

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ  
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
АРКТИЧЕСКИЙ И АНТАРКТИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

**СОСТОЯНИЕ И ЗАДАЧИ МОНИТОРИНГА  
ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ  
ОБЬ-ЕНИСЕЙСКОГО УСТЬЕВОГО РЕГИОНА  
НА ФОНЕ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА  
И ИНТЕНСИВНОЙ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

Санкт Петербург  
22–23 октября 2024 г.

1834  
**190** лет  
ГИДРОМЕТСЛУЖБЕ РОССИИ  
2024

Санкт-Петербург  
2024

Научно-практическая конференция «Состояние и задачи мониторинга природных условий Обь-Енисейского устьевоего региона на фоне изменяющегося климата и интенсивной хозяйственной деятельности» (22–23 октября 2024 г., Санкт-Петербург, ААНИИ) проводится в соответствии с планом важнейших научно-технических конференций, семинаров, оперативно-производственных совещаний и выставок Росгидромета. Конференция – вторая по счету, посвященная вопросам мониторинга этого важнейшего арктического района, находящегося в процессе активного хозяйственного освоения; первая прошла в октябре 2022 г. и собрала специалистов различных направлений исследования природной среды Обской и Тазовской губ.

Основная цель конференции – ознакомить различные организации и специалистов с современным состоянием исследований природной среды региона, в котором реализуются крупнейшие арктические проекты, обсудить проблемы и перспективы проводимых исследований, оценить уровень антропогенной нагрузки.

На конференции представлено более 30 докладов по вопросам, связанным с метеорологическими, гидрологическими и ледовыми условиями, экологическим состоянием Обь-Енисейского устьевоего региона и прилегающих акваторий, специализированному гидрометеорологическому обеспечению хозяйственной деятельности, управлению ледовой обстановкой, экологическому контролю. Рассмотрены подходы к организации и ведению комплексного гидрометеорологического и экологического мониторинга бассейнов Обской и Тазовской губ, Енисейского залива для рационального хозяйственного освоения региона в ближайшей перспективе.

Проводимая в этом году конференция приурочена к 190-летию Гидрометеорологической службы России.

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>М.В. Третьяков.</i> Пути развития государственного мониторинга Карского устьевоего региона .....	5
<i>Е.В. Румянцева, О.В. Муждаба, А.А. Пискун., М.В. Третьяков.</i> Вопросы гидрологического районирования Карского устьевоего региона .....	6
<i>А.В. Штанников, А.Н. Рачкова, О.В. Муждаба.</i> Состояние государственной сети гидрометеорологических наблюдений в Енисейской устьевой области .....	8
<i>Н.А. Волкова, К.В. Ромашова.</i> Методики долгосрочного прогноза максимальных уровней воды весеннего половодья низовьев крупных рек Обско-Тазовской устьевой области .....	9
<i>Н.К. Харлампьева.</i> Исследования устьевых регионов Арктики: вопросы международного взаимодействия .....	11
<i>Р.А. Терехова, М.В. Третьяков.</i> Состояние подготовки изданий Водного кадастра в Обь-Енисейском устьевом регионе .....	16
<i>Р.А. Колесников, Н.В. Юркевич.</i> Результаты мониторинга водных объектов в Ямало-Ненецком автономном округе .....	20
<i>В.И. Акселевич, Г.И. Мазуров.</i> Особенности изменения климата Обь-Енисейского региона .....	24
<i>М.А. Спиридонов, П.В. Староверов.</i> Почему необходим Государственный кадастр береговой зоны Российской Арктики .....	28
<i>Г.А. Кажукало, А.А. Ермолов, С.А. Огородов, Н.Н. Шабанова.</i> Морфология и динамика берегов и дна Обской губы Карского моря.....	28
<i>В.В. Тихонов, А.Н. Романов, И.В. Хвостов, Е.А. Шарков, Н.Ю. Комарова.</i> Анализ солёности воды под ледяным покровом в Енисейском заливе по данным радиометра MIRAS спутника SMOS .....	33
<i>В.В. Тихонов, Д.Р. Катамадзе, Т.А. Алексеева, Е.В. Афанасьева, Ю.В. Соколова, И.В. Хвостов, А.Н. Романов, Н.Ю. Комарова.</i> Сплоченность льда в Карском море, полученная методами машинного обучения, по данным радиометра MIRAS спутника SMOS.....	38
<i>И.Е. Козлов.</i> Субмезомасштабные процессы и динамика морского льда в Карском море и Обь-Енисейском регионе на основе данных высокого разрешения .....	43
<i>В.В. Кириллов, Н.М. Ковалевская, И.Д. Рыбкина, Н.В. Худяков.</i> Мониторинг пространственной неоднородности и динамики биооптических характеристик Обской губы по данным различных спутников .....	44
<i>Е.В. Плотников, И.В. Козлов, А.В. Медведева.</i> Мониторинг дрейфа льда в Обь-Енисейском устьевом регионе по спутниковым данным .....	48
<i>В.С. Рогожин, А.А. Осадчиев, А.С. Савин.</i> Особенности формирования ветрового апвеллинга в Енисейском заливе Карского моря по данным ДЗЗ.....	51

<i>Н.В. Кубышкин, Н.В. Головин, А.А. Скутин, Д.И. Соболюк.</i> Особенности проведения рейдовых грузовых операций на ледяном покрове Обской губы, Енисейского залива и нижнего течения р. Енисей.....	55
<i>А.А. Трунин, А.С. Калишин.</i> Отражение вариаций наведенного магнитного поля в гидрометеорологической характеристике — течение .....	58
<i>А.А. Трунин, Д.Д. Волкова.</i> Изменение гидрологических характеристик (модуль стока, температура, испарение, осадки) и их отражение в математических функциях .....	62
<i>А.К. Наумов, Е.А. Скутина.</i> Оценка влияния гидрометеорологических факторов на деятельность в Арктических районах с помощью имитационного моделирования.....	64
<i>А.А. Ермолов, А.И. Кизяков.</i> Экологическая чувствительность берегов Обь-Енисейского региона Карского моря к разливам нефти.....	66
<i>А.О. Даниленко, А.А. Коваленко.</i> Нестационарность гидрохимического режима главных ионов рек Обь-Енисейского устьевоего региона в начале XXI в. ....	70
<i>М.В. Гаврило, В.Г. Пчелинцев, О.А. Кийко.</i> Сеть мониторинга биоты юго-западной части Карского моря в рамках программы экологического мониторинга акватории Северного морского пути: проектные предложения и проблемы их реализации .....	75
<i>Е.А. Агафонова, М.Д. Кравчишина.</i> Новые данные о составе ассоциаций диатомовых водорослей в поверхностном слое донных осадков приустьевых областей рек Оби и Енисея .....	80
<i>Е.А. Логвина, А.А. Крылов, Е.А. Гусев, П.Б. Семенов.</i> Икаиты как индикаторы разгрузки метана и деградации мерзлоты в устье Енисея .....	84
<i>К.Е. Фольваркова.</i> Осуществление производственного экологического мониторинга на объектах строительства, реконструкции и эксплуатации гидротехнических сооружений (ГТС) ФГУП «Гидрографическое предприятие» .....	88
<i>А.С. Недошивин.</i> Использование малых парусных судов для океанографических исследований в открытом море .....	95
<i>Г.Н. Войнов, К.Г. Смирнов, А.В. Нестеров, О.А. Морозова.</i> Особенности приливного дрейфа льда в Обь-Енисейском районе .....	97
<i>Р.А. Виноградов, О.М. Андреев, К.С. Воскресенский, Д.В. Драбенко.</i> Современные естественные и антропогенные факторы, осложняющие работы на припае в Обь-Енисейском регионе .....	102
<i>Ю.Г. Гаврилов, Р.И. Май, О.А. Морозова, В.А. Фадеев.</i> Степень соответствия численных данных радиолокационного индикатора «Ice Vision» с данными измерений параметров дрейфа льда по последовательным радиолокационным снимкам .....	105
<i>К.С. Воскресенский, В.А. Гладыш, Е.А. Логвина.</i> Изменение литодинамического режима и оценка заносимости акватории в процессе строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений на примере терминала «Утранный» .....	107

## ПУТИ РАЗВИТИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО МОНИТОРИНГА КАРСКОГО УСТЬЕВОГО РЕГИОНА

*М.В. Третьяков*

*ФГБУ «ААНИИ» (Арктический и антарктический научно-исследовательский институт)*

Карский устьевой регион обращает на себя внимание по причине наличия на прибрежной территории крупнейших проектов по освоению месторождений углеводородов и других полезных ископаемых, строительству крупных предприятий их переработки и новых портовых сооружений для их транспортировки. Этот регион формируется устьевыми областями крупных рек — в основном Обско-Тазовской и Енисейской устьевыми областями, а также совместным взморьем, подверженным сильному влиянию речного стока. Необходимость решения комплекса транспортных, водохозяйственных, экологических задач требует сведений о современном и прогнозируемом состоянии водных объектов, входящих в этот регион.

Государственный мониторинг поверхностных водных объектов, входящих в этот регион, осуществляется Росгидрометом в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 10 апреля 2007 г. № 219 «Об утверждении Положения об осуществлении государственного мониторинга водных объектов» (ст. 10 Водного Кодекса). Государственный мониторинг включает регулярные наблюдения за состоянием водных объектов, включая количественные и качественные показатели водных ресурсов, сбор, обработку и хранение сведений, полученных в результате наблюдений и внесение их в реестр, оценку и прогнозирование изменений состояния водных объектов и водных ресурсов.

За систему наблюдений отвечают региональные управления гидрометслужбы — Северное, Обь-Иртышское и Среднесибирское УГМС. На УГМС также лежит ответственность за подготовку к публикации изданий Водного кадастра по этому региону.

Оценивая состояние водных объектов, входящих в этот регион, исследователи сталкиваются со слабой изученностью этого района. Этому способствует редкая сеть гидрометеорологических наблюдений, а также проблемы с информационными ресурсами.

В сложившихся условиях для исследования состояния устьевого региона предпринимаются попытки применения методов математического моделирования с привлечением дополнительных источников информации.

Для успешного применения моделирования необходимо правильно выделить моделируемую систему. Одним из пространственных ограничителей системы является положение ее морской границы, которую стре-

мятся вынести в море за пределы влияния речного стока. Собственно, с этим и связано то, что в данном случае целесообразно говорить не об отдельных устьевых областях, а о едином устьевом регионе.

Развитие моделирования устьевого региона связано как с развитием математического аппарата и вычислительных мощностей, так и с привлечением всех возможных источников информации. Кроме развития береговой наблюдательной сети, необходимо развивать отечественные методы дистанционного зондирования Земли, создавать информационные ресурсы по имеющимся данным экспедиционных наблюдений и модельных расчетов. Также перспективным является развитие синергии моделей устьевого региона со смежными моделями — моделями Северного ледовитого океана, моделями циркуляции атмосферы, моделями формирования речного стока.

Однако без информации о происходящих внутри устьевой области процессах достаточно сложно будет верифицировать устьевые модели, и все эти меры могут оказаться несостоятельными. Поэтому для обеспечения моделей граничными условиями, а также данными внутри области для калибровки и верификации моделей, необходимо воссоздание постоянно действующей арктической устьевой экспедиции, работавшей в 1970–1980 годы. Данные этой экспедиции, а также данные гидрометеорологической береговой сети и результаты моделирования устьевых процессов на основе полученных данных могут стать основой для осуществления гидрометеорологического и экологического мониторинга в устьевых областях рек Карского устьевого региона, подверженных сильнейшему антропогенному воздействию.

## **ВОПРОСЫ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ КАРСКОГО УСТЬЕВОГО РЕГИОНА**

*Е.В. Румянцева, О.В. Муждаба, А.А. Пискун, М.В. Третьяков*

*ФГБУ «ААНИИ» (Арктический и антарктический научно-исследовательский институт)*

Особое расположение устьевых областей рек в переходной зоне между рекой и морем определяет важность их районирования. Для обеспечения репрезентативных гидрометеорологических и экологических наблюдений на устьевых участках рек и устьевых взморьях необходимо их научно-обоснованное гидролого-морфологическое и водохозяйственное районирование. В современных условиях государственного регулирования водохозяйственных отношений районирование устьевых областей рек приобретает принципиальное значение при разрешении юридических вопросов, связанных с природопользованием конкретных географических объектов.

В широком понимании Карский устьевой регион можно определить как устьевые области больших рек с прилегающей акваторией Карского моря. В узком смысле Карский устьевой регион можно понимать как единую зону распреснения в Карском море за счет значительного стока Оби и Енисея.

Основы гидрологического районирования Обско-Тазовской и Енисейской устьевых областей были заложены учеными ААНИИ в середине XX века на основе материалов уникальных устьевых экспедиций 1930-х годов, а затем подтверждены и уточнены в 1980-х годах, прежде всего, в рамках работ по проекту переброски части стока северных и сибирских рек на юг и развитием исследований водного баланса и водных ресурсов, в частности — оценки притока речных вод в арктические моря как важного климатического фактора.

Обско-Тазовская устьевая область представляет собой систему устьевых областей рек Оби, Надыма, Пура и Таза. Выявлены существенные недочеты водохозяйственного районирования местного водосбора Обско-Тазовской устьевой области и акватории, а также определены актуальные вопросы разночтений в определении статуса водных объектов в устьевых областях и определении границ устьев, которыми руководствуются различные ведомства. В зоне активного водопользования Обской и Тазовской губ государственные и коммерческие организации испытывают серьезные трудности гидрометеобеспечения судоходства и морских операций на льду.

Енисейская устьевая область и ее водосбор в настоящее время активно вовлекается в добывающую и транспортную инфраструктуру Арктики. На устьевом взморье Енисея ведется строительство нефтеналивного терминала. Отмечено недостаточное количество и качество гидрологических наблюдений в Енисейской устьевой области.

Впервые для малоизученной устьевой области р. Пясины дано гидролого-морфологическое районирование. Для его выполнения проведен поиск и систематизация данных исторических и экспедиционных наблюдений в устьевой области р. Пясины. Представлены отдельные результаты экспедиционных исследований ААНИИ и Диксонского УГМС до 1987 г. На основе анализа и расчетов данных наблюдений установлены речная и морская границы устьевой области, обозначены границы районов, рассчитаны площади водосборов устьевых районов на основе ГИС.

В виду значительной составляющей речного стока рек Обско-Тазовской и Енисейской устьевых областей выделяются зоны распространения пресных вод в Карском море. Вопрос районирования устьевых областей рек бассейна Карского моря, остается актуальным в условиях климатических обусловленных изменениях речного стока и отсутствии законодательного закрепления терминологии устьевых об-

ластей рек. Гидрометеорологические наблюдения в устьевых областях по специальной программе позволят дать оценку современного изменения местоположения границ устьевых областей рек.

## СОСТОЯНИЕ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЕТИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В ЕНИСЕЙСКОЙ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ

*А.В. Штанников, А.Н. Рачкова, О.В. Муждаба*

*ФГБУ «ААНИИ» (Арктический и антарктический научно-исследовательский институт)*

В докладе рассматриваются современное состояние и работа государственной наблюдательной гидрологической и гидрометеорологической сети, расположенной в Енисейской устьевой области (см. рис.).

Енисейская устьевая область расположена в Красноярском крае на территории Туруханского и Таймырского Долгано-Ненецкого муниципальных районов. Оперативно-методическое руководство этой сетью осуществляют Северное и Среднесибирское УГМС, научно-методическое руководство наблюдениями в устьевых областях арктических рек возложено на ААНИИ.



Гидрологическая и морская береговая сеть наблюдений  
в Енисейской устьевой области

На основе обобщения ежегодных сведений о работе гидрологической и морской сети, поступающих из УГМС в ААНИИ, выполнен анализ современного состояния и работы наблюдательных подразделений, действующих в Енисейской устьевой области. Представлен состав и программы наблюдательной сети и их изменения в динамике за более ранние годы. Приводятся сведения о техническом обеспечении пунктов наблюдений, о производстве наблюдений и работ, о кадровом потенциале. Отражены порядок и проблемы методического руководства сетью со стороны ААНИИ и со стороны УГМС. Изложены результаты деятельности Северного и Среднесибирского УГМС по реализации мероприятия «Модернизация и развитие гидрометеорологической сети наблюдений за состоянием окружающей среды в АЗРФ» ведомственного проекта Росгидромета «Развитие системы государственного мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды в АЗРФ» (1-й этап 2021–2024 гг.) и планы его продолжения до 2027 г.

В августе 2024 г. методистами отдела гидрологии устьев рек ААНИИ была проведена инспекция шести устьевых гидрологических постов Енисея. В ходе инспекции выявлены значительные проблемы в оснащении уровней постов, состоянии высотной основы равномерных устройств и их привязки к реперам государственной сети ГУГК. Зафиксированы нарушения однородности наблюдений за уровнем воды на постах Дудинка и Потапово, подтверждено полное разрушение поста Караул в результате строительства причалов, входящих в логистическую схему нефтеналивного терминала «Порт Бухта Север» (ПАО «НК Роснефть» проект «Восток-Ойл»).

Таким образом, в результате проведенного анализа и обобщений сделаны выводы о фактическом положении дел в работе наблюдательной сети, расположенной в Енисейской устьевой области. Представлены основные проблемы наблюдательной сети, выявленные в ходе инспекции конкретные недостатки и особые ситуации. Обсуждаются возможные перспективы ее восстановления и развития с учетом ключевых проектов нефтегазовой промышленности на территории Красноярского края.

## **МЕТОДИКИ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА МАКСИМАЛЬНЫХ УРОВНЕЙ ВОДЫ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ НИЗОВЬЕВ КРУПНЫХ РЕК ОБСКО-ТАЗОВСКОЙ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ**

*Н.А. Волкова, К.В. Ромашова*

*ФГБУ «ААНИИ» (Арктический и антарктический научно-исследовательский институт)*

Методы прогнозов с точки зрения физики процесса можно разделить на четыре основные группы:

1. Методы, вытекающие из законов движения воды в руслах. К ним относятся методы гидродинамики и все приближенные способы расчета дви-

жения и трансформации паводков в русловой сети, являющиеся основой краткосрочных прогнозов расходов и уровней воды. Исходными данными для этих прогнозов являются материалы гидрологических наблюдений.

2. Методы, вытекающие из анализа гидрологических и метеорологических процессов, происходящих в речных бассейнах. К ним относятся воднобалансовые методы прогнозов стока половодья и паводков, методы расчета гидрографа паводков и пр.

3. Методы, вытекающие из анализа процессов теплообмена, происходящих в реках, озерах и водохранилищах под влиянием гидрометеорологических факторов. Сюда относятся методы приближенного расчета теплообмена между водой и атмосферой или льдом и атмосферой, являющиеся основой краткосрочных прогнозов замерзания и вскрытия рек, нарастания или стаивания льда.

4. Методы, вытекающие из анализа процессов атмосферной циркуляции, обуславливающей территориальное распределение сроков ледовых явлений или количества осадков. Такого рода методы, применяемые, например, в долгосрочных ледовых прогнозах, тесно связаны с синоптической метеорологией и иногда называются гидросиноптическими методами гидрологических прогнозов.

К перечисленным методам предлагается добавить еще две группы:

5. Статистические методы прогнозирования, основанные на поиске статистических закономерностей в проявлении гидрологических процессах и статистических зависимостей между различными значениями факторов и предсказываемых явлений;

6. Методы, основанные на нейросетевых моделях и нечеткой логике.

В настоящее время в Обь-Иртышском УГМС используется три методики долгосрочных прогнозов максимальных уровней рек: Методика прогноза максимальных уровней воды весеннего половодья р. Надым у г. Надыма. Ответственный исполнитель В.И. Скибо, 1975, Омское управление гидрометслужбы; Методика прогноза высших уровней половодья реки Пур (у пунктов: Халесавой, Тарко-Сале, Уренгой, Самбург) с различной заблаговременностью. Составила Л.Н. Кузнецова, 1977, Омское управление гидрометслужбы; Методика прогноза высших уровней половодья реки Таз с различной заблаговременностью. Составила Л.Н. Кузнецова, 1979, Омское управление гидрометслужбы.

*Река Надым.* Для долгосрочного прогноза построены графики зависимостей высших уровней воды от суммы максимальных снеготопавов и средних осадков летне-осеннего периода (VII-IX) с учетом водности прошлого года. Удовлетворительные результаты получены только для прогноза дат высших уровней воды половодья по прогностическим зависимостям:

$$D_{H_{\max.}} = f(D_{q_{\max.тр.}}).$$

*Река Пур.* Для прогнозирования максимальных уровней р. Пур привлекались данные о максимальных снегозапасах и осадках осени и холодного периода по метеостанциям Надым, Нумто, Ермаково, Вар-Еган, Толька, Халесавой и Тарко-Сале. Получены зависимости, прогнозирующие даты половодья у пос. Халесавой и Самбург со средней заблаговременностью 17 и 9 дней, зависимостей для прогноза высшего уровня половодья получить не удалось. Однако невысокий процент обеспеченности и недостаточная эффективность этих зависимостей не позволяет использовать их для выпуска оперативных прогнозов, их можно применять только для составления консультаций.

*Река Таз.* Методика прогноза высших уровней р. Таз разработана только для пунктов Сидоровск и Тазовское. Для разработки методики прогноза привлекались данные о максимальных снегозапасах и осадках холодного периода и осени по метеостанциям Вар-Еган, Ларьяк, Корлики, Красноселькупск, Таз, Тарко-Сале, Толька и Халесавая.

В отделе гидрологии устьев рек и водных ресурсов ААНИИ проверены все варианты гидрологических прогнозов для замыкающих створов рек Таз, Пур, Пяку-Пур и Надым. Часть методик не получилось использовать из-за недостаточного количества данных. Наилучший результат показало использование методов, основанных на нейросетевых моделях. Разработан способ подготовки исходных данных для реализации процесса обучения нейросети. Заблаговременность прогноза составляет порядка трех месяцев. Реализация предложенного подхода позволила повысить эффективность долгосрочных прогнозов максимальных уровней.

## **ИССЛЕДОВАНИЯ УСТЬЕВЫХ РЕГИОНОВ АРКТИКИ: ВОПРОСЫ МЕЖДУНАРОДНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ**

*Н.К. Харлампьева*

*ФГБУ «ААНИИ» (Арктический и антарктический научно-исследовательский институт)*

*ФГБОУ ВО «СПбГУ» (Санкт-Петербургский государственный университет)*

Актуальность изучения вопросов международного взаимодействия по формированию знаний об Арктике на основе истории изучения научных исследований устьев рек Российской Арктики обусловлено принятием: а) Концепции внешней политики Российской Федерации [4], б) Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации [3]. В условиях трансформации условий ведения международной научно-технической деятельности растет интерес к разработкам отечественных научных школ.

Вовлечение результатов гидрометеорологических наблюдений в процесс принятия комплексных решений становится востребованным в международной экспертной деятельности в смежных с гидрологией дисциплинах [10], в том числе в осуществлении планов по «созданию экономической основы для опережающего социального развития и улучшения качества жизни в Арктической зоне Российской Федерации» [6].

Обоснованием необходимости применения результатов научных исследований об устьях рек Российской Арктики, в смежных с гидрологией дисциплинах, служат следующие факты. Во-первых, при участии сотрудников отдела гидрологии устьев рек и водных ресурсов ААНИИ в фундаментальной научной монографии «Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли» (1974 г.) [9] впервые был включен картографированный раздел «Атлас Арктики». Отдельное полное издание «Атлас Арктики» было опубликовано в 1985 г. только на русском языке [8]. Стоит отметить то, что фундаментальное исследование Международной гидрологической программы ЮНЕСКО 1962–1972 гг. было осуществлено при ведущей роли всемирно известных научно-исследовательских институтов Советского Союза. Во-вторых, процесс формирования единой экологической системы [5] с учетом наблюдений за природной средой и средой обитания человека в Российской Федерации охватывает широкий круг участников при главенствующей роли Росгидромета. Общеизвестно, что при этом Арктическая зона Российской Федерации остается наиболее изученной частью общей и арктической гидрологии. Можно привести следующие примеры. Первая конференция северян «Северный Форум» об окружающей среде Севера и Арктики, состоявшаяся в 1974 г. в Хоккайдо (Япония) и программа «Оценка мониторинга окружающей среды Арктики», разработанная в 1989 г. и ставшая научно-практической частью форума «Арктический Совет» в 1996 г. взяли во внимание именно предварительные результаты гидрологических исследований о Северном Ледовитом океане и его прибрежной части. Так, узнаваемость современной Арктики в рамках изучения мирохозяйственных связей гармонично вписывается при выявлении роли арктической гидрологии в современных исследованиях и развитии, приведенных в документах ООН, в том числе в Целях устойчивого развития, уточнения объектов изучения и исследования программы «Человек и биосфера» (The Man and the Biosphere Programme, MAB) ЮНЕСКО, совершенствования национальных классификаций «Экология и природопользование», «Государственное и муниципальное управление», «Международные отношения», стандартов «Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия», «Океанология», «Охрана окружающей среды. Поверхностные и подземные воды», «Политические науки и регионоведение».

Сотрудники отдела гидрологии устьев рек и водных ресурсов ААНИИ вносят свой вклад в этом направлении в рамках выполнения программы НИР Росгидромета: а) проводится каталогизация трудов сотрудников ААНИИ по исследованию устьев рек Российской Арктики с конца XIX на основе материалов архива и научно-технического фонда ААНИИ. По состоянию на 2024 г. обработано 1500 источников, на основе которого история исследования устьев рек и водных ресурсов ААНИИ разделено на 7 этапов [10]; б) выявляются гидрологические условия климатических изменений при формировании единой естественной экологической системы в рамках ведения 16 типов государственного мониторинга, в том числе фоновый мониторинг состояния многолетней (вечной) мерзлоты [5].

История научных исследований, в том числе обращение к теме истории исследования устьев рек и водных ресурсов способствует расширению знаний об Арктике в смежных областях знаний о среде обитания человека и его роли в сохранении природной среды. Обсуждение Целей устойчивого развития, включение климатической тематики в образовательную и научно-исследовательскую, просветительскую деятельность позволяют обратиться к истории исследовательской и гидрометеорологической мониторинговой деятельности с целью уточнения объектов и предметов исследования и их практического применения согласно стандартам, требованиям и законодательству.

Отдел гидрологии устьев рек и водных ресурсов ААНИИ практикует организацию научно-методических семинаров Росгидромета при активном участии представителей Арктической зоны Российской Федерации и их партнеров по региональному международному сотрудничеству. Так, были организованы:

1. Ознакомительный семинар «Водно-бассейновый принцип при организации безопасного водного туризма» был организован сотрудниками отдела гидрологии устьев рек и водных ресурсов для сотрудников Представительств субъектов Арктической зоны Российской Федерации, магистрантов и молодых исследователей, обучающихся в Санкт-Петербурге. По итогам работы семинара был издан первый сборник-справочник «Арктический туризм в России» при поддержке Северного (Арктического) государственного университета.

2. Программа обучающего семинара «Сеть арктических опорных наблюдений» по организации общественного мониторинга водных объектов Якутской Арктики и Дальнего Востока для руководителей и сотрудников министерств и ведомств, бизнес-структур, муниципальных образований, учреждений, руководителей школ, учителей географии,

биологии, химии, экологии состоялась 6 ноября 2019 г. в г. Якутске. Со-организаторами выступили неправительственная международная организация «Северный Форум», Северный Форум Устойчивого развития, Институт непрерывного образования Северо-Восточного федерального университета, г. Якутск. Целью семинара было ознакомление с возможностью создания устойчивой международной системы мониторинга за природными и социально-экономическими условиями региона Арктического Совета, членов-участников международной организации «Северный Форум», Региональной инновационной системы РФ «Сеть арктических опорных наблюдений» (общественная составляющая). Участники получили сертификаты повышения квалификации государственного образца.

3. В рамках научно-исследовательской работы Росгидромета 2021–2024 гг. «Научное и научно-методическое сопровождение разработки гидрографического районирования устьевой зоны водосборных бассейнов морей Российской Арктики применительно к задачам функционирования гидрологической сети в условиях ее модернизации в Арктической зоне Российской Федерации» на площадке I научно-практического межрегионального форума «Арктика – наш общий дом» состоялся научно-методический семинар «Государственный мониторинг водных объектов Карелии, входящих в Арктическую зону Российской Федерации» с участниками Молодежной Арктической школы 22 мая 2024 в г. Петрозаводск, Республики Карелия при поддержке Института североευропейских и арктических исследований Петрозаводского государственного университета, и Карельского ЦГМС филиала ФГБУ «Северо-Западное УГМС». Молодые исследователи Института биологии, экологии и агротехнологий, кафедры зоологии и экологии ПетрГУ представили результаты квалификационных работ перед экспертами Росгидромета.

В целях укрепления разработок научной школы ААНИИ «арктическая устьевая гидрология» предлагается:

– результаты фундаментальных трудов «Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли», «Атлас Арктики» использовать как источник и ресурс современных междисциплинарных знаний об Арктике и Антарктике;

– оценку мониторинга окружающей среды Арктики продвигать в рамках международных региональных объединений, имеющих поддержку Министерства иностранных дел РФ, Министерства науки и высшей школы РФ, в том числе региональных международных организаций Северный Форум, Арктический Совет, площадки Программы Международного Полярного года, АМАП, SAON и др.;

– включиться в процесс изучения вопросов создания евразийской образовательной и научно-исследовательской среды по Арктике и Антарктике, в том числе усилить российскую позицию в рамках Программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (The Man and the Biosphere Programme, МАВ);

– участвовать в изучении основ национальных классификаций и стандартов РФ, других государств по следующим направлениям: «Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия», «Океанология», «Охрана природы. Поверхностные и подводные объекты» [7], «Политические науки и регионоведение» [2], «Государственное и муниципальное управление» [1].

Тем самым стремится сформировать знание об арктических устьевых регионах российской Арктики в Российской Федерации и других странах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приказ Министерства науки и высшего образования РФ от 13 августа 2020 г. № 1016 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования - бакалавриат по направлению подготовки 38.03.04 Государственное и муниципальное управление» (с изменениями и дополнениями).
2. Приказ Министерства науки и высшего образования РФ от 30 июля 2014 г. № 900. Уровень высшего образования – аспирантура. Политические науки и регионоведение. ФГОС 41.06.01.
3. Указ Президента Российской Федерации от 28 февраля 2024 г. № 145 «Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации».
4. Указ Президента Российской Федерации от 31 марта 2023 г. № 229 «Концепция внешней политики Российской Федерации».
5. Федеральный Закон от 10 января 2002 г. №7 «Закон об охране окружающей среды». Абзац «государственный фоновый мониторинг состояния многолетней (вечной) мерзлоты (абзац введен Федеральным законом от 10.07.2023 N 297-ФЗ).
6. Федеральный закон от 13 июля 2020 г. № 193-ФЗ «О государственной поддержке предпринимательской деятельности в Арктической зоне Российской Федерации (с изменениями на 2 июля 2021 года)».
7. ГОСТ Р 59054-2020. Охрана окружающей среды Поверхностные и подземные воды. Москва, Стандартинформ, 2020.
8. Атлас Арктики. М.: ГУГК, 1985. 204 с.
9. Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. Л., 1974. 637 с.
10. Ivanov V.V., Tretiakov M.V., Kharlampieva N. 2022. The Arctic Mouth hydrology: The History of Formation and Development Basics. The Arctic in a Space of Knowledge: The collection of St Petersburg State University scientific events articles (2020 – 2021). Ed. by Nadezhda Kharlampieva. St Petersburg: St Petersburg University Press, 2022. P. 19–26.

## СОСТОЯНИЕ ПОДГОТОВКИ ИЗДАНИЙ ВОДНОГО КАДАСТРА В ОБЬ-ЕНИСЕЙСКОМ УСТЬЕВОМ РЕГИОНЕ

*Р.А. Терехова, М.В. Третьяков*

*ФГБУ «ААННИ» (Арктический и антарктический научно-исследовательский институт)*

В докладе дана оценка современного состояния подготовки изданий Водного кадастра по результатам наблюдений на гидрологической сети в Обь-Енисейском регионе. Рассмотрены проблемы задолженности по изданию ежегодных и многолетних справочных изданий Водного кадастра по устьевым областям рек бассейна Карского моря.

Функционирование государственной наблюдательной сети должно осуществляться на основе принципов:

- непрерывность наблюдений за состоянием окружающей среды, ее загрязнением;
- соблюдение установленных требований к сбору, обработке, контролю качества, хранению и распространению информации о состоянии окружающей среды, ее загрязнении;
- обеспечение пространственно-временного разрешения результатов измерений, достаточного для определения характеристик гидрометеорологических величин с требуемой для практических целей точностью;
- единство измерений и сопоставимость их результатов;
- обеспечение достоверности и однородности результатов наблюдений о состоянии окружающей среды, ее загрязнении и доступности информации для пользователей.

Обязательным условием обеспечения функционирования государственной наблюдательной сети является соблюдение законодательства Российской Федерации о стандартизации, сертификации продукции и услуг, лицензионной деятельности.

Непосредственное руководство работой наблюдательной сети в Обь-Енисейском регионе осуществляют методические подразделения Северного, Обь-Иртышского и Среднесибирского УГМС по своей территории ответственности и несут ответственность за организацию работы, надежное функционирование наблюдательных подразделений, полноту, достоверность и качество наблюдений. Общий надзор и контроль за работой организаций наблюдательной сети осуществляют УГМС.

Подготовку к публикации и редакцию материалов по результатам гидрологических наблюдений в Обь-Енисейском регионе осуществляют Северное, Обь-Иртышское и Среднесибирское УГМС по своей территории ответственности. Обобщение и редакцию материалов в целом по бассейну Карского моря выполняет Северное УГМС.

В результате научно-методических инспекций ААНИИ за 2010–2024 гг. по выполнению наблюдений и вопросам ведения Водного кадастра выявлены существенные недостатки. Сведения об инспекциях ААНИИ за период 2010–2024 гг. приведены в таблице.

По результатам экспертизы материалов на стадии их подготовки к изданию установлено, что надежность результатов наблюдений за уровнем и стоком воды по гидрологической сети в Обь-Енисейском регионе не отвечает установленным нормативным требованиям. Материалы ЕДМ (том 4, часть 2) с 1990 по 2021 гг. прошли предварительную экспертизу в ААНИИ, но не опубликованы ввиду невыполнения Северным и Среднесибирским УГМС предложений и рекомендаций экспертной научно-методической комиссии ААНИИ. Соответственно и многолетний справочник не может быть подготовлен.

В результате ликвидации Амдерминского и Диксонского УГМС в 2000-х годах и передачи их гидрометеорологической сети в Северное УГМС образовалась задолженность по изданию ежегодных и многолетних наблюдений в материалах Водного кадастра.

В соответствии с приказом Росгидромета от 17.06.1996 г. № 83 «О мерах по совершенствованию системы ведения ГВК» функции куратора по ведению работ по подразделу «Арктические моря и устья рек, количественные показатели», научно-методическое руководство работами УГМС и экспертизу материалов Водного кадастра по Арктической зоне на стадии их подготовки к публикации выполняет ААНИИ. Издание материалов Водного кадастра по сети Обско-Тазовской устьевой области и Енисейской устьевой области осуществляет Северное УГМС в соответствии с результатами экспертизы.

С целью совершенствования системы проведения экспертизы документов и информационной продукции по направлению деятельности института «Мониторинг водных объектов Арктической зоны РФ», включая научно-методическое руководство работами в УГМС по этому направлению в институте создана постоянно действующая экспертная научно-методическая комиссия (ЭНМК).

По результатам экспертизы материалов и научно-методических инспекций ААНИИ по вопросам ведения Водного кадастра выявлены существенные недостатки по состоянию материалов и надежности результатов наблюдений на стадии их подготовки к изданию. Основной причиной выявленных недостатков является недостаточный уровень оперативно-методического руководства сетевыми подразделениями со стороны Северного, Среднесибирского, Якутского, и Чукотского УГМС:

- не обеспечено соблюдение нормативных требований по подготовке изданий ВК;
- наличие значительных пропусков наблюдений;
- сокращение состава и программы наблюдений;

Таблица

**Сведения об инспекциях ААНИИ за период 2010–2024 гг.**

УГМС и филиалы	Сетевые подразделения	Периоды инспекций
ФГБУ «Северное УГМС» (г. Архангельск)	УС Северодвинская МГП Соломбала (г. Архангельск)	2010, 2012, 2013, 2014
ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС» (г. Омск)	ГП-1 г. Салехард – р. Обь с. Аксарка – р. Обь	2010, 2012, 2014
Ямало-Ненецкий филиал (г. Салехард)		
ФГБУ «Среднесибирское УГМС» (г. Красноярск)	ГП-2 г. Дудинка – р. Енисей ГП-1 г. Игарка – р. Енисей	2011, 2013, 2014, 2017, 2024
Таймырский филиал (г. Норильск)	ГП-2 с. Туруханск – р. Енисей	
Талнахская ГМЭ (г. Норильск)	ГП-2 с. Селиваниха – р. Енисей	
Туруханская ГМО (с. Туруханск)	ГП-2 с. Потапово – р. Енисей ГП-2 с. Курейка – р. Енисей ГП-2 с. Караул – р. Енисей	

- не обеспечено единство методов измерений;
- недостаточный геодезический контроль за состоянием высотной основы;
- не обеспечен пространственно-временной анализ результатов наблюдений.
- недостаточный уровень анализа надежности и однородности наблюдений.

Поэтому использование результатов наблюдений за уровнем и стоком воды при выполнении инженерных расчетов требует дополнительного анализа.

Вопросы надежности результатов наблюдений на гидрологической сети Арктической зоны РФ подробно отражены в экспертных заключениях ААНИИ на стадии подготовки материалов наблюдений в изданиях Водного кадастра.

В рамках научно-методического руководства проведена проверка выполнения предложений и рекомендаций по результатам экспертизы материалов ВК и инспекций по ведению и подготовке изданий Водного кадастра РФ в Арктической зоне деятельности УГМС. В результате анализа выявлено неполное выполнение предложений и рекомендаций в Северном и Среднесибирском УГМС.

Для повышения эффективности работ УГМС по подготовке изданий Водного кадастра на водных объектах Арктической зоны РФ УГМС необходимо:

1. Обеспечить соблюдение нормативных требований по выполнению и обработке результатов гидрологических наблюдений.

2. Совершенствовать систему оперативно-методического руководства сетью по наблюдениям и подготовке изданий ВК в УГМС.

3. Провести пространственно-временной анализ основных гидрологических характеристик и оценить надежность и однородность многолетних данных с учетом анализа устойчивости высотной основы сетевых подразделений.

4. Ликвидировать задолженность по подготовке ежегодных и многолетних изданий Водного кадастра и провести экспертизу материалов наблюдений на стадии их подготовки к изданию на основе нормативных документов Росгидромета.

5. Обеспечить соблюдение порядка публикации данных наблюдений в изданиях Водного кадастра (Приказ Росгидромета от 17.06.1996 г № 83, МУ по ведению ГВК, раздел 1, выпуск 3, часть 1 «Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши»).

Перечень основных правовых и нормативно-методических документов по подготовке изданий Водного кадастра РФ:

1. Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» от 26.06.2008 № 102-ФЗ (в ред. 2016 г.).

2. Приказ Росгидромета от 17.06.1996 г. № 83 «О мерах по совершенствованию системы ведения ГВК».

3. РД 52.10.324–92 МУ «Гидрологические наблюдения и работы на гидрометеорологической сети в устьевых областях рек». ГОИН, 1993.

4. РД 52.04.576–97 Положение о методическом руководстве наблюдениями за состоянием и загрязнением окружающей среды. Общие требования. 1997.

5. РД 52.04.567–2003 Положение о государственной наблюдательной сети. Росгидромет, 2003 г., Изменение 1 от 01.12.2008 г.

6. РД 52.19.751–2010 Оценка гидрометеорологических наблюдений и работ. Обнинск, 2011.

7. РД 52.10.764–2012 МУ по составлению и подготовке к изданию многолетних данных о режиме и качестве вод морей и морских устьев рек. Обнинск, 2012.

8. Методические указания по ведению ГВК, раздел 1, выпуск 3, часть 5 «Ежегодные данные о режиме и качестве вод морей и морских устьев рек». ГОИН, 1979.

## РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В ЯМАЛО-НЕНЕЦКОМ АВТОНОМНОМ ОКРУГЕ

*Р.А. Колесников<sup>1</sup>, Н.В. Юркевич<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> — ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики»

<sup>2</sup> — ИНГИГ (Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН)

В настоящее время в Ямало-Ненецком автономном округе организована система мониторинга водных объектов и их водоохранных зон. Мониторинг осуществляется в соответствии с требованиями нормативных и методических документов Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации [1, 2].

Объектом исследования являются поверхностные водные объекты и их водоохранные зоны на территории Ямало-Ненецкого автономного округа. Мониторинг осуществлялся с учетом особенностей режима водных объектов, их физико-географических, морфометрических и других особенностей.

Цель работы — своевременное выявление и прогнозирование негативного воздействия вод, а также развитие негативных процессов, влияющих на качество воды в водных объектах и их состояние, разработка и реализация мер по предотвращению негативных последствий этих процессов.

В процессе работ проводились наблюдения за состоянием водных объектов, количественными и качественными показателями состояния водных ресурсов, а также за режимом использования водоохранных зон; осуществлялась оценка и прогнозирование изменений состояния водных объектов, количественных и качественных показателей состояния водных ресурсов. Организованы наблюдения за динамикой морфологического строения берегов, дна озер и речных русел, а также прибрежных территорий в пределах водоохранных зон для установления преобладающих тенденций. Ведется мониторинг развития эрозионных процессов в водоохранных зонах.

В результате исследований была выполнена идентификация гидроморфологических типов речных русел и типов русловых процессов на участках взаимодействия процессов руслоформирования с различными видами антропогенной деятельности; идентификация и типизация преобладающих видов инженерной и антропогенной деятельности в водоемах, оказывающих воздействие на процессы формирования морфологического строения водных объектов; выявлены и классифицированы участки взаимодействия процессов формирования морфологического строения водных объектов с различными видами антропогенной деятельности. Проведена оценка и прогнозирование характера и интенсивности процессов деформаций дна и берегов озер, а также русловых процессов в речных руслах на участках взаимодействия, развивающихся по естественным законам или под антропогенным воздействием; оценка морфологического

состояния речных русел в части наличия различных инородных предметов и затонувшей древесины для обеспечения условий, необходимых для обитания водной биоты. Выполнена оценка состояния, установлены физические причины и прогноз динамики изменения конфигурации и положения береговой линии (особенно в части разрушения берегов).

Выполнена идентификация, оценка интенсивности и опасности процессов подтопления и заболачивания прибрежных территорий; оценка состояния экосистем водоохраных зон в соответствии со спецификой природных условий и хозяйственной инфраструктуры территории. Проведены наблюдения за режимом использования затопляемых в половодья и паводки массивов современной поймы. Получены данные о химическом составе и наличии загрязняющих веществ в поверхностных водах и донных отложениях водных объектов Ямало-Ненецкого автономного округа. Мониторинг ведется с 2013 года на 34 участках 28 водных объектов. На каждом из участков обустроено 3 створа. Один створ находится в центральной части населенного пункта, второй створ на расстоянии 1 000 м выше по течению от населенного пункта и третий створ на расстоянии 500 м ниже по течению от населенного пункта.

В целом по региону по результатам исследования вод обнаружены повышенные значения ХПК, БПК, железа, марганца и меди (относительно нормативных значений ПДК) в большинстве проб. Повышенные содержания нефтепродуктов, свинца, хрома, цинка, никеля, железа, марганца и меди (по сравнению с утвержденными фоновыми значениями) были выявлены во многих пробах донных отложений. Пространственная динамика увеличения концентраций анализируемых параметров и соединений относительно расположения населенного пункта в большинстве случаев не проявляется ни при исследовании воды, ни при исследовании донных отложений, что свидетельствует об либо отсутствии значительного антропогенного влияния на химический состав воды и донных отложений водотоков (в районе относительно небольших поселений), либо о существенной пространственном распространении данного воздействия, в результате чего все пункты отбора проб находятся в его зоне (в районе сравнительно крупных городов). Это также подтверждается локальным максимумом содержаний веществ в воде и донных отложениях в пункте отбора напротив поселения, что наблюдается в ряде случаев.

Значительные содержания органических соединений (выраженных в ХПК и БПК), железа, марганца, меди и цинка, часто превышающие существующие нормативы (ПДК<sub>р.х.</sub> и ПДК (СанПиН)), наблюдались в речных водах исследуемого региона и ранее. Были опубликованы измеренные величины ХПК — до 43 мг/л [3], 49 мг/л, 32 мг/л [4]; БПК<sub>5</sub> —

до 7,4 мг/л [3], 10 мг/л [4], 12 мг/л [5]; концентрации железа — до 4,1 мг/л [3], 2,1 мг/л, 9,3 мг/л [5]; марганца — до 0,42 мг/л, 0,24 мг/л [4], 1 мг/л [5]; меди — до 19 мкг/л [3], 13 мкг/л, 6,8 мкг/л [4], 112 мкг/л [5]; цинка — до 65 мкг/л [3], 67 мкг/л, 38 мкг/л [4], 520 мкг/л [5].

Состав поверхностных вод ЯНАО формируется под воздействием ряда факторов как природного, так и антропогенного характера, что приводит к появлению у них некоторых гидрохимических особенностей, отличающих их от поверхностных вод других регионов [6]. Содержания отдельных компонентов (органическое вещество (показываемое в виде ХПК и БПК), железо, марганец, медь, цинк) в составе природных водотоков заметно превышают принятые в России нормативы (ПДКр.х. и ПДК (СанПиН) [5].

Важным фактором формирования химического состава поверхностных вод ЯНАО является наличие на территории болот, что обуславливает специфический состав воды, характеризующейся большим количеством органических веществ, в том числе гумусового происхождения (гуминовые кислоты) и продуктов микробиологическом разложении древесины, торфов, прочих растительных остатков.

Железо и марганец являются типоморфными элементами для ландшафтов севера Западной Сибири из-за широкого распространения глеевой восстановительной обстановки и кислых грунтовых водах. Как следствие, соединения марганца и железа попадают в речные воды в результате дренажа почв, болот и озер. И устойчиво существуют в растворе, благодаря образованию комплексов с почвенными гуминовыми и фульвокислотами. Повышенное содержание марганца и меди обнаружено в подземных водах, обеспечивающих питание большую часть года для всех постоянных водотоков.

В рамках подготовки Схемы комплексного использования и охраны водных объектов Нижне-Обским бассейновым водным управлением Федерального агентства водных ресурсов Российской Федерации показано, что в некоторых частях бассейнов рек превышения концентраций ряда ингредиентов (органическое вещество (показываемое в виде ХПК и БПК), железо, марганец, медь, цинк) над нормативами (ПДКр.х. и ПДК (СанПиН) в 10–15 раз может быть вызвано исключительно природными факторами формирования качества воды и обусловлено геохимическими особенностями региона, интенсивным поступлением элементов в водные объекты из горных пород, дренажом почвенного покрова [7].

В то же время на территории водосбора рек Таз, Ныда, Надым, Правая Хетта, Пур, Пяку-Пур, Седэ-Яха и др. расположены крупнейшие в России, разрабатываемых в настоящее время, месторождений нефти, природного

газа и газового конденсата [6]. Значительное воздействие на состояние окружающей среды оказывают магистральные нефте- и газопроводы, и другие объекты нефтегазодобывающей промышленности в регионе [7; 8].

Опубликованы результаты исследований, по которым общий вес природных факторов, оказывающих определяющее влияние на формирование химического состава воды рек на территории ЯНАО, составляет 72 %, антропогенных — 28 % [7].

Как следствие можно заключить, что величины компонентов водной среды, превышающие ПДК, связаны, в первую очередь, с природными особенностями региона, во-вторую, с региональным и локальным антропогенным воздействием.

Так как состав донных отложений сопоставляется с утвержденными фоновыми региональными значениями, то соответственно происходит учетывание геохимических особенностей региона и в некоторой мере глобального и регионального загрязнения, и как следствие, повышенные (относительно фона) содержания компонентов в донных отложениях вызваны, в основном, антропогенным воздействием за длительный период (десятилетия).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Положения об осуществлении государственного мониторинга водных объектов // Собрание законодательства Российской Федерации, № 16, 16.04.2007, ст.1921
2. Методические указания по осуществлению государственного мониторинга водных объектов в части наблюдений за состоянием дна, берегов, состоянием и режимом использования водоохраных зон и изменениями морфометрических особенностей водных объектов или их частей // Российская газета, № 298, 30.12.2014
3. Уварова В.И. Оценка химического состава воды и донных отложений р. Надым // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2011. №. 11. С. 143–153.
4. Агбалян Е.В., Колесников Р.А., Красненко А.С., Моргунов Е.Н., Шинкарук Е.В., Печкин А.С., Локтев Р.И., Ильясов Р.М., Кобелев В.О. Оценка качества природных вод на научных полигонах Ямало-Ненецкого автономного округа (Пуровский, Тазовский, Шурышкарский, Полярно-Уральский) // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2019. № 6. С. 6–23.
5. Третьяков М.В., Брызгалов В.А., Румянцев Е.В. Устьевые участки рек как индикаторы антропогенных изменений геоэкологического состояния устьевых областей рек Арктической зоны Российской Федерации // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2020. Т. 17. № 3. С. 311–323.
6. Трофимчук М.М., Романюк О.Л., Лобченко Е.Е., Емельянова В.П., Ничипорова И.П., Лямперт Н.А., Первышева О.А., Оленникова Н.Н., Купряхина Е.М., Чернова Е.М. Качество поверхностных вод Российской Федерации. Ежегодник. Ростов-на-Дону, Росгидромет, ФГБУ «Гидрохимический институт», 2021. 618 с.

7. Кукушкин С.Ю. Индикаторы антропогенной нагрузки на природно-территориальные комплексы при освоении нефтегазоконденсатных месторождений севера Западной Сибири: дис. ... канд. геогр. наук. СПб., 2016. 200 с.

8. Брызгалов В.А., Третьяков М.В., Румянцова Е.В., Шестакова Е.Н., Муждаба О.В. Реки опорных зон Российской Арктики и их современное состояние // Проблемы Арктики и Антарктики. 2018. Т. 64. № 4. С. 365–379.

## ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА ОБЬ-ЕНИСЕЙСКОГО РЕГИОНА

*В.И. Акселевич<sup>1</sup>, Г.И. Мазуров<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> — СПбУТУЭ (Санкт-Петербургский университет технологий управления и экономики)

<sup>2</sup> — ГГО (Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова)

Согласно классификации климатических квазиоднородных районов ВНИИГМИ–МЦД данный регион входит в 1 район [1]. В 2022 году мы представляли на такой же конференции доклад «Мониторинг погодных условий на территории Обской губы», в котором рассматривались отклонения среднемесячной температуры и количества осадков к норме в 2017–2021 годах. По итогам исследования были сделаны следующие выводы:

1. Во всем регионе Обской губы в январе 2019 года наблюдалась положительная аномалия среднемесячной температуры, а для большей части исследуемой территории отношение среднемесячных значений к месячной норме осадков составляло более 80 %.

2. В основном наблюдались положительные отклонения среднемесячной температуры от нормы (83 % случаев).

3. По отношениям количества осадков к норме в 2017–2018 году наблюдалось 7 положительных отклонений месячных сумм осадков к 5 (2017) и 4 (2018), 6 к 6 (2020), 6 к 5 (2019) и 2 к 8 в 2021 году. То есть превышение количества осадков над нормой в 2021 году было отмечено только в марте и октябре.

4. В 2017–2021 годах климат района Обской губы оказался суше и в зимний период холоднее, что создает препятствия для зимнего судоходства. За 5 лет более сухая погода наблюдалась в 50 % случаев.

Сегодня в нашем распоряжении дополнительно оказались данные наблюдений за 2014–2016 и 2022–2023 годы, что позволяет расширить исследование. В табл. 1 представлены результаты мониторинга аномалий среднемесячной температуры и количества осадков за 2014–2023 годы [1].

В табл. 1 знак «+» соответствует наличию положительной аномалии температуры и превышению количества осадков над нормой в Обь-Енисейском районе, знак «–» — наличию отрицательного отклонения

**Аномалии среднемесячной температуры и количества осадков  
в 2014–2023 годах для Обь-Енисейского региона**

Годы	Метерологические величины	Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2023	Температура	–	+	+	–	+	+	+	+	+	+	+	+
	Осадки	+	+	+	+	+	+	+	–	+	+	+	–
2022	Температура	+	+	+	+	+	+	+	–	+	+	+	+
	Осадки	+	+	–	+	+	+	–	+	+	+	+	–
2021	Температура	–	–	–	+	+	+	+	+	+	+	+	–
	Осадки	–	–	+	–	–	–	–	–	+	+	+	–
2020	Температура	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Осадки	+	+	+	–	–	+	–	–	–	+	+	–
2019	Температура	+	–	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Осадки	+	+	+	+	–	–	–	–	–	+	+	+
2018	Температура	+	+	–	+	–	+	+	+	+	+	+	+
	Осадки	–	–	+	–	+	+	–	+	+	+	+	+
2017	Температура	+	+	+	+	–	+	+	–	–	+	+	+
	Осадки	+	+	+	+	+	–	–	–	–	–	+	+
2016	Температура	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	–	–
	Осадки	–	+	+	–	–	–	–	+	–	–	–	–
2015	Температура	–	+	+	+	+	+	–	+	+	+	+	+
	Осадки	–	–	+	–	–	+	–	+	–	–	–	–
2014	Температура	+	+	+	+	+	+	–	–	–	–	–	+
	Осадки	–	–	+	+	+	–	–	–	–	–	+	–

температуры воздуха у поверхности Земли и соответственно отрицательного отклонения количества осадков от нормы. Таблицы составлялись на основании приведенных в обзорах карт аномалий среднемесячной температуры воздуха на территории РФ в указанные месяцы и годы и ежемесячных карт отношений к норме месячной суммы осадков на территории РФ в те же месяцы и годы [1].

Незаполненность некоторых ячеек таблицы объясняется отсутствием соответствующих исходных для нашего исследования карт в обзорах. Поэтому не приводится информация об отношении месячных сумм осадков к норме для августа и ноября 2021 года, декабря 2018 года, января, февраля и декабря 2015 года.

Положительная аномалия температуры в указанном районе наблюдалась в 2022–2023 годах почти ежемесячно, за исключением только января и апреля 2023, а также сентября 2022, так что гипотеза о том, что климат района Обь-Енисейского побережья стал в зимний период холоднее, не верна.

Если брать количество «сухих» и «влажных» месяцев за 10 лет, то «сухих» было 59, «влажных» – 55, еще по 6 результаты отсутствуют. При этом в последние 5 лет (2019 – 2023) «сухих» месяцев было всего 24, а «влажных» —34 (данные о двух месяцах отсутствуют). Таким образом, за последние 10 лет «сухих» месяцев наблюдалось около 52%, а за 5 всего 41%.

Итак, в 2014–2023 годах положительная аномалия температуры наблюдалась примерно в 82 % месяцев, а в 2019–2023 годах — почти в 87 % месяцев.

Данные [2] указывают на ускорение повышения температуры в последнее десятилетие. Региональные тренды за период 1995 – 2014 гг. в полтора –два раза больше, чем за период 1981–2005 гг.

Об изменении климата в более далекой перспективе можно судить и по изменению климатических норм. Нормы согласно [3] — это средние величины, вычисленные для однородного и сравнительно длительного периода времени, охватывающего по крайней мере три последовательных десятилетних периода. Климатологические стандартные нормы — это средние климатологические данные, рассчитанные за следующие последовательные 30-летние периоды: с 1 января 1981 г. по 31 декабря 2010 г., с 1 января 1991 г. по 31 декабря 2020 г. и т.д.

В рассматриваемом районе имеется информация [4] об изменении климатических норм для 4 станций: Игарка, Надым, Салехард, Тазовский.

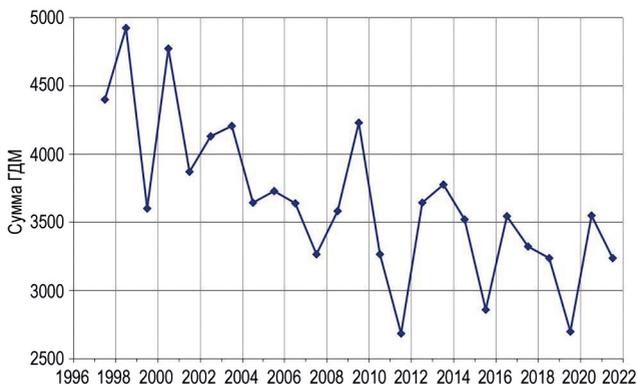
В таблице 2 приведены разности сумм среднемесячных температур, ежегодных норм количества осадков и среднегодового атмосферного давления.

Как следует из табл. 2, давление практически поддерживается на одном уровне (1012 мб) на всех рассматриваемых станциях. Также для всех станций характерен небольшой рост среднемесячных температур воздуха. На метеостанциях отмечается существенное, а для н.п. Тазовский

*Таблица 2*

**Разность сумм ежемесячных температур, норм ежегодного количества осадков и норм среднегодового атмосферного давления для станций Обь-Енисейского района для периодов 1961–1990 и 1991–2020 годов**

Пункты	Разность сумм ежемесячных температур, °С	Разность норм ежегодного количества осадков, мм	Разность норм среднегодового атмосферного давления, мб
Игарка	16,6	61	0
Надым	13,5	44	–1
Салехард	18,4	40	0
Тазовский	10,3	225	0



Межгодовые колебания сезонной (XI–V) суммы градусо-дней мороза (ГДМ) за 1997–2022 годы [5]

аномально большое, увеличение годового количества осадков за 30-летний период времени.

На рисунке приведены межгодовые колебания сезонной (ноябрь–май) суммы градусо-дней мороза за период 1997–2022 годы по данным [5]. Из анализа виден тренд на уменьшение указанной суммы и соответственно прослеживается тенденция потепления атмосферы.

Таким образом, на основании инерционного прогноза можно предположить, что в ближайшие 30 лет в северной части Обь-Енисейского региона будет наблюдаться небольшое увеличение температур во все периоды года. Вопрос о темпе увеличения количества осадков требует уточнения исходной информации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мониторинг климата России. ВНИИГМИ–МЦД. URL: <http://meteo.ru/activity/climate/russian-climate-monitoring/> (дата обращения: 07.06.2024).
2. Анисимов О.А., Жильцова Е.Л. Устойчивость экосистем Арктики при изменении климата // *Метеорология и гидрология*. 2022. № 5. С. 83–94.
3. Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм. ВМО. 2017. № 1203.
4. Гидрометцентр России: о погоде из первых рук. Фактические данные. Климатические нормы. URL: <https://meteoinfo.ru/climatcities> (дата обращения: 07.06.2024)
5. Виноградов Р.А., Андреев О.М., Морозова О.А., Драбенко Д.В., Драбенко В.А. Особенности совместного влияния интенсификации судоходства и изменения климата на распространение припая в Обской губе // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2023. Т. 69. Вып. 1. С. 58–71.

## ПОЧЕМУ НЕОБХОДИМ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КАДАСТР БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

*М.А. Спиридонов<sup>1</sup>, П.В. Староверов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> — *Институт Карпинского (Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского)*

<sup>2</sup> — *АСПОЛ-СПБ (Ассоциация полярников Санкт-Петербурга)*

В настоящее время обосновано выделение береговой зоны (БЗ) как особого «геоблока», обладающего специфическими чертами истории геологического развития, геологического строения, геодинамики, ресурсного потенциала и эколого-геологической ситуации.

В пределах БЗ российской Арктики сосредоточено большинство поселений, инфраструктурных объектов и доступных месторождений полезных ископаемых, и перспективы ее освоения с учетом современных климатических условий и геополитических интересов требуют строгой регламентации природопользования с созданием критериев или исходных положений для фиксации происходящих изменений и нарушений.

С целью содействия реализации «Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» и принятия решений в сфере рационального природопользования необходимо создание специального государственного механизма в виде Государственного кадастра береговой зоны российской Арктики (Кадастр БЗРА) как постоянно пополняемой справочно-аналитической, геоинформационной системы с разными степенями доступа, содержащей сведения о состоянии земельных и водных участков БЗ в границах территорий местного самоуправления, районов, субъектов РФ и в пределах АЗРФ и учитывающей в совокупности природные, антропогенные, экономические, политико-правовые, социальные процессы для оценки, моделирования и планирования народнохозяйственной деятельности.

Проект Кадастра БЗРА инициирован Институтом Карпинского, РАНХиГС Санкт-Петербург, Ассоциацией полярников Санкт-Петербурга.

## МОРФОЛОГИЯ И ДИНАМИКА БЕРЕГОВ И ДНА ОБСКОЙ ГУБЫ КАРСКОГО МОРЯ

*Г.А. Кажукало, А.А. Ермолов, С.А. Огородов, Н.Н. Шабанова*

*МГУ (Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет)*

Обская губа Карского моря представляет собой уникальное абразионно-аккумулятивное образование эстуарного типа с небольшими уклонами и глубинами и невысокой скоростью течения, вдающееся в сушу бо-

лее чем на 800 км. Общая протяженность береговой линии более 1800 км. Наибольшая ширина губы достигает 95 км, наименьшая — между мысами Каменный и Парусный — 35 км. Глубины уменьшаются с 25–35 м на севере до 5–10 м и менее на юге. В рельефе дна выделяются фрагменты затопленной и частично переработанной в ходе послеледниковой (фландрской) трансгрессии древней долины реки Оби, сочетающиеся с более мелкими формами субаквального и полигенетического генезиса [1].

Оценка устойчивости береговой зоны и дна этого мелководного залива в условиях интенсивной хозяйственной деятельности является актуальной задачей и требует всестороннего анализа факторов рельефообразования различной природы. Решение данной задачи осложняется необходимостью учета влияния глобальных климатических изменений, в том числе изменения уровня Мирового океана. Тенденция к потеплению климата в Арктике выражается не только в увеличении глубины сезонного оттаивания и температуры вечномерзлых пород или активизации комплекса криогенных процессов. Отмечается также рост продолжительности безледного периода и сокращение площади морских льдов, увеличивается частота штормов [2]. Это способствует усилению размыва берегов криолитозоны и затрагивает не только термоабразионные, но и ранее стабильные аккумулятивные берега [4].

Целью работы являлось создание региональной характеристики геоморфологического строения и динамики берегов Обской губы Карского моря с последующей оценкой влияния техногенного и климатического факторов развития береговых процессов. Важной задачей исследования стала разработка оригинальной морфогенетической типизации берегов Обской губы (масштаб 1:500 000), учитывающей сложившиеся представления о геоморфологии и литодинамике берегов западных арктических морей и существующие классификации морских берегов мелководных заливов.

В основу работы положены фактические данные о морфологии, литологии и динамике берегов Обской губы, полученные в ходе экспедиционных исследований авторов и их коллег, фондовые, картографические и литературные материалы. Отдельные материалы получены в рамках инженерных изысканий в районе пос. Сабетта, Новый Порт, в ходе высадок на берег в рамках экспедиций «Ямал-Арктика-2012-2013». Данные о распространении берегов различного типа и рельефообразующих процессах получены путем визуального дешифрирования космических снимков высокого и сверхвысокого разрешения из открытых источников (Google Earth, SAS.Planet и др.). Кроме того, использовались разновременные снимки отдельных береговых районов WorldView-2 и GeoEye-1 (Maxar Technologies) для оценки многолетней динамики берегов.

Для оценки климатических факторов разрушения берегов Обской губы был рассчитан гидрометеорологический потенциал [8] на пять ключевых участков — Сабетта, терминал «Утренний», мыс Каменный, Ямбург, Новый Порт. За период 1979–2021 гг. для каждого пункта вычислены значения ветро-волновой энергии методом Попова-Совершаева [8] и термический потенциал термоденудации по данным реанализа ERA5 [5]. Кроме того, по радиолокационным снимкам [6] определены временные рубежи и продолжительность безледного периода, использованные для итоговых значений гидрометеорологического потенциала за безледный период.

Берега Обской губы отличаются разнообразием и неравномерным распространением (см. табл.). Это отражает сложное морфоструктурное, геологическое и геоморфологическое строение побережий, а также неоднородность гидродинамических факторов в эстуарии, таких как волнение, приливно-отливные течения, морские льды, штормовые нагоны. Среди семи выделенных типов берегов (см. табл.) наибольшую протяженность имеют аккумулятивные отмели (лайдовые и осушные берега), наиболее развитые в затишных условиях юго-восточного побережья полуострова Ямал. Для берегов Тазовского и Гыданского полуостровов характерно преобладание термоденудационных берегов, выработанных в высоких уступах казанцевской террасы. Термоабразионные берега, в свою очередь, широко распространены на северо-восточном

*Таблица*

**Сводная типизация морфодинамических и экологических (ESI) типов берегов Обь-Енисейского региона Карского моря**

Тип берега	Протяженность, км (%)				Всего
	Гыданский п-ов	Тазовский п-ов	ЮВ Ямал	СВ Ямал	
1. Термоабразионно-термоденудационные	144,4	86,1	5,3	31,8	268
2. Термоабразионные	26,5	26,8	3,2	95,6	152
3. Термоабразионные с отмирающим уступом и примкнувшей террасой	67,5	33,2	22,5	29,0	152
4. Аккумулятивные выровненные	78,7	54,9	46,3	102,8	283
5. Аккумулятивные отмели, лайдовые и осушные	50,5	52,9	150,3	125,2	379
6. Дельтовые	41,7	5,5	49,8	52,3	149
7. Техногенные	6,3	3,2	3,9	10,9	24
Всего	416	263	281	448	1407

побережье Ямала, подверженном интенсивному волновому воздействию за счет максимальной для Обской губы длины разгона волн северных румбов. В этом же районе более всего распространены аккумулятивные выровненные берега с широким пляжем, развитие которых обусловлено преобладающим вдольбереговым перемещением наносов. В целом, многообразие гидродинамических обстановок определяет широкий набор рельефообразующих процессов в береговой зоне и сравнительно высокую изменчивость типов берегов в разных районах губы.

В последние десятилетия одним из важнейших факторов динамики берегов Обской губы является хозяйственная деятельность человека, связанная с разработкой нефтегазовых месторождений. Нередко техногенный фактор оказывает настолько масштабное воздействие, что начинает определять основные тенденции развития берега в большей степени, чем природные факторы, и вызывает кардинальную перестройку рельефа береговой зоны и условий его развития на долгие годы.

Примером техногенного берега может послужить 7 км участок между устьями рек Халцанаяха и Надяйпынгче на западном побережье Гыданского полуострова в районе терминала «Утренний». До начала строительства терминала берег представлял собой низкий аккумулятивный участок и характеризовался выдвиганием береговой линии со скоростью 2–4 м/год. В период строительства портовых сооружений в 2014–2017 гг. исследуемый участок берега отступал со средней скоростью 5,8 м/год. Максимальные скорости размыва (до 28,5 м/год) отмечались в непосредственной близости от причального сооружения, тогда как наиболее удаленные от порта участки практически не испытали изменений. Активизация береговой эрозии в значительной степени была обусловлена хозяйственной деятельностью человека, а именно, изъятием пляжеобразующих наносов с морского дна, осушки и пляжа, деградацией растительного покрова на поверхности морской террасы под колесами тяжелой техники, другими нарушениями рельефа и грунтов. После 2017 г. на участках берега, не застроенных портовыми сооружениями, но непосредственно прилегающих к ним, отмечается некоторое ослабление размыва, однако тенденция к отступанию берега сохраняется. В ходе полевых работ была отмечена аналогичная смена морфодинамической обстановки и на других участках освоения Обской губы.

Оценка динамики берегов Обской губы в последние годы осложняется необходимостью учета изменений гидрометеорологических условий. Установлено, что с конца прошлого столетия гидрометеорологические параметры в регионе демонстрируют устойчивый рост. Так, за 43 года (1979–2021) продолжительность безледного периода в Обской

губе увеличилась на ~45 дней (с 70 до 115 дней). Это хорошо коррелируется с темпами сокращения безледного периода в акватории Карского моря [7]. Динамически активный период стал более чем на 50% продолжительнее, что отражается и в суммарном поступлении ветро-волновой энергии. На мысе Каменный величина волноэнергетического потенциала более чем в 2 раза превышает среднеголетние значения. На других участках наблюдается менее выраженный рост.

На восточных берегах полуострова Ямал (включая пос. Сабетта и Мыс Каменный), подверженных волноопасным румбам ССЗ, С и СВ экспозиций, величина ветро-волновой энергии сопоставима с открытыми участками юго-западной части Карского моря. Это может обуславливать выявленный в ходе полевых работ и в предшествующих исследованиях [3] тренд на размыв низких аккумулятивных (в том числе ледовых) берегов. По-видимому, макро- и мезоклиматические изменения в сочетании с повышением уровня моря [9] привели к изменениям условий развития процессов аккумуляции на берегах с небольшими уклонами подводного склона, продолжавшимся на протяжении голоцена.

С учетом выявленных последствий техногенеза на берегах Обской губы, дальнейшее освоение побережий в условиях климатических изменений должно сопровождаться комплексными литодинамическими исследованиями и мониторингом динамики берегов, относящихся к важнейшим аспектам обеспечения промышленной и экологической безопасности гидротехнических сооружений.

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ № 22-17-00097.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермолов А.А., Кажукало Г.А., Носков А.И., Огородов С.А. Рельеф дна Обской губы Карского моря // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2024. Т. 79. № 1. С. 89–102.
2. Огородов С.А., Шабанова Н.Н., Кессель А.С., Баранская А.В., Разумов С.О. Изменение гидрометеорологического потенциала термоабразии берегов морей Российской Арктики // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2022. № 1. С. 26–42.
3. Романенко Ф.А. Региональные особенности развития берегов арктических морей в голоцене // Геоморфология. 2012. № 4. С. 81–92.
4. Романенко Ф.А., Баранская А.В., Ермолов А.А., Кокин О.В. Низкие берега западно-арктических морей: происхождение, возраст и современная динамика // Вопросы географии. 2015. Т. 140. С. 275–306.
5. Hersbach H., Bell B., Berrisford P. et al. The ERA5 global reanalysis // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 2020. Vol. 146. P. 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>.

6. Meier W., Fetterer F., Windnagel A., Stewart S. NOAA/NSIDC Climate Data Record of Passive Microwave Sea Ice Concentration, Version 4 [Data Set], 2021. National Snow and Ice Data Center: Boulder, CO, USA. <https://nsidc.org/data/g02202/versions/4>
7. Shabanov P., Osadchiev A., Shabanova N., Ogorodov, S. Decline in Ice Coverage and Ice-Free Period Extension in the Kara and Laptev Seas during 1979–2022 // Remote Sensing. 2024. Vol. 16(11). P. 1875. <https://doi.org/10.3390/rs16111875>.
8. Shabanova N., Ogorodov S., Shabanov P., Baranskaya A. Hydrometeorological forcing of Western Russian arctic coastal dynamics: XX-century history and current state // Geography, Environment, Sustainability. 2018. Vol. 11(1). P. 113–129. <http://dx.doi.org/10.24057/2071-9388-2018-11-1-113-129>.
9. Ward R.D. Sedimentary response of Arctic coastal wetlands to sea level rise // Geomorphology. 2020. Vol. 370. P. 107400. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107400>.

## АНАЛИЗ СОЛЕННОСТИ ВОДЫ ПОД ЛЕДЯНЫМ ПОКРОВОМ В ЕНИСЕЙСКОМ ЗАЛИВЕ ПО ДАННЫМ РАДИОМЕТРА MIRAS СПУТНИКА SMOS

*В.В. Тихонов<sup>1,2,3</sup>, А.Н. Романов<sup>2</sup>, И.В. Хвостов<sup>2</sup>, Е.А. Шарков<sup>1</sup>, Н.Ю. Комарова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> — ИКИ РАН (Институт космических исследований)

<sup>2</sup> — ИВЭП СО РАН (Институт водных и экологических проблем)

<sup>3</sup> — ФГБУ «ААНИИ» (Арктический и антарктический научно-исследовательский институт)

В октябре 2022 г. на научно-практической конференции «Задачи и проблемы мониторинга природных условий Обской губы на фоне изменяющегося климата и интенсивной хозяйственной деятельности» был сделан доклад, посвященный теоретическому анализу гидрологического режима Обской губы в период ледостава по данным спутниковой микроволновой радиометрии. В качестве спутниковой информации использованы данные микроволнового радиометра MIRAS (англ. Microwave Imaging Radiometer using Aperture Synthesis) спутника SMOS (англ. Soil Moisture and Ocean Salinity) [6]. В докладе были представлены результаты, показывающие, что в зимние сезоны область смещения пресных и соленых вод может сдвигаться далеко на юг Обской губы, вплоть до 69° с. ш. Эти результаты были опубликованы в ряде работ [3, 4, 7].

Выполнить подобный теоретический анализ для Енисейского зал. не представлялось возможным, так как южная и центральная часть данной акватории значительно уже Обской губы, а в северной части расположено несколько крупных островов (Олений, Сибирякова, Неупокоева, Вилькицкого и др.). Таким образом, для каждой выбранной для анализа области (Е1–Е12) в Енисейском зал. (рис. 1) в пиксель радиометра MIRAS попадала часть берега. Из-за этого сезонная и межгодовая динамика яркостной температуры (*Тя*) по данным спутника SMOS прак-

тически для каждой области в Енисейском заливе существенно отличалась от динамики  $T_d$  для исследуемых областей в Обской губе. В связи с этим авторам доклада удалось выполнить только качественный анализ этой динамики и приблизительно оценить движение и расположение фронтальной зоны в Енисейском зал. в период ледостава [5]. Для более точного анализа движения и расположения зоны смешения пресных и соленых вод в Енисейском зал. в зимний период необходимо было выполнить доработку модели собственного микроволнового излучения акватории, в которой учитывалось бы попадание в пиксель радиометра части берега.

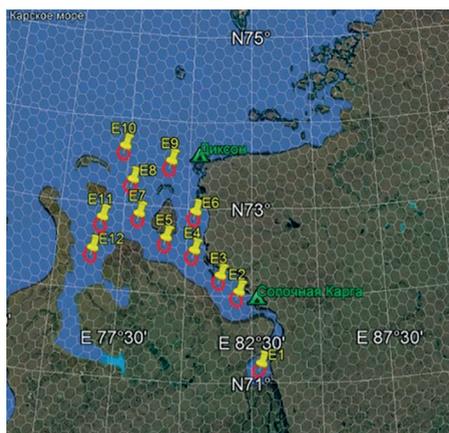


Рис. 1. Исследуемая акватория Енисейского зал. Красные шестиугольники — анализируемые по данным радиометра MIRAS области (E1–E12). Зелёными треугольниками обозначены действующие в регионе метеостанции

Модель была доработана, а также выполнена оценка удельной площади берега ( $k$ ), попадающей в пиксель радиометра MIRAS для каждой исследуемой области в Енисейском зал. (табл.).

С помощью доработанной модели был выполнен теоретический анализ солености воды, а также расположения фронтальной зоны под ледяным покровом в Енисейском зал. в период ледостава. В настоящем докладе представлены результаты этого анализа.

На рис. 2 представлено сравнение модельных расчетов  $T_d$  на горизонтальной и вертикальной поляризации с данными спутника SMOS для области E1. Расчет выполнен для двух случаев: при  $k = 0$  (без учета берега) и при  $k = 0,44$  с учетом попадания в пиксель береговой зоны. Выбранное значение  $k = 0,44$  соответствует данным, представленным в табл. Модельный расчет выполнен для солености воды подо льдом

Оценка удельной площади суши ( $k$ ), попадающей в пиксель радиометра MIRAS для каждой исследуемой области (E1–E12)

Область	Доля удельной площади суши	
	минимальная	максимальная
E01	0,38	0,46
E02	0,00	0,12
E03	0,07	0,38
E04	0,00	0,21
E05	0,07	0,40
E06	0,02	0,25
E07	0,00	0,08
E08	0,00	0,00
E09	0,00	0,01
E10	0,00	0,01
E11	0,00	0,00
E12	0,00	0,23

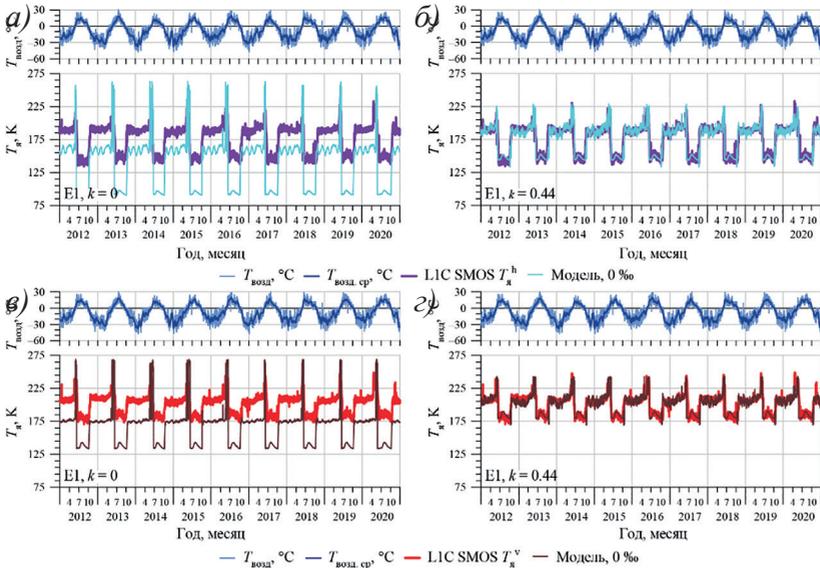


Рис. 2. Динамика  $T_s$  на горизонтальной ( $a, \bar{b}$ ) и вертикальной ( $v, \bar{g}$ ) поляризации для области E1.

Модельный расчёт:  $a, v$  — без учёта береговой зоны в пикселе радиометра ( $k = 0$ );  $\bar{b}, \bar{g}$  — с учётом береговой зоны в пикселе радиометра ( $k = 0,44$ ). Расчёт выполнен для солёности воды подо льдом 0 ‰. Фиолетовый и красный цвет — спутниковые данные, голубой и коричневый цвет — модельный расчёт

равной 0 %, что соответствует реальным гидрологическим условиям данной области [2]. Рис. 2 хорошо демонстрирует необходимость учета берега, попадающего в пиксель радиометра, при модельных расчетах яркостной температуры исследуемых участков.

На рис. 3, 4 представлены результаты расчета еще для двух областей в Енисейском зал. (Е2 и Е4). Для области Е2 расчет выполнялся при  $k = 0,12$ , что соответствует значениям табл. Для данной области вычисления проводились при двух значениях солености воды под ледяным покровом: 5 и 15 ‰. В данной области в районе мыса Сопочная Карга (рис. 1) в зимний период находится зона смешения пресных и соленых вод [2]. Поэтому соленость в этой области подо льдом очень нестабильна от сезона к сезону и

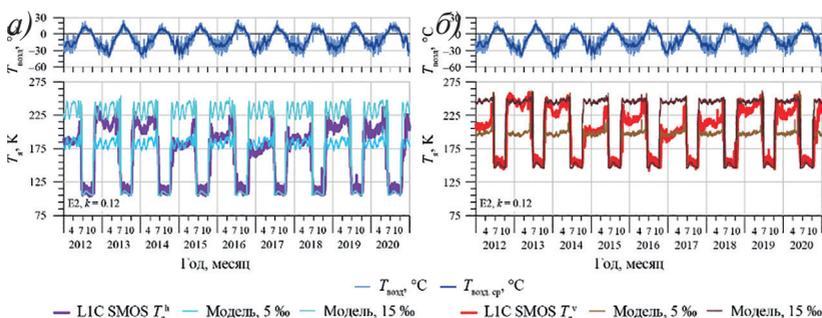


Рис. 3. Динамика  $T_s$  на горизонтальной (а) и вертикальной (б) поляризации для области Е2.

Модельный расчёт выполнен для удельной площади береговой зоны  $k = 0,12$  и солёности воды подо льдом 5 и 15 ‰. Фиолетовый и красный цвет — спутниковые данные, голубой и коричневый цвет — модельный расчёт

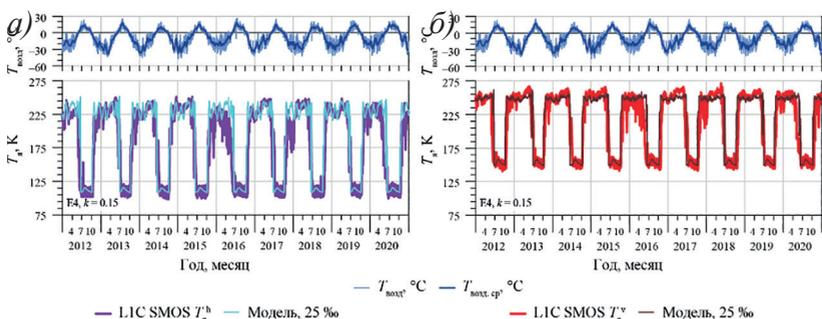


Рис. 4. Динамика  $T_s$  на горизонтальной (а) и вертикальной (б) поляризации для области Е4.

Модельный расчёт выполнен для удельной площади береговой зоны  $k = 0,15$  и солёности воды подо льдом 25 ‰. Фиолетовый и красный цвет – данные продукта SMOS L1C, голубой и коричневый цвет — модельный расчёт

определяется величиной зимнего стока Енисея и динамикой вод Карского моря. Модельные расчеты это хорошо подтверждают.

Область Е4 так же, как и все остальные исследуемые области (Е5–Е12) расположена в районе, который подвержен сильному влиянию вод Карского моря. Здесь соленость воды подо льдом находится в районе 22–27 ‰ [1], что хорошо подтверждается модельным расчетом, выполненным для солености воды 25 ‰. Анализ модельных расчетов и спутниковых данных показал возможность определения зоны смешения пресных и соленых вод в Енисейском зал. в период ледостава.

*Работа выполнена при поддержке темы «Мониторинг» (гос. регистрация № 12204250031-8) (Тихонов В.В., Шарков Е.А., Комарова Н.Ю.), а также темы «Природные и природно-хозяйственные системы Сибири в условиях современных вызовов: диагностика состояний, адаптивные возможности, потенциал экосистемных услуг» (госзадание № FUFZ-2021-0007) (Хвостов И.В., Романов А.Н.).*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коник А.А., Зимин А.В., Атаджанова О.А., Педченко А.П. Оценка изменчивости характеристик Стоковой фронтальной зоны Карского моря на основе комплексирования данных спутникового дистанционного зондирования // Современные проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 2. С. 241–250. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-2-241-250.
2. Лапин С.А. Особенности формирования пресноводного стока в эстуарных системах Оби и Енисея // Тр. ВНИРО. 2017. Т. 156. С. 139–150.
3. Тихонов В.В., Хвостов И.В., Романов А.Н., Шарков Е.А., Боярский Д.А., Комарова Н.Ю., Синицкий А.И. Особенности собственного излучения Обской губы в L-диапазоне в период ледостава // Исслед. Земли из космоса. 2020. № 3. С. 59–76. <https://doi.org/10.31857/S0205961420030070>.
4. Тихонов В.В., Хвостов И.В., Романов А.Н. и др. Межгодовые вариации собственного микроволнового излучения Обской губы в период ледостава и их связь с гидрологическими и климатическими изменениями региона // Современные проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 6. С. 185–199. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-6-185-199.
5. Тихонов В.В., Хвостов И.В., Алексеева Т.А. и др. Анализ гидрологического режима устьевых областей Енисея, Печоры и Хатанги в зимний период по данным спутника SMOS // Исслед. Земли из космоса. 2022. № 6. С. 47–62. DOI: 10.31857/S0205961422060124.
6. Kerr Y.H., Waldteufel P., Wigneron J. P. et al. The SMOS Mission: New Tool for Monitoring Key Elements of the Global Water Cycle // Proc. IEEE. 2010. V. 98. № 5. P. 666–687. DOI: 10.1109/JPROC.2010.2043032.
7. Tikhonov V.V., Romanov A.N., Khvostov I.V. et al. Analysis of the hydrological regime of the Gulf of Ob in the freezing period using SMOS data // Российская Арктика (Russian Arctic). 2022. № 2(17). P. 44–71. doi: 10.24412/2658-4255-2022-2-44-71.

**СПЛОЧЕННОСТЬ ЛЬДА В КАРСКОМ МОРЕ,  
ПОЛУЧЕННАЯ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ,  
ПО ДАННЫМ РАДИОМЕТРА MIRAS СПУТНИКА SMOS**

*В.В. Тихонов<sup>1,2,3</sup>, Д.Р. Катамадзе<sup>4</sup>, Т.А. Алексеева<sup>1,3</sup>, Е.В. Афанасьева<sup>1,3</sup>,  
Ю.В. Соколова<sup>1,3</sup>, И.В. Хвостов<sup>2</sup>, А.Н. Романов<sup>2</sup>, Н.Ю. Комарова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> — ФГБУН ИКИ РАН (Институт космических исследований РАН)

<sup>2</sup> — ФГБУН ИВЭП СО РАН (Институт водных и экологических проблем СО РАН)

<sup>3</sup> — ФГБУ «ААНИИ» (Арктический и антарктический научно-исследовательский институт)

<sup>4</sup> — МГУ (Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
факультет космических исследований)

Глобальный мониторинг морского ледяного покрова Арктического региона может выполняться только с использованием средств дистанционного зондирования, размещенных на искусственных спутниках Земли. В отличие от датчиков, работающих в видимом и инфракрасном (ИК) диапазоне, а также радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА), применение пассивных микроволновых приборов обеспечивает полное информационное покрытие полярных регионов Земли в любое время суток, при любых метеорологических условиях. Спутниковые пассивные измерения в микроволновом диапазоне были начаты 23 сентября 1968 г. и продолжают в настоящее время благодаря радиометрическим системам, запущенным в космос в разное время [2].

Однако применяемые в настоящее время алгоритмы восстановления характеристик ледяного покрова по данным пассивного микроволнового зондирования имеют существенные погрешности, особенно в летний период, а также в прикромочных зонах и в районах редких льдов [2, 9].

Второго ноября 2009 г. с космодрома Плесецк был запущен спутник SMOS (англ. Soil Moisture and Ocean Salinity) Европейского космического агентства (англ. European Space Agency). На спутнике установлен единственный научный прибор — радиометр MIRAS (англ. Microwave Imaging Radiometer using Aperture Synthesis). Радиометр MIRAS предназначен для измерения собственного микроволнового излучения поверхности Земли на частоте 1,4 ГГц на вертикальной (V) и горизонтальной (H) поляризации. MIRAS работает на принципе синтеза апертуры, который позволяет получать изображения Земли с относительно высоким пространственным разрешением [12]. Яркостная температура ( $T_{я}$ ) поверхности Земли на V- и H-поляризации принимается микроволновым радиометром MIRAS в диапазоне углов визирования от 0 до 60° [10]. Максимальный пространственный охват достигается при угле 42,5°. В этом случае пространственное разрешение составляет 35×65 км [8]. В исследовании были использованы данные продукта первого уровня SMOS L1C. Эти данные привязаны к дискретной геодезической сетке

DGG ISEA 4Н9. Линейный размер ячейки сетки составляет величину порядка 16 км, а площадь – около 195 км<sup>2</sup> [14].

При исследовании гидрологического режима устьевых областей Оби и Енисея авторами доклада было показано, что  $T_{я}$ , принимаемая радиометром MIRAS, очень чувствительна к изменениям состояния ледяного покрова Карского моря (сплоченность, таяние, замерзание) [3, 4, 15]. Обнаруженная зависимость позволила приступить к разработке методики анализа характеристик морского льда по данным радиометра MIRAS. В настоящем докладе представлены первые результаты проведенных исследований по оценке сплоченности ледяного покрова (СЛ) Карского моря с применением методов машинного обучения (МО) по данным радиометра MIRAS.

По девяти ячейкам геодезической сетки DGG ISEA 4Н9 в Карском море (рис. 1) была получена динамика  $T_{я}$  радиометра MIRAS на V- и H-поляризациях за 2022–2023 гг.

Для определения СЛ в выбранном регионе были использованы данные спутников видимого и ИК диапазона, а также снимки в микроволновом диапазоне, полученные РСА. До шести месяцев в году в Арктике длится полярная ночь. В связи с этим данные видимого диапазона в прибрежных районах морей доступны лишь с февраля по октябрь. С середины октября по середину февраля мониторинг ведется только по ИК данным. Помимо оптических радиометров использовались данные РСА, которые позволяют получать информацию о ледяном покрове вне

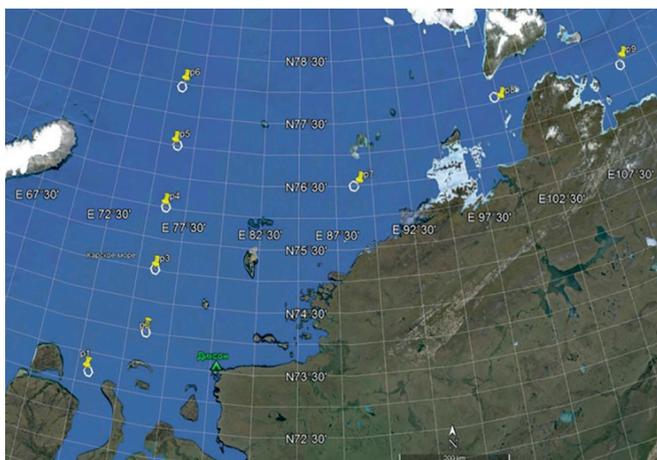


Рис. 1. Исследуемая акватория Карского моря.

Белые шестиугольники — анализируемые по данным радиометра MIRAS ячейки (p1–p9)

зависимости от погодных условий и условий естественной освещенности [1]. В исследовании для определения ледовых характеристик был задействован архив данных оптической и радиолокационной съемки за 2022–2023 гг. Анализ ледовых условий выполнялся визуально с использованием изображений спектрорадиометра MODIS (англ. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) спутников Terra и Aqua (<https://worldview.earthdata.nasa.gov/>), радиометра VIIRS (англ. Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) спутника Suomi-NPP (англ. Suomi National Polar-orbiting Partnership) (принимаются на антенну ААНИИ), а также PCA Sentinel-1A (<http://seaice.dk/>).

Для выбранных девяти ячеек были получены временные ряды общей СЛ за 2022–2023 гг. Дискретность измерений определялась наличием безоблачных снимков в оптическом диапазоне, а также частотой радиолокационной съемки анализируемых ячеек.

В исследовании использовались несколько моделей МО. Атрибутами модели, которые использовались для прогнозирования, стали четыре переменные:  $T_{\text{я}}$ , на горизонтальной ( $T_{\text{H}}$ ) и вертикальной ( $T_{\text{V}}$ ) поляризации, их соотношение ( $T_{\text{H}}/T_{\text{V}}$ ) и поляризационное соотношение ( $\text{Pr}$ ), которое определяется, как  $(T_{\text{V}} - TH)/(T_{\text{V}} + T_{\text{H}})$ . Такие комбинации яркостной температуры на разных поляризациях часто используются при разработке алгоритмов определения СЛ по данным спутниковой микроволновой радиометрии [2]. Эти параметры позволяют учесть различные характеристики сигнала, принимаемого радиометром, что способствует более точным прогнозам СЛ. Целевой переменной была общая СЛ.

Для анализа соответствия спутниковых данных и СЛ было выполнено МО по данным радиометра MIRAS за 2022 г. В рамках исследования использовались восемь моделей регрессии: Linear Regression, Ridge, Lasso, ElasticNet, DecisionTreeRegressor, RandomForestRegressor, XGBoost, KNeighborsRegressor [6, 7, 11, 13].

Эффективность моделей оценивалась с помощью нескольких метрик качества: коэффициент детерминации ( $R^2$ ), показатель Root Mean Squared Error (RMSE) и метрика Mean Absolute Percentage Error (MAPE) [5]. После анализа метрик эффективности было выявлено, что модель XGBoost, продемонстрировала лучший результат по сравнению с остальными.

Модель XGBoost использовалась для оценки СЛ в Карском море по выбранным девяти ячейкам за 2023 г. Эти результаты были сравнены с данными по СЛ в каждой ячейке, полученной из архива данных оптической и радиолокационной съемки ААНИИ. Некоторые результаты сравнения представлены на рис. 2. На рисунке показана динамика  $T_{\text{я}}$  и ее переменных для ячеек р6 и р9. Из рисунка видно, что СЛ, определен-

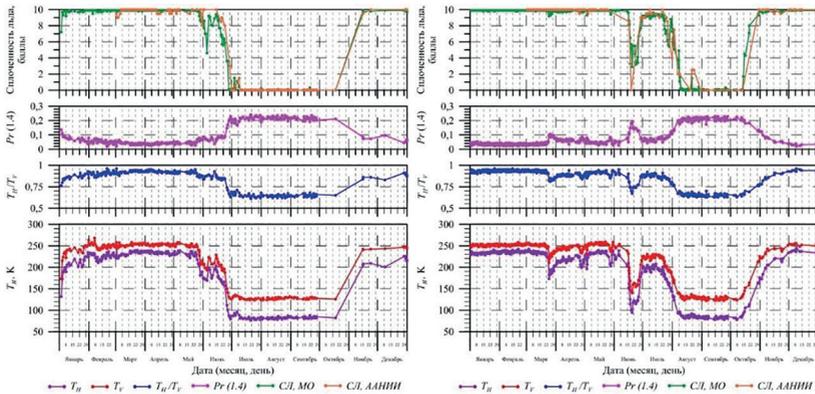


Рис. 2. Динамика за 2023 г.  $T_v$ ,  $T_H/T_v$ ,  $Pr$  и СЛ, полученная МО и методом визуального дешифрирования для ячеек р6 и р9

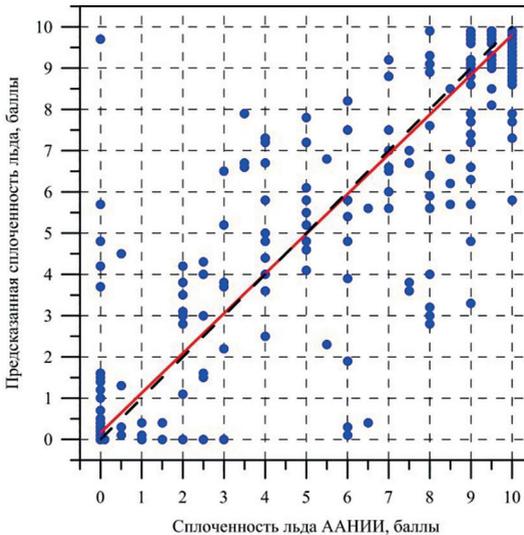


Рис. 3. Разброс значений для модели XGBoost.  $R^2 = 0,96$

ная с помощью МО, хорошо соответствует данным по СЛ, полученным из архива спутниковых изображений ААНИИ.

Рис. 3 демонстрирует разброс значений СЛ, полученной по модели XGBoost, а также определенной по данным архива спутниковых снимков ААНИИ.

Полученные результаты открывают возможность использования данных радиометра MIRAS спутника SMOS для оценки состояния

морского ледяного покрова Арктики. Совместное использование данных продукта SMOS L1C и данных радиометров AMSR2, SSMIS или МТВЗА-ГЯ может способствовать значительному прогрессу в разработке дистанционных всепогодных методов контроля и диагностики морского ледяного покрова морей российской Арктики.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 23-17-00161.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Спутниковые методы определения характеристик ледяного покрова морей / под ред. В.Г. Смирнова. СПб.: ААНИИ, 2011. 240 с.
2. Тихонов В.В., Раев М.Д., Шарков Е.А. и др. Спутниковая микроволновая радиометрия морского льда полярных регионов: Обзор // Исслед. Земли из космоса. 2016. № 4. С. 65–84. DOI: 10.7868/S0205961416040072
3. Тихонов В.В., Хвостов И.В., Алексеева Т.А. и др. Анализ гидрологического режима устьевых областей Енисея, Печоры и Хатанги в зимний период по данным спутника SMOS // Исслед. Земли из космоса. 2022. № 6. С. 47–62. DOI: 10.31857/S0205961422060124
4. Тихонов В.В., Алексеева Т.А., Афанасьева Е.В. и др. О возможности определения сплоченности ледяного покрова арктических морей по данным спутника SMOS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 6. С. 329–325. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-6-329-335
5. *Chai T., Draxler R.R.* Root Mean Squared Error (RMSE) или mean absolute error (MAE) — Arguments against avoiding RMSE in the literature // Geoscientific Model Development. 2014. V. 7. P. 1247–1250. <https://doi.org/10.5194/gmd-7-1247-2014>
6. *Desai N., Patel V.* Linear Decision Tree Regressor: Decision Tree Regressor Combined with Linear Regressor. 2021. 7 p. <https://www.researchgate.net/publication/353546682>
7. *Elango S., Natarajan E., Varadaraju K. et al.* Extreme Gradient Boosting Regressor Solution for Defy in Drilling of Materials // Advances in Materials Science and Engineering. 2022. V. 1. 8 p. DOI: 10.1155/2022/8330144
8. *Gutierrez A., Castro R., Vieira P. et al.* SMOS L1 Processor L1c Data Processing Model. Lisboa, Portugal: DEIMOS Engenharia, 2017.
9. *Ivanova N.O., Pedersen L.T., Tonboe R.T. et al.* Satellite passive microwave measurements of sea ice concentration: an optimal algorithm and challenges // The Cryosphere Discussions. 2015. V. 9. P. 1296–1313. DOI: 10.5194/tcd-9-1269-2015
10. *Kerr Y.H., Waldteufel P., Wigneron J.-P. et al.* The SMOS Mission: New Tool for Monitoring Key Elements of the Global Water Cycle // Proc. IEEE. 2010. V. 98. № 5. P. 666–687. DOI: 10.1109/JPROC.2010.2043032
11. *Lipper I., Xiao X.* Evaluating the differences between elastic net, ridge and lasso regression on empirical asset pricing. Erasmus University Rotterdam, 2020. 23 p.

12. McMullan K.D., Brown M.A., Martín-Neira M. et al. SMOS: The payload // IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing. 2008. V. 46. № 3. P. 594–605. DOI: 10.1109/TGRS.2007.914809
13. Metilda R.M., Kanishkaa K., Sagayarani A. Audience Engagement Prediction Using Random Forest Regressor // YUGATO. 2024. V. 76. № 1. P. 11–19
14. Sahr K., White D., Kimerling A.J. Geodesic Discrete Global Grid System // Cartography and Geographic Information Science. 2003. V. 30. № 2. P. 121–134. DOI: 10.1559/152304003100011090
15. Tikhonov V.V., Romanov A.N., Khvostov I.V. et al. Analysis of the hydrological regime of the Gulf of Ob in the freezing period using SMOS data // Российская Арктика (Russian Arctic). 2022. № 2(17). P. 44–71. DOI: 10.24412/2658-4255-2022-2-44-71

## **СУБМЕЗОМАСШТАБНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ДИНАМИКА МОРСКОГО ЛЬДА В КАРСКОМ МОРЕ И ОБЬ-ЕНИСЕЙСКОМ РЕГИОНЕ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ**

*И.Е. Козлов*

*ФГБУН ФИЦ МГИ (Морской гидрофизический институт РАН)*

В настоящее время активно исследуются физические механизмы, ответственные за быстрое сокращение площади ледяного покрова в Арктике, а также гидрофизические процессы, влияющие на теплообмен, вертикальное перешивание, вентиляцию глубоководных бассейнов и поступление тепла к нижней границе льда. В этой связи мало изучена роль быстропротекающих субмезомасштабных процессов верхнего слоя моря — короткопериодных внутренних волн (КВВ), вихревых структур, фронтов и филаментов различного генезиса, которые практически не разрешаются современными численными моделями циркуляции океана. Субмезомасштабные процессы играют ведущую роль в транспорте биогеохимических трассеров, интенсификации перемешивания и переносе тепла, обеспечивая его поступление к нижней или боковым границам ледяного покрова. В совокупности с интенсивными полями течений, характерными для таких процессов, это приводит к деформации ледяного покрова и способствует его ускоренному таянию.

Качественно новым подходом по исследованию субмезомасштабных процессов и характеристик дрейфа морского льда на малых масштабах является совместное использование данных высокого пространственного разрешения с беспилотных летательных аппаратов, спутниковых датчиков различных диапазонов, а также результатов численного моделирования и натурных наблюдений. Использование такого подхода позволяет определить кинематические характеристики этих процессов

(включая скорость и направление дрейфа морского льда), исследовать механизмы их генерации и особенности эволюции. В настоящей работе для ряда районов Карского моря будут продемонстрированы результаты применения описанного выше подхода на основе алгоритмов и моделей, разрабатываемых в Морском гидрофизическом институте РАН. Разработанные методы и полученные результаты могут быть использованы при организации мониторинга за динамикой ледяного покрова и гидрофизическими процессами в морской среде Обь-Енисейского региона, включая районы добычи нефти и газа, а также интенсивного судоходства вдоль трассы Северного морского пути.

### **МОНИТОРИНГ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ И ДИНАМИКИ БИООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБСКОЙ ГУБЫ ПО ДАННЫМ РАЗЛИЧНЫХ СПУТНИКОВ**

*В.В. Кириллов, Н.М. Ковалевская, И.Д. Рыбкина, Н.В. Худяков  
ФГБУН ИВЭП СО РАН (Институт водных и экологических проблем СО РАН)*

Сбор данных *in situ* о биооптических характеристиках связан с использованием сложных методов и логистики, требует значительных затрат времени и квалифицированного персонала. Примерами таких методов являются прямой отбор проб воды, физический, химический и биологический анализы, включая лабораторную спектрофотометрию для определения коэффициентов поглощения и рассеяния. Полученные результаты являются локальными по пространству и дискретными по времени (с большими интервалами). Поэтому эти подходы могут быть непрактичными для достижения детализированного пространственного покрытия обширных водных участков в реальном времени [1]. Спутниковое дистанционное зондирование, использующее соответствующие данные и алгоритмы обработки, потенциально предлагает решения для измерения, картирования и мониторинга биооптических характеристик водных объектов. В частности, многоспектральные данные спутниковых изображений общего назначения, такие как со спутников MERIS/Envisat, Landsat-8,9 и Sentinel-2, дают возможности для измерения биооптических характеристик и получения их пространственных распределений в различных пространственных и временных масштабах.

Основной целью данной работы является применение и проверка методов оценки концентрации хлорофилла (ХЛ) и взвешенного вещества, а также показателя поглощения желтым веществом (ЖВ или окрашенным растворенным органическим веществом) на основе глобальных многоспектральных спутниковых архивов, имеющих пространственные и временные масштабы, подходящие для работы в Обской губе.

В глобальном масштабе предыдущие исследования показывают значительную корреляцию между методами спутникового ДЗ и полевыми измерениями поглощающих и рассеивающих компонентов [2]. В этом исследовании представлено применение методов извлечения биооптических характеристик из поверхностных вод двух участков Обской губы:

- 1) мыс Каменный и поселок Новый Порт,
- 2) мыс Тамбей и порт Сабетта.

В частности, используются универсальные, глобальные, долговременные ряды, многоспектральные спутниковые данные MERIS/Envisat (2003–2011) и Landsat-8,9 (2013–2023).

Мониторинг качества эстуарных вод представляет собой значительную проблему из-за динамической природы эстуарных водоемов, на которые влияют такие факторы, как ветер, волны, течения и приливы, которые могут меняться в течение коротких промежутков времени, например, часов. Качество воды в этом контексте относится к оптическим свойствам воды, определяемым концентрацией взвешенных и растворенных органических и неорганических материалов. Свойства органических и неорганических материалов можно измерить с помощью методов дистанционного зондирования, оценивая такие параметры, как концентрация ВВ и ХЛ и показателя поглощения (ЖВ) [2].

В глобальном масштабе в приложениях дистанционного зондирования водоемы классифицируются на две категории: воды Case I и Case II [3]. Более 80% мировых водоемов попадают под категорию воды Case I (открытый океан), в которых преобладают рассеяние и поглощение, связанные с фитопланктоном в водной толще. Воды Case I характеризуются взвешенным органическим материалом, происходящим из биомассы фитопланктона и в основном встречающимся в открытых океанах и некоторых эстуарных водах. С другой стороны, воды Case II охватывают типы водных объектов, в которых преобладают высокие концентрации неорганических частиц и ЖВ. Эстуарные водоемы имеют высокодинамичную в пространственном и временном отношении смесь вод Case I и II. Дистанционные наблюдения зависят от сочетания этих компонентов, поскольку взвешенные и растворенные вещества поглощают, рассеивают и пропускают солнечный свет по-разному. Их воздействие на процессы поглощения и рассеяния можно измерить с помощью оптического дистанционного зондирования.

Для извлечения биооптических характеристик ключевых участков Обской губы на основе многоспектральных данных использовался программный комплекс EKA SNAP (<https://step.esa.int/main/toolboxes/snap/>), в котором реализованы водные процессоры C2RCC и C2X, обработка в которых выполняется на основе использования набора нейронных сетей:

– процессор C2RCC (Case-2 Regional CoastColour) — ПО для обработки многоспектральных данных, в частности, Landsat-8-9 и Sentinel-2. Процессор является дальнейшим развитием регионального процессора C2R, который был дополнительно изменен по ходу развития проекта CoastColour ([www.coastcolour.org](http://www.coastcolour.org)) [4].

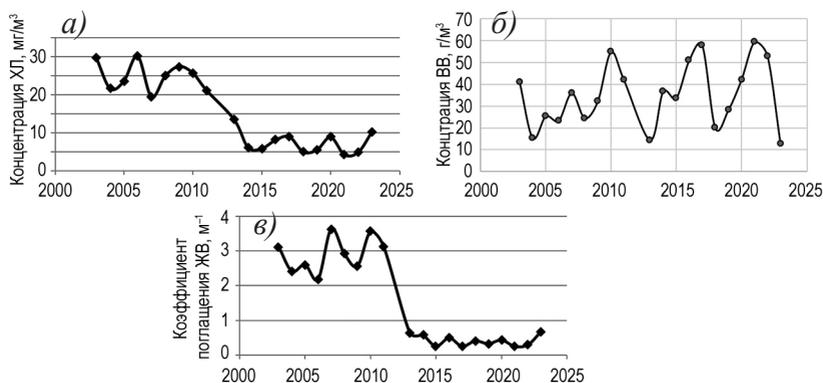
– в случае C2RCC диапазон обучения нейронных сетей включает многие ситуации, характерные для внутренних вод, в том числе ситуации умеренно мутных и умеренно поглощающих вод. В случае C2X (Case-2 eXtreme) были включены экстремальные ситуации.

Оценка биооптических характеристик воды с помощью спутникового дистанционного зондирования зависит от:

- 1) оптических характеристиках водного объекта;
- 2) разрешений (пространственного, спектрального, радиометрического и временного) датчика;
- 3) применяемых алгоритмов.

Поэтому, несмотря на неоспоримость представляемых спутниковых возможностей, для лучшего понимания поведения биооптических характеристик Обской губы необходимы соответствующие подспутниковые и последующие лабораторные измерения.

На рисунке и в таблице представлены изменения концентрации ХЛ, концентрации ВВ и коэффициента поглощения ЖВ в июле–сентябре 2003–2023 гг. на выбранных ключевых участках Обской губы. Можно предположить, что обнаруженные по спутниковым данным значительные межгодовые колебания исследованных характеристик связаны с многолетней динамикой водного стока реки Обь, для анализа кото-



Динамика концентрации ХЛ (а), концентрации ВВ (б) и коэффициента поглощения ЖВ (в) на участке мыс Каменный и пос. Новый Порт по данным: MERIS/Envisat (2003–2011), Landsat-8-9 (2013–2023)

Динамика концентрации ХЛ, концентрации ВВ и коэффициента поглощения ЖВ на двух участках: мыс Каменный и пос. Новый Порт, мыс Тамбей и порт Сабетга

Год	Спутник	Каменный и Новый порт						Тамбей и Сабетга					
		ХЛ, мг/м <sup>3</sup>		ВВ, г/м <sup>3</sup>		ЖВ, м <sup>-1</sup>		ХЛ, мг/м <sup>3</sup>		ВВ, г/м <sup>3</sup>		ЖВ, м <sup>-1</sup>	
		C2RCC	C2X	C2RCC	C2X	C2RCC	C2X	C2RCC	C2X	C2RCC	C2X	C2RCC	C2X
2003	MERIS/Envisat	29,66	-	41,00	-	3,11	-	15,85	-	20,02	-	3,8	-
2004	MERIS/Envisat	21,6	-	15,36	-	2,41	-	9,45	-	8,78	-	1,47	-
2005	MERIS/Envisat	23,51	-	25,32	-	2,60	-	13,92	-	29,23	-	3,26	-
2006	MERIS/Envisat	30,06	-	23,37	-	2,18	-	17,48	-	23,26	-	3,06	-
2007	MERIS/Envisat	19,4	-	35,97	-	3,63	-	12,85	-	20,72	-	2,56	-
2008	MERIS/Envisat	24,84	-	24,40	-	2,92	-	17,97	-	30,29	-	3,1	-
2009	MERIS/Envisat	27,37	-	32,31	-	2,56	-	15,45	-	16,46	-	2,05	-
2010	MERIS/Envisat	25,65	-	54,75	-	3,56	-	14,11	-	16,14	-	2,16	-
2011	MERIS/Envisat	21,09	-	41,92	-	3,13	-	18,31	-	18,15	-	2,46	-
2013	Landsat-8,9	13,43	12,61	14,40	8,12	0,64	0,61	10,17	24,36	36,43	51,92	0,39	2,79
2014	Landsat-8,9	6,19	20,86	36,69	91,21	0,57	6,01	5,62	17,51	24,59	32,08	0,41	3,52
2015	Landsat-8,9	5,82	42,94	33,66	121,17	0,25	10,45	6,65	38,49	38,76	85,49	0,42	4,09
2016	Landsat-8,9	8,075	34,13	50,95	51,85	0,49	3,72	4,05	21,76	15,58	17,35	0,26	1,29
2017	Landsat-8,9	8,95	47,12	57,83	73,02	0,25	5,99	6,03	17,81	32,39	29,75	0,28	2,09
2018	Landsat-8,9	4,99	18,08	19,98	10,95	0,41	1,95	4,42	21,29	22,94	25,61	0,27	3,51
2019	Landsat-8,9	5,46	37,82	28,11	37,70	0,33	2,08	9,72	31,65	22,71	60,31	0,68	3,84
2020	Landsat-8,9	8,82	5,88	41,94	29,02	0,43	0,81	12,15	18,02	33,35	37,48	0,57	4,87
2021	Landsat-8,9	4,22	21,87	59,37	36,22	0,25	3,27	17,45	55,57	88,46	249,42	0,76	7,5
2022	Landsat-8,9	4,88	14,02	52,98	18,4	0,29	1,98	14,02	13,53	58,56	46,76	0,63	3,96
2023	Landsat-8,9	10,23	29,45	12,69	16,57	0,67	2,77	6,02	14,46	36,51	29,73	0,50	1,83

рой возможно и целесообразно использовать результаты наблюдений Роскомгидромета на гидропосту Аксарка в районе г. Салехарда, представленных на сервере «Обсерватории великих арктических рек» (Arctic Great Rivers Observatory-ArcticGRO) (<https://arcticgreatrivers.org/data/>).

Обская губа характеризуется постоянным преобладанием экзодинамических (внешних) факторов над ценодинамическими (внутриводоемными), природных — над антропогенными, с преобладанием гидрологических процессов в формировании количества и качества воды, их многолетней динамики при значительных межгодовых отличиях водности [1]. Природная цикличность объема водного стока является фактором стабильности в многолетнем аспекте, высокого потенциала самовосстановления экосистемы и обратимости экологических эффектов воздействия хозяйственной деятельности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кириллов В.В., Ковалевская Н.М., Семчуков А.Н. и др. Противоречия и перспективы мониторинга экотональной экосистемы Обской губы // II Лаверовские чтения. Арктика: актуальные проблемы и вызовы [Электронный ресурс]: сб. науч. материалов [Всерос. конфер. с междунар. участием], г. Архангельск, 13–17 ноября 2023 г. / отв. ред. чл. корр. РАН К. В. Лобанов, чл. корр. РАН И.Н. Болотов. Архангельск, 2023. С. 393–397.
2. Кириллов В.В., Ковалевская Н.М., Павлов В.Е. и др. Исследование динамики параметров качества воды в заливах Карского моря и прилежащем Карском шельфе на основе архивной и оперативной спутниковой информации // Вычислительные технологии. 2018. Т. 23, № 4. С. 65–82. DOI 10.25743/ICT.2018.23.16491.
3. Sathyendranath S. Remote Sensing of Ocean Colour in Coastal and Other Optically-Complex, Waters; Report 3; International Ocean Colour Coordinating Group (IOCCG): Dartmouth, NS, Canada, 2000. 145 p.
4. Brockmann C., Doerffer R., Peters M., Kerstin S., Embacher S., Ruescas A. Evolution of the C2RCC Neural Network for Sentinel 2 and 3 for the Retrieval of Ocean Colour Products in Normal and Extreme Optically Complex Waters. Living Planet Symposium, Proceedings of the conference held 9–13 May 2016 in Prague, Czech Republic. Edited by L. Ouwehand. ESA-SP. 2016. Vol. 740. P. 54–60.

#### МОНИТОРИНГ ДРЕЙФА ЛЬДА В ОБЬ-ЕНИСЕЙСКОМ УСТЬЕВОМ РЕГИОНЕ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

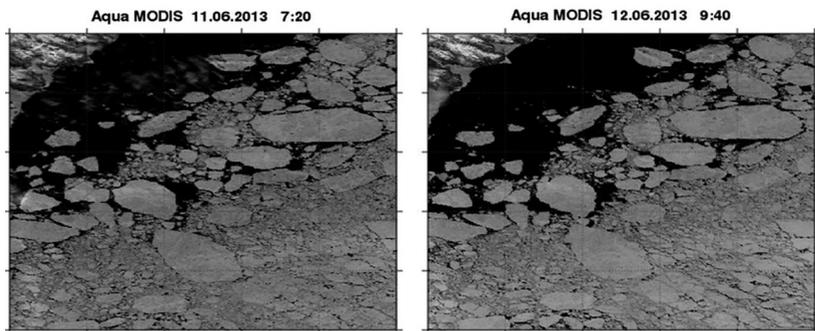
*Е.В. Плотников, И.В. Козлов, А.В. Медведева*

*ФГБУН ФИЦ МГИ (Морской гидрофизический институт РАН)*

Использование спутниковых данных для мониторинга поверхностной динамики морских акваторий стало в последние десятилетия общепринятым подходом. Анализ серий снимков в инфракрасном, оп-

тическом и радиолокационном диапазонах позволяет восстанавливать поля скорости поверхностных течений с высоким пространственным разрешением для регионов, площадь которых может составлять сотни тысяч квадратных километров. Получаемые продукты могут быть использованы для решения широкого круга теоретических и прикладных проблем, среди которых задачи гидродинамического и климатического моделирования, анализ распространения нефтяных и прочих загрязнений, мониторинг дрейфа морского льда и т.д. При этом, в последние годы с запуском новых ИЗС, совершенствованием используемых радиометров и технологий обработки изображений, актуальность данного направления все больше возрастает. Для расчетов полей скорости используются методы восстановления оптического потока. По данному вопросу существует обширная литература, в качестве обзорных публикаций можно порекомендовать работы [1, 2]. В отделе дистанционных методов исследований Морского гидрофизического института РАН такой подход используется более десяти лет [3–5]. За это время реализованы и отлажены алгоритмы обработки для последовательностей снимков NOAA AVHRR, MODIS, Landsat-8, Sentinel-2 в инфракрасном и оптическом диапазонах. Накоплены архивы данных о динамических характеристиках поверхностных течений для обширных участков акваторий Черного, Азовского и Мраморного морей. На сегодняшний день в лаборатории полярных исследований проводятся работы с использованием радиолокационных снимков Sentinel-1A/B. На этих данных отлажена схема оценки дрейфа морского льда для районов пролива Фрама и архипелага Шпицберген [3–5]. В качестве основного алгоритма восстановления полей скорости используется метод максимальной кросс-корреляции. Создана программная система, с использованием которой расчеты проводятся в автоматическом режиме. Ознакомиться с результатами можно на странице лаборатории <http://polar-space.ru>.

В качестве исходных данных для расчетов используются пары изображений, относящихся к одному и тому же участку морской поверхности. При этом, расхождение по времени съемки должно быть мало по сравнению с временными масштабами изменчивости адвекции. Предполагается, что видимое смещение поверхностных трассеров в первом приближении соответствует реальной динамике. Первичная обработка изображений включает в себя калибровку, выделение пересекающихся фрагментов, фильтрацию мелкомасштабных шумов и некоторые другие процедуры в зависимости от используемого продукта. В качестве основного инструмента при этом используется программный пакет ESA SNAP.



Пример используемой для расчетов пары изображений морского льда по данным MODIS в оптическом диапазоне

Суть метода максимальной кросс-корреляции можно описать так: для фрагмента первого снимка с центром в заданном пикселе определяется фотографически максимально близкий фрагмент на втором снимке, имеющий ту же форму и смещенный на величину, не превышающую теоретически возможное значение. При этом в качестве метрики близости используется коэффициент корреляции Пирсона. Отношение смещения центров фрагментов к временному интервалу между снимками определяет скорость в заданной точке. При этом, корреляция может образовывать ложные локальные максимумы, приводящие к ошибкам в результатах. Для устранения данной проблемы разработана процедура фильтрации соответствующих фрагментов. Стоит отметить, что метод максимальной кросс-корреляции эффективен для изображений с выраженным разделением трассер – фон, для рассматриваемой в докладе задачи — это лед на фоне воды в оптическом и радиолокационном диапазонах. Для восстановления оптического потока по изображениям с низким однородным градиентом предпочтительны другие подходы, например, основанные на использовании уравнения оптического потока.

В докладе рассмотрены вопросы, связанные с теоретическими и техническими подробностями мониторинга дрейфа морского льда по спутниковым данным на основе восстановления оптического потока с использованием метода максимальной кросс-корреляции. Описываются подробности предварительной обработки данных и схема расчета полей скорости. Демонстрируются результаты оценки динамики прикромочного льда в южной части Карского моря с использованием изображений Sentinel-2, Landsat-8, Landsat-9, MODIS Terra/Aqua в оптическом диапазоне. Актуальность данного направле-

ния определяется фактически безальтернативностью использования спутниковых данных с учетом их пространственного и временного покрытия. Запуск новых ИЗС делает это покрытие все более плотным и открывает новые возможности в изучении динамики субмезомасштабных океанических процессов. Поле практического применения систем мониторинга, основанное на использовании описываемого подхода, также представляется весьма обширным. В последние десятилетия методы обработки спутниковых данных в целом и методы восстановления оптического потока в частности существенно эволюционировали и на сегодняшний день позволяют решать указанные задачи с высокой эффективностью. Материалы доклада могут быть интересны специалистам в области дистанционного зондирования, гидродинамического и климатического моделирования, а также специалистам по цифровой обработке изображений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Fortun D., Bouthemy P., Kervrann C.* Optical flow modeling and computation: A survey // *Computer Vision and Image Understanding*. 2015. Vol. 134. P. 1–21.
2. *Sun H. et al.* Estimation of sea surface currents based on ocean colour remote-sensing image analysis // *International journal of remote sensing*. 2016. Т. 37. №. 21. С. 5105–5121.
3. *Plotnikov E.V., Kozlov I.E., Zhuk E.V. and Marchenko A.V.* Evaluation of Sea Ice Drift in the Arctic Marginal Ice Zone Based on Sentinel-1A/B Satellite Radar Measurements // *Physical Oceanography*. 2024. Vol. 31. Iss. 2. P. 284–294.
4. *Kozlov I.E., Plotnikov E.V., Manucharyan G.E.* Brief Communication: Mesoscale and submesoscale dynamics in the marginal ice zone from sequential synthetic aperture radar observations // *The Cryosphere*. 2020. Vol. 14. № 9. P. 2941–2947.
5. *Козлов И.Е., Плотников Е.В.* Динамика вихрей в Арктике по данным квазисинхронных спутниковых РСА-измерений Sentinel-1 // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2020. Т. 17. № 3. С. 178–186.

#### ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВЕТРОВОГО АПВЕЛЛИНГА В ЕНИСЕЙСКОМ ЗАЛИВЕ КАРСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ДЗЗ

*В.С. Рогожин<sup>1</sup>, А.А. Осадчиев<sup>1,2</sup>, А.С. Савин<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> — *Институт океанологии имени П.П. Шириова РАН (ИО РАН)*

<sup>2</sup> — *Московский физико-технический институт (МФТИ)*

Северная часть акватории Енисейского залива — эстуария реки Енисей, общий объем стока которой в Северный Ледовитый океан превышает 630 км<sup>3</sup>, является крупномасштабной зоной смешения речных и морских вод. Особенности распространения речного стока и его ди-

намика в Енисейском заливе могут оказывать значительное влияние на процессы формирования опресненного поверхностного слоя в Карском море, что в дальнейшем оказывает влияние на состояние экосистемы Карского моря в целом [4]. Изучение данных процессов особенно важно в условиях современных климатических изменений, включая интенсификацию ветрового воздействия и снижения площади сезонного морского льда. В целом, помимо изменчивости объемов речного стока, поступающего в исследуемую акваторию, на структуру вод Енисейского залива могут оказывать влияние ряд внешних факторов, включая ветровое воздействие, приливы, ледообразование и ледотаяние. Формирование зоны апвеллинга в Енисейском заливе может оказать значительное влияние на гидрологическую структуру и динамику вод северной части залива.

В данной работе представлены исследования формирования крупномасштабной зоны апвеллинга в Северной части Енисейского залива под воздействием северных и северо-восточных ветров, что регистрируется по спутниковым данным температуры и солёности поверхности моря. За период с 2002 по 2024 гг. было выявлено 11 случаев возникновения крупномасштабной зоны ветрового апвеллинга. Наиболее обширный по площади и продолжительный по времени случай был зафиксирован в 2015 году, когда в зоне апвеллинга оказалась вся северная часть Енисейского залива на протяжении более двух недель. Данный продолжительный случай был вызван сильными северо-восточными ветрами, господствовавшими над акваторией залива.

В качестве основы для изучения случаев формирования зоны апвеллинга в Енисейском заливе были использованы данные значений температуры поверхности моря (SST), полученные со спутников MODIS Terra/Aqua, NOAA-20/VIIRS и Suomi NPP/VIIRS за период с 2003 по 2024 г., а также данные солёности поверхности моря, полученные с помощью нейросетевого алгоритма восстановления данных солёности поверхности моря на основе показаний спутников SMOS и SMAP в период с 2015 по 2023 год [6]. Возможность использования данных о температуре поверхности моря для определения опресненных вод в поверхностном слое заливов и морей Северного ледовитого океана была неоднократно подтверждена их сравнением с натурными данными, полученными в ходе экспедиционных исследований [1–5, 7]. Доступность данных SST за длительный период позволяет выявить случаи возникновения апвеллинга на значительном временном промежутке, однако их использование может ограничено наличием облачности в исследуемой акватории. В свою очередь, данные SSS доступны при любой облачности, но их использование ограничено периодом 2015–2023 г. Таким образом, совместное использование данных SST и SSS позволяет провести наиболее комплексное изучение случаев формирования зоны апвеллинга в Енисейском заливе. Также, для исследования влияния

ветровых условий были проанализированы данные атмосферного реанализа ERA5 — скорость и направление ветра на уровне моря — с разрешением  $0.25^\circ$  и временным шагом 1 час.

По результатам анализа спутниковых снимков, за период 2002–2024 гг. было выявлено 11 случаев апвеллинга разного масштаба в акватории Енисейского залива и прилегающей акватории Карского моря длительностью от 1 до 14 дней. Апвеллинги были зафиксированы в период 19.08.2002, 07–08.08.2006, 01–08.2007, 27.08.2009, 31.07–03.08.2013, 26.07–10.08.2015; 15.07.2016; 29.07–03.08.2019, 14.08–17.08.2020, 24.07.2022, 24.07.2023. Минимальная площадь апвеллинга составляла  $\sim 674 \text{ км}^2$ , максимальная —  $14197 \text{ км}^2$ . Наиболее продолжительным по времени, среди вышеперечисленных случаев, был апвеллинг, продолжавшийся с 26 июля по 10 августа 2015 года (рис. 1), на примере которого рассмотрен процесс формирования данного явления. В большинстве случаев, процесс формирования апвеллинга начинался вблизи Енисейского залива, в районе Таймырского побережья Карского моря, под воздействием ветров восточного и северо-восточного направления длительностью не менее суток и скоростью не менее  $6\text{--}7 \text{ м/с}$  (рис. 1а). В дальнейшем, при продолжении ветрового воздействия длительностью от 2 до 3 суток, зона апвеллинга значительно расширяется на север, до-

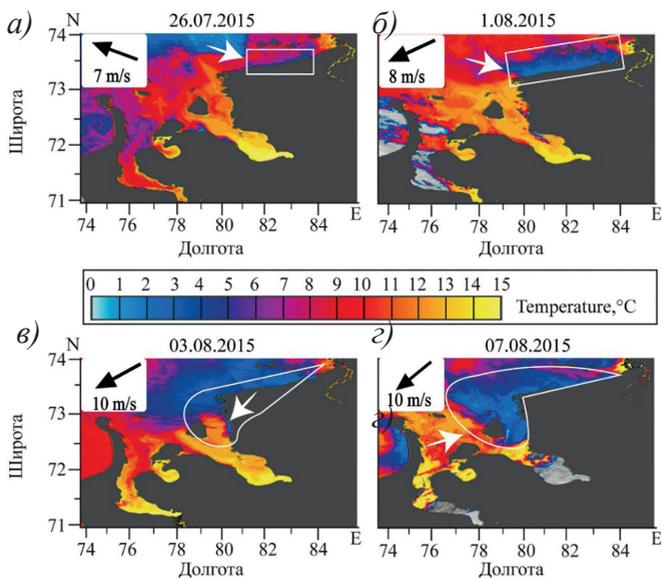


Рис. 1. Процесс формирования ветрового апвеллинга вблизи Енисейского залива Карского моря в 2015 г. по данным температуры поверхности моря

стигая 7500 км<sup>2</sup>. (рис. 1б). При ветровом воздействии длительностью свыше 3 суток, зона формирования апвеллинга расширяется изначально на прибрежную часть Енисейского залива (рис. 1в), а затем и на всю северную часть исследуемой акватории, достигая максимальной площади в 13–14 тыс. км<sup>2</sup> (рис. 1г).

Однако, при анализе данных SSS можно заметить, что апвеллинг продолжался и после 10 августа, примерно до 17.08.2015. Над исследуемой акваторией в указанный период была облачность, что ограничило возможности получения сведений о температуре поверхности моря. Кроме того, по данным SSS заметен сдвиг Обь-Енисейского плюма на северо-запад, происходящий за период длительного ветрового воздействия. Восстановление стандартного положения плюма происходит только в период с 17 по 23 августа, после окончания ветрового воздействия.

На основе термохалинных характеристик поверхности моря, полученных из различных спутников было выявлено возникновение и особенности несколько случаев формирования прибрежного ветрового апвеллинга в Енисейском заливе и Карском море, что подробно описано на апвеллинге, возникшем в июле 2015 г. Определено, что длительность конкретного случая апвеллинга напрямую зависит от длительности и скорости воздействия ветра восточных румбов, преимущественно северо-восточного направления.

*Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 23-17-00087.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Banzon V., Smith T. M., Steele M., Huang B., Zhang H.* Improved Estimation of Proxy Sea Surface Temperature in the Arctic // *J. Atmos. Oceanic Technol.* 2020. Vol. 37. P. 341–349, <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-19-0177.1>.
2. *Osadchiev A., Frey D., Spivak E., Shchuka S., Tilinina N. and Semiletov I.* Structure and Inter-Annual Variability of the Freshened Surface Layer in the Laptev and East-Siberian Seas During Ice-Free Periods // *Front. Mar. Sci.* 2021. Vol. 8. 735011. doi: 10.3389/fmars.2021.735011
3. *Osadchiev A., Konovalova O. and Gordey A.* Water Exchange Between the Gulf of Ob and the Kara Sea During Ice-Free Seasons: The Roles of River Discharge and Wind Forcing // *Front. Mar. Sci.* Vol. 8. 741143. doi: 10.3389/fmars.2021.741143
4. *Osadchiev A.A., Izhtskiy, A.S., Zavalov P.O., Kremenetskiy V.V., Polukhin A.A., Pelevin V.V. and Toktamysova Z.M.* Structure of the buoyant plume formed by Ob and Yenisei river discharge in the southern part of the Kara Sea during summer and autumn // *Journal of Geophysical Research: Oceans.* 2017. Vol. 122(7). P. 5916–5935.
5. *Rogozhin V., Osadchiev A., Konovalova O.P.* Structure and variability of the Pechora plume in the southeastern part of the Barents Sea // *Frontiers in Marine Science.* 2023. Vol. 10. 1052044. doi:10.3389/fmars.2023.1052044.

6. Savin A., Krinitskiy M., Osadchiev A. Improved sea surface salinity data for the Arctic Ocean derived from SMAP satellite data using machine learning approaches // *Frontiers in Marine Science*. 2024. Vol. 11. P. 1358882. doi:10.3389/fmars.2024.1358882

7. Tarasenko A., Supply A., Kusse-Tiuz N., Ivanov V., Makhotin M., Tournadre J., Chapron B., Boutin J., Kolodziejczyk N., Reverdin G. Properties of surface water masses in the Laptev and the East Siberian seas in summer 2018 from in situ and satellite data // *Ocean Sci*. 2021. Vol. 17. P. 221–247

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ РЕЙДОВЫХ ГРУЗОВЫХ ОПЕРАЦИЙ НА ЛЕДЯНОМ ПОКРОВЕ ОБСКОЙ ГУБЫ, ЕНИСЕЙСКОГО ЗАЛИВА И НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. ЕНИСЕЙ**

*Н.В. Кубышкин<sup>1,2</sup>, Н.В. Головин<sup>1</sup>, А.А. Скутин<sup>1</sup>, Д.И. Соболюк<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> — ФГБУ «ААНИИ» (Арктический и антарктический научно-исследовательский институт)

<sup>2</sup> — ООО «Арктик Шельф Консалтинг»

Неподвижный ледяной покров, связанный с берегом (припай), при определенных условиях, позволяет осуществлять перевалку грузов с морских судов на берег в необорудованных пунктах арктического побережья. Доклад не содержит общих методических указаний по проведению таких операций (они подробно рассмотрены в [1–3]), и рассматривает лишь особенности, обусловленные региональными факторами.

В новейшей истории России выгрузки судов через береговой припай в Обь-Енисейском районе проводятся практически ежегодно с 2011 г. В Обской губе эта технология применялась для доставки грузов для строительства порта Сабетта (2011–2015), объектов Салмановского (Утреннего) ГКМ (2017–2020), в районы мыса Штормовой (2019), Геофизического ГКМ (2021). В Енисейском заливе суда разгружались через припай в бухте Север (2021), в районе устья реки Крестьянка (Восточный пролив). Большие объемы грузов выгружались на ледяной покров реки Енисей в пунктах Воронцово (2023, 2024), Таналау (2018, 2022–2024, Караул (2022–2024) и др.

В работе [3] приводится типизация припайных льдов по условиям устойчивости припая — важного фактора, который необходимо учитывать при планировании и проведении припайных операций. Выделяется пять типов припая, из которых наиболее устойчивыми являются первые два, для которых характерна стабильность припая в течение всего ледового сезона до весенне-летнего разрушения льда. Припай третьего, четвертого и пятого типов может быть взломан под воздействием гидрометеорологических факторов в течение ледового сезона, причем устойчивость уменьшается от третьего типа к пятому. Согласно данной типизации, грузовые операции в северной части Обской губы от п. Тамбей и

**Понижающий коэффициент грузоподъемности ледяного покрова  
(коэффициент солености),  
использовавшийся в различных пунктах Обь-Енисейского района**

Пункт	Водный объект	Значение коэффициента
Сабетта	Обская губа	0,7
Утренний	Обская губа	0,9
Мыс Штормовой	Обская губа	0,7
Геофизическое ГКМ	Обская губа	1,0
Бухта Север	Енисейский залив	0,5*
Воронцово	р. Енисей	0,8
Таналау	р. Енисей	1,0
Караул	р. Енисей	1,0

*Примечание.* \* — рассматривалась возможность увеличения значения коэффициента при условии проведения уточняющих измерений характеристик льда

южнее, до начала круглогодичной навигации в порт Сабетта, к причалам и терминалам Утренний, Мыс Каменный, проводились на припае второго типа. С конца десятых годов этого века граница заприпайной полыньи в Обской губе в холодный период ледового сезона все чаще опускается южнее Сабетты, в результате чего сама Сабетта и терминал Утренний оказываются в условиях, когда припай по своей устойчивости приближается к третьему типу, обычно наблюдаемому в условиях частично открытого рейда. Подтверждением этому является аномально ранний взлом припая в северной части губы во второй декаде марта 2020 г., после которого восстановление припая на всю ширину губы севернее Тадибеяхи так и не произошло до самого окончания ледового сезона.

Припай Енисейского залива в [3] отнесен к второму типу (как и Обская губа), и в ходе грузовых операций последних нескольких лет он проявлял себя соответствующим данному типу, несмотря на рост суходождства в течение ледового сезона, влияющего на распространение и устойчивость припайного льда.

Речной ледяной покров строго терминологически к припаю не относится, хотя в ряде случаев гидрологи применяют термин «припай» при работах на реках (обычно при наличии приливных колебаний уровня и образовании приливных трещин в низовьях северных рек). С точки зрения устойчивости, ледяной покров нижнего течения Енисея (севернее Дудинки), можно рассматривать как припай первого типа.

В процессе разгрузки морских судов через припайный лед крайне важно правильно оценить его несущую способность (грузоподъемность). Большинство известных формул для расчета грузоподъемности

льда, используемых в отечественной и зарубежной ледотехнике, предназначены для пресного льда. Для соленого льда, прочность которого ниже, рекомендуется использовать понижающий коэффициент. В литературе можно найти различные указания по коэффициенту солёности, которые для морского льда находятся в пределах 0,3–0,5, для распресненных водоемов 0,6–0,9 [1–3]. Корректный выбор значения коэффициента солёности при оценке грузоподъемности льда крайне важен, поскольку его завышенное значение увеличивает риски повреждения льда и потери грузов и техники, а чрезмерно заниженное значение может привести к необоснованному отказу от транспортировки вполне приемлемых для данных условий грузов. В обоих случаях снижается эффективность припайной операции. В табл. приведены значения коэффициента солёности, которые принимались в различных пунктах Обь-Енисейского района при проведении выгрузки судов через припай.

На безопасность грузовых операций оказывает влияние фактор вмещения судна в лед и последующее его резкое всплытие («выпрыгивание») вследствие уменьшения осадки в процессе выгрузки. Предупреждение об этом эффекте можно найти в [2. 3]. Мы практически не встречались с этим явлением на морских акваториях и в распресненных водах, где коэффициент солёности меньше 1,0 (см. табл.), но в пресной воде «выпрыгивание» случалось примерно с половиной разгрузившихся на лед судов. Оно отмечалось в районе Геофизического ГКМ в Обской губе, а также во всех пунктах зимних рейдовых выгрузок на Енисее. Суть этого явления заключается в следующем. По мере выгрузки судна его корпус всплывает, уменьшая осадку. При примерзании льда к бортам, лед вокруг судна начинает изгибаться, задираясь вверх. Несмотря на возникающие при этом напряжения в ледяном покрове, его прочности хватает при этом на продолжительное время (до нескольких суток), и выгрузка обычно продолжается даже на деформированном льду (безопасность техники под погрузкой обеспечивается деревянными настилами, выложенными у борта судна). В некоторых случаях деформация льда сохранялась до околки судна ледоколом в процессе его вывода с ледовой грузовой площадки. Но чаще лед отставал от борта в результате потепления воздуха или солнечного прогрева. Резкое всплытие судна сопровождалось кренами на один борт или последовательно на оба борта. На выровнявшемся ледяном покрове образовывались сквозные трещины. Обычно после этого удавалось завершить выгрузку, подкорректировав положение настилов на льду и уменьшив разрешенную загрузку автотранспорта, но при возникновении сильных разрушений льда может потребоваться приостановка работ в ожидании смерзания поврежденных участков льда или даже перестановка судна на новое место.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кубышкин Н.В., Гудошникова Ю.П., Скутин А.А. Обеспечение транспортных и грузовых операций на припайном льду. Методическое пособие / Под ред. В.А. Лихоманова. СПб., 2020. 88 с.
2. РД 31.41.21–90. Сборник рабочих технологических документов на производство погрузочно-разгрузочных работ, выполняемых при разгрузке судов в пунктах беспричальной обработки через лед берегового припая. М., 1990.
3. Рекомендации по проведению грузовых операций в припайных льдах Арктики: Методические рекомендации. М.: В/О «Мортехинформреклама», 1986. 40 с.

## ОТРАЖЕНИЕ ВАРИАЦИЙ НАВЕДЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ — ТЕЧЕНИЕ

А.А. Трунин, А.С. Калишин

ФГБУ «ААНИИ» (Арктический и антарктический научно-исследовательский институт)

Одной из характерных черт нашей планеты является наличие у нее постоянного магнитного поля. Практически все гидродинамические процессы в водной оболочке происходят в условиях действия этого поля. Поскольку вода обладает электрической проводимостью, то при этом возникает ряд специфических эффектов, наиболее важным из них является эффект Фарадея. Он состоит в возбуждении в движущейся проводящей среде электрического и вторичного магнитного полей. Характеристики каждого из таких полей в значительной степени отображают особенности порождающего их гидродинамического процесса.

Для решения задач о поле движущейся морской воды воспользуемся двумя уравнениями Максвелла-Лоренца в гармоническом режиме с временным множителем  $e^{-i\omega t}$ :

$$\operatorname{rot} H = \gamma (E + \mu[E \cdot F]) = j,$$

$$\operatorname{rot} E = i\omega\mu H,$$

где  $\mu = 4\pi 10^{-7}$  гн/м — магнитная проницаемость вакуума;  $\gamma$  — удельная электропроводность;  $F$  — постоянное магнитное поле Земли;  $E$  и  $H$  — индуцированные электрическое и магнитное поля;  $j$  — плотность потока.

Из описанных уравнений получаем дифференциальное уравнение для индуцированного магнитного поля:

$$\Delta H - k^2 H = -\mu\gamma \operatorname{rot}[V \cdot F],$$

где  $k^2 = -i\omega\mu\gamma$  — квадрат волнового числа ( $\operatorname{Re} k > 0$ ),  $V$  — скорость движения морской воды.

Это позволяет разбить решения на две задачи: гидродинамическую по определению скорости и электродинамическую. При решении гидродинамической задачи жидкость предполагается невязкой и несжимаемой. Полное решение перечисленных выше задач изложено в работах [1–3].

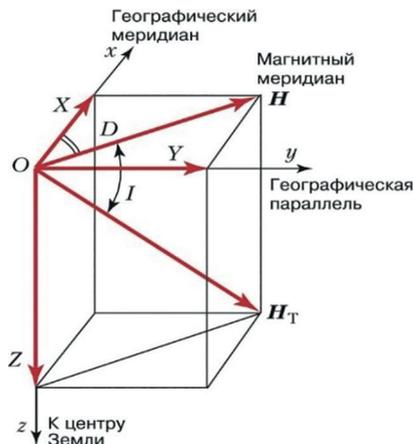


Рис. 1. Компоненты магнитного поля Земли

В результате обработки рядов вариаций магнитного поля со станций, расположенных в районах мыс Белый нос (пролив Югорский шар) и Диксон (Енисейский залив), были построены графики распределения значений компонентов  $E - Y$ ,  $H - X$ ,  $Z - Z$  (рис. 1) с 2014 по 2024 год.

Для компиляции данных и расчета вторичных математических кривых использовалось бесплатное (открытое) программное обеспечение: QGis (<https://www.qgis.org>), R(<https://r-project.org>). QGis использовался для построения карт. R использовались для обработки «больших», более 5 000 000 записей, объемов данных, создания вторичных математических кривых, построения графиков.

В рамках программы импортозамещения следует отметить, что перечисленное программное обеспечение является бесплатным и распространяется на условиях Стандартной Общественной Лицензии ([https://ru.wikipedia.org/wiki/GNU\\_General\\_Public\\_License](https://ru.wikipedia.org/wiki/GNU_General_Public_License)).

В результате математического анализа кривых были выделены характерные участки, которые соответствуют ледовым явлениям и характеристикам течения в районе мыса Белый нос. Анализируя кривые за 2022 г., можно сделать следующие выводы.

7 июля резко уменьшается компонента  $E$  и происходит увеличение компонент  $H$ ,  $Z$ , что свидетельствует об изменении течения по направлению к геомагнитному полюсу (течение идет вдоль берега). При освобождении пролива Югорский шар от льда, возрастание компоненты  $E$  свидетельствует об изменении направления течения в проливе Югорский шар (рис. 2–4). 13 декабря происходят обратные явления, что связано со становлением ледяного покрова.

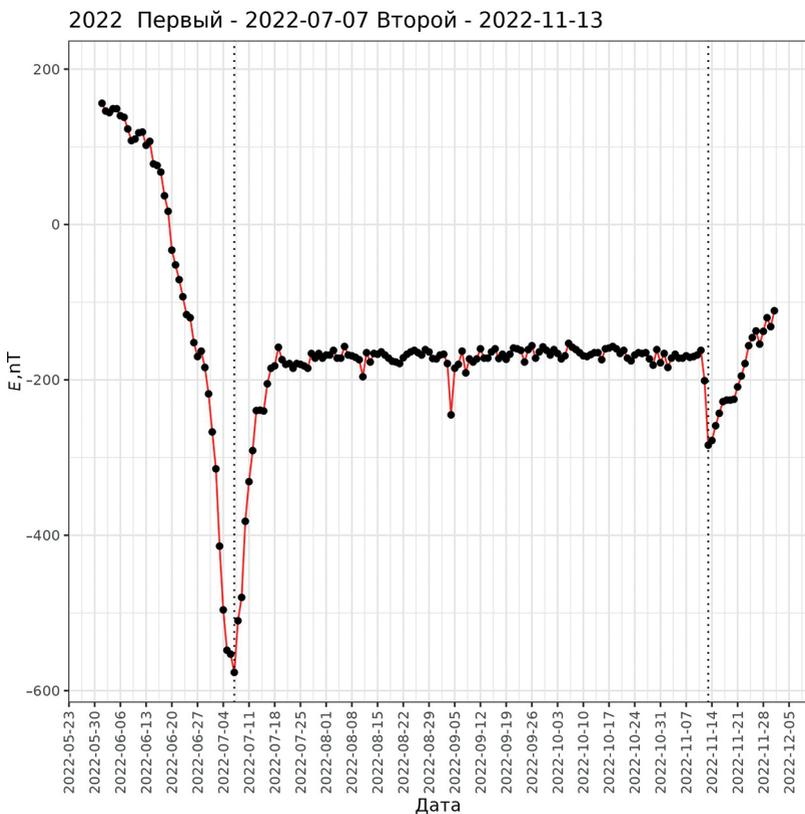


Рис. 2. Распределение медианного значения (день) компоненты  $E$ . Экстремумы, характеризующие гидрологические процессы

Анализ всей совокупности данных (2014–2023 гг.) показывает аналогичные распределения экстремумов по компонентам магнитного поля. Это является дополнительным доказательством предлагаемой гипотезы о связи выделенных особенностей с течением в районе пролива Югорский шар. На основании полученных закономерностей были проинтерпретированы вариации наведенного поля с магнито-вариационной станции, расположенной в районе городского поселения Диксон, произведен факторный анализ между компонентами магнитного поля и уровнем, получено соотношение. Также выявлены участки математических кривых, которые позволяют предположить направление течения в проливе Вега.

Применение анализа и интерпретации вторичного магнитного поля, с установкой магнитометров в характерных точках изменения магнитного потока, дадут уникальные данные о характеристиках течений (на-

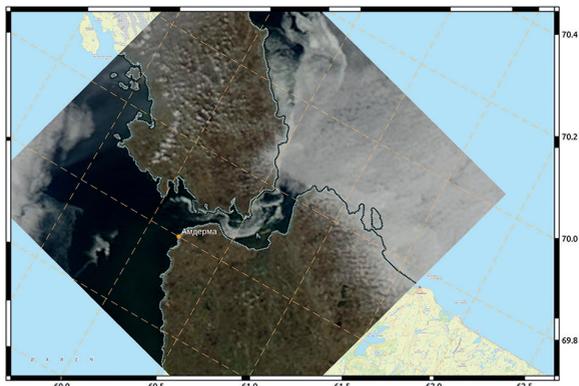


Рис. 3. Снимок 3 июля 2022 г.

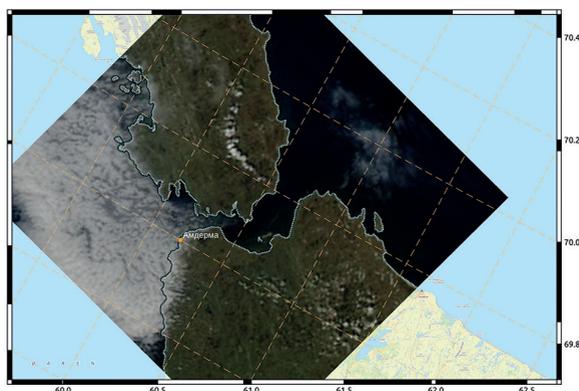


Рис. 4. Снимок 11 июля 2022 г.

правления, скорость, глубина распространения) и уровня моря. Это даст возможность надежно обеспечить развитие СМП.

*Авторы выражают огромную благодарность и продолжают дело, начатое представителями нашего института: В.С. Шнееру, Г.А. Фонареву, Л.Н. Жигалову, Н.Н. Жигаловой и многим другим.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шулейкин В.В. Физика моря. М., «Наука», 1968. 1083 с.
2. Гласко В.Б., Свеишников А.Г. Об электрических полях, вызванных магнитным полем Земли в морских течениях // Геомагнетизм и аэрномия. 1961. Т. 1. № 1. С. 73–81.
3. Фонарев Г.А., Шнеер В.С. О перспективах применения электромагнитного метода измерения скоростей течения в арктических районах // Проблемы Арктики и Антарктики, 1968, № 29. С. 89–96.

## ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК (МОДУЛЬ СТОКА, ТЕМПЕРАТУРА, ИСПАРЕНИЕ, ОСАДКИ) И ИХ ОТРАЖЕНИЕ В МАТЕМАТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЯХ

А.А. Трунин, Д.Д. Волкова

ФГБУ «АНИИ» (Арктический и антарктический научно-исследовательский институт)

Развитие дистанционных методов позволяет производить анализ и интерпретацию площадных данных. MERRA-2 [1] — это первый долгосрочный глобальный реанализ, призванный ассимилировать космические наблюдения за аэрозолями и представить их взаимодействие с другими физическими процессами в климатической системе. Это позволяет уточнять как районы, наиболее подверженные изменениям климата [2], так и отдельные характеристики гидрометеорологического режима. Площадные данные в полном объеме позволяют применять статистическо-математические методы. Изучение плотности распределения гидрометеорологических характеристик позволяет получить вероятность изменения гидрометеорологических параметров во времени, что даст возможность оптимизировать планирование освоения Обь-Енисейского устьевоего региона на фоне изменяющегося климата.

Выполнен анализ изменения гидрометеорологических характеристик (модуль стока, температура, испарение, осадки) по площади водосборов рек: Обь (нижняя часть), Пур, Надым, Таз и п-ова Ямал. Получены плотности распределения значений характеристик во времени, что позволяет составлять карты изменения параметров с заданной степенью вероятности происхождения процесса.

Для получения статистических данных из матриц ре-анализа использовалось бесплатное (открытое) программное обеспечение QGIS (<https://www.qgis.org>), R (<https://r-project.org>), SAGA (<https://saga-gis.sourceforge.io/>), которое распространяется на условиях Стандартной Общественной Лицензии.

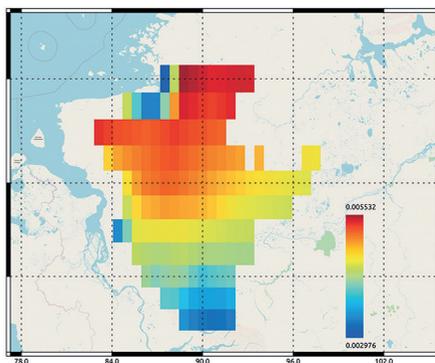


Рис. 1. Линейная регрессия температуры (2 метра) по контуру водосбора реки Пясины в период с 1980 по 2022 г.

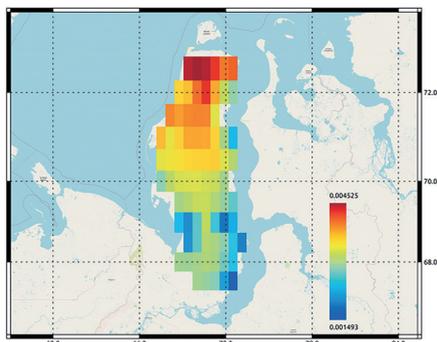


Рис. 2. Линейная регрессия температуры (2 метра) по полуострову Ямал в период с 1980 по 2022 г.

Карта распределения значений линейной регрессии по площади водосбора реки Пясины (рис. 1) показывает субширотное распределение коэффициентов (для получения изменения температуры следует умножить коэффициент на интервал 42 года), но в определенных участках наблюдается понижение температуры. Карта распределения значений линейной регрессии по площади полуострова Ямал (рис. 2) также показывает субширотную изменчивость, но со значительным влиянием Обской губы.

Картирование гидрометеорологических параметров и расчетных статистико-математических функций на основе применения площадных данных MERRA-2, позволит дополнить методы совершенствования государственного мониторинга устьевых областей рек Арктической зоны Российской Федерации [4].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шикломанов А.И., Третьяков М.В., Волкова Д.Д., Трунин А.А. Анализ надежности использования различных сеточных климатических данных для гидрологического моделирования // Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития. Авиационная и спутниковая метеорология 2021: сборник трудов V Юбилейной Всероссийской конференции имени Л. Н. Карлина. М.: Изд-во «Перо», 2021. С. 439–447.
2. Gelaro R. et al. The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2) // J. Clim. 2017. Vol. 30. Iss. 13. P. 5419–5454. doi: 10.1175/JCLI-D-16-0758.1
3. Иванов В.В., Третьяков М.В. Состояние и проблемы совершенствования государственного мониторинга устьевых областей рек Арктической зоны Российской Федерации // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2017, № 1 (94). С. 26–30.

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В АРКТИЧЕСКИХ РАЙОНАХ С ПОМОЩЬЮ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

*А.К. Наумов, Е.А. Скутина*

*ФГБУ «ААНИИ» (Арктический и антарктический научно-исследовательский институт)*

Обь-Енисейский район — один из наиболее интенсивно развивающихся арктических районов за последние десятилетия: здесь идет разработка различных месторождений, строятся и функционируют порты, идет подготовка к строительству новых объектов. Иными словами, на акватории ведется активная деятельность и, как следствие, ежегодно увеличивается транспортный поток, повышается нагрузка на уже имеющиеся магистрали и порты, возникает необходимость создания (организации) новых мест для проведения тех или иных операций.

Важным фактором, определяющим проведение любой операции, являются гидрометеорологические условия рассматриваемого арктического региона. Так, например, при низких температурах, сильном ветре, ограниченной видимости, наличии льда часть операций замедляется или вовсе невозможна, а следовательно изменение природных условий вносит коррективы в работу флота, портов, гидротехнических сооружений, что иногда приводит к появлению проблем. Зачастую решение этих проблем нельзя найти путем проведения натурных экспериментов: строить новые объекты, разрушать или вносить изменения в уже имеющуюся инфраструктуру может быть слишком дорого, опасно или просто невозможно. Одним из способов решения практических задач такого рода является моделирование.

Для того, чтобы понять, как будет функционировать уже имеющаяся система (причалные сооружения, подходной канал и т.д.) в определенных условиях (в том числе гидрометеорологических и/или при изменении транспортного потока) достаточно построить имитационную модель — компьютерную программу, которая будет описывать структуру и воспроизводить поведение реальной системы во времени. Это дает возможность наблюдать поведение реальной системы с необходимым уровнем детальности и позволяет получать данные о ее функционировании в зависимости от входных данных. Изменяя входные данные модели, можно быстро исследовать множество сценариев, протестировать их, изучить в динамике и сопоставить друг с другом. Кроме того, важным преимуществом имитационного моделирования является наглядность — возможность анимации динамики системы.

Многообразие задач обеспечивает широкий круг применения имитационного моделирования: от моделей с высоким уровнем абстракции, в которых детали системы не важны и целью моделирования является стратегическое

развитие системы (например, моделирование социальных систем, экосистем и т.д.), до моделей с детальной проработкой отдельных объектов системы (например, движение судов, склада и т.п.). Это дает возможность активно использовать моделирование при планировании и осуществлении деятельности на акватории Обь-Енисейского района и оценивать влияние на эту деятельность характерных для района гидрометеорологических факторов.

Имитационная модель строится на основе перехода системы из одного состояния в другое в соответствии с определенным набором правил. Каждое состояние системы характеризуется набором выходных параметров и в любой момент модельного времени можно получить значение любой величины, характеризующей работу системы.

Для построения имитационной модели некоей реальной системы с целью определения влияния на ее работу гидрометеорологических факторов необходимо:

- 1) описать все входящие в систему объекты;
- 2) описать детально свойства каждого объекта;
- 3) определить перечень условий, влияющих на функционирование каждого из объектов системы;
- 4) установить критические значения гидрометеорологических параметров, при которых функционирование конкретного объекта прекращается на период превышения гидрометеорологическим параметром критического значения;
- 5) сформулировать правила перехода каждого объекта из одного состояния в другое;
- 6) подготовить исходные данные для модели: ряды гидрометеорологических данных, списки входных параметров для каждого объекта.

Модель позволяет отслеживать различные параметры системы в любой момент времени. Изменения отдельных параметров легко фиксировать в виде графиков и таблиц, их дальнейший анализ позволяет делать выводы о влиянии на систему гидрометеорологических факторов и принимать решения о необходимости изменения всей системы и/или ее отдельных элементов.

В качестве примеров использования имитационного моделирования с учетом реальных гидрометеорологических данных, характерных для акватории Обь-Енисейского района, можно привести целый ряд задач: определение достаточного числа причалов в порту, предварительный расчет объема резервуарного парка, определение времени простоя объектов (судов, терминалов, причалов) по гидрометеорологическим условиям, оценка объемов вывезенного груза при транспортировке его напрямую к месту назначения или через перевалочные комплексы, планирование операций по выгрузке груза на припай и т.п.

## **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ БЕРЕГОВ ОБЬ-ЕНИСЕЙСКОГО РЕГИОНА КАРСКОГО МОРЯ К РАЗЛИВАМ НЕФТИ**

*А.А. Ермолов, А.И. Кизяков*

*МГУ (Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
географический факультет)*

Экологическая безопасность является приоритетом нефтедобывающих компаний, осваивающих ресурсы арктического шельфа и ведущих интенсивную хозяйственную деятельность на побережье. Несмотря на широкое внедрение современных технологий и строгое соблюдение норм экологической безопасности, риски возникновения аварийных ситуаций в сложных природно-климатических условиях Арктики на сегодняшний день нельзя исключать полностью. Поэтому природоохранная деятельность крупнейших добычных компаний направлена не только на сохранение и восстановление природных ресурсов, но и на предотвращение возможного негативного влияния на окружающую среду. Одним из направлений является оценка экологической чувствительности морских берегов к разливам нефти и разработка тематических карт. Целью работы является определение районов приоритетной защиты при планировании и проведении мероприятий по ликвидации разливов нефти. Карты экологической чувствительности берегов отражают комплексную экспертную оценку и являются важной частью планов по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти (ПЛАРН). Разработка таких планов, включая создание специализированных карт, входит в число необходимых мероприятий при освоении недр прибрежно-шельфовой зоны.

Учитывая интересы российских нефтедобывающих компаний, нами проведено районирование, оценка и анализ экологической чувствительности берегов Обь-Енисейского региона Карского моря, как одного из наиболее активно осваиваемых районов Российской Арктики. Методологическую основу исследований составил геоморфологический анализ условий и факторов взаимодействия морских берегов с нефтяным загрязнением и их типизация на основе международной системы индексов экологической чувствительности ESI (Environmental Sensitivity Index) [1, 2], адаптированной к условиям арктического региона.

С учетом разработанных подходов [3] для оценки экологической чувствительности к разливам нефти берегов Карского моря на начальном этапе были выполнены морфодинамическая типизация и районирование берегов [4]. Сведения о морфологии, литологии и мерзлотных условиях берегов получены в ходе полевых работ на ключевых участках Обской губы, анализе картографических и литературных источников.

Источником информации о труднодоступных и слабо изученных береговых районах стали данные дистанционного зондирования Земли. Использовались как спутниковые снимки высокого разрешения, так и материалы специальных авиасъемок, выполняемых с применением самолетов-лабораторий, оборудованных современным фото- и видеооборудованием. Эти данные нередко обладают более высокой информационной способностью, что обусловлено возможностью съемки берегов с различных ракурсов и с различной высоты, возможностью выполнения стерео аэрофотосъемки и/или лазерного сканирования, позволяющего получать наряду с фотоматериалами детальные цифровые модели рельефа и ортофотопланы. Высокое разрешение снимков позволяет определять тип пляжевых отложений, выявлять участки развития опасных геологических процессов, обнажения подземных льдов в береговых уступах и многое другое.

Дальнейший анализ производился в рамках отдельных литодинамических систем или отрезков берега, обладающих схожими морфологическими и литологическими характеристиками. На основе экспертной оценки каждому участку присваивался индекс чувствительности к нефтяному загрязнению в соответствии с системой индексов ESI. Типы аварийных ситуаций, модели распространения (дрейфа, растекания и пр.), возможные способы ликвидации загрязнения и варианты физико-химического и механического взаимодействия нефтепродуктов с осадками на арктических побережьях были приняты в соответствии с руководством [5] и монографией [6]. При этом в соответствии с международными подходами [2] в расчет не принимались природоохранный статус того или иного берега, биологическое разнообразие и удаленность от основных объектов инфраструктуры.

Труднодоступность многих береговых районов и нехватка информации обусловили целесообразность использования комплексного геоморфологического анализа при районировании берегов и оценки их чувствительности к нефтяному загрязнению. Основу районирования составила оригинальная морфодинамическая типизация берегов, разработанная специально для решения задач исследования и учитывающая широкий спектр факторов морфо- и литодинамики береговой зоны, в том числе специфику развития берегов мелководных заливов Карского моря. При разработке типизации учитывались не только геологические, геоморфологические и гидродинамические условия, но и особенности криогенного строения береговых систем.

Всего в Обь-Енисейском береговом районе, охватывающем береговую линию от м. Хэсалья на севере полуострова Ямал до о. Диксон

**Понижающий коэффициент грузоподъемности ледяного покрова  
(коэффициент солености),  
использовавшийся в различных пунктах Обь-Енисейского района**

Морфодинамическая типизация		Экологическая типизация		
Типы берегов		Типы берегов	Индекс ESI	Протяженность, км
Берега, выработанные в коренных породах				
1	Абразионные	Открытые скалистые уступы	1A	14,0
2		Открытые скалистые уступы с валунно-глыбовой отмосткой (основанием)	1C	60,0
3	Абразионно-денудационные	Защищенные скалистые уступы и крупнообломочные берега	8D	67,4
Берега, сложенные рыхлыми отложениями (включая мерзлые породы)				
4	Абразионные, термоабразионные и абразионно-термоденудационные	Открытые уступы в песчано-глинистых отложениях	3B	569,2
5		Защищенные уступы в песчано-глинистых отложениях	8A	1801,3
6	Аккумулятивные выровненные	Пляжи, сложенные разномерным песком	4	709,8
7	(включая бары, косы и др.)	Пляжи, сложенные смешанными песчано-галечными отложениями	5	32,3
8	Аккумулятивные отмелье, лагунно-бухтовые и дельтовые	Защищенные песчано-илистые приливные и ветровые осушки (отмели, мелководья)	9A	67,4
9		Соленые и солоноватые марши (лайды)	10A	993,1
10		Затапливаемые низменные тундры-дельтовые и устьевые участки	10E	1681,5
11	Техногенные берега	Искусственные каменные наброски и конструкции (проницаемые)	6C	19,5

*Примечание.* \* — охватывает берега от м. Хэсалья до о. Диксон (включая Обскую, Тазовскую, Гыданскую, Юрацкую губы и Енисейский залив, а также острова Олений, Сибирякова, Шокальского, Вилькицкого и др.)

общей протяженностью около 6016 км (включая берега Обской, Гыданской, Юрацкой губ и Енисейского залива, а также острова Олений, Сибириякова, Шокальского, Вилькицкого и др.), выделено 11 типов берегов с различным уровнем экологической чувствительности (табл.). Каждый уровень имеет цветную кодировку в соответствии с увеличением индекса экологической чувствительности от холодного цвета к теплomu, согласно международной цветовой шкале. Это обеспечивает наглядную идентификацию при картографировании и интеграции с другими данными в геоинформационных системах, упрощает оперативную работу при планировании мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти. При разработке легенды в названия отдельных экологических типов берегов были внесены изменения с целью адаптации оригинальных названий международной системы индексов к региональным условиям.

В ходе экологической оценки применялся так называемый принцип предосторожности: при нехватке фактической информации для экспертной оценки и районирования, решение о присвоении индекса экологической чувствительности или оценке восстановительной способности берега принималось «в пользу объекта». В этом случае при разливе нефти и загрязнении берега негативные последствия должны быть меньше ожидаемых.

Наиболее чувствительными к разливам нефти в рассматриваемом регионе Карского моря являются отмельные аккумулятивные и дельтовые берега с обширными осушками и лайдами (индекс 10А, 10Е), охватывающие в совокупности около 2675 км (~44%) длины исследованной береговой линии. Распространение нефти на этих берегах возможно в периоды сизигийных приливов и штормовых нагонов, когда поверхности затапливаются морскими водами. Сложный микрорельеф, многочисленные рукава, каналы и озера, проницаемость дельтовых отложений и низкий уровень волнового воздействия способствуют максимальной сохранности нефти и нефтепродуктов. Картина еще более усугубляется недоступностью этих мелководных участков со стороны моря и практически полным отсутствием подъездных, а часто и пеших подходов к ним. Следствием этого является крайне затруднительное, а порой невозможное (нерациональное) использование большинства доступных методов очистки. Поэтому технологии сбора следует применять только при наличии большого объема загрязнения тяжелого и вязкого состава, когда прогнозируемый период восстановления оценивается десятилетиями.

*Работа выполнена при поддержке РНФ, проект № 22-17-00097. Участие Кизякова А.И. осуществлялось в рамках госбюджетной темы №121051100164-0.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sensitivity mapping for oil spill response. London: IMO-IPIECA-OGP, 2012. 39 p.
2. *Petersen J.* NOAA Technical Memorandum NOS OR&R 52. Environmental Sensitivity Index Guidelines. Version 4.0, 2019. 228 p.
3. *Ермолов А.А., Илюшин Д.Г., Исаченко А.И., Кизяков А.И., Павлов В.А.* Методические подходы к оценке экологической чувствительности берегов арктических морей к разливам нефти (на примере Карского моря) // Инженерные изыскания. 2016. № 5–6. С. 28–39.
4. Экологический атлас. Карское море. ООО «Арктический научный центр». М., 2016. 271 с.
5. Руководство по ликвидации разливов нефти на морях, озерах и реках. СПб.: ЗАО «ЦНИИМФ», 2002. 344 с.
6. *Сочнев О.Я., Сочнева И.О.* Экологическая безопасность систем вывоза нефти с месторождений арктического шельфа. М.: ЦЕИИТЭнефтехим, 2003. 272 с.

### **НЕСТАЦИОНАРНОСТЬ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ГЛАВНЫХ ИОНОВ РЕК ОБЬ-ЕНИСЕЙСКОГО УСТЬЕВОГО РЕГИОНА В НАЧАЛЕ XXI В.**

*А.О. Даниленко<sup>1</sup>, А.А. Коваленко<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> — ФГБУ «ГХИ» (Гидрохимический институт)

<sup>2</sup> — ФГАОУ ВПО ЮФУ (Южный федеральный университет)

Гидрохимический режим водных объектов Обь-Енисейского устьевого региона формируется в сложных природных условиях: континентальный климат, наличие многолетнемерзлых пород, глубокое и длительное промерзание почвогрунтов, обширная заболоченность [1] и т.д. Однако в настоящее время даже эти фундаментальные природные факторы подвержены изменениям: рост среднегодовой температуры воздуха в арктических регионах превышает глобальные темпы потепления [2], зона распространения многолетнемерзлых грунтов отступает к северным широтам [3], а заболоченность таежного севера возрастает [1].

Помимо глобальных природных процессов на гидрохимический режим водных объектов в устьевых областях Оби и Енисея влияют интенсивная разработка и эксплуатация горючих ископаемых, что приводит к техногенному засолению окружающей среды из-за минерализованных пластовых и нефтепромысловых рассолов, буровых растворов и захоронений бурового шлама и других факторов [4].

В условиях нестационарных природных и антропогенных процессов изменяется гидрологический и гидрохимический режим рек. На фоне увеличения водности рек [5], потенциального усиления химической денудации подстилающих пород в результате таяния вечной мерзлоты и

увеличения концентраций главных ионов под действием техногенных факторов, может нарушиться стационарность гидрохимического режима и возрасти ионный сток в моря Северного Ледовитого океана [2, 6].

Стационарность гидрохимического режима подразумевает, что для любого водного объекта существует естественный диапазон концентраций растворенных веществ и этот диапазон устойчив во времени, а изменчивость концентраций обусловлена комплексом разнообразных постоянно действующих и, как правило, неустраняемых, причин, ни одна из которых не является доминирующей. В результате действия таких причин наблюдается «взаимопогашение» отклонений гидрохимического режима, что достигается взаимной компенсацией поступления, удаления и превращения веществ и энергии. Нарушение стационарности гидрохимического режима проявляется в расширении диапазонов колебания концентраций растворенных веществ и в появлении тенденций к увеличению или снижению их средних значений.

Исследование выполнено по результатам наблюдений Государственной наблюдательной сети Росгидромета за концентрациями главных ионов с 2000 по 2020 гг. В перечень объектов исследования вошли замыкающие створы крупных рек Обь-Енисейского устьевого региона: Обь (г. Салехард), Надым (г. Надым), Пур (г. Самбург), Таз (с. Красноселькуп) и Енисей (г. Игарка).

Для оценки стационарности гидрохимического режима главных ионов построены и проанализированы контрольные диаграммы. Метод контрольных диаграмм представляет собой модификацию метода контрольных карт Шухарта [7]. Чтобы построить контрольную диаграмму, надо рассчитать координаты точек: абсциссы — среднегодовые концентрации (карта уровней) иона, ординаты — модули скользящих разностей между среднегодовыми концентрациями иона в текущем и предшествующем году (карта изменчивости). После нанесения точек на диаграмму по их координатам строят график линейной регрессии, точку пересечения которого с осью абсцисс принимают за опорное значение (центр, вокруг которого колеблются значения среднегодовых концентраций).

Чтобы проанализировать диаграмму, на нее наносят контрольные границы: вертикальные — на расстоянии  $\pm 3,06Sd$  от опорного значения ( $Sd$  — стандартное отклонение выборки среднегодовых концентраций).

Стационарность гидрохимического режима нарушена, если:

— критерий 1: одна точка и более попала за контрольными границами (влияние особой причины изменчивости в отдельные годы);

— критерий 2: более 1/3 последовательных точек больше или меньше опорного значения (во временном ряду среднегодовых концентраций есть нелинейный тренд);

**Результаты оценки стационарности гидрохимического режима  
крупных рек Обь–Енисейского устьевого региона по главным ионам  
с 2000 по 2020 годы**

Река, пункт	Σ ионов	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>
р. Обь, г. Салехард	K1 и K2	K1 и K2	K2	K1	K2	K2	K1 и K2
р. Надым, г. Надым	K1 и K2	K1 и K2	K2	K2	K1	С	K1 и K2
р. Пур, г. Самбург	K1 и K2	K1	С	K1	K1 и K2	С	K1 и K2
р. Таз, г. Красноселькуп	K1 и K2	K1	С	K1	С	С	K1 и K2
р. Енисей, г. Игарка	С	С	С	K1	С	K1	нд

*Примечание.* С — стационарный режим; K1, K2, K3 — нарушение стационарности режима главных ионов по критериям 1, 2 и 3 соответственно (при сочетании «K1 и K2» основная причина нарушения стационарности гидрохимического режима — K1); нд — нет данных.

– критерий 3: в ряду среднегодовых концентраций присутствуют более 1/3 последовательно возрастающих или убывающих точек (присутствует линейный тренд).

Результаты анализа контрольных диаграмм представлены в таблице.

Режим главных ионов (по сумме) в реках Обь, Надым, Пур и Таз нестационарен. Связано это с влиянием особых причин в 2013–2014 годах, в результате которых среднегодовые концентрации сильно отклонились от опорного значения. Кроме того, в более ранние годы среднегодовые концентрации, в основном, были ниже опорного значения, а в более поздний период они стали регулярно его превышать. Так в р. Обь опорное значение суммы ионов 175,3 мг/л, а среднегодовая концентрация в 2013 году была 549,7 мг/л. В р. Надым опорное значение 84,1 мг/л, а среднегодовая концентрация в 2013 году была 254,7 мг/л. В р. Пур опорное значение 114,2 мг/л, а среднегодовая концентрация в 2014 году была 298,4 мг/л. В р. Таз опорное значение 161,0 мг/л, а среднегодовая концентрация в 2013 году была 525,7 мг/л. Режим главных ионов р. Енисей, напротив, стационарен на протяжении всего периода.

Режим ионов кальция стационарен в реках Енисей и Таз, но имеет те или иные нарушения в реках Обь, Надым и Пур. В р. Надым в 2014 году особая причина изменчивости повысила среднегодовую концентрацию (10,3 мг/л) относительно опорного значения (5,57 мг/л). В р. Пур в 2016 году особая причина изменчивости повысила среднегодовую концентрацию (10,1 мг/л) относительно опорного значения (6,24 мг/л), и при этом с 2008 по 2014 гг. среднегодовые концентрации были стабильно ниже опорного значения. В р. Обь выделяется период с 2001 по 2013 годы, когда среднегодовые концентрации были стабильно ниже опорного значения (18,87 мг/л).

Режим ионов магния в большинстве анализируемых рек сохраняет стационарность, за исключением р. Обь и Енисей. В р. Обь у г. Салехард

есть два периода с отличающейся изменчивостью признака: с 2000 по 2007 годы среднегодовые концентрации были ниже опорного значения (6,42 мг/л), в остальные годы среднегодовые концентрации как выше, так и ниже опорного значения. В р. Енисей у г. Игарка на среднегодовую концентрацию магния в 2016 повлияла особая причина изменчивости. Опорное значение составляет 4,73 мг/л, а среднегодовая концентрация была 8,44 мг/л.

Режим ионов натрия и калия повторяет режим главных ионов по сумме: в 2013 году особая причина изменчивости существенно повысила среднегодовую концентрацию относительно опорного значения (например, в р. Обь среднегодовая концентрация ионов натрия и калия составила 139,9 мг/л, в то время как опорное значение — 22,8 мг/л). Кроме того, во всех реках, кроме Енисея, можно выделить период, когда среднегодовые концентрации были стабильно ниже опорного значения.

Режим гидрокарбонатов в реках Обь, Надым, Пур и Таз также был нарушен под влиянием особых причин изменчивости в 2013–2014 годы. В р. Надым в 2013 году особая причина изменчивости повысила среднегодовую концентрацию (135,4 мг/л) относительно опорного значения (42,92 мг/л), и при этом с 2002 по 2010 гг. среднегодовые концентрации были стабильно ниже опорного значения. В р. Обь выделяется период с 2001 по 2008 годы, когда среднегодовые концентрации были ниже опорного значения (80,80 мг/л), и при этом в 2017 году особая причина изменчивости повысила среднегодовую концентрацию до 102,3 мг/л. В р. Пур в 2013–2014 годы особая причина изменчивости завысила среднегодовую концентрацию (130,4 и 150,6 мг/л соответственно) относительно опорного значения (51,25 мг/л). В р. Таз также в 2013 году особая причина изменчивости повысила среднегодовую концентрацию (246,9 мг/л) относительно опорного значения (86,46 мг/л). Режим гидрокарбонатов р. Енисей стационарен на протяжении всего периода.

Режим сульфатов в большинстве рек по контрольным диаграммам сохраняет стационарность, но многолетняя динамика их среднегодовых концентраций в реках, где этот режим нарушен, позволяет предполагать формирование возрастающего тренда концентраций. Так в р. Обь с 2012 по 2020 годы среднегодовые концентрации (от 24,9 до 50,5 мг/л) с каждым годом все больше превышают опорное значение (23,32 мг/л), в р. Надым аналогичный период повышения концентраций выявляется с 2012 по 2018 годы.

Режим хлоридов во всех реках был нарушен в основном в результате влияния особых причин изменчивости в отдельные годы (в 2014 году в реках Обь, Пур, Таз и в 2009 г. — р. Енисей), и только в р. Надым вы-

деляются два периода, в течение которых среднегодовые концентрации были преимущественно ниже или выше опорного значения (2000–2011 и 2012–2020 гг., соответственно).

Таким образом, в р. Енисей режим главных ионов практически не нарушен. Исключение составили ионы магния и хлориды, для которых в отдельные годы отмечаются относительно небольшие повышения среднегодовых концентраций. Напротив, в реках Обь, Надым, Пур, Таз гидрохимический режим главных ионов не может считаться стационарным. Помимо особых причин, существенно повышавших в 2013–2014 гг. концентрации натрия и калия, кальция, гидрокарбонатов, сульфатов и хлоридов, здесь отмечается многолетняя динамика увеличения концентраций сульфатов, кальция, магния и хлоридов. Наибольшие нарушения стационарности режима главных ионов характерны для рек Обь и Надым. Характер выявленных изменений (резкие скачки концентраций в отдельные годы) позволяет предполагать, что особые причины, влияющие на режим главных ионов в бассейнах рек Обь, Пур, Надым и Таз, имеют антропогенный характер и могут быть связаны как со сбросом в водные объекты недостаточно очищенных сточных вод, а также с попаданием минерализованных пластовых и нефтепромысловых рассолов и отходов бурения через грунтовые воды и с поверхностным стоком в реки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Уварова В.И.* Гидрохимическая характеристика водотоков Нижней Оби // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2011. № 11. С. 132–142.
2. *Lammers R.B., Pundsuck J.W., Shiklomanov A.I.* Variability in river temperature, discharge, and energy flux from the Russian pan-Arctic landmass // *Journal of Geophysical Research*. 2007. Vol.112 (G4). P. 1–15.
3. *Frey K.E., Siegel D.I., Smith L.C.* Geochemistry of west Siberian streams and their potential response to permafrost degradation // *Water Resources Research*. 2007. Vol. 43, P. 1–15. W03406, doi:10.1029/2006WR004902.
4. *Владимиров В.А., Дубнов П.Ю.* Аварийные и другие несанкционированные разливы нефти // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2013. Т. 3, № 1 (4). С. 365–382.
5. *Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю.* Сток рек России при глобальном потеплении климата // Водные ресурсы и водное хозяйство. 2003. С. 3–4.
6. *Даниленко А.О., Решетняк О.С., Косменко Л.С., Кондакова М.Ю.* Увеличение минерализации воды арктических участков рек Западной Сибири в контексте глобальных изменений климата // Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения: Сборник научных трудов. Нижний Новгород, 2019. С. 342–346.
7. ГОСТ Р 50779.42–99 (ИСО 8258–91) Статистические методы. Контрольные карты Шухарта.

**СЕТЬ МОНИТОРИНГА БИОТЫ  
ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ  
В РАМКАХ ПРОГРАММЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА  
АКВАТОРИИ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ:  
ПРОЕКТНЫЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ ИХ РЕАЛИЗАЦИИ**

*М.В. Гаврило<sup>1</sup>, В.Г. Пчелинцев<sup>1</sup>, О.А. Кийко<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> — ФГБУ «АНИИ» (Арктический и антарктический научно-исследовательский институт)

<sup>2</sup> — Северо-Западное территориальное управление Федерального агентства по рыболовству

Хозяйственное освоение Обь-Енисейского региона, в т.ч. связанное с интенсификацией судоходства, в последние десятилетия идет опережающими темпами по сравнению с остальными районами Северного морского пути (СМП). При этом на фоне значительных изменений в результате этой деятельности природной среды в целом, и биоты в частности, мониторинг этих изменений отстает, не носит комплексного и системного характера. Необходимость организации и осуществления экологического мониторинга в Арктической зоне Российской Федерации предусмотрена рядом документов стратегического планирования. В рамках реализации мероприятий, предусмотренных Основами государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года, утвержденных в 2020 году, начиная с 2021 года, ведется разработка Программы государственного экологического мониторинга в акватории СМП (ГЭМ СМП) как подсистемы Единой государственной системы экологического мониторинга. Целью этого мониторинга является обнаружение изменений в состоянии окружающей среды, включая все компоненты биоты, вызванных эксплуатацией СМП (т.е. судоходством и связанной с ним портовой деятельностью), для обеспечения оценки воздействия на окружающую среду и смягчения негативного воздействия от эксплуатации СМП.

ГЭМ СМП представляет собой комплексный мониторинг, охватывающий все абиотические среды и биоту района СМП. Он включает в себя как фоновый мониторинг (мониторинг слежения), так и целевой мониторинг выбранных биотических объектов-индикаторов. Стратегия мониторинга биотических компонентов основана на концептуальной модели простой арктической морской экосистемы. Набор биотических компонентов мониторинга включает все трофические уровни и основные эколого-систематические группы:

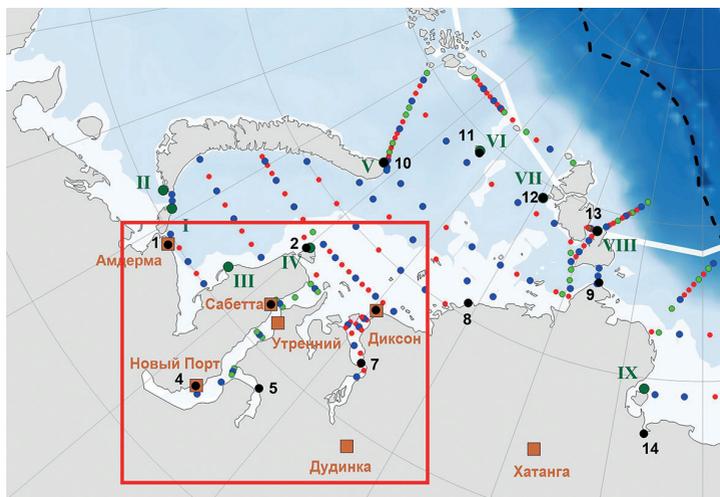
- планктон (бактериопланктон, фитопланктон, зоопланктон);
- бентос (микрофитобентос, макрофитобентос, макрозообентос);
- ихтиофауна (включая ихтиопланктон);
- орнитофауна (морские и прибрежные птицы);
- териофауна (морские млекопитающие).

Основные критерии выбора биотических объектов учитывали восприимчивость к потенциальному воздействию, широту распространения видов, экосистемную и хозяйственную ценность, методологические ограничения и экономическую оправданность.

В основу модели воздействия хозяйственной деятельности на СМП также положена простая концептуальная модель, описывающая структуру и связи источников и факторов негативного воздействия. Она имеет два сценария: операционный и аварийный, рассматривает прямые и опосредованные воздействия от хозяйственной деятельности и учитывает кумулятивные эффекты воздействия.

В данном сообщении проектные предложения и проблемы их реализации рассмотрены на примере Обь-Енисейского района. Он расположен на трассе СМП и мониторинг биоты в нем и в его портовых районах является частью общей программы.

Район исследований включает Обь-Енисейскую устьевую систему и Байдарецкую губу вместе с восточным побережьем Югорского полуострова. Здесь расположены более половины портов СМП: Амдерма, Новый Порт, Сабетта, Утренний (Обская губа), Дудинка, Диксон (Енисейский



Фрагмент сети станций и пунктов экологического мониторинга в акватории западной части СМП.

Точки на акватории — океанологические, гидрохимические параметры, загрязнение, донные осадки, гидробиологические и иктиологические параметры; квадраты — портовые полигоны; римские цифры — береговые экологические стационарные полигоны; точки с арабскими цифрами — стационарные пункты наблюдений на базе сети Росгидромета, данные стандартных наблюдений с которых предлагается включить в систему ГЭМ СМП

залив). Этот западный сегмент СМП в настоящее время имеет самую высокую эксплуатационную нагрузку, здесь же, в Енисейском заливе, запланирован и наиболее высокий рост транспортно-грузовых операций.

Инфраструктура наблюдательной сети ГЭМ СМП состоит из морских судовых станций и судовых наблюдений (судовой экспедиционный мониторинг), наблюдательных полигонов со станциями в портовых зонах (мониторинг на портовых полигонах) и наблюдательных полигонов на береговых стационарах. Их пространственное распределение в районе исследований представлено на рисунке.

Основные методы наблюдений биоты включают в себя судовые станции, наблюдения на береговых полигонах (портовых и фоновых), дистанционные наблюдения (авиационные и спутниковые), наблюдения с помощью автоматизированных средств измерения.

В районе исследований расположены шесть портовых полигонов и два фоновых полигона, а также предусмотрены авиационные работы.

### **Фоновые полигоны**

III — Западный Ямал. Крупнейшее береговое лежбище атлантического моржа, скопление мигрирующих приморских водоплавающих птиц. Наличие исторических данных мониторинга. Объекты целевого мониторинга: атлантический морж, морские утки.

IV — Северный Ямал (о. Белый, пр. Малыгина). Критические среды для мигрирующих птиц (массовая миграция и внегнездовые скопления водоплавающих, использующих Восточно-Атлантический пролетный путь), критическое местообитание морянки, внегнездовые скопления, важное местообитание белого медведя. Район особой экологической и биологической чувствительности (по материалам Арктического совета). Объекты целевого мониторинга: черная казарка, бургомистр, морские утки, белый медведь.

### **Портовые полигоны**

Запланированы в районах всех шести портов (Амдерма, Новый Порт, Сабетта, Утренний, Дудинка, Диксон).

Хозяйственная деятельность на акватории внутренних и территориальных морей, а также на прилегающей береговой зоне (водоохранная зона) подлежит Государственной экологической экспертизе, которая основывается на принципах презумпции потенциальной экологической опасности любой намечаемой хозяйственной и иной деятельности (Водный кодекс РФ №74-ФЗ; Федеральный закон от 23.11.1995 №174-ФЗ «Об экологической экспертизе»; Федеральный закон от 31 июля 1998 года № 155-ФЗ «О внутренних морских водах, территориальном море и прилегающей зоне Российской Федерации»; Постановление пра-

вительства РФ от 29.04.2013 № 380 «Об утверждении Положения о мерах по сохранению водных биологических ресурсов и среды их обитания»). Во всех этих законодательных актах прописано сохранение водных биологических ресурсов, осуществление мероприятий по проведению контроля (мониторинга) и устранению последствий негативного воздействия на состояние биоресурсов и среды их обитания.

Таким образом, по условиям согласования при осуществлении деятельности по строительству, ремонту портовых сооружений, дноуглубительных работах, а также при осуществлении деятельности по бункеровке судов в портовых зонах должен проводиться экологический мониторинг.

В настоящее время активно ведутся мониторинговые работы в Обской губе, главным образом, в районе строящихся портов (Сабетта, Утренний). Мониторинг проводится по согласованным показателям (гидро- и геохимия, фито- и зоопланктон, макрозообентос). Точки мониторинга охватывают подходные каналы, акваторию порта, акваторию дампинга грунта, извлеченного при дноуглублении. В других упомянутых выше портовых

*Таблица*

#### **Исследования, запланированные на портовых полигонах**

Объекты и показатели	Периодичность
Гидрологические	Ежегодно, 2 съёмки
Гидрохимические	Ежегодно, 2 съёмки
Геохимические	Ежегодно
Бактериопланктон (состав, численность)	Ежегодно, 2 съёмки
Фитопланктон (структурный состав, количественные показатели)	Ежегодно, 2 съёмки
Фотосинтетические пигменты	Ежегодно, 2 съёмки
Зоопланктон (структурный состав, количественные показатели)	Ежегодно, 2 съёмки
Микрофитобентос (структурный состав, количественные показатели)	Ежегодно
Макробентос (структурный состав, количественные показатели)	Ежегодно
Макробентос, загрязняющие вещества (ТМ, СОЗ, Бенз(а)пирен)	Раз в 3 – 5 лет
Ихтиофауна (структурный состав)	Ежегодно
Ихтиофауна, ЗВ (ТМ, СОЗ, Бенз(а)пирен)	Раз в 1 – 3 года
Ихтиопланктон (структурный состав)	Ежегодно
Орнитофауна (структурный состав)	Ежегодно
Орнитофауна загрязняющие вещества (ТМ, СОЗ, Бенз(а)пирен), показатели здоровья популяции	Раз в 3 – 5 лет

акваториях мониторинговые наблюдения либо не проводятся, либо проводятся точно при проведении каких-либо ремонтных работ и необходимости получения для этого разрешения от государственных служб.

ГЭМ СМП предусматривает единый комплекс наблюдений, проводимых во всех указанных портовых зонах и включающих определение гидрологические, гидро- и геохимические, гидробиологические, ихтиологические, орнитологические показатели.

#### **Авиационные наблюдения**

Особенности распределения птиц и млекопитающих в определенные сезоны (линные миграционные скопления птиц в прибрежной зоне, в т.ч. на мелководьях), распределение ластоногих на припайных льдах, медведей в прибрежной зоне, морских птиц и млекопитающих в полыньях, требуют применения авиационных методов наблюдений с борта легких самолетов, вертолетов и, в ряде случаев, БПЛА с дальним радиусом действия. В районе исследований программа авиационного мониторинга численности и пространственно-временного распределения включает следующие объекты: послегнездовые скопления водоплавающих и куликов, кольчатая нерпа, белый медведь. Учетные полигоны запланированы вдоль побережья Ямала или в прибрежных акваториях (включая припайные льды и заприпайные полыньи) Обской губы и Енисейского залива, Обь-Енисейского взморья. Конкретное расположение площадок мониторинга будет уточнено после проведения серии первичных учетов (рекогносцировки), поскольку для большинства районов актуальные сведения отсутствуют.

В настоящее время проект программы ГЭМ СМП находится на согласовании и утверждении в федеральных органах исполнительной власти. Но уже на этом этапе вырисовываются проблемы ее реализации. Среди них можно отметить следующие:

Отсутствие действующей инфраструктуры для ведения мониторинга на береговых полигонах.

Текущий мониторинг осуществляется в рамках корпоративных программ хозяйствующих субъектов, эти программы не скоординированы, они не учитывают концептуальные подходы, предложенные в рамках программы ГЭМ СМП, и, что самое главное, результаты этого мониторинга непубличны, доступ у научной общественности к ним отсутствует, материалы не передаются в госфонды.

Как показали расчеты и опыт организации мониторинговых работ последнего десятилетия, существует острый кадровый голод в специалистах как для полевых работ мониторинга, так и для обработки биологических проб.

**НОВЫЕ ДАННЫЕ О СОСТАВЕ  
АССОЦИАЦИЙ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ  
В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ДОННЫХ ОСАДКОВ  
ПРИУСТЬЕВЫХ ОБЛАСТЕЙ РЕК ОБИ И ЕНИСЕЯ**

*Е.А. Агафонова, М.Д. Кравчишина*

*ФГБУН ИО РАН (Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН)*

Карское море — типичное эпиконтинентальное шельфовое море со средними глубинами около 120 м и максимальными 640 м, в настоящее время испытывает как воздействие антропогенного влияния в связи с возрастающими темпами хозяйственного освоения, так и последствия глобальных климатических изменений, проявляющихся особенно интенсивно в Арктическом регионе в виде роста среднегодовых температур, увеличения продолжительности безледного периода, увеличения частоты и интенсивности штормов, подъем уровня моря и др. [12, 16, 19]. На впадающие в Карское море реки Обь и Енисей приходится соответственно 402 км<sup>3</sup> и 597 км<sup>3</sup>, или 37 и 45 % [1].

Приустьевая зона крупнейших сибирских рек Обь и Енисей, Обский и Енисейский эстуарии и прилегающий шельф Карского моря относятся к району, где наиболее ярко выражены основные закономерности процессов трансформации взвешенных и растворенных веществ водосборных бассейнов, характерных для маргинальных фильтров [18]. Последние представляют собой природную систему, состоящую из гравитационной, физико-химической (коагуляционно-сорбционной) и биологической частей, последовательно сменяющих друг друга в зоне смешения речных и морских вод [5, 6]. Речной и морской фитопланктон является одним из основных компонентов взвеси в пределах маргинальных фильтров арктических морей. Его накопление в осадках, как и биологическая продуктивность регулируются физико-химическими процессами в области смешения речных и морских вод [5, 6, 8, 18].

Диатомовые водоросли — одни из самых чутких индикаторов изменения океанических условий, таких как температура поверхностных вод и морской ледяной покров. Важно исследовать состав диатомовых водорослей в поверхностном слое донных отложений арктических шельфовых морей, поскольку они играют ключевую роль в биогенном кремненакоплении и используются для детального биостратиграфического расчленения, датирования и корреляции древних осадочных толщ [2].

Фитопланктон и бентос Карского моря исследовался в разных его районах на протяжении более чем 100 лет [3, 4, 10, 11, 14, 17]. Ранее состав диатомовых ассоциаций поверхностных отложений Карского моря в районе эстуариев рек Обь и Енисей был исследован в 62 образцах на

рубеже XX–XXI веков [18]. Всего было установлено 260 видов и разновидностей диатомовых водорослей, которые были разделены на группы по солёности и фитогеографическому распространению. Общий характер распределения этих групп в основном отражает летнюю солёность поверхностных вод и характер распределения сезонного ледяного покрова в этом районе.

В данной работе приводятся результаты исследования состава диатомовых ассоциаций в поверхностных пробах донных отложений приустьевых областей р. Оби и Енисея. Отбор проб осуществлялся в 59-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 2011 году. Техническая обработка образцов, предварительно высушенных с помощью лиофильной сушки ALPHA 1-4 LDplus, проводилась по стандартной методике [2] в ИО РАН. Видовые определения диатомей в препаратах осуществлялись с помощью микроскопа Axiostar plus (Carl Zeiss) при увеличении в 1000 раз с использованием иммерсии Immersol 518 N (Carl Zeiss Microscopy GmbH) с показателем преломления 1,518. Подсчет концентраций диатомей в отложениях осуществлялся по Battarbee [13].

В шести исследованных образцах поверхностного слоя донных отложений, отобранных в Обь-Енисейской приустьевой зоне, концентрация диатомовых водорослей изменялась от 0,6 млн ств./г до 9,9 млн ств./г. Максимальные концентрации зафиксированы в эстуарии р. Енисея в окрестностях о. Сибирякова (ст. 5018), минимальные же на самом юге Енисейского залива у м. Сопочная Карга (ст. 5014).

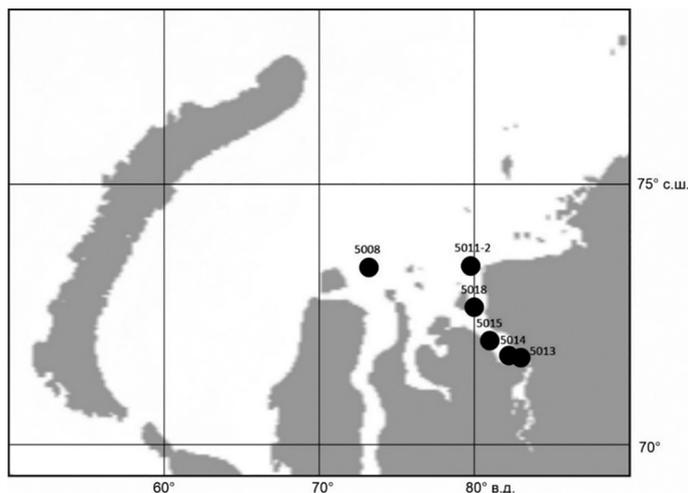


Схема расположения исследованных проб

Состав диатомовых ассоциаций представлен 139 видами и разновидностями диатомовых водорослей, из них 39 морских, 97 пресноводных и 3 вымерших, переотложенных вида. При этом, разнообразие не превышало 56 таксонов на каждой станции. Среди морских видов, численность которых составляет от 5,6 до 992,6 тыс. ств./г, наиболее многочисленны эвригалитный сублиторальный вид *Paralia sulcata* (до 15%), неритический *Thalassiosira baltica*, ледово —неритический *Th. antarctica*. Помимо последнего, к видам, развивающимся в фитопланктоне краевой ледовой зоны, при низких температурах поверхностных вод, близких или ниже 0°C [7, 15, 20] также относятся обнаруженные в составе диатомовых ассоциаций поверхностного слоя донных осадков *Bacterosira bathyomphala* и *Porosira glacialis*. Отдельно отмечено наличие связанных с морским льдом, по крайней мере, на протяжении части своего жизненного цикла [9, 15] ледово-морских видов, представленных створками *Fossilaphycus arcticus*, *Fragilariopsis cylindrus*, *Fragilariopsis oceanica*, *Pauliella taeniata* и др. Вымершие виды представлены створками *Actinocyclus ingens*, *Cosmiodiscus intersectus* и *Stephanopyxis schenckii*.

Во всех исследованных образцах, за исключением станции 5008, большая часть состава диатомовых ассоциаций представлена пресноводными видами. Значение доли пресноводных видов в поверхностном слое донных отложений устьевой зоны р. Оби (ст. 5008), не превышающее 26 %, значительно ниже фоновых установленных для данного района ранее [18]. В пределах Енисейского эстуария (ст. 5013, 5014, 5015 и 5018) доля пресноводных видов изменяется в пределах 96–90%, в целом уменьшаясь с юга на север. При этом больше половины пресноводных видов представлено речным планктоном, среди которого доминируют: *Aulacoseira ambigua*, *A. granulata*, *A. italica*, *A. subarctica*, *Cyclotella distinguenda* и *Stephanodiscus neoastraea*. Широко представлены и всевозможные перифитонные пресноводные виды, такие как *Epithemia adnata*, *E. argus*, *Eunotia faba*, *E. minor*, *Odontidium mesodon* и др. В устьевой зоне р. Енисей (ст. 5011-2) доля пресноводных видов не превышает 67 %, среди них на речной планктон приходится 46 %.

Таким образом, установленные особенности состава диатомовых ассоциаций поверхностных отложений Енисейского эстуария и его устьевой зоны в целом соответствуют ранее выявленным [18] закономерностям смены состава и концентраций диатомовых водорослей в разных частях маргинального фильтра рек.

Наличие постоянно встречающихся в поверхностном слое донных осадков Карского моря створок палеогеновых и меловых диатомей во вторичном залегании свидетельствует об их формировании, в том числе, за счет размыва и переотложения подстилающих пород.

Установленные экстремально низкие значения доли пресноводных видов в западной части устьевой зоны р. Оби, вероятно, связаны с особенностями локальной гидроциркуляции, воздействием течений из западной части Карского моря.

*Авторы признательны капитану НИС «Академик Мстислав Келдыш» Ю.Н. Горбачу, команде и всему научному составу за помощь в экспедициях.*

*Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 24-17-00044.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гордеев В.В.* Реки российской Арктики: потоки осадочного материала с континента в океан // Новые идеи в океанологии. Т. 2. М.: Наука, 2004. С. 113–166.
2. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т. I. Л.: Наука, 1974. 403 с.
3. *Забелина М.М.* Некоторые новые данные по фитопланктону Карского моря // Исследования морей СССР. Л.: Гос. гидрологический ин-т, 1931. Вып. 13. С. 105–143.
4. *Киселев И.А.* Некоторые данные о фитопланктоне в северо-восточной части Карского моря // Труды Таймырской гидрографической экспедиции. Ч. 2. Л.: Гидрографический отдел УМС РККА, 1935. С. 191–202.
5. *Лисицын А.П.* Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т. 34. № 5. С. 735–747.
6. *Лисицын А.П.* Современные представления об осадкообразовании в океанах и морях. Океан как природный самописец взаимодействия геосфер Земли // Мировой океан. Т. II. Физика, химия и биология океана. Осадкообразование в океане и взаимодействие геосфер Земли / Под ред. Лобковского Л.И., Лисицына А.П. М.: Научный мир, 2014. С. 331–548.
7. *Полякова Е.И., Новичкова Е.А., Агафонова Е.А.* Диатомеи и водные палиноморфы в донных осадках Баренцева моря: основные закономерности распространения и использование в палеоокеанологических исследованиях // Система Баренцева моря / Под ред. акад. А.П. Лисицына. М.: ГЕОС, 2021. С. 64–95.
8. *Полякова Е.И., Новичкова Е.А., Лисицын А.П. и др.* Диатомеи и водные палиноморфы в поверхностных осадках заливов Белого моря как индикаторы седиментационных процессов в маргинальных фильтрах рек // Океанология. 2016. Т. 56. № 2. С. 310–321.
9. *Усачев П.И.* Микрофлора полярных льдов // Труды ИОАН. 1949. Т. 3. С. 216–359.
10. *Усачев П.И.* Фитопланктон Карского моря // Планктон Тихого океана. М.: Наука, 1968. С. 6–28.
11. *Хмызникова В.Л., Забелина М.М.* Планктон юго-западной части Карского моря // Тр. Аркт. науч.-иссл. ин-та Глав. упр. Севморпути. Т. 193. 1946. С. 45–73.
12. *Atkinson D.E.* Observed storminess patterns and trends in the circum-Arctic coastal regime // Geo-Mar. Lett. 2005. Vol. 25. P. 98–109.

13. *Battarbee R.W.* A new method for the estimation of absolute microfossil numbers, with reference especially to diatoms // *Limnology and Oceanology*. 1973. Vol. 18. No 4. P. 647–65.
14. *Cleve P.T., Grunow A.* Beitrage zur Kenntniss der arctischen Diatomeel // *Kgl. Svensk. Vetensk. Akad. Handl.*, 1880. Vol. 17. № 2. P. 1–121.
15. *Horner R.* Arctic sea-ice biota / *The Arctic Seas. Climatology, Oceanography, Geology, and Biology*. Herman Y. (ed.). New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1989. P. 123–146.
16. IPCC, 2019: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. *Pörtner H.-O., Roberts D.C., Masson-Delmotte V., Zhai P., Tignor M., Poloczanska E, Mintenbeck K., Alegria A., Nicolai M., Okem A., Petzold J., Rama B., Weyer N.M.* (eds.). <https://www.ipcc.ch/srocc/>.
17. *Meunier A.* Microplankton des mers Barents et de Kara // *Due d'Orleans Compagne arctique de 1907*. Bruxelles, 1910. P. 1–355.
18. *Polyakova Ye.I.* Diatom assemblages in the surface sediments of the Kara Sea (Siberian Arctic) and their relationship to oceanological conditions // *Siberian River Run-off in the Kara Sea: Characterization, Quantification, Variability, and Environmental Significance* / Eds. R. Stein et al. Amsterdam: Elsevier, 2003. P. 375–400.
19. *Savo V., Lepofsky D., Benner J.P., Kohfeld K.E., Bailey J., Lertzman K.* Observations of climate change among subsistence-oriented communities around the world // *Nat. Clim. Chang.* 2016. Vol. 6. P. 462–473.
20. *Von Quillfeldt C.H.* Distribution of diatoms in the Northern Water Polynya, Greenland // *Journal of Marine Systems*. 1997. № 10. P. 211–240.

## **ИКАИТЫ КАК ИНДИКАТОРЫ РАЗГРУЗКИ МЕТАНА И ДЕГРАДАЦИИ МЕРЗЛОТЫ В УСТЬЕ ЕНИСЕЯ**

*Е.А. Логвина<sup>1</sup>, А.А. Крылов<sup>1,2</sup>, Е.А. Гусев<sup>1</sup>, П.Б. Семенов<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> — ФГБУ «ВНИИОкеангеология»

<sup>2</sup> — *Институт Наук о Земле, СПбГУ*

Икаиты или шестиводные карбонаты кальция ( $\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) — нестабильные формы аутигенных карбонатов, разлагающиеся на кальцит и воду при нахождении в нормальных РТ условиях. Природные икаиты встречаются в самых различных геохимических обстановках — в осадках морей, рек и озер, в карстовых пещерах, во льдах Арктики и Антарктики, в панцирях креветок и даже в сыре. В субаквальных обстановках высоких широт его находки известны практически во всех акваториях. Наиболее известные из них: фьорд Икка на юго-западе Гренландии [18, 19], побережье Аляски [17], Канадский Арктический архипелаг [14], море Лаптевых [2, 12, 15], Чукотское море [2, 3]. Больше всего икаит-содержащих грунтовых станций описано в Карском море [1, 5–7, 9–11].

Образцы икаитов, отобранные в устье Енисея, исследованы рентгенофазовым, терморентгенофазовым методами, определен изотопный состав углерода и кислорода. Привлечены данные газогеохимической съемки, геохимических исследований поровых вод и содержания ОВ в отложениях. Проведено численное моделирование коэффициентов насыщения поровых вод относительно основных аутигенных минералов, источников кислорода и углерода, формирующих икаиты и количество диагенетического метана. Проведена оценка связи икаитов с метаном в осадках и субмаринными многолетнемерзлыми породами (СММП).

Икаит-содержащие грунтовые станции, расположенные на глубине воды от 36 до 85 см, были отобраны в ходе рейса НИС «Фриггоф Нансен» в 2015 г. Образцы расположены на поддонной глубине 70 см (ст. 76Т); в интервале 65–70 см ниже поверхности дна (см нпд; ст. 170Т) и на глубине 90 см нпд (ст. 196Т).

Изотопный состав  $\delta^{13}\text{C}$  икаита определялся на масс-спектрометре Finnigan Delta plus XP со стандартом NBS-18. Ошибка измерений 0,1–0,2 ‰ VPDB. Измеренные значения  $\delta^{13}\text{C}$  икаитов составили –57,3 (ст. 170Т) и –20, 5 ‰ (ст. 76Т), а  $\delta^{18}\text{O}$ : –1,3 и –0,5 ‰ (ст. 169Т), 1,84 ‰ (ст. 170Т) и 1,45 ‰ (ст. 76Т) VPDB.

Извлечение газа из осадка проводилось на борту с помощью дегазационной установки СУОК-ДГ (Патент (19) RU (11) 2348931 (13) С1). Помимо собственных данных, были собраны опубликованные материалы газогеохимической съемки в районе исследований. Проанализировано распределение концентраций метана в осадках в интервале 0–10 см нпд и на поддонных глубинах, соответствующих обнаружению икаитов: 50–100 см.

Фоновые значения метана в поверхностных отложениях составили 0,004 мМ/л. В икаит-содержащем интервале 0,0012 мМ/л. Содержания метана в приповерхностных отложениях на порядок выше, чем в нижележащих.

На основании базовой реакции  $2\text{CH}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{CH}_4$  при условии полного разложения ОВ были рассчитаны теоретические значения содержания генерируемого метана. При средних значениях Сор<sub>г</sub> в 1,012 % содержание образованного метана составит 0,3 мМ/л, а при максимальных 1,85 % – 0,5 мМ/л. Для реализации таких концентраций необходимы соответствующие условия, а именно — полное потребление ОВ за счет сульфат-редукции в условиях раннего диагенеза, что, конечно же, маловероятно. Реальные содержания метана должны быть меньше. На поддонной глубине более 2,5 м содержание метана возрастает до 1,84 мМ/л. Причина более высоких измеренных значений — присутствие в отложениях метана миграционной природы. На основании

собственных и опубликованных данных об изотопном составе углерода и математического моделирования [2] были определены доли углеродных компонентов, участвующих в формировании икаитов. Доля углерода микробного метана при условии, что его изотопный состав углерода равен  $-94,2 \text{ ‰}$  (ст. 170Т [7]), превысила 50 %. Другие образцы сформированы исключительно из углерода ОВ. Таким образом, выявлено что образование самого крупного сростка кристаллов икаита очевидно происходило в период фокусированной разгрузки метана.

Балансовый расчет водных компонентов с установленными параметрами [6] изотопного состава кислорода (водорода) и солёности, позволил определить соотношение морского и пресного (М:Р) компонентов икаита: ст. 170Т и 76Т при  $S = 30,0 - 30,8 \text{ ‰}$  М:Р 85,5:18,2, и 83,2:16,8 ст. 169Т при  $S = 25,5$  и  $24,0 \text{ ‰}$ , — М:Р 70,6:29,4 и 74,4:25,6 ст. 170 в 87,1 к 12,9. Пресным компонентом воды могли быть талые воды льдосодержащих отложений — льдистых пород/субмаринных многолетнемерзлых пород (СММП), или вод криогенных газовых гидратов (так как пресная вода вовлекается в кристаллическую структуру газовых гидратов).

Математические расчеты и моделирование мощности реликтовых СММП предполагают ее сплошное, прерывистое и островное распространение на шельфе Карского моря [13, 16]. В районе, где были обнаружены икаиты, мощность СММП моделируется на глубинах воды от 0 до 300 м, а ее кровля — от 0 до 30 м нпд [8]. По данным прямых наблюдений монолитный лед и сильно льдистые породы мощностью до 25 м установлены бурением и прослеживаются до изобат около 100 м от поверхности до 80 м под дном. Были проанализированы изотопно-геохимические параметры пластовых льдов (ПЛ), широко развитых в низовьях Енисея и, скорее всего, являющихся частью СММП с аналогичными геохимическими и изотопными параметрами. Предположительно ПЛ с повышенным содержанием  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{Ca}_2^+$  и,  $\delta^{18}\text{O} -27 \text{ ‰}$  являются источником пресной воды при формировании икаитов. Это может вызывать на деградацию ССМП.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 23-27-00457 (<https://rscf.ru/project/23-27-00457/>).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев Е.А., Матюшев А.П., Рудой А.С., Усов А.Н. Четвертичные отложения центральной части Карского моря // Опыт системных океанологических исследований в Арктике / Под ред. А.П. Лисицына, М.Е. Виноградова, Е.А. Романкевича. М.: Научный мир, 2001. С. 553–558.
2. Крылов А.А., Логвина Е.А., Матвеева Т.В., Прасолов Э.М., Сянега В.Ф., Демидова А.Л., Радченко М.С. Икаит ( $\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) в донных отложениях моря

Лаптевых и роль анаэробного окисления метана в процессе его формирования // Записки РМО. 2015. Т. 144. С. 61–75.

3. Крылов А.А., Логвина Е.А., Семенов П.Б., Бочкарев А.В., Киль А.О., Шатрова Е.В., Горемыкин Ю.В., Криницкий П.И., Новихина Е.С., Смирнов Ю.Ю., Чазов А.О., Зыков Е.А., Урванцев Д.М. Необычные аутигенные карбонаты (Mg-кальцит и икаит) в газогидратоносной структуре «ВНИИОкеангеология» (котловина Дерюгина, Охотское море) // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2023. Вып. 10. С. 405–414. <https://doi.org/10.24412/2687-1092-2023-10-405-414>.

4. Киселев И.А. Некоторые данные о фитопланктоне в северо-восточной части Карского моря // Труды Таймырской гидрографической экспедиции. Ч. 2. Л.: Гидрографический отдел УМС РККА, 1935. С. 191–202.

5. Леин А.Ю., Миллер Ю.М., Намсараев Б.Б., Павлова Г.А., Пименов Н.В., Русанов И.И., Савичев А.С., Иванов М.В. Биогеохимические процессы цикла серы на ранних стадиях диагенеза осадков на профиле река Енисей – Карское море // Океанология. Т. 34. № 5. 1994. С. 681–692.

6. Логвина Е.А., Крылов А.А., Гусев Е.А., Зыков Е.А., Урванцев Д.М., Семенов П.Б., Яржембовский Я.Д., Малышев С.А. Икаит в отложениях Карского моря: находки в рейсе НИС «Фридьоф Нансен» // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2023. Вып. 10. С. 181–191. <https://doi.org/10.24412/2687-1092-2023-10-181-191>.

7. Galimov E.M., Kodina L.A., Stepanets O.V., & Korobeinik G.S. Biogeochemistry of the Russian Arctic. Kara Sea: Research results under the SIRRO project, 1995–2003 // Geochemistry International. 2006. Vol. 44. P. 1053–1104. <https://doi.org/10.1134/S0016702906110012>.

8. Gavrillov A., Pavlov V., Fridenberg A., Boldyrev M., Khilimonyuk V., Pizhankova E., Buldovich S., Kosevich N., Alyautdinov A., Ogienko M., Roslyakov A., Cherbunina M., Ospennikov E. (2020). The current state and 125 kyr history of permafrost in the Kara Sea shelf: modeling constraints // Cryosphere. 2020. Vol. 14. Iss. 6. P. 1857–1873. <https://doi.org/10.5194/tc-14-1857-2020>.

9. Kodina L.A., Tokarev V.G., Vlasova L.N., and Pribylova T.N. Carbonate minerals ikaite and glendonite and carbonate nodules in Holocene Kara Sea sediments: Geochemical and isotopic evidences. In: Stein R, Stephanets O. (eds): The German-Russian project on Siberian River Run-off (SIRRO), scientific cruise report of the Kara Sea expedition “SIRRO 2000” of RV “Akademik Boris Petrov” and first results. Ber Polarforschung, 2001. 393 p.

10. Kodina L.A., Tokarev V.G., Vlasova L.N., Bychkov A.M., Mardanzjan I.Yu. (2002). New findings of ikaite in the Kara Sea during RW “Akademik Boris Petrov” Cruise 36, September 2001. Scientific cruise report of the Kara-Sea Expedition 2001 of RV Akademik Boris Petrov // The German-Russian Project on Siberian River Run-off (SIRRO) and the EU Project. Ed. Stein R., Stepanets O.V. Berichte zur Polar — und Meeresforschung = Reports on Polar and Marine Research. 2002. Vol. 419, P. 1–278. [https://doi.org/10.2312/BzPM\\_0419\\_2002](https://doi.org/10.2312/BzPM_0419_2002).

11. Kodina L.A., Tokarev V.G., Vlasova L.N., Korobeinik G.S. Contribution of biogenic methane to ikaite formation in the Kara Sea: Evidence from the stable carbon

isotope geochemistry. Siberian river run-off in the Kara Sea. Eds. R. Stein, K. Fahl, D.K. Fuetterer, E.M. Galimov // Proc. Marine Science. Amsterdam: Elsevier. 2003. Vol. 6. P. 349–374. [https://doi.org/10.1016/S1568-2692\(03\)80045-1](https://doi.org/10.1016/S1568-2692(03)80045-1).

12. Logvina E., Krylov A., Taldenkova E., Blinova V., Sapega V., Novikhin A., Kassens H., Bauch H.A. Mechanisms of Late Pleistocene authigenic Fe–Mn-carbonate formation at the Laptev Sea continental slope (Siberian Arctic) // *Arktos*. 2018. Vol. 4, P. 1–13. <https://doi.org/10.1007/s41063-018-0036-0>.

13. Matveeva T.V., Chazov, A.O., Smirnov, Y.Y. The Geological Characteristics of a Subpermafrost Gas Hydrate Reservoir on the Taimyr Shelf of the Kara Sea (Eastern Arctic) // *Geotecton*. 2023. Vol. 57 (Suppl 1). P. S153–S173. <https://doi.org/10.1134/S0016852123070099>.

14. Omelon C.R., Pollard W.H. & Marion G.M. Seasonal formation of ikaite ( $\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) in saline spring discharge at Expedition Fiord, Canadian High Arctic: Assessing conditional constraints for natural crystal growth // *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2001. Vol. 65(9). P. 1429–1437. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(00\)00620-7](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(00)00620-7).

15. Schubert C. J., Nurnberg D., Scheele N., Pauer F., Kriewis M.  $^{13}\text{C}$  isotope depletion in ikaite crystal: evidence for methane release from the Siberian shelves? // *Geo-Marine Letters*. 1997. Vol.17, P. 169–174. <https://doi.org/10.1007/s003670050023>.

16. Semenov P., Portnov A., Krylov A., Egorov A., Vanshtein B. Geochemical evidence for seabed fluid flow linked to the subsea permafrost outer border in the South Kara Sea // *Geochemistry*. 2020. Vol. 80. P. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2019.04.005>.

17. Shearman D., McGugan A., Stein C. and Smith A. Ikaite,  $\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , precursor of the thinolites in the Quaternary tufas and tufa mounds of the Lahontan and Mono Lake Basins, western United States // *GSA Bull.* 1989. Vol. 101. P. 913–917. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1989\)101<0913:ICOPOT>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1989)101<0913:ICOPOT>2.3.CO;2).

18. Stockmann G.J., Seaman P., Balic–Zunic T., Peternell M., Sturkell E., Liljebladh B., Gyllencreutz R. Mineral Changes to the Tufa Columns of Ikka Fjord // SW Greenland. *Minerals*. 2022. Vol. 12(11). P. 1430. <https://doi.org/10.3390/min12111430>.

19. Tollefsen E., Stockmann G., Skelton A., Lundqvist L., & Sturkell E. Secondary alteration of the Grønneidal-Ika igneous complex and the genesis of ikaite,  $\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , SW Greenland // *Chemical Geology*. 2019. Vol. 510, P. 18–30. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2019.02.009>.

**ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО  
МОНИТОРИНГА НА ОБЪЕКТАХ СТРОИТЕЛЬСТВА,  
РЕКОНСТРУКЦИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ  
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ (ГТС)  
ФГУП «ГИДРОГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ»**

*К.Е. Фольваркова*

*ФГУП ГП (Гидрографическое предприятие)*

ФГУП «Гидрографическое предприятие» (организация Госкорпорации «Росатом») осуществляет навигационно-гидрографическое обеспечение судоходства в акватории СМП, включающее в себя изучение подводного ре-

льефа дна с целью поддержания актуальности морских навигационных карт, руководств и пособий для плавания на современном уровне и обеспечения акватории СМП средствами навигационного оборудования, а также информирования мореплавателей об изменениях навигационной обстановки.

В хозяйственном ведении предприятия и сооружения в морском порту Сабетта, такие как:

- ледозащитные сооружения, подходной канал, акватория грузовых и вспомогательных причалов (п. Сабетта, Ямальский район, Ямало-Ненецкого автономного округа);

- оградительные (ледозащитные) сооружения, акватории терминала «Утренний» и подходного канала терминала «Утренний» (Территория терминала «Утренний» относится к Тазовскому району Ямало-Ненецкого автономного округа, расположен на западном побережье Гыданского полуострова, восточный берег северной части Обской губы).

Предприятие реализовывает проект по реконструкции «Морского канала» (Судоходный подходной канал в Обской губе Карского моря) для обеспечения прохода транспортных судов к причалам морского порта Сабетта.

Целью экологической политики является:

1. Обеспечение экологически ориентированного развития предприятия при поддержании высокого уровня экологической безопасности и снижении экологических рисков, связанных с осуществлением своей деятельности.

2. Сохранение благоприятной окружающей среды, биологического разнообразия и природных ресурсов, в том числе целостности экосистем Арктической зоны Российской Федерации при осуществлении хозяйственной деятельности, планировании и реализации объектов портовой инфраструктуры в акватории Северного морского пути.

Производственный экологический контроль и мониторинг проводятся в целях обеспечения информацией о состоянии и загрязнении окружающей среды в районе проведения работ, необходимой им для осуществления деятельности по сохранению и восстановлению природной среды, рациональному использованию и воспроизведению природных ресурсов, предотвращению негативного воздействия на окружающую среду и ликвидации его последствий.

Производственный экологический мониторинг включает в себя:

- мониторинг состояния природных (морских) вод;
- мониторинг состояния донных отложений;
- мониторинг состояния водных биологических ресурсов изучение гидробиологических компонентов региональной экосистемы водных объектов, имеющих высшую рыбохозяйственную категорию, опреде-

ление основных показателей, по которым проводится контроль, дается оценка и прогноз биологических последствий техногенного воздействия. В ходе мониторинга водных биоресурсов на станциях определяются видовое и количественное состояние: фитопланктона, зоопланктона, зообентоса (макрозообентос), ихтиофауна, ихтиопланктона;

– мониторинг животного мира и орнитофауны.

*Результаты производственного экологического мониторинга на объектах ФГУП «Гидрографическое предприятие»*

1. В «Акватории подходного канала, грузовых и вспомогательных причалов морского порта Сабетта» производились ремонтные дноуглубительные работы для поддержания проектных глубин. В целях контроля и мониторинга производился отбор проб природных (морских) вод производится в следующие сроки (рис. 1,а): в период проведения дноуглубительных работ на акваториях подходного канала, грузовых причалов и вспомогательных причалов, отвалов и после окончания дноуглубительных работ на акваториях подходного канала, грузовых причалов и вспомогательных причалов, отвалов.

Анализ результатов исследования гидрохимических характеристик воды показал, что вода характеризуется как соленая, нейтральная, без специфического запаха, с благоприятными кислородными условиями и невысокой цветностью. Также анализ результатов исследования поверхностных вод на загрязняющие вещества после завершения ремонтных дноуглубительных работ показал, что в пробах воды отмечены повышенные концентрации металлов: железа и марганца. Повышенное содержание металлов отмечалось и во время ремонтных дноуглубительных работ. *Таким образом, ухудшений условий водной среды не отмечено.* Зафиксированные повышенные концентрации веществ связаны с естественными природными причинами и гидрометеорологическими особенностями года.

Донные отложения дноуглубительных работ, подлежит захоронению в подводном отвале. Содержание оловоорганических соединений, галогенорганических во время ремонтных дноуглубительных работ и после их завершения ниже пределов обнаружения используемых методик. По радиационному признаку донные осадки в районе подходного канала и акватории морского порта Сабетта, а также в районе Северного и Южного отвалов морского порта Сабетта во время ремонтных дноуглубительных работ и после завершения работ не загрязнены и могут использоваться без ограничений.

Гидробиологические и ихтиологические исследования проводятся на 5 станциях контроля, расположенных в районе проведения ремонтных дноуглубительных работ, на удалении 1000 м и в районах захоронения извлеченных донных грунтов. Исследования проводятся посред-

ством проведения двух натуральных съемок (в летний и летне-осенний периоды). В конце сентября 2023 года наблюдалась тенденция увеличения средних по акватории значений количественных показателей фитопланктона от поверхности к придонному горизонту. Продукционные показатели, отмеченные в сентябре 2023 года, на порядок ниже уровня августа 2023 года, что соответствует осенней стадии сукцессионного цикла и также хорошо согласуется с опубликованными данными. Состояние экосистемы соответствует фоновому уровню, негативных последствий антропогенного воздействия не зафиксировано.

В целом видовая структура морских млекопитающих аналогична как фондовым, так и литературным данным. Орнитофауна учетов 2023 года имеет изменения в составах сезонного орнитоценоза (лето – осень) и несет на себе отпечаток антропогенно-нарушенных мест (постоянно высокая доля западно-сибирских чашек в общей процентовке), что сочетается с работами 2020–2022 гг.

Производственный экологический контроль работы дноуглубительной техники показал наличие на задействованных судах всех необходимых судовых документов, своевременность и полноту осуществления природоохранных мероприятий, соответствие используемых процедур обращения с отходами и сточными водами природоохранным и санитарным требованиям. Наплавной мусор, следы разливов нефтепродуктов, признаки заморов рыбы на участке работ отсутствовали.

2. Результаты проведения производственного экологического контроля и производственного экологического мониторинга в период осуществления ремонтных дноуглубительных работ в навигацию 2023 года на подходном канале и акватории терминала «Утренний».

Для поддержания проектных глубин в 2023 году были проведены ремонтные дноуглубительные работы на подходном канале и акватории терминала «Утренний».

Результаты мониторинга морской воды, проведенного в 2023 году, в целом, соответствуют данным, полученным при проведении инженерно-экологических изысканий на исследуемых акваториях в 2021 году. Таким образом, ремонтные дноуглубительные работы не привели к ухудшению качества вод Обской губы.

Из результатов радиологических исследований донных отложений следует, что значения удельных активностей основных природных и техногенных радионуклидов, соответствовали низким региональным фоновым значениям. Аномальных по естественной и техногенной радиоактивности участков и участков радиоактивного загрязнения донных отложений зафиксировано не было. В районе проведения дноуглуби-

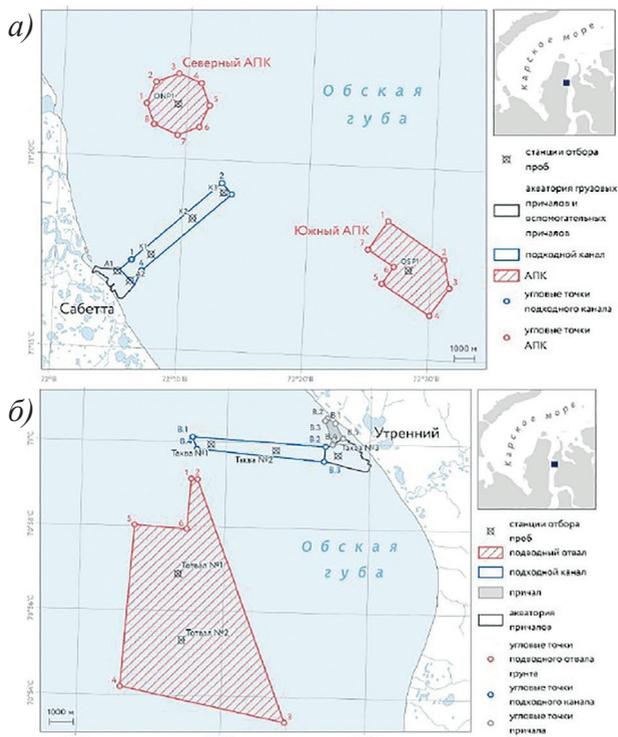


Рис. 1. Карты-схемы расположения станций отбора проб в районе порта Сабетта (а) и терминала «Утренний» (б)

тельных работ концентрации нефтепродуктов, кадмия, свинца, ртути, ПХБ, оловоорганических соединений, ПХТ, а также радионуклидов не превышали результатов исследований, которые были проведены в ходе инженерно-экологических изысканий на акватории морского отвала.

Отбор проб фитопланктона, зоопланктона, макрозообентоса и ихтиопланктона в районе акватории ДНУР осуществлялся на 5 станциях, совпадающих с пунктами отбора проб морской воды и донных отложений (рис. 1б). Отбор проб фитопланктона, зоопланктона, макрозообентоса и ихтиопланктона осуществлялся в июле и в сентябре 2023 г.

Производственный экологический контроль работы дноуглубительной техники показал наличие на задействованных судах всех необходимых судовых документов, своевременность и полноту осуществления природоохранных мероприятий, соответствие используемых процедур обращения с отходами и сточными водами природоохранным и санитар-

ным требованиям. Наплавной мусор, следы разливов нефтепродуктов, признаки заморов рыбы на участке работ отсутствовали.

3. Результаты проведения производственного экологического контроля и производственного экологического мониторинга при выполнении работ по реконструкции объекта «Морской канал» (судоходный подходной канал в Обской губе Карского моря) в 2023 году.

Мониторинг осуществлялся на 21 станции контроля с трех горизонтов (рис. 2): контрольные пункты, включающие начало и конец разрабатываемого канала, место поворота канала и места выемки грунта на котлованах для остановки судна. Фоновые пункты мониторинга располагались на расстоянии 2,5 км и вне зоны повышенной мутности воды вследствие проведения работ. Отбор проб осуществлялся на 10 станциях контроля с трех горизонтов на двух морских подводных отвалах грунта: в центре отвалов и на углах границ (северный и южный отвал). Отбор проб был произведен в июле 2023 (в период проведения работ), в сентябре 2023 (после завершения работ). Согласно результатам химико-аналитических исследований, отмечались повышенные концентрации железа, марганца, меди и цинка. При этом данные компоненты являются распространенными «типоморфными» элементами для северных территорий в силу своей подвижности в восстановительной обстановке болотных ландшафтов, которые занимают значительную часть водосборных бассейнов по берегам Обской губы, в связи с чем выявленные высокие концентрации данных веществ могут быть приурочены к фону.



Рис. 2. Карта-схема размещения комплексных пунктов ПЭКиМ в районе проведения работ по реконструкции «Морского канала»

Значения удельных активностей основных природных и техногенных радионуклидов в донных отложениях соответствовали низким региональным фоновым значениям. В районе проведения дноуглубительных работ концентрации нефтепродуктов, кадмия, свинца, ртути, ПХБ, оловоорганических соединений, ПХТ, а также радионуклидов не превышали результатов исследований, которые были проведены в ходе инженерно-экологических изысканий на акватории морского отвала.

*Компенсационные мероприятия по возмещению ущерба  
водным биологическим ресурсам*

На основании ФЗ «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов» от 20.12.2004 № 166-ФЗ ФГУП «Гидрографическое предприятие» осуществляет компенсационные мероприятия по возмещению ущерба водным биологическим ресурсам. При планировании восстановительных мероприятий, осуществляемых посредством искусственного воспроизводства, применяются сведения Росрыболовства о приоритетности восстановления запасов видов водных биоресурсов в водном объекте и данных о приемной емкости водного объекта, в который выпускаются личинки и (или) молодь водных биоресурсов, а также сведения о существующих производственных мощностях в рыбохозяйственном бассейне, в котором планируется проведение компенсационных мероприятий.

Мероприятия по устранению последствий негативного воздействия на территории Западно-Сибирского рыбохозяйственного бассейна, наносимого при проведении дноуглубительных работ осуществляется по следующим проектам: «Терминал сжиженного природного газа и стабильного газового конденсата «Утренний» (2019–2021 гг.), реконструкция объекта «Морской канал» (Судоходный подходной канал в Обской губе Карского моря) (2020–2021 гг.), «Проект производства ремонтных дноуглубительных работ для восстановления проектных габаритов судоходных объектов в морском порту Сабетта. Корректировка» (2020–2023 гг.), «Строительство акватории грузового причала и канала морского угольного терминала на базе Сырадасайского месторождения» (2023). Возмещение ущерба водным биологическим ресурсам в рамках реализации проектов строительства, эксплуатации и реконструкции портовой инфраструктуры СМП. В рамках осуществления ремонтного дноуглубления подходного канала и акватории морского порта Сабетта компенсирован ущерб водным биологическим ресурсам, путем выпуска в водные объекты Обь-Иртышского бассейна молоди осетра сибирского в количестве 32 829 экземпляров.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАЛЫХ ПАРУСНЫХ СУДОВ ДЛЯ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОТКРЫТОМ МОРЕ

*А.С. Недошивин*

*АНО ДПО «Навигацкая школа»*

Моделирование гидрологических процессов необходимо для многих отраслей человеческой деятельности, в том числе, для обеспечения безопасности мореплавания, метеорологического прогнозирования, проектирования и строительства различных прибрежных сооружений, рыбной ловли, добычи полезных ископаемых, прогнозирования экологической обстановки. Для этого требуется огромный экспериментальный материал о пространственно-временной изменчивости гидрофизических параметров.

Многие программы океанографических исследований, осуществляемые в последние десятилетия, были международными. Россия активно участвовала в климатических и геосферно-биосферных программах TOGA, WOCE, JGOFS, GLOBALCHANGE, и др.

К сожалению, происходящие в настоящее время «тектонические процессы глобальной трансформации» [1] уже привели к обрушению принципов и правил, на которых строилось международное сотрудничество. Участие России во многих международных органах и организациях, в том числе, в Арктическом совете фактически парализовано. Военно-политическая напряженность в арктическом регионе усиливается. В стратегических документах НАТО и его стран-членов в отношении России на первый план выходят задачи сдерживания и противоборства [2].

Мониторинг океанографических характеристик верхнего слоя океанов производится при помощи автоматических буев и пр. в рамках международных программ. Данные доступны. Но, учитывая международную обстановку, доступ России к этим данным может быть прекращен в любой момент. В этих условиях развитие океанографических исследований возможно только опираясь на собственный опыт и технологическую базу.

Несмотря на то, что в последние годы получили развитие спутниковые наблюдения и сбор информации при помощи автономных буйковых станций, научно-исследовательские суда (НИС) остаются основным средством исследования морей и океанов.

Интенсивность экспедиционных океанографических исследований в силу политических и экономических причин в постсоветские годы значительно снизилась. Количество российских НИС значительно сократилось. Часть судов, остающихся в строю, являются научно-экспедиционными. Их основным назначением является доставка грузов на

арктические и антарктические станции. Научные исследования осуществляются факультативно, при наличии времени и возможности.

Быстро и недорого существенно пополнить российский флот научно-исследовательских судов возможно путем освоения использования малых парусных судов для научных целей.

Крупные НИС могут производить океанографические работы в открытом море, но их эксплуатационные расходы очень высоки. Стоимость эксплуатации малых НИС с механическим двигателем небольшая, но они могут производить работы только в прибрежной зоне в районе своего базирования.

Малые парусные суда объединяют достоинства и крупных, и малых НИС. С одной стороны, малые парусные суда за счет своей практически неограниченной мореходности могут совершать плавания и производить океанографические работы в открытом океане. С другой стороны, эксплуатационные расходы малых парусных судов находятся на уровне малых НИС.

Малые парусные суда обладают особенностями конструкции, движения и управления, отличающими их от судов других типов и размеров.

Преимуществами малых парусных судов являются:

- практически неограниченная мореходность, большая автономность и дальность плавания. Парусные яхты плавают во всех районах мирового океана, легко пересекают океаны и поднимаются в высокие широты вплоть до берегов Антарктиды и прохождения Северного морского пути;

- высокая экономичность; очень низкие расходы по сравнению с судами на подготовку судна к плаванию и финансирование экспедиции позволяют в короткие сроки и с незначительными финансовыми вложениями значительно увеличить флот НИС, количество и географию экспедиционных научно-исследовательских работ;

- высокая маневренность и управляемость, возможность плавания по мелководью позволяют вести исследования в местах, недоступных для других судов;

- высокая доля научного состава в экипаже вплоть до 70 % повышает эффективность экспедиционных плаваний;

- отсутствие шумов от работающего двигателя и вращающегося гребного винта, отсутствие сброса сточных вод и выброса выхлопных газов, слабое возмущение поверхностного слоя корпусом судна позволяют повысить точность измерений параметров в тонкой структуре поверхностного слоя;

- низкий борт позволяет многие работы выполнять прямо с борта судна;

- упрощенные административные и навигационные процедуры экономят время, силы и средства.

Недостатками малых парусных судов являются:

- небольшие вместимость и грузоподъемность, позволяющие использовать только компактное и легкое научное и технологическое оборудование;
- низкая энергообеспеченность;
- относительно низкая скорость и значительный крен при движении под парусами.

Перечисленные недостатки не являются критичными. Достоинства малых парусных судов с лихвой их перевешивают.

Количество видов работ, которые могут быть проведены с борта малых парусных судов, весьма значительно. Это и выполнение океанографических разрезов и отдельных станций, постановка и снятие буйковых и донных станций, измерение течений, метеорологические наблюдения, экологический мониторинг, включающий отбор проб воды, фитоплankтона и микропластика, и пр.

В настоящее время уже накоплен вполне успешный опыт океанографических исследований с борта малых парусных судов как за рубежом, так и в России.

Экономические показатели эксплуатации малых парусных судов в качестве НИС позволяют в короткие сроки значительно увеличить количество океанографических исследований без значительных материальных вложений.

В целом, использование малых парусных судов для экспедиционных научных исследований и для производства широкого спектра океанографических работ практически в любом районе мирового океана следует признать перспективным.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Путин В.В. Россия сосредотачивается — вызовы, на которые мы должны ответить // Известия. 2012. URL: <https://iz.ru/news/511884>.
2. Интервью посла по особым поручениям МИД России, председатель комитета старших должностных лиц Арктического совета Николая Корчунова газете «Известия» 25.04.2023 г. <https://iz.ru/1503598/2023-04-25/v-mid-rf-usomnilis-v-vozbobnovlenii-raboty-arkticheskogo-soveta>

## ОСОБЕННОСТИ ПРИЛИВНОГО ДРЕЙФА ЛЬДА В ОБЬ-ЕНИСЕЙСКОМ РАЙОНЕ

*Г.Н. Войнов, К.Г. Смирнов, А.В. Нестеров, О.А. Морозова*

*ФГБУ «ААНИИ» (Арктический и антарктический научно-исследовательский институт)*

Дрейфующий лед представляет не только препятствие для судоходства, но и при сложных ледовых условиях может создавать серьезную опасность безопасности плавания судов. По данным Ю.В. Налимова

средняя продолжительность присутствия дрейфующих льдов в Обской губе составляет в среднем от 23 до 26 дней на разных участках акватории Обской губы [1].

Для оперативного мониторинга дрейфа льда для обеспечения безопасности мореплавания и с целью изучения закономерностей дрейфа ледяных полей в экспедициях ААНИИ в 2010–2020 гг. производилась установка систем буев Аргос с приемниками GPS на дрейфующие льды практически по всей акватории Обской губы. В настоящей работе приведены результаты исследований дрейфа льда в северной части Обской губы в районе Морского канала. Здесь приливные явления (уровень, течения, дрейф льда) вносят преобладающий вклад в динамику вод и, следовательно, представляют особый научный интерес. В Енисейском заливе наблюдения за дрейфом льда производились с помощью сканера ADCP в районе бухты Север в 2020–2021 гг.

Основной чертой режима приливов в Обской губе и Енисейском заливе (также приливных течений и приливного дрейфа льда) является существенная сезонная изменчивость амплитуд и фаз основных волн в годовом цикле и, соответственно, всех прямых и производных параметров прилива. Причиной этой изменчивости приливного режима, как установлено в работе [1], является влияние ледяного покрова.

В среднем в апреле–мае происходит наибольшее торможение приливной волны под влиянием припая, что приводит к уменьшению амплитуды и увеличению фазы главной волны прилива  $M_2$ , а с июня начинается процесс исчезновения этого влияния. То есть для средних ледовых условий приближенно можно обрабатывать наблюдения за дрейфом льда в апреле и мае как одинаковые по характеру сезонного хода, а в июне результаты следует относить к следующему этапу сезонной изменчивости.

Информация о приливном дрейфе льда в Обской губе и Енисейском заливе в XX веке вообще отсутствовала. Практически, первые оценки приливных колебаний дрейфующего льда в Обской губе получены по данным наблюдений в 2011 и 2012 г. [2]. Более детальные наблюдения в северной части Обской губы были получены в 2018 и 2019 гг.

В Енисейском заливе с октября 2020 г. по июль 2021 г. и с октября 2021 по июль 2022 г. получены измерения скорости дрейфа льда с помощью ADCP. Измерения носили символический характер (регистрировались нулевые скорости дрейфа льда) на период образования припая, который не имеет горизонтальных смещений. По данным измерений ADCP на ПАБС 17 припай установился 21 декабря 2020 г. и взломался 04 июля 2021 г. В следующем годовом цикле припай установился 28 октября 2021 г. и взломался 27 июня 2022 г. Для гармонического анализа

приливных колебаний скорости дрейфа льда измерения после 21 декабря 2020 г. и после 15 ноября 2021 г. не привлекались к обработке.

Для выделения приливных колебаний скорости дрейфа льда в Обской губе были привлечены данные по дрейфу десятков буев за период 2010–2020 гг., с траекториями, пролежавшими в районе Морского канала. Мы рассматриваем участок акватории в северной части Обской губы, ограниченный по широте  $72,0 - 72,6^\circ$  и по долготе  $73,0 - 74,2^\circ$ .

Полученные данные измерений течений и дрейфа льда в районе северной части Обской губы за длительный период позволяют сделать вывод о приближенном соответствии приливных течений в поверхностном слое моря и приливных движений дрейфующего льда. Однако здесь мы говорим об измерениях в точке, которые отражают так называемый эйлеровский перенос водных масс или дрейфующего льда. Движения дрейфующего льда представляют лагранжевский перенос. Оба вида движения не идентичны друг другу. Но приближенно можно относить результаты статистической обработки дрейфа ледяных полей к центру координат движения льда за выбранный период анализа, что позволяет сравнивать результаты точечных и пространственных движений.

Первой практической задачей, которую предстояло решить — это установить однородность районов дрейфа отдельных буев в отношении приливного режима. Поэтому необходимо было сначала выполнить скользящий гармонический анализ временных рядов по отдельным буям за различные периоды и установить приближенные временные периоды для надежного разрешения гармонических постоянных основных волн прилива. Здесь мы сталкиваемся с дилеммой: нужно задавать как можно более длительный период анализа для полного выделения спектра основных волн, но при этом район, в котором происходит дрейф ледяных полей должен быть однородным в отношении приливного режима. Последнее условие иногда приходится нарушать, чтобы обеспечить первое требование. Это не приводит к серьезным ошибкам, поскольку в таких случаях мы получим осредненные оценки приливного дрейфа для большой акватории.

Гармонический анализ производился здесь и далее по методу наименьших квадратов (МНК) по версии, разработанной в ААНИИ [3]. В модель прилива были включены основные суточные волны  $O_1$  и  $K_1$ , и главные полусуточные волны  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $N_2$  и основные  $1/4$ -суточные и  $1/6$ -суточные волны. Как показали эксперименты, для разрешения указанных волн минимальным является период анализа с окном 10–15 суток.

Результаты гармонического анализа серий по 8–15 суток в Обской губе условно были отнесены к району круга с радиусом около 5 миль и с центром, определенным как средние координаты временного ряда за период

анализа. В пределах границ этих районов гармонические постоянные волн  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $N_2$  и  $K_1$ ,  $O_1$ , а также основных мелководных волн для составляющих течения на меридиан и на параллель осреднялись как векторные величины.

Результаты гармонического анализа скоростей дрейфа ледяных полей по отдельным буям были сгруппированы по 3-м районам (север канала, середина канала и юг канала). Такое районирование было выполнено в связи с различием морфометрии этих участков (наличием бара) и связанных с этим пространственным различием в характере приливных течений и скоростей дрейфа льда. На рис. показана схема расположения однородных районов в районе Морского канала.

По средним значениям гармонических постоянных волн  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $N_2$  и  $K_1$ ,  $O_1$  и других волн для составляющих скорости дрейфа льда на меридиан и на параллель были рассчитаны гармонические постоянные эллипсов приливного дрейфа льда: фаза и направление максимального приливного дрейфа, значения максимальной и минимальной скорости дрейфа (большая и малая оси эллипса), коэффициент сжатия (полноты) эллипса и направление обхода вектора скорости по эллипсу. Эти параметры эллипсов 4 основных волн приливных движений льда для 3 однородных районов морского канала рассчитаны для апреля–мая и июня.

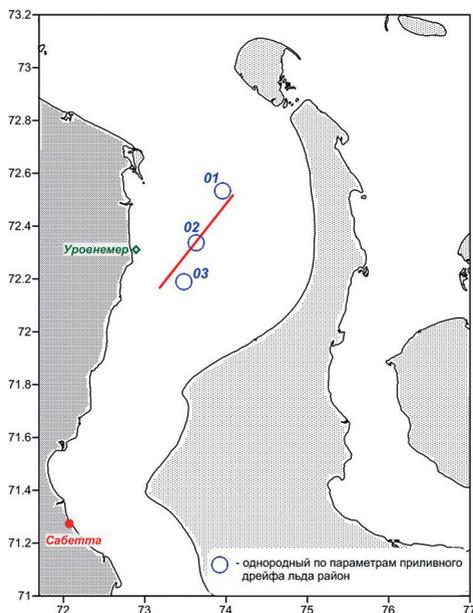


Рис. Схема расположения однородных приливных районов в районе Морского канала

В целом суточные приливные движения имеют близкий к реверсивному характер вращения в приливном цикле с обходом вектора течения по часовой стрелке.

Средняя сизигийная скорость приливного дрейфа льда в районе 01 (север канала) в апреле–мае составляет 28 см/с, а в июне — 66 см/с. Средняя сизигийная скорость приливного дрейфа льда в районе 02 (середина канала) в апреле–мае составляет 46 см/с, а в июне — 65 см/с. Средняя сизигийная скорость приливного дрейфа льда в районе 03 (юг канала) в апреле–мае составляет 35 см/с, а в июне — 49 см/с. Средняя квадратурная скорость в основном в 2,3–3,0 раза меньше скорости среднего сизигийного дрейфа льда.

Гармонический анализ дрейфа льда в Енисейском заливе проводился по методу наименьших квадратов по версии ААНИИ [3]. Обработке были подвергнуты периоды с 22 октября 2020 г. по 20 декабря 2020 г. (1407 час) и с 28 октября 2021 г. по 15 ноября 2021 г. (456 час). Анализ выполнялся в 2 приближения. На первом этапе были рассчитаны средние векторные значения гармонических постоянных скорости дрейфа льда для компонент на меридиан и на параллель. Затем с помощью предвычисления выполнялась очистка рядов скорости дрейфа от сомнительных значений и восстанавливались участки с нулевыми скоростями дрейфа. Окончательно были определены средние векторные значения констант прилива из двух периодов анализа.

Всего за выбранный период было выделено 32 значимых волны прилива, превышающих 95 % доверительный интервал.

Расчеты показали, что приливной дрейф льда в Енисейском заливе носит неправильный полусуточный характер. Критерии Дуванина и Куртье равны, соответственно, 0,75 и 0,52. Возраст полусуточного приливного течения равен 4 суткам, а возраст суточного приливного течения близок к нулю. Наиболее выражено фазовое неравенство (изменение вида кривой от сизигии к квадратуре). Но при больших склонениях Луны развиваются тропические приливы, что проявляется в появлении суточного неравенства полных и малых вод в компонентах дрейфа льда. Параллактическое неравенство выражено менее заметно. В приливном цикле вращение вектора скоростей дрейфа льда идет против часовой стрелки. Вид эллипсов ближе к реверсивному типу. Направление развития максимальных скоростей дрейфа льда полусуточных и суточных колебаний — юго-юго-запад (прилив) и север-северо-восток (отлив).

Средняя сизигийная скорость приливного дрейфа льда составляет 5,5 см/с. Средняя квадратурная скорость в 2,4 раза меньше скорости среднего сизигийного дрейфа льда.

В заключение отметим основные результаты проведенных исследований.

1. Гармонический анализ наблюдений за дрейфом ледяных полей с помощью систем Аргос в Обской губе показал возможность получения устойчивых оценок гармонических постоянных основных волн прилива по этим данным.

2. Средняя сизигийная скорость приливного дрейфа в районе Морского канала Обской губы в июне достигает 66 см/с. Ясно, что при следовании судов по морскому каналу необходимо иметь прогноз скорости и направления приливного дрейфа льда. Полученные в работе гармонические постоянные позволяют произвести прогноз приливного дрейфа ледяных полей в трех районах морского канала в северной части Обской губы на период март–апрель и июнь.

3. В бухте Север в Енисейском заливе наблюдаются слабые скорости приливного дрейфа льда, которые не оказывают значимого влияния на движение ледяных полей. Здесь надо рассматривать неперiodические движения течений и дрейфа льдов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Войнов Г.Н., Налимов Ю.В., Пискун А.А., Становой В.В., Усанкина Г.Е.* Основные черты гидрологического режима Обской и Тазовской губ (лед, уровни, структура вод) / Под ред. д.г.н. Г.Н. Войнова. СПб.: «Нестор–История». 2017. 192 с.
2. *Voinov G.N., Nesterov A.N.* The tidal effects in the northern Ob Bay // The Proc. of the 22nd Inter. Conf. On Port and Ocean Engin. under Arctic Cond. POAC'13, June 9–13, 2013. Espoo, Finland. 6 p.
3. *Войнов Г.Н.* Приливные явления и методология их исследований в шельфовой зоне арктических морей (на примере Карского и северо-восточной части Баренцева морей). Автореф. дисс. ... д-ра геогр. наук. СПб., РГГМУ, 2003. 45 с.

#### **СОВРЕМЕННЫЕ ЕСТЕСТВЕННЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ, ОСЛОЖНЯЮЩИЕ РАБОТЫ НА ПРИПАЕ В ОБЪ-ЕНИСЕЙСКОМ РЕГИОНЕ**

*Р.А. Виноградов, О.М. Андреев, К.С. Воскресенский, Д.В. Драбенко*  
*ФГБУ «АНИИ» (Арктический и антарктический научно-исследовательский институт)*

Неподвижный ледяной покров (припай), как рабочая площадка при хозяйственном освоении северных территорий, всегда имел важное значение. Это в равной степени касается как пресноводных акваторий (реки и озера), так и прибрежных морских районов Арктики. В первую очередь речь идет об организации зимних выгрузок техники и материалов на неподготовленный берег (через припай) в начале освоения отдельных его участков. Однако кроме реализации транзита грузов при транспорт-

ных операциях, неподвижный ледяной покров может использоваться и в качестве непосредственной площадки при проведении тех или иных работ связанных, например, со строительством в водной среде, актуальность которого в последние годы кратно возрастает. Таким образом в настоящее время можно выделить два основных направления хозяйственной деятельности на припайном льду — транспортные операции и строительно-ремонтные работы — часто проводимые в комплексе. В частности, перевозки по припаю требуют предварительного создания транспортной инфраструктуры на льду, а любое гидротехническое строительство — перемещения материалов и техники. Оба направления хозяйственной деятельности сопровождаются непрерывным развитием технических средств и технологий, что в значительной мере определяет антропогенные факторы, затрудняющие работы на припае.

Анализируя возможные воздействующие факторы, необходимо отметить, что возводимые сооружения в большинстве случаев в плане представляют собой точечные или линейные объекты. Причем они могут быть как вертикально развитыми (в форме «стенок» или «колонн», располагаясь от дна до ровной поверхности или выше нее), так и с размещением только на дне. Первый тип (вертикальный) разнообразно представлен в зонах освоения Обь-Енисейского региона (объекты порта Сабетта, терминалов «Утренний», «Ворота Арктики» и «Бухта Север»). Это защитные и оградительные сооружения, причалы, отгрузочные терминалы и иные сооружения, при создании которых применялись, в том числе, и работы с припая. Второй тип (придонный) связан с прокладкой, например, трубопроводов (подводный переход нефтепровода к бухте Север в низовьях Енисея), кабельных линий и т.д. В данном случае рабочая площадка на льду обязательно дополняется искусственной прорезью (майной).

Говоря о хозяйственной деятельности человека необходимо понимать, что она вся происходит на фоне соответствующих климатических условий, эволюционирующих во времени. В современный период их изменения обычно связывают с «глобальным потеплением», определяющим набор естественных факторов, которые и приводят к серьезным сложностям при работе на припае. Рассмотрим их подробнее.

Относительно наличия припая и его характеристик процессы «глобального потепления», достаточно активно протекающие в полярных регионах, проявляются в следующем:

1. Смещаются сроки перехода температуры воздуха через ноль в осенний и весенний сезоны, соответственно позже и раньше климатической нормы. Это вызывает уменьшение продолжительности периода с отрицательными температурами, способствующими замерзанию воды. Следовательно, происходит потенциальное сокращение времени наличия припая в акватории.

2. Общее смягчение зимних условий вызывает снижение суммы отрицательных температур (суммы градусодней мороза — СГДМ) за сезон, что, в свою очередь, уменьшает теоретически достижимую толщину льда и, как следствие, пропорционально снижается несущая способность ледяного покрова.

3. Прочностные свойства и грузоподъемность ледяного покрова зависят не только от толщины льда, но и от средней температуры его массива (особенно в период длительных оттепелей). Более легкие зимние условия характеризуются более высокими средними (за сезон, месяц, декаду и т.д.) значениями температуры воздуха, которые вызывают повышение средней температуры льда. Последнее, соответственно, снижает прочность льда, а значит и его грузоподъемность.

4. Слой снега на припае, являясь природным теплоизолятором, вызывает повышение температуры на границе лед/снег относительно температуры воздуха. Процессы «глобального потепления» сказываются не только на повышении температуры воздуха, но и на увеличении количества осадков (в том числе твердых). Увеличение толщины слоя снега вызывает дополнительный рост средней температуры массива льда, что, как указывалось выше, вызывает снижение допустимой нагрузки на припай.

5. Увеличенное накопление снега повышает (за счет его массы) естественную нагрузку на ледяной покров. Следовательно, (при равных характеристиках льда) будет снижаться допустимая потенциальная антропогенная нагрузка при работах на припае.

Кроме природного воздействия на ледяной покров акватории, снижающего возможность его хозяйственного использования, существуют и антропогенные (техногенные) факторы. Как уже указывалось, они связаны с эволюцией технологий и технических средств.

1. С развитием техники увеличивается не только ее мощность, но и масса, потенциально воздействующая на ледяной покров. При транспортных операциях на льду это не столь критично, т.к. оборудование перед перевозкой можно частично разобрать (например, снять стрелу с экскаватора или отвал с бульдозера). Однако даже неделимые части агрегатов могут оказывать существенную нагрузку. При проведении строительных работ с припая, он уже должен выдерживать вес современных машин и/или механизмов в сборе. Причем, по технологическим требованиям, может возникать необходимость концентрации на небольшой площади нескольких технических средств, что усугубляет положение. Дополнительную нагрузку оказывают строительные материалы (конструкции), которыми манипулирует техника на льду. Их неделимый вес также может быть достаточно велик (например, стальные трубы или сваи массой до нескольких десятков тонн).

2. Следующий антропогенный фактор связан с особенностями применяемых технологий. В ряде случаев они подразумевают подготовку майны. Это еще больше осложняет условия проведения работ на припае, т.к. несущая способность на кромке ледяного покрова снижена и может потребоваться его усиление (например, наморозкой). Однако предварительное (до изготовления майны) наращивание толщины льда (в соответствии с расчетом грузоподъемности) может войти в противоречие с технологическими возможностями баровой техники (например, если длины штатной шины будет недостаточно для сквозного пропиливания намороженного льда).

3. Интенсификация судоходства является прямым следствием активного освоения арктических территорий. Прокладка ледовых каналов в припайном льду и постоянное их обновление и/или расширение вызывает ослабление неподвижного ледяного покрова, его разрушение (по естественным и антропогенным причинам) с переводом в состояние дрейфующего льда. Таким образом сокращается площадь припая (и общая, и потенциально пригодная для работ), а также снижается его устойчивость перед внешними воздействиями. Это также усугубляет условия проведения разных видов работ на припайном льду.

В условиях современного освоения арктических территорий выявлен ряд факторов естественной и антропогенной природы, которые способны существенно затруднить проведение транспортных операций и/или строительных работ на припайном льду. Рассмотренные естественные факторы способствуют снижению потенциально допустимой нагрузки на неподвижный ледяной покров. Антропогенные же факторы действуют двояко. С одной стороны, они также способствуют ослаблению льда, а с другой — предъявляют повышенные требования к его грузоподъемности. В целом указанные факторы заставляют искать нестандартные подходы к ледотехническому обеспечению работ на припае.

## **СТЕПЕНЬ СООТВЕТСТВИЯ ЧИСЛЕННЫХ ДАННЫХ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ИНДИКАТОРА «ICE VISION» С ДАННЫМИ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ДРЕЙФА ЛЬДА ПО ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ РАДИОЛОКАЦИОННЫМ СНИМКАМ**

*Ю.Г. Гаврилов<sup>1</sup>, Р.И. Май<sup>1</sup>, О.А. Морозова<sup>1</sup>, В.А. Фадеев<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> — ФГБУ «АНИИ» (Арктический и антарктический научно-исследовательский институт)

<sup>2</sup> — ЗАО «Морские Комплексы и Системы»

Стратегия развития Российской Федерации до 2035 года предусматривает существенные усилия по совершенствованию инфраструктуры Арктической зоны РФ [3, 5], включая динамичное наращивание систем гидрометеорологического обеспечения [6], которые к 2035 году должны обеспечить решение одной из важных задач — обеспечение круглого-

дичной навигации по Северному морскому пути (СМП) с увеличением объемов перевозок до 160 млн тонн грузов в год [2].

Транспортная стратегия и план развития инфраструктуры СМП уделяют отдельное внимание ликвидации лимитирующих участков на водных путях, в заливах крупных сибирских рек и конкретно в Обской губе [4, 6]. Для решения этой задачи возникает необходимость как оперативного мониторинга, так и накопления данных и изучения закономерностей дрейфа льда на данных участках.

В 2021 году ЗАО «Морские Комплексы и Системы», которое является разработчиком и производителем радиолокационного ледового индикатора «Ice Vision», по заказу ОАО «Ямал СПГ» разработало дополнительный модуль оценки параметров дрейфа льда (далее Динамический модуль «Ice Vision») для стационарного радиолокатора, осуществляющего мониторинг внутренней акватории и Подходного канала порта Сабетта. В дальнейшем данный модуль был модернизирован для использования на подвижных объектах, таких как ледоколы и транспортные суда ледового класса. С помощью данного модуля производится автоматическое вычисление дрейфа льда по сырым радиолокационным данным для каждого из квадратов сетки с заданным шагом. Результаты вычислений сохраняются в виде текстовых файлов и оперативно отображаются на экране радиолокационного индикатора «Ice Vision».

Динамический модуль «Ice Vision» в настоящее время используется на нескольких ледоколах ФГУП «Атомфлот», в порту Сабетта, на других объектах. Однако вопрос его валидации с привычными для исследователей методиками измерений параметров дрейфа льда с помощью определения смещения координат объектов по последовательным радиолокационным снимкам [1] остался без внимания.

В этой связи авторы доклада провели сопоставление соответствующих по времени и координатам рядов измерений дрейфа льда. В докладе представлены результаты анализа полученных рядов данных, дана оценка степени их соответствия, представлены рекомендации по использованию данных динамического модуля «Ice Vision» как для оперативного мониторинга, так и изучения закономерностей дрейфа льда. Также в докладе даны рекомендации ЗАО «МКиС» по совершенствованию и развитию динамического модуля «Ice Vision».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Nesterov A.V., Gavrilov Yu.G., Buzin I.V., Skutin A.A., Gudoshnikov Yu.P., Kornishin K.A., Efimov Ya.O., Tarasov P.A.* Icebergs detection and characterization capabilities: field trials in the Arctic Seas // *Proceedings of the Thirty-third International Ocean and Polar Engineering Conference*. Ottawa, Canada, June 19–23, 2023. P. 266–272.

2. Андреева Е.В., Исаулова К.Я. Перспективы развития СМП // Neftegaz.RU. 2021. № 6. С. 30–34.

3. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года, пункт 136. Утверждены Указом Президента Российской Федерации от 5 марта 2020 г. № 164.

4. План развития инфраструктуры Северного морского пути на период до 2035 года, пункт 60. Утвержден распоряжением Правительства Российской Федерации от 21 декабря 2019 г. № 3120-р.

5. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года, пункты.13з, 31д, 31е. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 26 октября 2020 г. № 645.

6. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р.

## **ИЗМЕНЕНИЕ ЛИТОДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМА И ОЦЕНКА ЗАНОСИМОСТИ АКВАТОРИИ В ПРОЦЕССЕ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ТЕРМИНАЛА «УТРЕННИЙ»**

*К.С. Воскресенский<sup>1</sup>, В.А. Гладыш<sup>2</sup>, Е.А. Логвина<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> — ФГБУ «АНИИ» (Арктический и антарктический научно-исследовательский институт)

<sup>2</sup> — ООО «Ленарк»

<sup>3</sup> — ФГБУ «ВНИИОкеангеология»

В ходе строительства завода и объектов по производству, хранению, отгрузке СПГ (Терминал «Утренний») в Обской губе был возведен комплекс гидротехнических сооружений (включая ледозащитные) и проведено дноуглубление. Строительные работы привели к изменению литодинамического режима не только на акватории, ограниченной ледозащитными сооружениями, но и за ее пределами.

Зимой 2022/23 гг. в субаквальной части района строительства завода были проведены комплексные литодинамические исследования:

- наблюдения за направлением и скоростью придонных течений;
- наблюдения за колебаниями уровня моря
- наблюдения за скоростью осаждения взвешенных наносов;
- наблюдения за подвижным слоем наносов;
- наблюдения за температурой, соленостью и мутностью воды;
- отбор проб грунта.

Наблюдения за придонными течениями и колебаниями уровня моря проводились путем постановки автономных донных станций с акустическим доплеровским профилографом течений. Для изучения скорости

осадконакопления использовались седиментационные ловушки. Пробы осадочного материала седиментационных ловушек направлены в лабораторию для аналитических работ (определение веса, объема, плотности, влажности и гранулометрического состава осадочного материала). Измерение толщины подвижного слоя донного грунта проводились путем постановки эхолотов-логгеров. Наблюдения за температурой, соленостью и мутностью воды производились измерительным комплексом на базе CTD-зонда и мутномера. Отбор проб грунта на акватории проводился с помощью зонтичной драги с поверхности льда.

По результатам проведенных фоновых гидрологических наблюдений было выявлено, что в октябре–ноябре 2022 г. температура воды в поверхностном слое была значительно ниже (вследствие понижения температуры воздуха и начала ледообразования), чем в придонном. Минимальное и максимальное значения температуры воды в данный период составили  $-0,09$  °C и  $3,35$  °C, соответственно. При этом соленость воды увеличивалась от поверхности ко дну. Отмечен характерный галоклин (в диапазоне глубин 13–18 м) на наиболее глубоководных станциях. Минимальное и максимальное значения солености в данный период составили  $0,32$  ‰ и  $16,33$  ‰, соответственно.

В феврале–марте и мае 2023 г. температура воды равномерно уменьшается от поверхности ко дну. Минимальное и максимальное значения температуры воды в данный период составили  $-0,48$  °C и  $-0,11$  °C, соответственно. Для солености воды характерен рост значений по мере увеличения глубины. Минимальное и максимальное значения солености в данный период составили  $2,38$  ‰ (поверхность) и  $15,55$  ‰ (придонный слой).

Вертикальное распределение мутности в октябре–ноябре 2022 г. было равномерным по вертикали, что свидетельствует о перемешивании вод в результате штормовых воздействий на открытом участке акватории. Минимальное и максимальное значения мутности в данный период составили  $15,85$  NTU и  $43,78$  NTU, соответственно.

В зимний период под ледяным покровом мутность воды равномерно увеличивалась от поверхности ко дну. Минимальное и максимальное значения мутности в данный период составили  $5,13$  NTU и  $26,47$  NTU, соответственно. Данный процесс свидетельствует об осаждении взвешенных частиц в потоке ввиду малых скоростей течений в полузакрытой акватории порта, поэтому на расстоянии первых метров от дна (в придонном горизонте) мутность вод увеличивается и достигает максимальных значений.

Средний уровень моря за весь период наблюдений был равен  $-0,27$  м (БС-77). Минимальный уровень зафиксирован 21 января 2023 г.

и составил  $-1,60$  м (БС-77); максимальный отмечен 24 марта 2023 г. на отметке  $0,71$  м (БС-77). Размах суммарных колебаний уровня за весь период наблюдений не превысил  $2,31$  м.

По результатам измерений течений получено, что наибольшую повторяемость имеют течения со скоростями до  $10$  см/с, на которые приходится не меньше  $93$  % наблюдений. Максимальная скорость течений отмечена в ноябре и составила  $27,4$  см/с в направлении на ЗСЗ ( $298,5^\circ$ ). Средняя скорость течений не превышает  $4$  см/с.

По данным донных эхолотов –логгеров за весь период исследований, составивший около шести месяцев, установлено, что суммарная динамика наносов отрицательная, зафиксирован размыв дна с результирующей амплитудой  $7$  мм.

Выявлено, что ледозащитные сооружения, необходимые для снижения ветро-волнового воздействия на акваторию порта, существенно сократили поступление влекомых наносов в акваторию. В ледовый период ледозащитные сооружения превращают полузакрытую акваторию в своего рода «отстойник», где осаждение взвешенных наносов происходит в периоды «кrotкой» воды при минимальных и нулевых скоростях течений. При этом заносимость акватории влекомыми наносами остается выше, чем взвешенными.

Ранее были проведены расчеты заносимости акватории для нескольких этапов строительства гидротехнических сооружений в естественных условиях и с учетом ледозащитных сооружений. Оценивалась заносимость в летний безледный период для влекомых наносов и зимний ледовый для взвешенных наносов. В связи с широким распространением ледовой экзарации на дне исследованного полигона была оценена заносимость за счет воздействия на дно ледяных образований.

Суммы значений гранулометрического состава взвешенного материала, собранного седиментационными ловушками в зимний и весенний периоды, близки между собой. Эмпирические полигоны распределения грансостава проб материала из седиментационных ловушек и проб грунта, отобранного весной, схожи, но отличаются от проб, отобранных осенью. Анализ проб, отобранных седиментационными ловушками, позволил оценить среднюю заносимость за 9 месяцев, которая составила  $2,7$  см (максимальное и минимальное значения  $0,87$  см и  $6,1$  см, соответственно). Величины заносимости рассчитывались на основании архивных материалов и данных, полученных в течение полевого сезона на 2022/23 гг. В целом, полученные значения показали хорошую сходимость. Проведенные на терминале полевые и лабораторные исследования позволили охарактеризовать изменения литодинамического режима и оценить заносимость акватории в зимний период.