого морского устава перед отечественной военно-морской наукой состоит в том, что они заложили основы военно-морского языка, сделав важный шаг к систематизации понятий, на базе которых впоследствии сформировалась первая научная теория боевого применения флота (морская тактика). [3. С. 81].

Зародившаяся при Петре теория военно-морского дела включала в себя систему знаний, необходимых для строительства, подготовки, организации повседневной и боевой деятельности флота. В зависимости от задач боевых действий на море, царь применял разные виды корабельного состава. Так, вначале Северной войны в целях обороны, предпочтение отдавалось строительству малых гребных судов. А на завершающем этапе, когда перед флотом стояли задачи борьбы с противником на Балтике и нарушении его морских коммуникаций интенсивно началось строительство корабельного парусного флота, который также успешно применялся вместе с гребным для содействия сухопутным войскам. Петр I и его военачальники умело организовывали стратегическое и тактическое взаимодействие армии и флота, что вошло в сокровищницу русского военного искусства. [2. С. 28].

Петр много сделал для исследования и описания новых присоединённых земель. При нем были приняты меры по составлению подробных карт. Так, для изучения Дальнего Востока, сборе сведений о Камчатке и Алеутских островах, туда были направлены экспедиции В.В. Атласова (1696-1700 гг.). Затем исследовались острова Курильской гряды. По его поручению была организована первая Камчатская экспедиция под руководством капитан-командора В.И. Беринга (1725-1732 гг.). В 1701 г. появилось описание и карта Азовского моря. В первой четверти XVIII века было организовано несколько экспедиций по изучению и описанию Каспийского моря и др.

Однако сегодня также заслуживает особого внимания взгляд на деятельность Петра как основоположника сохранения морского наследия. Становление морского дела в России вызвало необходимость накапливать, сохранять и изучать опыт морской деятельности, который, в конечном счете, представляет собой морское наследие. В эпоху Петра Великого начался сбор коллекций и сохранение исторических морских артефактов, которые в настоящее время мы именуем объектами и предметами морского культурного наследия. Петр положил начало собиранию морских коллекций, состоявших как из объектов культурного, так и природного наследия. Причем начинал Петр с Модель-камеры, решение о создании которой он принял 13 (24) января 1709 года. В ней предписывалось собирать и хранить чертежи и модели построенных кораблей. В 1714 году по чертежам Петра была построена новая модель-камера (в 1718 г. переехала в новое здание). В 1722 г. в свет вышел специальный «Регламент об управлении Адмиралтейства и верфи, 25 артикул 20 главы

которого гласил: «Когда какой корабль строить, то надлежит приказать тому мастеру, что корабль строит, сдать половинчатую модель на доске, и оную купно с чертежом по спуске корабля отдать в коллегию Адмиралтейскую», имеющую главную дирекцию над Модель-камерой, куда с того времени стали поступать все модели и чертежи. [4. С. 16.]. А морские трофеи, захваченные в боях и флотские реликвии, связанные с важными событиями в жизни флота, прежде всего победами, первоначально хранились в цейхгаузе, соборе Петропавловской крепости и Кронштадтском арсенале. [5. С. 9-10.]. Отдельные модели кораблей и судов Петра Великого по его решению хранились в здании Куст-камеры, а в 1848 г. были переданы в Морское Министерство [6]. Модель-камера при Адмиралтейств-коллегии со своей коллекцией впоследствии составила основу морского музея (ныне Центральный военно-морской музей имени Петра Великого). Таким образом, история главного военно-морского музея нашей страны отсчитывается с 1709 года.

7 (18) февраля 1722 г. Пётр I собственноручно написал специальный Указ, получивший известность как Петровский указ «Февраля 7. – Именной, данный Воеводам Переяславским. – О бережении остатков кораблей, яхт и галер» и гласивший: «Надлежит вам беречь остатки кораблей, яхт и галеры, а буде опустите: то взыскано будет на вас и на потомках ваших, яко пренебрегши сей указ. Петр». [7]. Таким образом, 18 февраля 2022 г. по новому стилю исполнилось 300 лет этого Указа, положившего начало сохранению исторических кораблей.

Мы имеем две исторические даты, с которых можно официально отсчитывать начало сохранения морского наследия России: 24 января (1709) и 18 февраля (1722). Первая дата стала началом сбора морской коллекции, вторая – началом сохранения памятных исторических кораблей. На практике же, выведенные из эксплуатации суда сохранялись по указанию Петра с 1719 г. В их числе первый фрегат Балтийского флота «Штандарт», шнява «Мункер», трофейные корабли - фрегат «Элефант», шнява «Астрильд» и др. В последующие годы число сохраняемых кораблей росло и к 1732 г. превысило два десятка. Например, в 1724 г. принято решение о приеме от Коломинского магистрата на хранение галеры, бывшей с Петром I в Каспийском походе. [8]. До наших дней сохранились три уникальных исторических петровских памятника - это ботик Петра I, получивший название «дедушка русского флота» (хранится в ЦВММ), бот «Фортуна» - единственное уцелевшее судно «Потешной флотилии» (хранится в музее-усадьбе на берегу Плещеева озера и разъездная лодка – верейка, построенная по преданию собственноручно самим царем Петром и хранящаяся в музее Домик Петра I [9. С. 423].

Благодаря Петру появилось морское нематериальное культурное наследие, к которому относится зарождение русского морского искусства, освоение передовых технологий судостроения и судовождения, появление морских традиций, церемоний и т.п. Примерами могут служить написанные Петром военно-морские церемонии, которые организовывались после успешных походов и морских сражений (после успешного второго азовского похода и взятия крепости Петр организовал торжественную встречу победоносных войск в Москве. После знаменитой Гангутской победы 1714 г., принесшей славу русскому флоту, последовала придуманная Петром торжественная церемония, и др) [10].

Отдельный самостоятельный блок представляет собой вопрос памяти о Петре как основателе Российского флота в научной и художественной литературе, топонимике, картографии, наименовании кораблей (судов), монументальном и изобразительном искусстве, нумизматике, филателии и фалеристике. Отражение памяти о Петре является не только интересным и наглядным направлением в изучении морского наследия, но и весьма

важным в научно-педагогической, военно-патриотической и музейной деятельности. Известный российский историк В.О. Ключевский, анализируя деятельность Петра I, писал: «Проходя сухопутную и морскую службу, он принял за правило первому обучаться всякому новому делу, чтобы показать пример и обучать других». [11. С. 167].

Список литературы

1. Мозговой С.А. Морское культурное наследие России: изучение, сохранение, музеефикация / С. А. Мозговой. — М. : Институт Наследия, 2021. — 434 с. : - ил., прилож. URL: <https://heritage-institute.ru/?books=morskoe-kulturnoe-nasledie-rossii-izuchenie-sohranenie-muzeefikacziya-s-a-mozgovej-m-institut-naslediya-2021>
Дата обращения: 15.09.2022
2. Монаков М.С., Овчинников В.Д. Пётр Великий – человек-эпоха // Морской сборник, 2022, № 6. С. 25-30.
3. Монаков М.С. Военно-морская наука в России: происхождение, возникновение и становление национальной системы знаний о вооруженной борьбе на море / Отв.ред. А.П. Аристов.- М.: Кучково поле, 2011. – 560 с.
4. Огородников С.Ф. Модель камера, впоследствии Морской музей имени императора Петра Великого: Исторический очерк. 1709-1909. СПб, 1909. С. 16.
5. Рогачев Г.М. Центральный военно-морской музей: страницы истории // Труды Центрального военно-морского музея. Сборник научных статей. Юбилейный выпуск. – СПб., 1999. – С. 9-10.
6. О принятии в Морское Министерство хранящееся при Императорской академии наук, в здании куст-камеры отделения кабинета Петра Великого, моделей кораблей и разных судов, для хранения // РГАВМФ. Ф. 158. Д. 2250. Л. 1-8.
7. О бережении остатков кораблей, яхт и галер // Полное собрание законов: Собрание I. – Том 6. – С. 510. - № 3903.
8. О приеме от Коломинского магистрата Его Императорского Величества галеры, бывшей с Петром I в Каспийском походе // РГАВМФ. Ф. 182. Д. 57. Л. 1.
9. Мозговой С.А. К вопросу о музеефикации кораблей (судов) // Морские исследования и образование (MARESEDU-2021). Труды X Международной научно-практической конференции. Том III (III). Тверь, 2021. Издательство: Общество с ограниченной ответственностью "ПолиПРЕСС". С. 423-427. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48490228> Дата обращения: 15.09.2022.
10. Мозговой С.А. Петр I как основоположник сохранения морского наследия // Елагинские чтения. Сборник статей. Вып. XI / Федеральное архивное агентство; Российский государственный архив Военно-Морского Флота. – СПб.: 2022. -С. 131-140.
11. Ключевский В.О. Исторические портреты. Деятели исторической мысли. М., 1990. – 626 с.

УДК 550.4

Рубрика 38.33.01

**РАБОТЫ МЧС РОССИИ НА ПОДВОДНЫХ ПОТЕНЦИАЛЬНООПАСНЫХ
ОБЪЕКТАХ В КАРСКОМ МОРЕ.**

**THE WORK OF THE MINISTRY OF EMERGENCY SITUATIONS OF RUSSIA ON
POTENTIALLY HAZARD UNDERWATER OBJECTS IN THE KARA SEA**

**Тузов Федор Константинович¹, Вялышев Александр Иванович¹, Долгов Александр
Анатольевич¹, Зиновьев Сергей Владимирович¹**

¹ *Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны
и чрезвычайных ситуаций МЧС России (ФЦ), Москва*

**Tuzov Fedor Konstantinovich¹, Vyalyshev Aleksandr Ivanovich¹, Dolgov Aleksandr
Anatolievych¹, Zinoviev Sergey Vladimirovich¹**

¹ *Federal Government Budget Institution "AllRussian Research Institute for Civil Defense and
Emergencies" (Federal Center of Science and High Technology), Moscow*

Введение

Проблема безопасности затопленных потенциально опасных объектов впервые открыто прозвучала после трагедии с АПЛ «Комсомолец», затонувшей в Норвежском море в 1989 году из-за пожара на борту. Реактор подводной лодки был заглушен, однако оставались торпеды с боеголовками с ядерным зарядом [Вялышев, 2021].

Задачей проекта программы действий МЧС России по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций на подводных потенциально опасных объектах (ППОО) до 2030 года является обеспечение безопасности населения и территорий при возможных чрезвычайных ситуациях с этими объектами. Для оценки состояния ППОО МЧС России совместно с Институтом Океанологии им. П.П. Ширшова РАН и другими организациями регулярно проводит экспедиционные работы в районах затопления данных объектов. На основании проводимых исследований выполняется корректировка Реестра подводных потенциально опасных объектов.

Данные и методы

В качестве источника данных использовались отчеты об экспедициях в Карском море, проведенных в период с 2002 по 2021 год. Во время экспедиций производилось обследование ППОО, а в районах их затопления отбирались пробы грунта и пробы воды для исследования на концентрацию радионуклидов. В основном, работы проводились у восточного побережья архипелага Новая Земля, а именно в заливах: Абросимова, Степового, Цивольки и Благополучия. Были обследованы затопленные АПЛ и их реакторные отсеки (Отсек АПЛ К-19 зав. № 901, отсек АПЛ К-3 зав. № 254, Реакторный отсек АПЛ К-5 зав. №260, атомная подводная лодка К-27 зав. № 601, Отсек АПЛ К-11 зав. № 285, Отсек АПЛ К-140), экранная сборка и реакторная установка ледокола Ленин, затопленные теплоходы и баржи с ТРО и полигоны затопления контейнеров с ТРО. Основным индикатором утечки радионуклидов из ППОО, а, следовательно, разрушения защитных барьеров, является обнаружение радионуклидов - продуктов деления ядерного топлива: ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr и ⁶⁰Co [Вялышев и др., 2019, Нерсеров, Римский-Корсаков, 2021].

Результаты.

В данном разделе обобщены результаты экспедиционных исследований подводных потенциально опасных объектов.

В 2012 году в заливе Цивольки произведено обследование экранной сборки атомного ледокола Ленин (рис. 1). Визуальный осмотр понтона с экранной сборкой и частью облученного ядерного топлива подтвердил вывод экспедиции 2011 года о том, что внешний защитный барьер, сделанный из углеродистой стали, практически полностью разрушился в результате коррозии. От внешней оболочки осталась только верхняя часть с кессоном и горловинами системы заливки бетона. Поверхность бетонной заливки, находившаяся под стальной оболочкой сохранилась в хорошем состоянии и не имеет следов явных повреждений. Анализ радионуклидного состава подтвердил, что радиационная обстановка вблизи понтона с экранной сборкой с наибольшим радиационным потенциалом на всем архипелаге Новая Земля [Вялышев А. И. и др., 2019] соответствует фоновой.

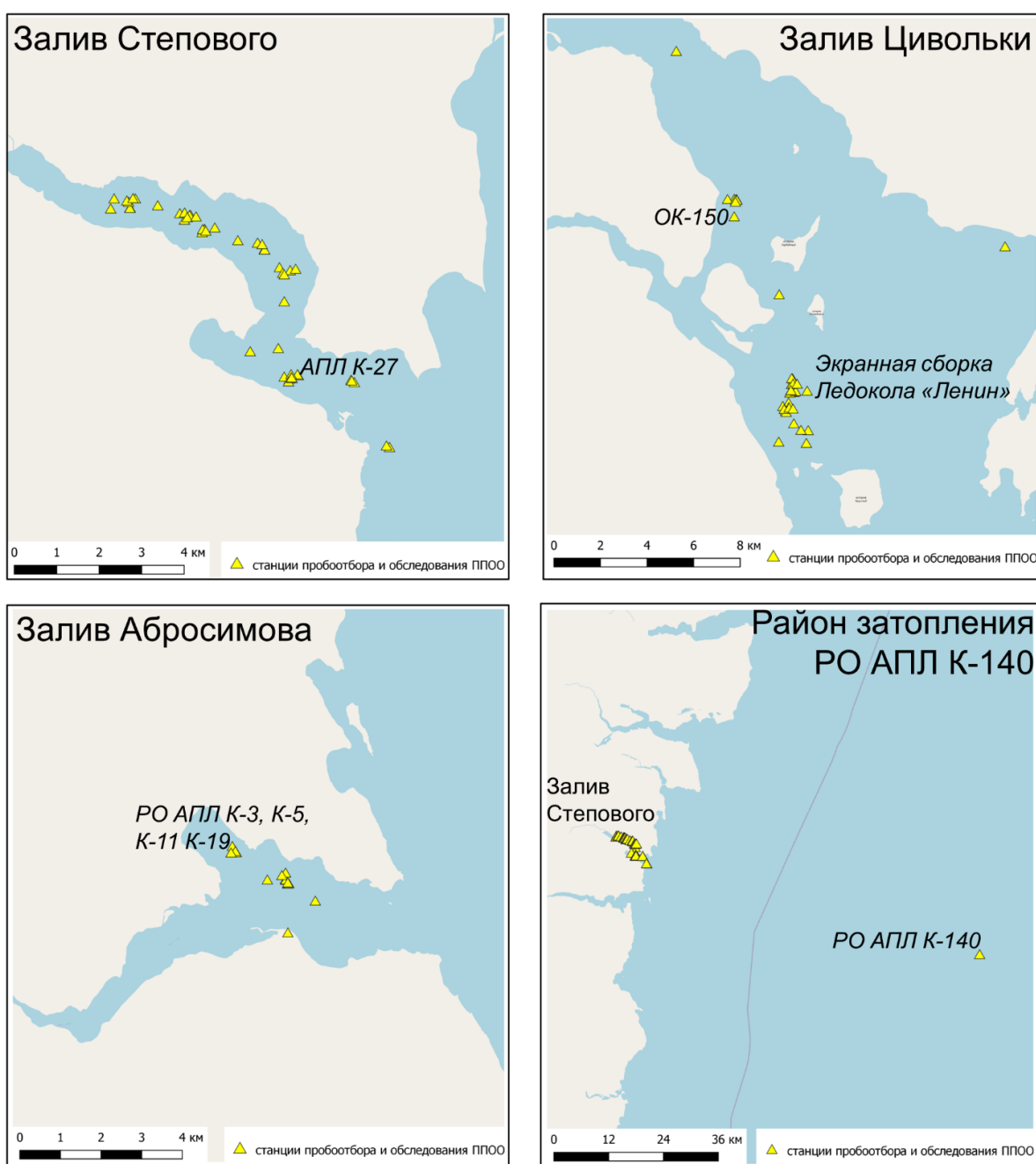


Рис. 1. Схема расположения подводных потенциально опасных объектов и станций пробоотбора в заливах архипелага Новая земля и в Новоземельской впадине.

Помимо экранной сборки ледокола Ленин было проведено обследование реакторной установки ОК-150. В районе затопления установки был произведен пробоотбор донных отложений для определения содержания радионуклидов. Обработка спектрометрических данных позволила выполнить расчетную оценку содержания ^{137}Cs . Концентрация ^{137}Cs в точке измерения не превышает $2,4 \pm 1,7$ Бк/кг. Интерпретировать полученный результат можно как остаточное загрязнение установки цезием, образовавшееся в ходе ее эксплуатации или же во время выгрузки топлива из активных зон реакторов ядерной энергетической установки. Ни в одном из других спектров, полученных в ходе обследования ОК-150, следов техногенной радиоактивности (в том числе – радионуклидов активационного происхождения, которые теоретически должны определять радиационную обстановку вблизи данного ППОО) обнаружить не удалось. Таким образом, полученные данные позволили подтвердить вывод экспедиции 2011 г. о том, что радиационная обстановка в районе затопления установки ОК-150 определяется радионуклидами естественного происхождения, в первую очередь – ^{40}K .

В заливе Абросимова обследовались реакторные отсеки АПЛ К-3, К-5, К-11 и К-19 (рис. 1). Анализ проб донных отложений в районе подводных лодок К-3, К-5 и К-19 позволил получить оценку содержания ^{137}Cs . Согласно результатам расчетов, концентрация ^{137}Cs в донных отложениях не превышает $8,9 \pm 5,7$ Бк/кг. Таким образом, можно сделать вывод о том, что радиационная обстановка в районе затопления РО АПЛ К-3 и К-19 определяется радионуклидами естественного происхождения, в первую очередь – ^{40}K . Однако в районе АПЛ К-11 в пробах грунта обнаружено содержание ^{137}Cs 300 Бк/кг. Это может свидетельствовать о выходе радионуклидов из реакторного отсека и негерметичности защитных барьеров. По данным, полученным в экспедиции 2006 было зафиксировано радионуклидное загрязнение вблизи данного объекта 650 Бк/кг.

В заливе Степового была обследована АПЛ К-27 (рис. 1). В результате обследования установлено, что, радиационный фон в районе затопления подводной лодки формируется радионуклидами естественного происхождения, в первую очередь – ^{40}K . Результаты обследования корпуса свидетельствуют о целостности защитных барьеров АПЛ.

В 2021 году во время рейса на НИС «Академик Мстислав Келдыш» в Новоземельской впадине (рис. 1) на глубине 346 м был обнаружен объект, идентифицированный как баржа МБСН, на которой размещен реакторный отсек АПЛ К-140. При обследовании баржи с помощью АНПА удалось провести съемку при помощи гидролокатора бокового обзора и получить общие фотографии.

Помимо перечисленных выше крупных подводных потенциально опасных объектов обследовались захоронения твердых радиоактивных отходов, расположенные в заливах Новой земли.

Заключение

Материалы, получаемые в ходе экспедиций, позволяют оценить современное состояние подводных потенциально опасных объектов в Карском море. Благодаря проводимым исследованиям происходит актуализация Реестра подводных потенциально опасных объектов МЧС России. С помощью геофизической аппаратуры (гидролокаторы бокового обзора, эхолоты), ТНПА и АНПА с фото- и видеокамерами производится уточнение координат и особенностей расположения ППОО. Свойства защитных оболочек сохранены у большинства ППОО и выход радионуклидов в окружающую среду не происходит. Однако выявлены случаи локального радиоактивного загрязнения донных отложений у РО АПЛ К-11.

Список литературы

1. *Вяльшев А. И.* МЧС России и подводные потенциально опасные объекты //Технологии гражданской безопасности. – 2021. – Т. 18. – №. 1 С. 131-137.
2. *Вяльшев А.И., Добров В.М., Долгов А.А., Некрасов Б.А., Римский-Корсаков Н.А.* Экологический мониторинг окраинных морей России. - М. ФГБНУ- Аналитический центр. 2019. - 240 с.
3. *Нерсесов Б. А., Римский-Корсаков Н. А.* Результаты экологических исследований российских арктических морей //Российская Арктика. – 2021. – №. 2 (13). – С. 14-25.

Научно-популярные фильмы

Popular science films

НАГРЕВ ОКЕАНА И ТАЯНИЕ ЛЕДНИКОВ ГРЕНЛАНДИИ И АНТАРКТИКИ,
ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ЭНДОГЕННОЙ АКТИВИЗАЦИЕЙ ПЛАНЕТЫ

OCEAN HEATING AND MELTING OF THE GREENLAND AND ANTARCTIC
GLACIERS CAUSED BY GLOBAL ENDOGENOUS ACTIVATION

Механтьева Наталья Павловна, Хромова Елизавета Вадимовна

Международный проект «Созидательное общество»

Mekhanteva Natalia Pavlovna, Khromova Elizaveta Vadimovna

International Project «The Creative Society»

Одним из самых известных фактов изменения климата считают таяние ледников Антарктиды и Гренландии. Рассмотрим геологию и последние научные данные о процессах в этих регионах.

Исследования последних лет показывают, что с 1992 года Антарктида потеряла почти три триллиона тонн льда [1]. За последние три десятилетия скорость таяния льда в Антарктиде выросла на 65%. До 2012 года Антарктида теряла лед со скоростью 76 миллиардов тонн в год, но за последние пять лет этот показатель увеличился до 219 миллиардов тонн в год. Ледник Пайн-Айленд, который считается самой уязвимой точкой Антарктиды, ежегодно теряет около 45 миллиардов тонн льда [2]. Вторым самым известным ледником Антарктиды является гигантский шельфовый Ледник Туэйтс. Если ледник Туэйтса и соседний с ним Пайн-Айленд растают полностью, их вклад в повышение уровня мирового океана составит примерно 10%. Оба ледника располагаются в западной части Антарктиды. Важной особенностью является тот факт, что только в западной части материка и тают ледники.

В отличие от Восточной Антарктиды, сложенной большим массивом суши, где толщина земной коры достигает 40 километров, Западная Антарктида — это молодой в геологическом отношении регион, состоящий из нескольких небольших и тонких блоков земной коры, которые отделены друг от друга системами разломов и траншей — рифтовыми зонами. В результате большая часть суши Западной Антарктиды находится на один-два километра ниже уровня моря. Западная Антарктида — это один из самых больших вулканических регионов на Земле. Подо льдами найдено более 140 вулканов.

На основе данных аэромагнитных наблюдений ученые из Германии и Британской антарктической службы составили карту геотермального теплового потока в Западной Антарктиде и обнаружили под льдами ледника Туэйтса зону поступления из недр Земли большого количества геотермального тепла [3, 4]. Как показывают расчеты ученых, эта область прогревает расположенные над ней породы и слои льда почти с такой же силой, как и Йеллоустонский супервулкан, то есть 150 милливатт на квадратный метр и 180 в районе разломов. Это примерно в три раза больше тепла, чем соседние слои горных пород. По мнению авторов, это связано с тем, что ледник лежит в тектонической впадине, где земная кора значительно тоньше. Геотермальный поток Западной Антарктиды коррелируется с зонами повышенного таяния ледников.

Группа ученых из Университета Род-Айленда и Университета Восточной Англии опубликовала статью в газете Nature Communications, где заявили, что они обнаружили новый фактор быстрого таяния ледника Пайн-Айленд в Антарктиде - ранее неизвестного активного вулкана, погребенного глубоко подо льдами [5]. Повышенные уровни газообразного гелия-3, обнаруженные в водах вокруг ледника Пайн-Айленд, указывают на вулканическую активность под ледниковым щитом, демонстрируя в 25 раз больше тепловой энергии, чем у спящего вулкана. Учёные обнаружили большое количество изотопа гелия, который поступает почти исключительно из мантии, что является прямым доказательством вулканизма.

Новое международное исследование показало, что Земля поднимается в некоторых частях Западной Антарктиды с одним из самых быстрых темпов, когда-либо зарегистрированных. Скорость подъема пород в море Амундсена напротив ледника Пайн-Айленд составляет 41 миллиметр в год, что в три раза быстрее, чем на других участках [6]. Даже в таких местах, как Исландия и Аляска, где наблюдается быстрые темпы подъема, обычно измеряется рост на 20–30 миллиметров в год. Учёные пришли к выводу, что мантия в районе Западной Антарктиды более горячая и текучая, чем они ожидали ранее.

Эксперты NASA из Лаборатории реактивного движения на основе данных со спутников NASA ICESat и Icebridge пришли к выводу, что под поверхностью Западной Антарктиды находится мантийный плюм Мари Бёрд, площадью почти миллион квадратных километров [7].

По словам профессора Карена Хейвуда, геотермальное тепло от Западно-Антарктического рифта нагревает океанскую воду, что, в свою очередь, приводит к постепенному таянию ледяного покрова быстрее, чем обычно. Таким образом именно повышение геотермального тепла от магматических процессов способствует быстрому таянию ледникового щита Антарктиды.

Прямо у берегов Западной Антарктиды происходит аномальный нагрев глубоких вод моря Уэдделла. В то время как верхние 700 метров вод почти не нагреваются, в более глубоких регионах наблюдается постоянное повышение температуры. С одной стороны море Уэдделла обрамляет Западно-Антарктический рифт, с другой — подводный вулканический хребет с Южными Сандвичевыми островами, одним из самых сейсмически активных регионов. С августа 2020 года в проливе Брансфилд фиксируется рой землетрясений, и беспрецедентный по скорости подъем магмы. Его охарактеризовали «огромным магматическим вторжением». За 6 первых месяцев было обнаружено около 85 000 землетрясений, максимальная магнитуда достигла 6. За это время магма преодолела 10 км пород океанической коры [8].

Рассмотрим таяние льдов Гренландии. Исследования октября 2019 года показали, что сейчас лед в Гренландии тает быстрее, чем когда-либо за последние 12 тыс. лет.

На поверхности Гренландского ледяного щита текут реки и озера, но интересно, что реки и озера текут и под поверхностью ледника, толщина которого 1.5 километра. На сегодняшний день известно о 60 подлёдных озерах [9].

Группа американских ученых под руководством профессора Ральфа фон Фрезе из университета штата Огайо нашли новые причины ускоренного таяния ледникового покрова Гренландии. Оказалось, что сокращение ледникового покрова Гренландии связано не только с изменениями климата, но и с ростом количества геотермального тепла [10].

Используя гравитационные исследования, учёные оценили толщину земной коры Гренландии. Обнаружено, что наибольшее таяние ледников наблюдается в северной части острова, где наиболее тонкая земная кора. В этом регионе наблюдается повышенный геотермальный поток из-за поднимающегося мантийного плюма [11].

К тому же выводу пришли и учёные междисциплинарного коллектива под руководством сотрудников Института физики Земли имени Шмидта Ирины Рогожиной и Алексея Петрунина. По данным сейсмической томографии исследователи обнаружили в недрах Гренландии мантийный плюм. Поток магмы поднимается от границы ядра и мантии, его край подбирается к поверхности Земли как раз под центральной частью острова, растапливая лед. Именно в этой области располагается наибольшее количество подледных озер. Учёные рассчитали теоретический тепловой поток, который соответствует данному магматическому очагу и выяснили, что этого тепла достаточно, чтобы нагреть подошву ледника до плавления льда. Подобные результаты получались после у многих исследователей, в том числе и с применением машинного обучения [12]. Последние исследования ученых из университета Тохоку в Японии опубликованные *Journal of Geophysical Research* в двух частях, уточнили строение магматического очага под Гренландией [13].

Недавнее исследование магмы вулкана Фаградальсфьядль в Исландии, который извергался в марте 2021 года, показало, что скорость изменений ключевых химических показателей лавы была более чем в тысячу раз выше, чем при других извержениях. Стало понятно, что камера в течение двух месяцев повторно наполнялась расплавами, образовавшимися на большей глубине. По данным ученых, новая магма происходит из глубоких зон мантийного плюма под Исландией, который соответствует плюму под Гренландией [14].

Таким образом прослеживается, что два самых крупных ледниковых региона мира — Антарктида и Гренландия, имеют тенденцию повышения геотермального тепла из недр, связанную с активизацией мантийных плюмов.

Профессор Артур Витерито фиксирует увеличение сейсмичности на дне океана в районе срединно-океанических хребтов в последние десятилетия. Более того, с коэффициентом корреляции 0.7 данный график соответствует росту глобальных температур с отставанием в два года [15]. Сейсмическая и вулканическая активность вдоль срединно-океанических хребтов приводит к увеличению темпов гидротермальных выбросов и нагреву вод. Это говорит о росте активности недр планеты. Однако не только вулканическая активность вдоль срединно-океанических хребтов является источником нагрева океана.

Кроме роста глобальных температур, нагрева океана и таяния ледников в последние десятилетия, разные исследователи отмечают неестественный рост эндогенных процессов, вулканической и сейсмической активности. Растёт энергия землетрясений, их магнитуда и глубина. С 2014 года регистрируется рост числа землетрясений на глубине более 700 километров. Параллельно с ростом сейсмической активности растёт и число, и сила извержений наземных и подводных вулканов, что фиксируется по объему извергнутой лавы.

На сегодняшний день наблюдается активизация геодинамических процессов Земли и ряд беспрецедентных изменений в её ядре. В 1995 году было зафиксировано резкое ускорение дрейфа северного магнитного полюса в 3,5 раза. Несколькими годами после в 1998 году учёные зафиксировали резкое скачкообразное смещение ядра, наблюдая с помощью спутников за центром масс Земли [16, 17, 18].

Одновременно с этим наблюдалось резкое изменение формы Земли, измеренное с помощью системы лазерной дальнометрии со спутников США. Сейчас наблюдается асимметричная кристаллизация ядра. Во внешнем жидком ядре с 2015 года ускоряется поток расплавленного железа. Из-за смещения ядра ускоряется вращение планеты, растёт её центробежная сила и деформация по экватору. Из-за увеличения центробежной силы магма в мантии начинает резко подниматься к поверхности Земли, подмывая и нагревая литосферу

изнутри больше обычного. Внедрение магмы происходит повсеместно по всему океаническому дну. Растёт теплосодержание вод океана, появляются аномальные области с повышенной температурой морской воды. Подъём магмы приводит к увеличению геотермального потока из недр, подъёму магматических очагов под ледниками Западной Антарктиды и центральной Гренландии, что ускоряет таяние ледников снизу вверх.

Необходим комплексный подход к рассмотрению процессов изменения климата, учитывающий факты активизации эндогенных процессов и нестабильного поведения ядра Земли. Консолидация всего научного потенциала, междисциплинарные и международные исследования позволят найти выходы по адаптации, прогнозированию и решению проблематики глобальных катаклизмов на планете. Такое взаимодействие возможно только в формате Созидательного общества, в котором ценность жизни каждого человека будет стоять превыше материальных накоплений.

Благодарность

Авторы благодарят всех волонтеров проекта «Созидательное общество»

Список литературы

1. The IMBIE team. Mass balance of the Antarctic Ice Sheet from 1992 to 2017. *Nature* 558, 219–222 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0179-y>
2. Seroussi, H., Morlighem, M., Rignot, E., Mouginot, J., Larour, E., Schodlok, M., and Khazendar, A.: Sensitivity of the dynamics of Pine Island Glacier, West Antarctica, to climate forcing for the next 50 years, *The Cryosphere*, 8, 1699–1710, <https://doi.org/10.5194/tc-8-1699-2014>, 2014.
3. Theresa M. Damiani, Tom A. Jordan, Fausto Ferraccioli, Duncan A. Young, Donald D. Blankenship, Variable crustal thickness beneath Thwaites Glacier revealed from airborne gravimetry, possible implications for geothermal heat flux in West Antarctica, *Earth and Planetary Science Letters*, Volume 407, 2014, Pages 109-122, ISSN 0012-821X, <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.09.023>.
4. Dziadek, R., Ferraccioli, F. & Gohl, K. High geothermal heat flow beneath Thwaites Glacier in West Antarctica inferred from aeromagnetic data. *Commun Earth Environ* 2, 162 (2021). <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00242-3>
5. Loose, B., Naveira Garabato, A.C., Schlosser, P. et al. Evidence of an active volcanic heat source beneath the Pine Island Glacier. *Nat Commun* 9, 2431 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04421-3>
6. V. R. Barletta, M. Bevis, B. E. Smith, T. Wilson, A. Brown, A. Bordoni, M. Willis, S. A. Khan, M. Rovira-Navarro, I. Dalziel, R. Smalley Jr., E. Kendrick, S. Konfal, D. J. Caccamise II, R. C. Aster, A. Nyblade, D. A. Wiens, Observed rapid bedrock uplift in Amundsen Sea Embayment promotes ice-sheet stability. *Science* 360, 1335–1339 (2018).
7. Seroussi, H., E. R. Ivins, D. A. Wiens, and J. Bondzio (2017), Influence of a West Antarctic mantle plume on ice sheet basal conditions, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 122, 7127–7155, doi:10.1002/2017JB014423.
8. Simone Cesca, Monica Sagan, Łukasz Rudzinski, Sanaz Vajedian, Peter Niemz, Simon Plank (2022) Massive earthquake swarm driven by magmatic intrusion at the Bransfield Strait, Antarctica <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00418-5>
9. Bowling, J.S., Livingstone, S.J., Sole, A.J. et al. Distribution and dynamics of Greenland subglacial lakes. *Nat Commun* 10, 2810 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-10821-w>
10. Van der Veen, C.J., Leftwich, T., Von Frese, R., Csatho, B.M. and Li, J. (2007) Subglacial topography and geothermal heat flux: potential interactions with drainage of the Greenland ice sheet. *Geophysical Research Letters* 34(12), L12501. doi: 10.1029/2007GL030046

11. *Rezvanbehbahani, Soroush, Stearns, Leigh A., Kadivar, Amir, Walker, J. Doug, van der Veen, C. J.* (2017) Predicting the Geothermal Heat Flux in Greenland: A Machine Learning Approach. *Geophysical Research Letters*, 44 (24). 12 doi:10.1002/2017gl075661
12. *Toyokuni, G., Matsuno, T., & Zhao, D.* (2020). P Wave Tomography Beneath Greenland and Surrounding Regions: 1. Crust and Upper Mantle. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 125(12), [e2020JB019837]. <https://doi.org/10.1029/2020JB019837>
13. *Toyokuni, Genti, Matsuno, Takaya, & Zhao, Dapeng.* (2020). Global tomography beneath Greenland and surrounding regions (1.0) [Data set]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3987238>
14. *Sæmundur A. Halldórsson, Edward W. Marshall, Alberto Caracciolo, Simon Matthews, Enikő Bali, Maja B. Rasmussen, Eemu Ranta, Jóhann Gunnarsson Robin, Guðmundur H. Guðfinnsson, Olgeir Sigmarsson, et al* Rapid shifting of a deep magmatic source at Fagradalsfjall volcano, Iceland *Nature* volume 609, pages529–534 (2022) <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04981-x>
15. *Viterito A.* 1995: An Important Inflection Point in Recent Geophysical History. *Int J Environ Sci Nat Res.* 2022; 29(4): 556271. **011** DOI: 10.19080/IJESNR.2022.29.556271
16. Синхронные скачки активности природных планетарных процессов в 1997-1998 гг. и их единый механизм. *Баркин Ю.В.* в сборнике Геология морей и океанов: Материалы XIX Международной научной конференции по морской геологии, место издания ГЕОС Москва, том 5, с. 28-32, 2011.
17. Скачкообразные изменения трендов геодинамических и геофизических явлений в 1997-1998 гг. Авторы: *Баркин Ю.В., Смольков Г.Я.* Всероссийская конференция по солнечно-земной физике, посвящённой 100-летию со дня рождения члена-корреспондента РАН В.Е.Степанова (16 – 21 сентября 2013, г. Иркутск), г. Иркутск, 2013/
18. *Smolkov GY.* Exposure of the solar system and the earth to external influences. *Phys Astron Int J.* 2018;2(4):310–321. DOI: 10.15406/pajj.2018.02.00104

Приложение

Appendix

Том II (IV) / Volume II (IV)

Оглавление / Contents

Программа конференции / Conference programme

Тезисы / Abstracts

Океанология. Устные доклады

ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ААНИИ В АНТАРКТИКЕ В ПЕРИОД 67-Й СЕЗОННОЙ РАЭ <u>Кашин С.В.</u> , Антипов Н.Н., Федотова А.А.	14
ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ВОД МОРЕЙ ДЕЙВИСА И МОУСОНА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ В ХОДЕ 67-ОЙ РАЭ С БОРТА НЭС «АКАДЕМИК ФЁДОРОВ» <u>Федотова А.А.</u> , Кашин С.В.	20
ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ НА НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ» В 2017 И 2020 ГГ. <u>Лукьянова О.Н.</u> , Чульцова А.Л.	24
ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЗВЕШЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО И НЕОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ МОРЯ В РАМКАХ МОРСКОЙ ПЛОЩАДКИ КАРБОНОВОГО ПОЛИГОНА «РОСЯНКА» ПО СПУТНИКОВЫМ И НАТУРНЫМ ДАННЫМ <u>Бубнова Е.С.</u> , Буканова Т.В., Александров С.В.	28
МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ И ЛЕДОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАПАДНЫХ МОРЕЙ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ В КВАЗИОПЕРАТИВНОМ РЕЖИМЕ С УСВОЕНИЕМ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ <u>Панасенкова И.И.</u> , Фомин В.В., Дианский Н.А.	32
О КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЯХ ОСНОВНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ В 1980-2021 ГОДЫ <u>Серых И.В.</u> , Толстиков А.В.	37
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПРОГНОЗА АПВЕЛЛИНГОВ ДЛЯ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ РОССИИ <u>Сильвестрова К.П.</u> , Мысленков С.А., Зацепин А.Г. 1, Пузина О.С.	41
О ВОЗМОЖНЫХ ПРИЧИНАХ И МЕХАНИЗМАХ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СЕЗОННЫХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ <u>Сухачев В.Н.</u> , Захарчук Е.А., Тихонова Н.А., Литина Е.Н.	45
РАСТВОРЕННЫЙ КИСЛОРОД В ВОДАХ ЕВРОПЕЙСКОЙ АРКТИКИ ЛЕТОМ 2021 Г. <u>Нецветаева О.П.</u>	50
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕТОДОВ УСВОЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ НА ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ ЧЕРНОГО МОРЯ <u>Фомин В.В.</u> , Дианский Н.А.	55
ОСОБЕННОСТИ ВНУТРЕННИХ ВОЛН КРУТОГО ШЕЛЬФА, ИХ ВЛИЯНИЕ НА КОГЕРЕНТНУЮ ПОДВОДНУЮ АКУСТИЧЕСКУЮ СВЯЗЬ <u>Химченко Е.Е.</u> , Шатравин А.В.	62
МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТКЛИКА ОКЕАНА НА ОРОГРАФИЧЕСКИЕ ВЕТРЫ НОВОЙ ЗЕМЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВМЕСТНОЙ МОДЕЛИ АТМОСФЕРЫ, ОКЕАНА И МОРСКОГО ВОЛНЕНИЯ <u>Шестакова А.А.</u> , Дебольский А.В.	66
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФОНОВОГО УРОВНЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ НА ВЫСОТУ НАГОНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СКОРОСТИ И НАПРАВЛЕНИЯ ВЕТРА <u>Павлова А.В.</u> , Архипкин В.С., Мысленков С.А.	70
ОПЫТ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕЧЕНИЙ В ЧЕРНОЙ ГУБЕ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА <u>Будников А.А.</u> , Иванова И.Н.	74
РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ В ОКЕАНЕ И МОРЯХ <u>Зеленько А.А.</u> , Реснянский Ю.Д., Мысленков С.А.	78
ОЦЕНКА ЭВТРОФИКАЦИИ ВОД АМУРСКОГО ЗАЛИВА (ЯПОНСКОЕ МОРЕ) В 2019-2020	

<u>Курносова А.С., Матвеев В.И., Криницкая Ю.А., Катайкина О.О.</u>	82
ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПРИДОННЫХ ВОД КАК ИНДИКАТОР СУБМАРИННОЙ РАЗГРУЗКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД <u>Михневич Г.С., Крек А.В., Данченков А.Р.</u>	87
ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ, ЧУКОТСКОМ И ВОСТОЧНО-СИБИРСКОМ МОРЯХ <u>Мысленков С.А.</u>	92
ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ОСЕННЕЙ МИГРАЦИИ ЧЕРНОМОРСКОЙ ХАМСЫ К БЕРЕГАМ КРЫМА <u>Панов Б.Н., Смирнов С.С., Спиридонова Е.О.</u>	98
ОЦЕНКА МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НОРВЕЖСКОГО МОРЯ В XXI ВЕКЕ ПО ДАННЫМ ПЛОЩАДНЫХ СЪЕМОК <u>Сентябов Е.В.</u>	102
ОСОБЕННОСТИ ГИДРОХИМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ВОД РАЗЛИЧНЫХ РАЙОНОВ КАРСКОГО МОРЯ В БЕЗЛЕДНЫЙ ПЕРИОД <u>Степанова С.В., Кивва К.К., Полухин А.А.</u>	106
КЛИМАТ БАРЕНЦЕВА МОРЯ: РЕКОРДНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ И СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ <u>Трофимов А.Г., Ившин В.А.</u>	110
ОЦЕНКА ПРОЦЕНТНОГО ВКЛАДА ВОД КАРСКОГО МОРЯ В БЕЗЛЕДНЫЙ ПЕРИОД В 2021 ГОДУ <u>Казакова У.А., Полухин А.А.</u>	114
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СЕЙШЕВЫХ ТЕЧЕНИЙ И СГОННО-НАГОННЫХ ЯВЛЕНИЙ АЗОВСКОГО МОРЯ <u>Григоренко К.С., Фролова А.Д., Олейников Е.П., Московец А.Ю.</u>	120
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ СОЛЁНОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ КАРСКОГО МОРЯ ОТ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ <u>Честнов А.И.</u>	124
ТРАНСПОРТ МОРСКОГО МУСОРА ТЕЧЕНИЯМИ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ, ИЛИ: О ЧЕМ РАССКАЗАЛ ПЛАСТИК <u>Новиков М.А., Харламова М.Н.</u>	128
ВЛИЯНИЕ ЭНДОГЕННОГО ВЕЩЕСТВА НА СОСТАВ ОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА В РАЙОНЕ ХРЕБТА МОНА (НОРВЕЖСКО-ГРЕНЛАНДСКИЙ БАССЕЙН) <u>Мигдисова И.А., Стародымова Д.П., Новигатский А.Н., Кловиткин А.А., Булохов А.В.</u>	132
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТАЦИОНАРНОЙ КАРТИНЫ ДВИЖЕНИЙ МИРОВОГО ОКЕАНА <u>Косарев А.В.</u>	136

Океанология. Стендовые доклады

ОЦЕНКА СОКРАЩЕНИЯ ПЛОЩАДИ ЛЬДА ЧУКОТСКОГО МОРЯ <u>Баранenkova В.Д., Подрезова Н.А.</u>	141
РЕЗОНАНСНОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ ШТОРМОВЫХ НАГОНОВ В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ ЦЕПОЧКОЙ ДВИЖУЩИХСЯ ЦИКЛОНОВ <u>Семилетова Д.Д., Медведев И.П.</u>	144
ОСОБЕННОСТИ КИСЛОРОДНЫХ УСЛОВИЙ И РЕЖИМА БИОГЕННЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА ЛЕТОМ 2022 ГОДА <u>Ерёмина Т.Р., Волощук Е.В., Бубнова Е.С., Макеева И.Н., Зарипова К.М.</u>	148
СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ХЛОРОФИЛЛА-А В ЗАЛИВЕ ВОСТОК (ЯПОНСКОЕ МОРЕ) <u>Анохина Р.С., Гангнус И.А., Сагалаев С.Г., Тищенко П.П., Тищенко П.Я.</u>	154
ВЕКТОРНЫЕ АВТОРЕГРЕССИОННЫЕ МОДЕЛИ В ИССЛЕДОВАНИИ ЭКВАТОРИАЛЬНОГО ТЕРМОКЛИНА В ФАЗАХ ЭЛЬ-НИНЬО <u>Поляков В.Д., Ушаков К.В.</u>	158
ВОЛНЕНИЕ И КОЛЕБАНИЕ УРОВНЯ МОРЯ В ЯНВАРЕ 2022 Г. У СЕВЕРНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ <u>Круглова Е.Е., Семилетова Д.Д., Борисов М.А., Данченков А.Р., Стонт Ж.И., Кречик В.А.</u>	162
МИГРАЦИЯ ЗОНЫ МАКСИМАЛЬНОЙ МУТНОСТИ НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ РЕКА-МОРЕ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ЗА 2021-22 ГОДЫ <u>Коробченкова К.Д., Бубнова Е.С.</u>	167
СРАВНЕНИЕ КАЧЕСТВА ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ СКОРОСТИ И НАПРАВЛЕНИЯ ВЕТРА МОДЕЛЯМИ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ GFS, WRF-ARF, COSMO-RU07 И HIRLAM В БАЛТИЙСКОМ РЕГИОНЕ <u>Захарова Е.В., Ладохина Е.М., Попов С.К., Фомин В.В., Дианский Н.А.</u>	171
ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ В РАЙОНЕ АНАПА-ГЕЛЕНДЖИК В ЛЕТНИЙ СЕЗОН 2022 ГОДА <u>Ильин В.И., Беликов Д.Н., Пилик Д.И., Самборская Я.Т., Самборский Т.В., Быхалова О.Н.</u>	175
ЦУНАМИ В ЧЕРНОМ МОРЕ <u>Онищенко Н.А., Медведева А.Ю., Медведев И.П., Архипкин В.С.</u>	179
СТРУКТУРА И ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВОДНЫХ МАСС В ЖЕЛОБЕ СВЯТОЙ АННЫ	

<u>Витинг К.Б., Осадчиев А.А., Демешко Д.М.</u>	183
РЕЗУЛЬТАТЫ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ПРОВЕДЁННЫХ В ЭКСПЕДИЦИИ "АРКТИЧЕСКИЙ ПЛАВУЧИЙ УНИВЕРСИТЕТ-2022"	
<u>Котельников В.Д., Онищенко Н.А., Калинин М.А., Меркулов В.А.</u>	187
МЕЖГОДОВОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОЩАДИ ЛЬДА БАРЕНЦЕВА МОРЯ	
<u>Цыпкин И.Ю., Подрезова Н.А.</u>	191
СОСТОЯНИЕ ПРИДОННОГО СЛОЯ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2022 ГОДА	
<u>Джамалова А.Г., Погорелова П.В., Байгубсков К.Р., Бубнова Е.С., Капустина М.В.</u>	194
ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА БАРЕНЦЕВА МОРЯ В ЛЕТНИЙ СЕЗОН В 2010-е ГОДЫ	
<u>Швед В.А., Иванов В.В., Кравчишина М.Д.</u>	198
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКЕ ЛЕТОМ 2022 ГОДА	
<u>Ефимова К.А., Балашова К.А., Бубнова Е.С.</u>	203
ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОТИЧЕСКОГО СЛОЯ В РОССИЙСКОМ СЕКТОРЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В ИЮЛЕ 2022	
<u>Иванов К.Д., Протопопова М.Д., Миронова М.А., Бубнова Е.С.</u>	207
НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ ПОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ	
<u>Гоголев Д.Г.</u>	211
ВОДООБМЕН МЕЖДУ ПРОЛИВОМ БРАНСФИЛДА И МОРЕМ УЭДДЕЛЛА В ПРОЛИВЕ АНТАРКТИКА	
<u>Селиверстова А.М., Зуев О.А., Полухин А.А., Чульцова А.Л.</u>	214
ТУРБУЛЕНТНОЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЕ ФРАМОВСКОЙ ВОДНОЙ МАССЫ В ЖЁЛОБЕ СВЯТОЙ АННЫ	
<u>Демешко Д.М., Осадчиев А.А., Витинг К.Б., Степанова Н.Б.</u>	219
ОКЕАНОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕКОВЫХ РАЗРЕЗОВ БЕЛОГО МОРЯ	
<u>Нурлибаева А.С., Шунин М.В.</u>	223
ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВОД ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧУКОТСКОГО МОРЯ В АВГУСТЕ 2019 ГОДА	
<u>Кодрян К.В., Кивва К.К.</u>	228
КЛИМАТИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВЕРХНЕГО РАСПРЕСНЁННОГО СЛОЯ КАРСКОГО МОРЯ	
<u>Малеев Е.А., Гордеева С.М.</u>	232
ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЗОННОЙ И СИНОПТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПЛЮМОВ МАЛЫХ РЕК СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ЧЕРНОГО МОРЯ В МАЛОВОДНЫХ (2020 ГОД) И ПОЛНОВОДНЫХ (2021 ГОД) УСЛОВИЯХ	
<u>Корщенко Е.А., Панасенкова И.И., Осадчиев А.А., Белякова П.А.</u>	236
ТЕПЛОВЫЕ ПОТОКИ В МНОГОСЛОЙНОЙ СРЕДЕ АТМОСФЕРА-СНЕГ-ЛЕД-ВОДА НА ПРИМЕРЕ ФИНСКОГО ЗАЛИВА	
<u>Кравцова К.В., Подрезова Н.А.</u>	241
ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ АЙСБЕРГОВ В МОРЕ	
<u>Ермаченко П.А., Подрезова Н.А.</u>	245
ДИНАМИКА СЕНЕГАЛО-МАВРИТАНСКОГО ФРОНТА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА	
<u>Барканова Т.Б., Ванюшин Г.П., Кружалов М.Ю.</u>	248
БАРЕНЦЕВО МОРЕ: ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ПОВЕРХНОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В 1998-2021 гг	
<u>Булатова Т.В., Ванюшин Г.П.</u>	253
МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ МОРЯ В ОБСКОЙ ГУБЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСА CARDINAL	
<u>Сидорова Л.Д., Хаймина О.В.</u>	257
СУБМЕЗОМАСШТАБНЫЕ ВИХРИ НА ГРАНИЦЕ ЗОНЫ ВЫХОЛАЖИВАНИЯ В ЧЕРНОМ МОРЕ	
<u>Пузина О.С., Кубряков А.А., Мизюк А.И.</u>	261
ОКЕАНЫ, КАК ИНДИКАТОРЫ ВНУТРЕННИХ ПРОЦЕССОВ ПЛАНЕТЫ	
<u>Данилов В.И.</u>	266
ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАБИЛЬСКОГО ЗАЛИВА (ОХОТСКОЕ МОРЕ) В ИЮНЕ 2022 Г	
<u>Федоров М.С., Семкин П.Ю., Тищенко П.П., Кукла С.П.</u>	271
ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОЩАДИ ЛЬДА БЕЛОГО МОРЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СУРОВОСТИ ЗИМЫ	
<u>Оскотская С.А., Подрезова Н.А.</u>	278
РАЗЛИЧНЫЕ ФОРМЫ ПРОЯВЛЕНИЯ НЕУСТОЙЧИВОСТИ КОНВЕКТИВНОЙ ПРИРОДЫ В ПРИПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ МОРЯ	
<u>Куприянова А.Е., Гриценко В.А.</u>	280
СТРУКТУРА И ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЗОНЫ СМЕШЕНИЯ МОРСКИХ И РЕЧНЫХ ВОД В ОБСКОЙ ГУБЕ	
<u>Крыленко В.И., Гангнус И.А.</u>	285
АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТЫ ВЯЙСЯЛЯ-БРЕНТА В ЦИКЛОНАХ И АНТИЦИКЛОНАХ	
<u>Новоселова Е.В., Белоненко Т.В., Жмур В.В.</u>	289
ОСОБЕННОСТИ ЛЕТНЕЙ СТРУКТУРЫ ВОД ПРОЛИВОВ В КЕРЕТСКОМ АРХИПЕЛАГЕ БЕЛОГОМОРЯ	
<u>Маховиков А.Д., Едигарева М.В., Смагин Р.Е.</u>	293
ХОЛОДНЫЙ ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ СЛОЙ И ЕГО КВАЗИОДНОРОДНЫЙ ПОДСЛОЙ В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ	
<u>Лобчук О.И., Буканова Т.В., Чубаренко И.П.</u>	299

О ТЕНДЕНЦИИ В ИЗМЕНЧИВОСТИ КИСЛОРОДА В ОБЛАСТИ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ ЧЕРНОГО МОРЯ <u>Валле А.А.</u>	303
ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ЭКВАТОРИАЛЬНОЙ ЧАСТИ АТЛАНТИКИ <u>Бабич М.С.</u> , Крашенинникова С.Б., Демидов А.Н., Артамонова К.В.	307
РОЛЬ КРИТИЧЕСКОГО СЛОЯ В ГЕНЕРАЦИИ СОБЫТИЙ ИНДООКЕАНСКОГО ДИПОЛЯ <u>Торбинский А.В.</u>	311
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОЛЕЙ ФИТОПЛАНКТОНА БАРЕНЦЕВА МОРЯ <u>Мухамадиева А.Р.</u> , Фролова Н.С.	315
УГЛЕВОДОРОДЫ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ КАСПИЙСКОГО МОРЯ <u>Светашева Д.Р.</u> , Татарников В.О., Очеретный М.А., Бакун О.И.	319
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТАНА В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ СИСТЕМЫ «РЕКА-МОРЕ» БАЛТИЙСКОГО МОРЯ <u>Васильева А.С.</u> , Коробченкова К.Д., Ульянова М.О.	323
Приложение	326
СОДЕРЖАНИЕ ТОМА I (IV)	327
СОДЕРЖАНИЕ ТОМА III (IV).....	332
СОДЕРЖАНИЕ ТОМА IV(IV)	337

Том III (IV) / Volume III (IV)

Оглавление / Contents

Программа конференции / Conference Programme

Тезисы / Abstracts

Морская биология. Устные доклады

ОРГАНИЗАЦИЯ СКЕЛЕТНЫХ И ОПОРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ У ПИКНОГОНИД <i>PHOXICHILIDIUM FEMORATUM</i> (ARTHROPODA, CHELICERATA) <u>Алексеева Н.В.</u>	15
ЭКСКРЕТОРНАЯ СИСТЕМА МОРСКОГО ПАУКА <i>PHOXICHILIDIUM FEMORATUM</i> (RATHKE, 1799) (PYCNOGONIDA) <u>Богомолова Е.В.</u> , Петрова М.А.	19
АКТИНОВЫЕ ФИЛАМЕНТЫ И ИХ БЕЛКИ-РЕГУЛЯТОРЫ В РЕПАРАТИВНЫХ МОРФОГЕНЕЗАХ ИЗВЕСТКОВОЙ ГУБКИ <i>LEUCOSOLENIA VARIABILIS</i> <u>Скоренцева К.В.</u> , Лавров А.И., Саидова А.А.	24
ГИДРОИДНЫЕ СЕМЕЙСТВА CORYNIDAE (CNIDARIA, HYDROZOA) ИЗ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА ПО ДАННЫМ ИССЛЕДОВАНИЙ ММБИ РАН. МОРФОЛОГИЯ, СЕЗОННОЕ РАЗВИТИЕ, ОСОБЕННОСТИ РАЗМНОЖЕНИЯ <u>Пантелеева Н.Н.</u>	29
МЕЙОБЕНТОСНЫЕ СООБЩЕСТВА ЛИТОРАЛИ ОКЕАНИЧЕСКОЙ ЛАГУНЫ РИА ФОРМОЗА (ПОРТУГАЛИЯ) <u>Иванова Е.А.</u>	35
МИКРУРЫ (NEMERTEA: PILIDIORHORA) БЕЛОГО МОРЯ <u>Чернева И.А.</u> , Неретина Т.В.	39
О СИСТЕМАТИЧЕСКОМ ПОЛОЖЕНИИ <i>Anadara kafanovi</i> (Lutaenko, 1993) НА ОСНОВАНИИ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО И ГЕНЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА <u>Ананьева М.С.</u> , Симакова У.В., Колочкина Г.А., Сапожников Ф.В., Лутаенко К.А.	42
ГОЛОТУРИИ СЕМЕЙСТВА MOLPADIDAE (ECHINODERMATA, HOLOTHUROIDEA) БАРЕНЦЕВА МОРЯ: МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ И ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ <u>Рольский А.Ю.</u> , Стрелкова Н.А.	46
ИНТЕГРАТИВНАЯ ТАКСОНОМИЯ И ФИЛОГЕОГРАФИЯ КОМПЛЕКСА ВИДОВ <i>EUBRANCHUS RUPIUM – EXIGUUS</i> (GASTROPODA: NUDIBRANCHIA) <u>Гришина Д.Ю.</u> , Щепетов Д.В., Екимова И.А.	50
ОБНАРУЖЕНИЕ МОРСКИХ ГРИБОВ У ПОЛУХОРДОВЫХ КИШЕЧНОДЫШАЩИХ И ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С КИШЕЧНОДЫШАЩИМ ИЗ БЕЛОГО МОРЯ <i>SACCOGLOSSUS MERESCHKOWSKII</i> (WAGNER, 1885) <u>Кокуркина Ю.А.</u> , Грум-Гржимайло О.А., Ежова О.В.	54
ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И БИОЛОГИИ ДВУСТВОРЧАТОГО МОЛЛЮСКА <i>MALCOMA CALCAREA</i> (GMELIN, 1791) В СИСТЕМЕ ЗАЛИВОВ ИС-ФЬОРДА (О. ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН) <u>Носкович А.Э.</u>	57
БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЕГОЛЕТОК БУРОГО МОРСКОГО ПЕТУШКА <i>ALECTRIAS ALECTROLOPHUS</i> (STICHAELIDAE) В ПРИЛИВНО-ОТЛИВНОЙ ЗОНЕ АВАЧИНСКОЙ ГУБЫ (ЮГО-ВОСТОЧНАЯ КАМЧАТКА) <u>Токранов А.М.</u> , Мурашева М.Ю.	64
ГЕНЕТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ИНВАЗИВНОЙ ПОЛИХЕТЫ <i>Polydora websteri</i> В АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ <u>Птушкин М.Д.</u> , Симакова У.В., Семин В.Л., Колочкина Г.А.	68
РАЗМНОЖЕНИЕ МОРСКОГО ПАУКА <i>PHOXICHILIDIUM FEMORATUM</i> (RATHKE, 1799): НОВЫЕ ДАННЫЕ, НОВЫЕ ВОПРОСЫ <u>Петрова М.А.</u> , Богомолова Е.В.	72
РАЗНООБРАЗИЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ОТРЯДА ZOANTHARIA В МОРЯХ РОССИИ <u>Симакова У.В.</u> , Липухин Э.В., Прудковский А.А., Молодцова Т.Н.	77
НОВОЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СООБЩЕСТВО В ХЕМОКЛИНЕ БЕЛОМОРСКИХ ЭВКСИННЫХ БУХТ <u>Краснова Е.Д.</u> , Воронов Д.А.	81

О ВОСПРОИЗВОДСТВЕ ПОПУЛЯЦИЙ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ <i>ARCTICA ISLANDICA</i> (LINNAEUS, 1767) В БЕЛОМ МОРЕ: В ЧЕМ ПРИЧИНА МНОГОЛЕТНИХ ПЕРЕРЫВОВ В УСПЕШНОМ ПОПОЛНЕНИИ ПОСЕЛЕНИЙ Герасимова А.В., Флячинская Л.П., Лезин П.А., Филиппова Н.А., Кудряшова А.С., Максимович Н.В.	85
ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА МАКРОЗООБЕНТОСА МОРСКИХ ЛУГОВ <i>Zostera marina</i> L. РАЗНЫХ ШИРОТНЫХ ЗОН Любимов И.В., Колочкина Г.А., Басин А.Б., Симакова У.В., Федулов В.Ю.	90
СОВРЕМЕННЫЕ ФОРАМИНИФЕРЫ И ОСТРАКОДЫ В ДОННЫХ ОСАДКАХ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ Овсепян Я.С., 2, Овсепян Е.А., Зенина М.А., Митрофанова (Гречихина) Н.О., Джин Я.К., Риш Т.С.	94
МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЛИЧИНОК КРАБА-ВСЕЛЕНЦА <i>CHIONOECETES OPILIO</i> В КАРСКОМ МОРЕ Липухин Э.В., Залота А.К., Симакова У.В.	97
ИЗМЕНЕНИЯ БЕНТОСНЫХ СООБЩЕСТВ В ГУБАХ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА В 21 ВЕКЕ Захаров Д.В., Манушин И.Е., Стрелкова Н.А., Хачатурова К.С., Блинова Д.Ю., Кудряшова А.С.	102
ПОПУЛЯЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ <i>MACOMA CALCAREA</i> (GMELIN, 1791) В СЕВЕРНЫХ МОРЯХ Лисицына К.Н., Герасимова А.В.	106
БИОТОПИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА МИДИЙ <i>MYTILUS EDULIS</i> И <i>M. TROSSULUS</i> НА МУРМАНЕ (БАРЕНЦЕВОМОРСКОЕ ПОБЕРЕЖЬЕ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА) Марченко Ю.Т., Хайтов В.М., Католикова М.В., Стрелков П.П.	111
ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЯХ РОССИИ Поляничко В.И., Кузнецов М.Ю.	115
ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКИЙ СОСТАВ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ ОБРАСТАНИЙ ТИТАНОВЫХ ПЛАСТИН В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЧЁРНОГО МОРЯ В РАЙОНЕ УТРИШСКОЙ МОРСКОЙ СТАНЦИИ ИПЭЭ РАН Броханов А.Л., Комарова К.А., Шутова А.С., Семёнова Т.А., Карпов В.А.	121
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ СУКЦЕССИИ В СООБЩЕСТВЕ МАКРООБРАСТАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ СУБСТРАТОВ В ВЕРХНЕЙ СУБЛИТОРАЛИ БЕЛОГО МОРЯ Чава А.И., Захаров Г.Д., Озеров Д.А.	127
ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНОФЛАГЕЛЛЯТ ИЛИ О ПОДХОДАХ К МОНИТОРИНГУ ВЦВ В ПРИКАМЧАТСКИХ ВОДАХ Лепская Е.В., Коломейцев В.В., Блохин И.А., Морозов Т.Б.	133
ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕЛАГИЧЕСКИХ АЛЬГОЦЕНОЗОВ АВАН-ДЕЛЬТЫ Р. ВОЛГА Сапожников Ф.В., Костылева А.В., Калинина О.Ю., Полухин А.А., Казакова У.А., Буханов М.В.	137
ИЗМЕНЕНИЯ В СООБЩЕСТВАХ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ В ПЕЧОРСКОМ МОРЕ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 20 ЛЕТ Блинова Д.Ю., Манушин И.Е.	143
СОСТОЯНИЕ ЗООБЕНТОСА В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА И ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ЛЕТОМ 2022 Г. Ежова Е.Е., Багиров Н.Э., Карташова А.Е., Шартон А.Ю.	146
ЭПИБИОЗ ЯПОНСКОГО ГРЕБЕШКА (<i>CHLAMYS FARRERI</i>) В НЕКОТОРЫХ БУХТАХ ОСТРОВА РУССКИЙ (ЗАЛИВ ПЕТРА ВЕЛИКОГО, ЯПОНСКОЕ МОРЕ) Карпенко Д.Т.	151
ПЕРВЫЙ ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ АВИАУЧЕТНЫХ РАБОТ С ПИЛОТИРУЕМЫХ И БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА ВОДОЕМАХ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА С ЦЕЛЬЮ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И ДАЛЬНЕЙШЕЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДАМИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА ПРИМЕРЕ ТИХООКЕАНСКИХ ЛОСОСЕЙ Шевляков Е.А., Дедерер Н.А., Шубкин С.В.	155
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА В ПРИЛИВНЫХ УСТЬЯХ МАЛЫХ РЕК ОНЕЖСКОГО ПОЛУОСТРОВА Мосеев Д.С., Футоран П.А.	160
МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ОБИЛИЯ ПОПУЛЯЦИИ МОЛЛЮСКА-ВСЕЛЕНЦА <i>MUA ARENARIA</i> LINNAEUS, 1758 В АЗОВСКОМ МОРЕ Живоглядова Л.А., Елфимова Н.С., Канаканиди Е.К., Лужняк В.А.	164
ФИТООБРАСТАНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ СУБСТРАТОВ НА ЛИТОРАЛИ МУРМАНСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ БАРЕНЦЕВА МОРЯ Малавенда С.В.	168
МИКОБИОТА <i>LAMINARIA DIGITATA</i> И <i>SACCHARINA LATISSIMA</i> В БЕЛОМ МОРЕ Сморыго А.Е., Симакова У.В., Бубнова Е.Н.	174
УСЛОВИЯ ОБИТАНИЯ КИТООБРАЗНЫХ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ В ЛЕТНИЙ И ЗИМНИЙ СЕЗОНЫ В 2007-2019 ГГ. Ившин В.А., Клепиковский Р.Н.	178
РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЗАРОСЛЕЙ ФУКУСОВЫХ ВОДРОСЛЕЙ В ПРИБРЕЖЬЕ БАРЕНЦЕВА МОРЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЭРОФОТОСЪЕМКИ Вашенко П.С., Малавенда С.В.	183
КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ АСПЕКТЫ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ ПРОЕКТИВНОГО ПОКРЫТИЯ ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В НЕВСКОЙ ГУБЕ ФИНСКОГО ЗАЛИВА Жигульский В.А., Шуйский В.Ф., Чебыкина Е.Ю., Паничев В.В., Булышева М.М.	189

ОЦЕНКА БИОРАЗНООБРАЗИЯ И ПОДСЧЕТ БИОМАССЫ ЗООПЛАНКТОНА ПРИ ПОМОЩИ МЕТОДА ПРОТОЧНОЙ ЦИТОМЕТРИИ В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ <u>Минский И.А.</u> , Казакова Д.М., Сыровец А.А., Полунина Ю.Ю., Евстигнеев В.П.	192
К ВОПРОСУ О ВИДОВОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ <i>MYTILUS SP.</i> В РОССИЙСКОЙ ЗОНЕ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ НА ОСНОВАНИИ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ <u>Сыровец А.А.</u> , Лантушенко А.О., Ежова Е.Е., Кокуркина Ю.А., Шепетов Д.М.	197
ОЦЕНКА ЭВТРОФИРОВАНИЯ И КАЧЕСТВА ВОД ПО СОДЕРЖАНИЮ ХЛОРОФИЛЛА В ГДАНЬСКОМ БАССЕЙНЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ЛЕТОМ 2022 Г. <u>Александров С.В.</u> , <u>Шаповалова В.Е.</u>	201

Морская биология. Стендовые доклады

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ООГЕНЕЗА У ХЕЙЛОСТОМНЫХ МШАНОК <u>Шевченко Е.Т.</u> , <u>Островский А.Н.</u>	207
О СИСТЕМАТИЧЕСКОМ ПОЛОЖЕНИИ ДВУСТВОРЧАТОГО МОЛЛЮСКА <i>Parvicardium simile</i> (Milaschewitsch, 1909) НА ОСНОВАНИИ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО И ГЕНЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА <u>Симакова У.В.</u> , <u>Москаленко В.Н.</u> , <u>Колочкина Г.А.</u>	210
ПОЛИХЕТЫ РОДА <i>PHOLOE</i> (POLYCHAETA: PHOLOIDAE) КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА <u>Москвин К.К.</u>	214
ОЦЕНКА ТОКСИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ БИКОМПОНЕНТНЫХ НАНОЧАСТИЦ, ВХОДЯЩИХ В ОСНОВУ ПРОТИВООБРАСТАЮЩИХ КРАСОК, НА ОРГАНИЗМ СРЕДИЗЕМНОМОРСКОЙ МИДИИ (<i>MYTILUS GALLOPROVINCIALIS</i>) (ЭКСПЕРИМЕНТ <i>IN VITRO</i>) <u>Подольская М.С.</u> , <u>Ткачук А.А.</u> , <u>Андреева А.Ю.</u> , <u>Кладченко Е.С.</u> , <u>Челебиева Э.С.</u>	219
МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ И ВЕСОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КИТООБРАЗНЫХ НА ПРИМЕРЕ КОСАТОК (<i>Orcinus orca</i>) И СЕРЫХ КИТОВ (<i>Eschrichtius robustus</i>): СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПОДХОДЫ И НАШ ОПЫТ <u>Белокобыльский И.Ф.</u> , <u>Сидоров Л.К.</u>	224
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЭКСТИНКЦИИ ДЛЯ РАСЧЕТА КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОСОМНЫХ БАКТЕРИОХЛОРОФИЛЛОВ – ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ ЗЕЛЕННЫХ СЕРНЫХ БАКТЕРИЙ <u>Филиппова О.А.</u> , <u>Жильцова А.А.</u> , <u>Краснова Е.Д.</u> , <u>Воронов Д.А.</u> , <u>Пацаева С.В.</u>	229
СРАВНИТЕЛЬНАЯ АНАТОМИЯ И МОРФОЛОГИЯ <i>ARCTOSTEMMA ARCTICUM</i> (NEMERTEA, MONISTILIFERA) <u>Лихачева Г.В.</u> , <u>Чернева И.А.</u>	233
БАКТЕРИАЛЬНЫЕ ЭНДОСИМБИОНТЫ И ВИРУСОПОДОБНЫЕ ЧАСТИЦЫ: ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ ФУНИКУЛЯРНЫХ ТЕЛ У МШАНКИ <i>DENDROBEANIA FRUTICOSA</i> (SNEILOSTOMATA) <u>Богданов Е.А.</u> , <u>Вишняков А.Э.</u> , <u>Островский А.Н.</u>	238
СТРУКТУРА И РОЛЬ АПОПТОТИЧЕСКОГО КАСКАДА У ГУБОК <u>Мельников Н.П.</u> , <u>Лавров А.И.</u> , <u>Сайдова А.А.</u>	243
ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ЛОКАЛИЗАЦИЯ СИМБИОТИЧЕСКИХ БАКТЕРИЙ МШАНКИ <i>RATINELLA VERRUCARIA</i> (CYCLOSTOMATA) <u>Демидова М.А.</u> , <u>Карагодина Н.П.</u> , <u>Вишняков А.Э.</u> , <u>Котенко О.Н.</u> , <u>Островский А.Н.</u>	247
АНАТОМИЯ И ГИСТОЛОГИЯ ПОЛОВОЙ СИСТЕМЫ ГЛУБОКОВОДНОЙ ХЕТОГНАТЫ <i>EUKROHNIA HAMATA</i> <u>Уразаева А.О.</u> , <u>Кособокова К.Н.</u> , <u>Темерева Е.Н.</u>	251
СЕЗОННЫЕ МОДЕЛИ МИГРАЦИИ ЛУНА-РЫБЫ <i>MOLA MOLA</i> В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА <u>Курносов Д.С.</u> , <u>Безверхняя А.О.</u>	255
РАЗНООБРАЗИЕ ВАРИАНТОВ ЭМБРИОГЕНЕЗА <i>DENDRONERHTHYA NEMPRICHI</i> (OCTOCORALLIA, CNIDARIA) <u>Дмитриева Е.В.</u> , <u>Мехова Е.С.</u> , <u>Краус Ю.А.</u>	259
РЕГИСТРАЦИИ ОБЫКНОВЕННОЙ МОРСКОЙ СВИНЬИ (<i>RHOCAENA RHOCAENA RHOCAENA</i>) В РОССИЙСКОЙ ЗОНЕ ЮЖНОЙ БАЛТИКИ (КАЛИНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ) <u>Ежова Е.Е.</u> , <u>Багиров Н.Э.</u> , <u>Гущин А.В.</u> , <u>Шартон А.Ю.</u> , <u>Рябцева С.Д.</u>	264
ХАРАКТЕРИСТИКА БИОХИМИИ КРОВИ РЕЦИПРОКНЫХ ГИБРИДОВ КАЛУГИ И СТЕРЛЯДИ ПЕРЕД ЗИМОВКОЙ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ В САДКАХ НА ВОДОХРАНИЛИЩЕ ПРИМОРСКОЙ ГРЭС <u>Свидерский В.А.</u> , <u>Корнилова А.В.</u>	268
ТОНКАЯ МОРФОЛОГИЯ ЧЕЛЮСТНОГО АППАРАТА АННЕЛИД СЕМЕЙСТВА LUMBRINERIDAE (ANNELIDA, EUNICIDA) <u>Королева А.С.</u> , <u>Петлин А.Б.</u>	272
ВСТРЕЧАЕМОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ МОРСКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ В РОССИЙСКОЙ ЗОНЕ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ В ПЕРИОД 2008 - 2022 ГГ. ПО ДАННЫМ ОБЩЕСТВЕННОГО МОНИТОРИНГА И СУДОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ <u>Ежова Е.Е.</u> , <u>Багиров Н.Э.</u> , <u>Шартон А.Ю.</u> , <u>Манукян Ю.А.</u> , <u>Рябцева С.Д.</u>	276
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАССОВЫХ ВИДОВ МАКРОФИТОВ И БЕСПОЗВОНОЧНЫХ ЖИВОТНЫХ НА ЛИТОРАЛИ БЕЛОГО И БАРЕНЦЕВА МОРЕЙ <u>Герцен Л.А.</u> , <u>Юрикова Д.А.</u> , <u>Сашова О.А.</u> , <u>Коновалова О.П.</u>	281

СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИИ <i>TRAPEZIA SEPTATA</i> НА РАННИХ СТАДИЯХ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ КОРАЛЛОВОГО РИФА <u>Меркин В.А.</u> , Бригаев Т.А.	286
СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ <i>CERASTODERMA GLAUCUM</i> (BIVALVIA: CARDIIDAE) В СУБЛИТОРАЛИ РОССИЙСКИХ ВОД ЮГО-ВОСТОЧНОЙ И ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ <u>Карташова А.Е.</u> , Кокуркина Ю.А., Ежова Е.Е., Багиров Н.Э.	291
ВСТРЕЧАЕМОСТЬ МОЛОДИ СЕМЕЙСТВА MACROURIDAE В БЕРИНГОВОМ МОРЕ В ПЕРИОД С 1963 ПО 2020 ГГ. <u>Алфёров А.И.</u>	295
ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ИЗОЛЯЦИЯ КАК ВАЖНЫЙ ФАКТОР ФОРМООБРАЗОВАНИЯ У МОРСКИХ РЫБ АРКТИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ Строганов А.Н., <u>Смирнов А.А.</u> , Буш А.Г., Семенова А.В., Пономарева Е.В., Малютина А.М.	302
ИССЛЕДОВАНИЕ СУТОЧНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ФИТОПЛАНКТОНА НА ПРИМЕРЕ ФИНСКОГО ЗАЛИВА И ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫМ МЕТОДОМ <u>Боровкова К.А.</u> , Мошаров С.А., Кречик В.А.	306
КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ И СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОПУЛЯЦИИ <i>PSEUDOCALANUS SP.</i> (COPEPODA, CALANOIDA) В РОССИЙСКОЙ ЧАСТИ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ И ФИНСКОГО ЗАЛИВА <u>Казакова Д.М.</u> , Полунина Ю.Ю.	311
ПРОЯВЛЕНИЕ ЦВЕТЕНИЯ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В ВОСТОЧНОЙ И ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКЕ В ИЮЛЕ 2022 ГОДА <u>Щербаков С.А.</u> , Ежова Е.Е., Дмитриева О.А.	316
ИЗМЕНЕНИЯ ДОННЫХ СООБЩЕСТВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВСЕЛЕНИЯ КРАБА-СТРИГУНА <i>CHIONOECETES OPILIO</i> <u>Руднева Е.В.</u> , Удалов А.А., Залота А.К., Чикина М.В.	320
БИОХИМИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ МОРСКОЙ БИОТЫ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЕЙ <u>Жуковская А.Ф.</u> , Слободскова В.В., Довженко Н.В.	325
ОЦЕНКА ВОЗРАСТА ДРЕВОСТОЯ НА БЕРЕГАХ МЕРОМИКТИЧЕСКИХ ОЗЁР В ОКРЕСТНОСТЯХ БЕЛОМОРСКОЙ БИОСТАНЦИИ МГУ <u>Малышкина Р.А.</u> , Быкова Е.А., Бушмин Д.М., Кольцов Д.Б., Воронов Д.А., Краснова Е.Д.	331
РАЗНООБРАЗИЕ ЛАБИРИНТУЛОМИЩЕТОВ В ЛИТОРАЛЬНЫХ ГРУНТАХ БАРЕНЦЕВА МОРЯ <u>Перебоев Д.Д.</u> , Симакова У.В., Бубнова Е.Н.	335
ДИНАМИКА ПИГМЕНТНОГО СОСТАВА ФИТОПЛАНКТОНА В ТРЕХ МЕРОМИКТИЧЕСКИХ ВОДОЕМАХ В ОКРЕСТНОСТЯХ ББС МГУ ИМ. Н.А. ПЕРЦОВА <u>Янковский Д.А.</u> , Бабушкина К.О., Татаркина П.П., Лабунская Е.А., Воронов Д.А., Краснова Е.Д.	340
АНАЛИЗ ПИГМЕНТНОГО СОСТАВА ВОДНЫХ ФОТОТРОФНЫХ ПРО- И ЭУКАРИОТ МЕТОДАМИ ТОНКОСЛОЙНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ И СПЕКТРОФОТОМЕТРИИ: ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ <u>Татаркина П.П.</u> , Янковский Д.А., Глаголева Е.С., Лабунская Е.А., Воронов Д.А., Краснова Е.Д.	345
АНАЛИЗ АККЛИМАЦИИ КРИПТОФИТОВОЙ ВОДОРΟΣЛИ <i>RHODOMONAS SP.</i> В ОТВЕТ НА СИНИЙ СВЕТ <u>Малышкина Р.А.</u> , Мамедова Д.Ф., Глаголева Е.С., Воронов Д.А., Лабунская Е.А., Краснова Е.Д.	349
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДОННОЙ ФАУНЫ В БУХТЕ БИОФИЛЬТРОВ, ВЕЛИКАЯ СЛМА, БЕЛОЕ МОРЕ <u>Альмендингер А.Р.</u> , Братчикова Ю.А., Воронов Д.А., Жадан А.Э., Загайнов А.В., Закаржаева П.Н., Зимина В.Р., Кокорин А.И., Колбасова Г.Д., Колеватов В.А., Краснова Е.Д., Михлина А.Л., Мокиевский В.О., Назаров Л.С., Руднева Е.В., Семин В.Л., Цетлин А.Б.	353
ОТРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОВТОРНОЙ БЕНТОСНОЙ СЪЕМКИ В КООРДИНАТАХ СТАНЦИИ 13 К.М. ДЕРЮГИНА 1922 Г. Альмендингер А.Р., Братчикова Ю.А., Жадан А.Э., Загайнов А.В., Закаржаева П.Н., <u>Зимина В.Р.</u> , Кокорин А.И., Колеватов В.А., Михлина А.Л., Мокиевский В.О., Назаров Л.С., Руднева Е.В., Цетлин А.Б.	357
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КРУПНЫХ ОРГАНИЗМОВ ИЮНЬСКОГО ЗООПЛАНКТОНА В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ВОДЫ В РАЙОНЕ ГУБЫ ЧУПА БЕЛОГО МОРЯ Иванов М.В., <u>Полякова Н.В.</u> , Генельт-Яновская А.С., Иванова Т.С., Генельт-Яновский Е.А., Лайус Д.Л.	361
СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БАКТЕРИОХЛОРОФИЛЛА ЗЕЛЕННЫХ СЕРОБАКТЕРИЙ ПО ГЛУБИНЕ В ОТДЕЛЯЮЩИХСЯ ВОДОЕМАХ БЕЛОГО МОРЯ В 2018-2022 ГОДАХ <u>Жильцова А.А.</u> , Филиппова О.А., Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Пацаева С.В.	364
РОЛЬ БОРЕАЛЬНЫХ РЫБ В АРКТИЧЕСКОЙ ЭКОСИСТЕМЕ: МИНТАЙ И ПРОЧИЕ РЫБЫ ЧУКОТСКОГО МОРЯ <u>Датский А.В.</u> , Датская С.А.	368
ОЦЕНКА БИОХИМИЧЕСКОЙ КАРТИНЫ КРОВИ У МОЛОДИ ПИЛЕНГАСА ИЗ РАЗНЫХ РАЙОНОВ АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО БАССЕЙНА <u>Войкина А.В.</u> , Бугаев Л.А., Юрченко К.А., Кириченко О.В., Зыкина В.В.	373
СОСТОЯНИЕ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ РАСТЕНИЙ ПРИЛИВНО-ОТЛИВНОЙ ЗОНЫ НА ПРИМЕРЕ <i>HONCKENYA REPLOIDES</i> (L.) ENRH. <u>Добычина Е.О.</u> , Рыжик И.В., Клиндух М.П.	379
ВЛИЯНИЕ КОРМЛЕНИЯ НА РАБОТУ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОЛОНИАЛЬНОГО ГИДРОИДА <i>DYNAMENA PUMILA</i> (L., 1758) <u>Дементьев В.С.</u> , Марфенин Н.Н.	383

МОНИТОРИНГ ЩЕННЫХ ЗАЛЕЖЕК ГРЕНЛАНДСКОГО ТЮЛЕНЯ В БЕЛОМ МОРЕ В 2020-2022 гг. <u>Светочев В.Н., Светочева О.Н.</u>	387
ОБНОВЛЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ЗАПАСА И ПРОМЫСЛА КРЫМСКО-КАВКАЗСКОЙ ЕДИНИЦЫ ЗАПАСА ЧЕРНОМОРСКОГО ШПРОТА В ПЕРИОД 2001–2021 гг. <u>Пятинский М.М., Шляхов В.А., Афанасьев Д.Ф.</u>	393
ОСОБЕННОСТИ МНОГОЛЕТНЕЙ ДИНАМИКИ ИХТИОПЛАНКТОНА В СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЕ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД <u>Басова М.М., Крашениникова С.Б.</u>	398
СООБЩЕСТВА ФИТО- И ЗООБЕНТОСА УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ РЕКИ КАРГОВКА (БАССЕЙН БЕЛОГО МОРЯ) <u>Махнович Н.М., Мосеев Д.С.</u>	401
ПРИМЕНЕНИЕ ИНДЕКСОВ ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОД СЕВЕРНОГО КАСПИЯ <u>Дегтярева Л.В.</u>	404
ИДЕНТИФИКАЦИЯ БАКТЕРИАЛЬНЫХ СИМБИОНТОВ БЕЛОМОРСКОЙ МШАНКИ <i>AQUILONIELLA SCABRA</i> <u>Карагодина Н.П., Вишняков А.Э., Демидова М.А., Богданов Е.А., Котенко О.Н., Островский А.Н.</u>	408
ПЕРВАЯ НАХОДКА ИНFUЗОРИИ <i>EPISTYLIS CLAMPI</i> MA ET OVERSTREET, 2006 (CILIOPHORA: PERITRICHIA) В ЧЕРНОМ МОРЕ <u>Абибулаева А.Ш., Довгаль И.В.</u>	412
Приложение	416
СОДЕРЖАНИЕ ТОМА I (IV)	417
СОДЕРЖАНИЕ ТОМА II (IV)	422
СОДЕРЖАНИЕ ТОМА IV(IV)	426

Том IV (IV) / Volume IV (IV)

Оглавление / Contents

Программа конференции / Conference Programme

Тезисы / Abstracts

Морская геология. Устные доклады

СОВРЕМЕННЫЕ ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГРЯЗЕВЫХ ВУЛКАНОВ, ТЕРМАЛЬНЫХ И МИНЕРАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ОСТРОВА САХАЛИН <u>Сырбу Н.С.</u> , Холмогоров А.О.	14
КРИОГЕННЫЕ ГИДРАТЫ ПРИРОДНОГО ГАЗА В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ (КЛИМАТ И ТЕКТОНИКА) <u>Друщин В.А.</u>	20
АУТИГЕННЫЕ КАРБОНАТЫ В ОЧАГАХ РАЗГРУЗКИ ФЛЮИДОВ: ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ В МОРЯХ И ОПАСНОСТЬ ДЛЯ СООРУЖЕНИЙ <u>Мироснок С.Г.</u>	24
НОВЫЕ ДАННЫЕ О СТРОЕНИИ ПОДВОДНОГО ВУЛКАНА 7.5 И ПОДВОДНОГО ВУЛКАНИЧЕСКОГО МАССИВА 7.11 (КУРИЛЬСКАЯ ОСТРОВНАЯ ДУГА) Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С., Новикова П.Н., Петрова В.В., Пилипенко О.В., <u>Рашидов В.А.</u> , Трусов А.А.	30
УГЛЕВОДОРОДЫ БАЙКАЛЬСКОГО РИФТА: ОСОБЕННОСТИ МИГРАЦИИ И ФЛЮИДОПРОЯВЛЕНИЯ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ <u>Видищева О.Н.</u> , Ахманов Г.Г., Соловьева М.А., Хлыстов О.М.	35
АУТИГЕННЫЕ КАРБОНАТНЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ <u>Басова Е.Д.</u> , Полулеткина Е.Н., Ахманов Г.Г., Строева А.Р., Мельник А.Д., Меркель А.Ю.	37
ГРЯЗЕВЫЕ ВУЛКАНЫ ОЗЕРА БАЙКАЛ (ПО МАТЕРИАЛАМ CLASS@BAIKAL) <u>Пятилова А.М.</u> , Ахманов Г.Г., Соловьева М.А., Хлыстов О.М.	41
НОВЫЕ ДАННЫЕ О ГИДРАТОНОСНОСТИ ОЗЕРА БАЙКАЛ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГЛУБИННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РЕЙСА CLASS@BAIKAL-2022 <u>Соловьева М.А.</u> , Ахманов Г.Г., Хлыстов О.М.	45
ОСОБЕННОСТИ ЧЕТВЕРТИЧНОГО ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ РАЙОНА АКАДЕМИЧЕСКОГО ХРЕБТА, ОЗЕРО БАЙКАЛ <u>Немченко Н.В.</u> , Ахманов Г.Г., Пятилова А.М., Соловьева М.А., Хлыстов О.М.	49
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И СВЯЗАННЫЕ С НИМИ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОПАСНОСТИ В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ РОССИИ Крылов А.А., <u>Рукавишникова Д.Д.</u> , Баранов Б.В., Ковачев С.А.	53
НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ЛИТОЛОГИИ И ГЕОМОРФОЛОГИИ ГДАНЬСКОГО БАСЕЙНА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ <u>Дорохова Е.В.</u> , Пономаренко Е.П., Бондаренко Е.А., Пугачева Т.Л., Грачева Е.В., Оголихина М.Д., Ревунова А.В.	58
СОПОСТАВЛЕНИЕ СПУТНИКОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК, ВЗВЕСИ И ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПОТОКОВ ОСАДОЧНОГО ВЕЩЕСТВА В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ БЕЛОГО МОРЯ <u>Новигатский А.Н.</u> , Кловиткин А.А., Кравчишина М.Д., Политова Н.В., Филиппов А.С., Шевченко В.П.	62
СТРОЕНИЕ ЛЕДНИКОВЫХ И ЛЕДНИКОВО-МОРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА <u>Рыбалко А.Е.</u> , Беляев П.Ю., Токарев М.Ю., Алешин М.Ю., Кудинов А.А., Полулеткина Е.Н., Корост С.Р., Рябчук Д.В., Дронь О.Н.	67
ПРИБРЕЖНЫЕ ДЮНЫ И ИЗМЕНЕНИЕ УРОВНЯ БЕЛОГО МОРЯ В ГОЛОЦЕНЕ (ЗИМНИЙ И КАНИНСКИЙ БЕРЕГА) <u>Репкина Т.Ю.</u> , Леонтьев П.А., Кублицкий Ю.А., Крехов А.К., Гуринов А.Л., Вяткин Е.Д., Орлов А.В., Луговой Н.Н.	73
ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ МОРФОДИНАМИЧЕСКОГО ЦИКЛА ПЕСЧАНОГО ПОДВОДНОГО ВАЛА (НА ПРИМЕРЕ БАЛТИЙСКОЙ КОСЫ) <u>Корзинин Д.В.</u>	78
ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УЧАСТКОВ РАЗВИТИЯ ПИНГОПОДОБНЫХ ФОРМ В ПЕЧОРСКОМ И КАРСКОМ МОРЯХ <u>Кохан А.В.</u> , Денисова А.П., Мороз Е.А., Соколов С.Ю.	82

ОСОБЕННОСТИ МОРФОДИНАМИКИ АККУМУЛЯТИВНЫХ БЕРЕГОВ ОСТРОВА ИТУРУП (КУРИЛЬСКИЕ ОСТРОВА, РОССИЯ) <u>Кузнецов М.А.</u>	86
ЭМИССИЯ ГАЗА В РАЙОНЕ ГРЯЗЕВЫХ ВУЛКАНОВ «АКАДЕМИЧЕСКИЙ», ОЗЕРО БАЙКАЛ <u>Кишанков А.В.</u> , <u>Ахманов Г.Г.</u> , <u>Хлыстов О.М.</u> , <u>Соловьева М.А.</u> , <u>Немченко Н.В.</u> , <u>Видищева О.Н.</u>	92
СУБАКВАЛЬНАЯ МЕРЗЛОТА В ЗАЛИВЕ БУОР-ХАЯ ПО ДАННЫМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И БУРЕНИЯ <u>Смирнов Ю.Ю.</u> , <u>Матвеева Т.В.</u> , <u>Щур Н.А.</u> , <u>Щур А.А.</u> , <u>Бочкарев А.В.</u>	96
МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ВЕРХНИХ ГОРИЗОНТОВ РУДОНОСНЫХ ОСАДКОВ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО УЗЛА ПОБЕДА (САХ) <u>Люткевич А.Д.</u> , <u>Габлина И.Ф.</u> , <u>Горькова Н.В.</u> , <u>Киселев А.А.</u>	102
ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ И ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ДОННЫХ ОСАДКОВ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ (ПО МАТЕРИАЛАМ РЕЙСА TTR-20) <u>Сигачева Л.Ю.</u> , <u>Видищева О.Н.</u> , <u>Калмыков А.Г.</u> , <u>Полудеткина Е.Н.</u> , <u>Ахманов Г.Г.</u> , <u>Басова Е.Д.</u>	106
ОБЗОР ИЗУЧЕННОСТИ СУБМАРИННОЙ КРИОЛИТОЗОНЫ ЗАПАДНОГО СЕКТОРА РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ <u>Гаврилов А.В.</u> , <u>Малахова В.В.</u> , <u>Пижанкова Е.И.</u> , <u>Попова А.А.</u>	110
ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ДОННЫХ ОСАДКОВ И ОЦЕНКА РОЛИ ГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ В ЕГО ФОРМИРОВАНИИ НА ПРИМЕРЕ РАЗЛИЧНЫХ РАЙОНОВ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ И ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ <u>Гершелис Е.В.</u> , <u>Полтавская Н.А.</u>	115
МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МОРСКОГО ОСАДКА <u>Миринец А.К.</u> , <u>Бобачев А.А.</u> , <u>Рыбалко А.Е.</u> , <u>Токарев М.Ю.</u>	120
УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА НЕКОНСОЛИДИРОВАННЫХ ОСАДКАХ КАРСКОГО МОРЯ <u>Смирнов И.Д.</u> , <u>Пятилова А.М.</u> , <u>Ахманов Г.Г.</u>	124
ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПОВЕРХНОСТНОМ МИКРОСЛОЕ И ЛЬДАХ КАРСКОГО И БАРЕНЦЕВА МОРЕЙ <u>Немировская И.А.</u> , <u>Храмцова А.В.</u>	128
ЗАДАЧИ И ПРОБЛЕМЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ В РОССИЙСКИХ РАЗВЕДОЧНЫХ РАЙОНАХ МИРОВОГО ОКЕАНА <u>Кондратенко А.В.</u> , <u>Захаров М.С.</u> , <u>Кондратюк Е.М.</u> , <u>Павлов А.С.</u>	132

Морская геология и геофизика. Стендовые доклады

ФОРМИРОВАНИЕ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ПОРОВЫХ ВОД СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА БАРЕНЦЕВА МОРЯ <u>Шиндина Н.Е.</u> , <u>Казак Е.С.</u> , <u>Неуважаева М.Д.</u>	137
ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ДОННОЙ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ В ОБСКОЙ ГУБЕ КАРСКОГО МОРЯ <u>Бобачев А.А.</u> , <u>Миринец А.К.</u> , <u>Миронюк С.Г.</u>	141
НОВАЯ НАХОДКА ПЕПЛА ТИПА ВЕДДЕ В ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЕ НОРВЕЖСКОГО МОРЯ <u>Якимова К.С.</u> , <u>Кравчишина М.Д.</u> , <u>Политова Н.В.</u> , <u>Чеховская М.П.</u> , <u>Матуль А.Г.</u> , <u>Новичкова Е.А.</u>	145
ОСОБЕННОСТИ ГЕОМОРФОЛОГИИ МАЛЫХ ОСТРОВОВ КАРСКОГО МОРЯ <u>Пижанкова Е.И.</u> , <u>Балдина Е.А.</u> , <u>Гаврилов А.В.</u> , <u>Ширшова В.Ю.</u> , <u>Ширяев М.А.</u>	150
ФОРМИРОВАНИЕ БЕРЕГОВ ОСТРОВОВ ПРИТАЙМЫРСКОГО МЕЛКОВОДЬЯ (ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ) <u>Гаврилов А.В.</u> , <u>Пижанкова Е.И.</u>	154
ЛИТОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКОВ ПОДВОДНОГО БЕРЕГОВОГО СКЛОНА САМБИЙСКОГО ПОЛУОСТРОВА И КУРШСКОЙ КОСЫ (ЮГО-ВОСТОЧНАЯ БАЛТИКА) <u>Наумов И.А.</u> , <u>Дорохова Е.В.</u>	158
РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ОПТИМИЗАЦИИ МЕТОДА ПОЛЕВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПЛОТНОСТИ/ВЛАЖНОСТИ ДЛЯ МОРСКИХ ИНЖЕНЕРНЫХ РАБОТ <u>Немченко Н.В.</u> , <u>Угольцова Е.А.</u> , <u>Басова Е.Д.</u> , <u>Ахманов Г.Г.</u> , <u>Рязанцева К.Ю.</u> , <u>Видищева О.Н.</u>	162
ВЛИЯНИЕ ИСЛАНДСКОГО ПЛЮМА НА ГЕОМЕТРИЮ РИФТОВЫХ СИСТЕМ ИСЛАНДИИ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ) <u>Боголюбский В.А.</u> , <u>Дубинин Е.П.</u> , <u>Грохольский А.Л.</u>	165
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ И ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ГРЯЗЕВОГО ВУЛКАНА «МГУ» В ЭКСПЕДИЦИИ CLASS@BAIKAL-2022 <u>Богданов А.А.</u> , <u>Видищева О.Н.</u> , <u>Рязанцева К.Ю.</u> , <u>Немченко Н.В.</u> , <u>Ахманов Г.Г.</u> , <u>Соловьева М.А.</u>	171
СТРОЕНИЕ КОРЫ И ЛИТОСФЕРЫ АНТАРКТИЧЕСКОГО СЕКТОРА ЮЖНОЙ АТЛАНТИКИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПЛОТНОСТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ <u>Рыжова Д.А.</u> , <u>Дубинин Е.П.</u> , <u>Коснырева М.В.</u> , <u>Булычев А.А.</u>	175
ОБ ИССЛЕДОВАНИИ В РАМКАХ ПРОЕКТА CLASS@BAIKAL СВЯЗИ ТАНХОЙСКИХ УГЛЕНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ И ГАЗОВ, РАЗГРУЖАЮЩИХСЯ В ЮЖНОЙ КОТЛОВИНЕ БАЙКАЛА <u>Рязанцева К.Ю.</u> , <u>Видищева О.Н.</u> , <u>Ахманов Г.Г.</u> , <u>Большакова М.А.</u> , <u>Богданов А.А.</u> , <u>Пятилова А.М.</u>	180
ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТРУКТУР ФОКУСИРОВАННОЙ ФЛОИДОРАЗГРУЗКИ В КУКУЙСКОМ КАНЬОНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ <u>Шумихин В.М.</u> , <u>Ахманов Г.Г.</u> , <u>Казак Е.С.</u> , <u>Видищева О.Н.</u> , <u>Немченко Н.В.</u> , <u>Соловьева М.А.</u>	185

НОВЫЕ ДАННЫЕ К ПАЛИНОСТРАТИГРАФИИ ОТЛОЖЕНИЙ БОРЕАЛЬНОЙ ТРАНСГРЕССИИ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ БЕЛОМОРСКОГО РАЙОНА <u>Руденко О.В.</u> , Талденкова Е.Е., Баух Х., Овсепян Я.С.	189
ЦВЕТ И ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ КАК ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ ОСАДКОВ ГДАНЬСКОЙ ВПАДИНЫ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ <u>Бондаренко Е.А.</u> , Дорохова Е.В., Грачева Е.В., Ревунова А.В.	195
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОРОВЫХ ВОД НА ПОЛИГОНЕ «KASANIA» ШЕЛЬФА КАРСКОГО МОРЯ <u>Неуважаева М.Д.</u> , Казак Е.С., Шиндина Н.Е.	199
ВОКРУГ НОВОЙ ЗЕМЛИ: ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ <u>Скавинская Н.Ю.</u> , Барымова А.А.	204
ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРИЗНАКОВ ДЕГАЗАЦИИ В ПРЕДЕЛАХ БАРЕНЦЕВО-КАРСКОГО ШЕЛЬФА <u>Денисова А.П.</u> , Мороз Е.А., Соколов С.Ю., Ананьев Р.А., Мазнев С.В., Архипов В.В.	208
ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ КОМПЛЕКСА ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В КАРСКОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ РЕЙСА TTR-21 <u>Пятилова А.М.</u> , <u>Зайцева А.С.</u> , Токарев М.Ю., Бабушкина К.В.	214
ИЗУЧЕНИЕ МЕЛКОВОДНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР ВОКРУГ ОСТРОВА БЕННЕТТА ПО ДАННЫМ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ <u>Ли Гогуй</u> , Гайнанов В.Г., Зверев А.С.	219
БАЗА ДАННЫХ КОЛОНОК ДОННЫХ ОСАДКОВ «CORES» <u>Дорохов А.Д.</u> , Дорохова Е.В.	223

Новые данные о признаках последнего оледенения на Баренцево-Карском шельфе. Устные доклады

ДИСКУССИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОЛЕДЕНЕНИЯ БАРЕНЦЕВО-КАРСКОГО ШЕЛЬФА <u>Рыбалко А.Е.</u> , Ахманов Г.Г., Токарев М.Ю., Соловьева М.А., Аксенов А.О.	228
ВКЛАД ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ПРОБЛЕМУ ВЫДЕЛЕНИЯ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ ОЛЕДЕНЕНИЯ БАРЕНЦЕВО-КАРСКОГО ШЕЛЬФА <u>Коллобакин А.А.</u> , Терёхина Я.Е., <u>Рыбалко А.Е.</u> , Репкина Т.Ю., Старовойтов А.В., Токарев М.Ю., Росляков А.Г., Хлебникова О.А.	234
ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СТАНДАРТНОЙ 2D СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЭРОЗИОННО-АККУМУЛЯТИВНЫХ ФОРМ, СВЯЗАННЫХ С ОЛЕДЕНЕНИЕМ <u>Хлебникова О.А.</u> , Терехина Я.Е., Токарев М.Ю., Понимаскин А.И., Замотина З.С., Куликова Д.С., Коллобакин А.А., Гончарова А.М.	240
ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭРОЗИОННО-АККУМУЛЯТИВНЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНО-ПРИНОВОЗЕМЕЛЬСКОГО РАЙОНА КАРСКОГО МОРЯ <u>Замотина З.С.</u> , Терёхина Я.Е., Рыбалко А.Е., Репкина Т.Ю., Коллобакин А.А., Гончарова А.М.	245
ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ФОРМ ЛЕДНИКОВОГО РЕЛЬЕФА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ <u>Куликова Д.С.</u> , Терехина Я.Е., Рыбалко А.Е., Коллобакин А.А., Гончарова А.М., Соловьева М.А.	250
ИТОГИ ЭКСПЕДИЦИИ TTR-21: НОВЫЕ ДАННЫЕ О ЧЕТВЕРТИЧНОМ СЕДИМЕНТОГЕНЕЗЕ, РЕЛЬЕФООБРАЗОВАНИИ И ФЛЮИДОРАЗГРУЗКЕ В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО ШЕЛЬФА <u>Токарев М.Ю.</u> , Рыбалко А.Е., Полудеткина Е.Н., Потемка А.К., Пирогова А.С., Дудков И.Ю., Строева А.Р.	254
ТЕХНОЛОГИИ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ МОРСКОГО ДНА И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА КАРСКОМ ШЕЛЬФЕ. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕДИЦИИ TTR-21 <u>Дудков И.Ю.</u> , Понасенко С.Н., Меркурьева В.М., Куликова Д.С., Орлов Е.К.	259
ОСОБЕННОСТИ ФЛЮИДОРАЗГРУЗКИ НА МОРСКОЕ ДНО И В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО ШЕЛЬФА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕДИЦИИ TTR-21 <u>Полудеткина Е.Н.</u> , Токарев М.Ю., Юмашева А.К., Киль А.О., Басова Е.Д., Рыбалко А.Е., Пирогова А.С., Потемка А.К., Буланова И.А.	264
ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПРИЗНАКИ ГАЗОНАСЫЩЕННОСТИ В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА УЧАСТКА ИССЛЕДОВАНИЙ НА СЕВЕРЕ ТЕРРАСЫ ГЕРКУЛЕСА ПО ДАННЫМ РЕЙСА TTR-21 В КАРСКОЕ МОРЕ <u>Куликова Д.С.</u> , Буланова И.А., Дудков И.Ю., Смирнов И.Д., Зайцева А.С., Яковенко А.Д., Бабушкина К.В., Томасенко С.В., Шиндина Н.Е., Уголькова Е.А., Меркурьева В.М., Токарев М.Ю.	269
ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА УЧАСТКА ИССЛЕДОВАНИЙ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ОБЪЕДИНЕНСКОЙ СТУПЕНИ. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕДИЦИИ TTR-21 <u>Буланова И.А.</u> , Шиндина Н.Е., Уголькова Е.А., Томасенко С.В., Пирогова А.С., Рыбалко А.Е., Токарев М.Ю.	273
ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УЧАСТКА ИССЛЕДОВАНИЙ В РАЙОНЕ ЦЕНТРАЛЬНО-КАРСКОГО ЖЕЛУБА. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕДИЦИИ TTR-21 <u>Аксенов А.О.</u> , Бирюк М.А., Гершман М.О., Карам Ж.С., Киль А.О., Кудинов А.А., Неуважаева М.Д., Никонова Е.Н., Пальцев И.О., Пирогова А.С.	277

УТОЧНЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ О ГЕОЛОГИЧЕСКОМ СТРОЕНИИ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ПОДНЯТИЯ НАЛИВКИНА (КАРСКОЕ МОРЕ) ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕДИЦИИ TTR21 <u>Кишанков А.В.</u> , Юмашева А.К., Аладова Ю.А., Смирнова А.Ю., Орлов Е.К., Куликова Д.С., Бабушкина К.В., Токарев М.Ю., Полудеткина Е.Н., Рыбалко А.Е., Пирогова А.С.....	281
ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПРИЗНАКИ ГАЗОНАСЫЩЕННОСТИ В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА УЧАСТКА ИССЛЕДОВАНИЙ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ПОДНЯТИЯ НАЛИВКИНА (КАРСКОЕ МОРЕ) <u>Юмашева А.К.</u> , Кишанков А.В., Аладова Ю.А., Смирнова А.Ю., Орлов Е.К., Куликова Д.С., Бабушкина К.В., Токарев М.Ю., Полудеткина Е.Н., Рыбалко А.Е., Пирогова А.С.....	285

Приложение	289
СОДЕРЖАНИЕ ТОМА (IV)	290
СОДЕРЖАНИЕ ТОМА II (IV)	295
СОДЕРЖАНИЕ ТОМА III(IV)	299