

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ  
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**



**ГНЦ РФ АРКТИЧЕСКИЙ И АНТАРКТИЧЕСКИЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ**



**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ  
IV Международной научно-деловой конференции  
POLAR-2026  
СОВРЕМЕННЫЕ КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ВЫСОКИХ ШИРОТ АРКТИКИ**

**Санкт Петербург  
19–20 мая 2026 г.**

**Санкт-Петербург  
2026**

В сборнике представлены тезисы докладов научной конференции с международным участием «Современные комплексные исследования высоких широт Арктики» в рамках IV Международной научно-деловой конференции POLAR-2026. Целью конференции является подведение предварительных итогов исследований Северного Ледовитого океана и его морей в последние годы, оценка изменений природной среды полярных областей Земли и их возможных последствий.

Конференция проводится при финансовой поддержке Банка «Санкт-Петербург» и компании НГ «Энерго».

ISBN 978-5-98364-130-3

Подписано в печать 12.05.2026

© Государственный научный центр РФ  
Арктический и антарктический  
научно-исследовательский институт  
(ГНЦ РФ ААНИИ), 2026

# СОДЕРЖАНИЕ

## ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

<i>В.В. Иванов, К.В. Фильчук, А.Ю. Ипатов.</i> Экспедиции на научно-экспедиционном судне «Северный полюс» в 2022–2026 гг. — новый этап исследований в высокоширотной Арктике .....	9
--	---

## КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В АРКТИКЕ

<i>С.А. Солдатенко.</i> Арктический индикатор: Перезагрузка .....	11
<i>Р.В. Бекряев.</i> Климатические Tipping Points. Арктическая перспектива .....	12
<i>Л.А. Тимохов, Н.А. Лис, Е.А. Чернявская.</i> Опыт сверхдолгосрочного прогноза климатических характеристик Арктики .....	13
<i>А.С. Масловский.</i> Пространственно-временная изменчивость характеристик приземных инверсий по данным дрейфующих экспедиций «Северный полюс» .....	14
<i>А.П. Махитас, И.И. Большаякова, О.Л. Жукова, И.А. Махотина, Г.Н. Ильин, В.Ю. Быков.</i> Влагосодержания атмосферы Западной Арктики по данным радиозондирований и радиометра водяного пара .....	15
<i>В.Ю. Целев.</i> Зависимость сезонных прогнозов в Арктике от фаз арктического колебания .....	16
<i>И.А. Ильющенко.</i> Многолетняя изменчивость вихревого меридионального атмосферного переноса тепла в Западную Арктику .....	17
<i>Е.В. Румянцева, О.В. Муждаба, М.В. Третьяков.</i> Значение гидрологических наблюдений в устьях крупных рек Арктики для оценки последствий климатических изменений .....	18
<i>Д.А. Кунгурова.</i> Крах научной дипломатии как новая геополитическая реальность .....	19

## ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В АРКТИКЕ

<i>Г.В. Алексеев, И.М. Ашик, В.В. Иванов, А.Ю. Ипатов, М.С. Махотин, К.В. Фильчук, Ю.В. Угрюмов.</i> Обмен между Атлантикой и Арктическим бассейном в современных условиях: изменения, причины и последствия для климата .....	21
<i>В.В. Иванов, К.В. Фильчук, М.В. Карпов, С.М. Ковалев, Д.Д. Ризе, С.В. Павский, Е.В. Афанасьева, А.А. Соколов.</i> Особенности пространственно-временной изменчивости температуры атлантических вод в западной части бассейна Нансена и их проявление в состоянии ледяного покрова .....	23
<i>А.В. Данышина, В.Ю. Чанцев.</i> Неоднородность пространственно-временной эволюции теплозапаса вод Северного Ледовитого океана .....	24

<i>М.С. Махотин, Л.А. Тимохов, Н.В. Лебедев.</i> Межгодовая изменчивость летних тихоокеанских вод в Арктическом бассейне Северного Ледовитого океана .....	25
<i>И.А. Гангнус, В.В. Иванов.</i> Фронтальная зона распространения Тихоокеанских водных масс в Арктическом бассейне.....	26
<i>И.Б. Сиваченко, А.Е. Новихин.</i> Особенности гидрохимической структуры вод котловины Подводников по данным экспедиции «Северный полюс-42» .....	27
<i>Н.К. Алексеева, Н.А. Лис, И.Б. Сиваченко.</i> Сезонная динамика карбонатной системы и оценка потоков CO <sub>2</sub> в системе океан–атмосфера по данным дрейфа «Северный полюс-42».....	28
<i>В.А. Меркулов, А.Д. Морковских, Н.А. Иванов.</i> Исследование Обско-Енисейского плюма в проливе Шокальского.....	29
<i>К.В. Артамонова, О.Н. Лукьянова, И.А. Гангнус, В.В. Иванов, А.А. Сумкина.</i> Особенности гидролого-гидрохимического режима морей западной Арктики (Баренцево, Карского) .....	30
<i>А.А. Крылов, С.А. Мальшев, Е.С. Миролюбова, Е.С. Овсянникова, Е.А. Гусев, Д.В. Элькина, Т.И. Хоснуллина, А.Ю. Ипатов.</i> Седиментогенез на хребте Альфа по результатам экспедиции «Северный полюс-42».....	31

## МОРСКИЕ ЭКОСИСТЕМЫ

<i>Н.Е. Журавлева.</i> Проявление антропогенного влияния на донные экосистемы Арктического бассейна по данным дрейфующей станции СП-42 (2025–2026) .....	33
<i>К.Н. Кособокова, И.В. Берченко, О. Зимица.</i> Новейшие данные о планктонных сообществах Арктического бассейна по материалам круглогодичных наблюдений дрейфующей станции СП-41 (2022–2024) .....	34
<i>Я.П. Процюк.</i> Исследование годовой динамики вертикальной структуры ледовой фауны по данным дрейфующей станции «Северный полюс-42» (2024–2025) .....	35
<i>I.O. Nekhaev, E.M. Chaban, Z. Rumyantseva, V. Shumilovskikh, O.L. Zimina.</i> Deep-water gastropods of the Central Arctic Ocean and bathymetric faunal transitions across the Arctic deep sea.....	36
<i>О.Л. Зимица, С.Ю. Гагаев, Н.В. Денисенко, С.Г. Денисенко, Н.Е. Журавлева, Н.Ю. Иванова, Е.Л. Мархасева, Г.С. Морозов, И.О. Нехаев, Е.Г. Панина, А.В. Смирнов, И.С. Смирнов, Е.М. Чабан.</i> Зообентос Арктического бассейна по материалам дрейфующей станции СП-41 (2022–2024) .....	37
<i>М.В. Гаврило, Я.П. Процюк, О.Л. Зимица, Ю.Г. Гаврилов.</i> Птицы и млекопитающие Арктического бассейна по наблюдениям дрейфующих станций СП-41 и СП-42 (2022–2025) .....	38
<i>И.Е. Манушин, А.С. Кудряшова, Н.А. Стрелкова, Д.Ю. Блинова, Д.В. Захаров, К.С. Рольская, L.L. Jørgensen, Н.Е. Мусеева, А.А. Ломака, В.С. Вязникова.</i> Результаты многолетнего мониторинга мегазообентоса Баренцева моря.....	39

<i>Ю.И. Зуенко, А.С. Курносова, А.С. Малышева.</i> Восточные ворота в Арктику открываются шире: последствия климатических изменений для биогенного переноса в высокие широты и биопродуктивности Чукотского моря.....	40
<i>А.В. Буслов, Е.Е. Овсянников.</i> Минтай Чукотского моря: от рыбохозяйственных исследований к промыслу .....	41

## МОРСКИЕ ЛЬДЫ И ЛЕДОТЕХНИКА

<i>А.В. Юлин, В.В. Иванов, Т.В. Шевелева, Е.В. Козловский.</i> Тенденции изменения площади льдов в Северном Ледовитом океане в конце теплого сезона за период с 1978 по 2025 гг. ....	43
<i>Е.У. Миронов, А.Б. Тюряков, Е.В. Козловский, В.В. Иванов.</i> Многолетние изменения состояния ледяного покрова Северо-Европейского бассейна .....	44
<i>А.Г. Егоров, Е.А. Павлова, А.Д. Ревина, Е.А. Чернявская.</i> Многолетние изменения положения летней кромки льдов в арктических морях в течение 1981–2025 гг. ....	45
<i>В.Н. Смирнов, Л.В. Панов, К.В. Иванов, М.С. Знаменский, Г.О. Акимов.</i> Динамические процессы в ледяном покрове Арктики при наблюдении на дрейфующих станциях «Северный полюс» .....	46
<i>Р.Б. Гузенко, Ю.Г. Гаврилов, С.В. Хотченков.</i> Исследования торосов на дрейфующей станции «Северный полюс-41» в течение годового цикла .....	47
<i>К.К. Кивва, А.А. Сумкина, А.С. Малышева.</i> Изменчивость сроков освобождения ото льда в Беринговом море и на прилегающих акваториях.....	48
<i>И.А. Свистунов, В.А. Лихоманов.</i> О первом опыте эксплуатации системы мониторинга ледовых нагрузок НЭС «Северный полюс» в период дрейфа станции «северный полюс-41» .....	49
<i>М.Е. Миронов.</i> К расчету ледовых нагрузок (на примере сооружений Карского моря).....	51
<i>А.А. Добродеев, К.Е. Сазонов, А.М. Клубничкин, А. М. Жидкова, Я.Ф. Иванова, Д.С. Рябченко.</i> Предварительные результаты исследования влияния ледового упора движителя на ледовую ходкость судна .....	52

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В АРКТИКЕ

<i>А.С. Калишин, Н.Ф. Благовещенская, Т.Д. Борисова, Ю.В. Федоренко, И.М. Егоров, Г.А. Загорский, Д.К. Дронов, О.Ю. Стрибный, Н.П. Сенчина.</i> Комплексные геофизические исследования в Арктике.....	54
<i>О.А. Трошичев, Н.А. Степанов.</i> Анализ структуры «токовый клин суббури» по данным SML индексов .....	55
<i>Д.К. Дронов, Д.А. Носов, Н.П. Сенчина, Ю.Г. Турбин, И.С. Сизиков, А.С. Калишин.</i> Абсолютные гравиметрические измерения на НЭС «Северный полюс» .....	56

<i>Н.Ф. Благовещенская.</i> Нелинейные нерезонансные явления в высокоширотной F-области ионосферы при воздействии мощных КВ радиоволн.....	57
<i>А.В. Моисеев.</i> Современные геофизические наблюдения на северо-востоке России: результаты геомагнитных измерений в Якутии в 24–25 циклах солнечной активности.....	58
<i>А.В. Тертышников.</i> Итоги морских экспедиций 2020–2021 гг. ....	59
<i>Г.А. Загорский, С.А. Долгачева, А.С. Калишин, И.М. Егоров, А.В. Тепляков.</i> Результаты оптических наблюдений камеры всего неба во время экспедиции «Северный полюс-41».....	60
<i>А.В. Шиндин, А.В. Щенников, К.В. Козлов.</i> Система непрерывного мониторинга вариаций геомагнитного поля в диапазоне от 0,001 до 120 Гц.....	61
<i>Ю.Г. Турбин.</i> Динамика аномального магнитного поля в Арктике и её возможные причины.....	62
<i>Т.Д. Борисова.</i> Особенности моделирования КВ радиоканала при искусственной модификации ионосферы.....	63
<i>К.К. Грехнева, А.В. Шиндин, Н.С. Тимукин, С.П. Моисеев.</i> ЛЧМ-ионозонд 1,5–54 МГц на базе ионозонда ИОН-ФАСТ для исследования эффекта ракурсного рассеяния в Арктике.....	64
<i>А.С. Калишин, И.С. Байшев, Н.Ф. Благовещенская, Т.Д. Борисова, И.М. Егоров, Г.А. Загорский, О.Ю. Стрибный.</i> Наблюдение эффектов солнечных вспышек на НЭС «Северный полюс».....	65
<i>Н.А. Степанов, А.В. Франк-Каменецкий, Т.Д. Борисова, С.Н. Шаповалов.</i> Геофизические наблюдения в п. Баренцбург.....	66
<i>Т.Д. Борисова, О.Ю. Стрибный, А.С. Калишин, Н.Ф. Благовещенская.</i> Результаты моделирования сеансов коротковолновой радиосвязи между НЭС «Северный полюс» и научными станциями в Антарктиде.....	67

## ПОСТЕРНЫЕ ДОКЛАДЫ

### КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В АРКТИКЕ

<i>И.А. Махотина.</i> Использование методов машинного обучения для классификации состояний пограничного слоя атмосферы при различных условиях облачности по данным дрейфующих станций «Северный полюс».....	68
<i>К.В. Кравцова, Н.В. Колабутин, М.С. Знаменский.</i> Исследование динамики ледника Норденшельда по данным сейсмометров за 2017 год.....	69
<i>А.А. Фыгина, А.В. Терехов, Д.В. Банцев.</i> Влияние особенностей инсоляции на пространственное распределение баланса массы ледниковых куполов острова Беннетта.....	70
<i>А.Д. Журавлева, С.А. Иванова, Л.С. Курочкина.</i> Оценка испарения в заполярной области России по водноиспарительной сети Росгидромета.....	71

## ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В АРКТИКЕ

<i>Н.А. Куссе-Тюз, В.А. Меркулов, А.Д. Тарасенко.</i> Попутные термохалинные исследования поверхности Северного Ледовитого океана в августе-сентябре 2025 года.....	72
<i>Е.А. Чернявская, Н.А. Лис, Л.А. Тимохов.</i> Основные паттерны крупномасштабной изменчивости температуры поверхности воды Северо-Европейского бассейна .....	73
<i>А.А. Сумкина, К.К. Кивва, А.С. Малышева.</i> Изменчивость теплообмена в Баренцевом и Беринговом морях.....	74
<i>К.В. Ромашова, И.И. Василевич, М.В. Третьяков, Н.Л. Секисов, Г.А. Шарков, А.М. Голубков.</i> Сток рек архипелага Шпицберген в современных климатических условиях .....	75
<i>Н.А. Волкова.</i> Современные подходы к оценке влияния притока пресных вод на природные процессы в морях Северного Ледовитого океана.....	76
<i>А.А. Лисина, И.Н. Крыленко, Ю.Г. Мотовилов, Н.Л. Фролова.</i> Динамика стока Колымы в XXI веке под влиянием меняющегося климата.....	77
<i>Д.С. Красильников, В.А. Добродий, В.В. Жмур, И.Е. Козлов, О.А. Сашова, С.А. Мошаров, А.В. Зимин, Ю.В. Фомин, Е.В. Плотников.</i> Мезомасштабный вихрь в прикромочной ледовой зоне Карского моря в августе 2024 года.....	78
<i>Н.А. Онищенко, Д.И. Фрей.</i> Сравнение сезонной изменчивости атлантических вод в проливе Фрама и море Лаптевых.....	79
<i>Д.В. Элькина, Т.И. Хоснуллина, К.В. Гетман, Д.И. Баженова, А.Л. Пискарёв, А.А. Черенковская, С.А. Малышев, Е.С. Овсянникова, А.С. Гагаев, Е.С. Миролубова, А.А. Крылов, Е.А. Гусев.</i> Палеомагнитные исследования донных осадков экспедиций «Северный полюс-41» и «Северный полюс-42».....	80

## МОРСКИЕ ЭКОСИСТЕМЫ

<i>И.И. Алексеев, Е.Н. Грек, А.А. Четверова.</i> Почвенное органическое вещество полярных регионов: детальные количественные и качественные оценки.....	81
<i>А.С. Малышева, К.К. Кивва, А.А. Сумкина.</i> Влияние ледовых и ветровых условий на фенологию весеннего «цветения» фитопланктона в Беринговом море .....	82
<i>Р.Б. Самсонов, О.Л. Зимина.</i> Сезонная динамика размерно-весовых характеристик отдельных видов рода <i>Calanus</i> в Арктическом бассейне в 2023 году (по данным дрейфующей станции СП-41) .....	83
<i>В.М. Сергеева, П.А. Беляков, О.Л. Зимина.</i> Круглогодичные наблюдения за ледовой и подледной альгофлорой в районе дрейфа станции СП-42 (2024–2025).....	84

## МОРСКИЕ ЛЬДЫ И ЛЕДОТЕХНИКА

<i>Д.Ю. Юскаев, Т.А. Алексеева, С.С. Сероветников, Е.И. Макаров, В.А. Бородкин, В.Д. Котельников.</i> Комплексное исследование морского льда в экспедициях ЛЕД-СМП.....	86
<i>Н.А. Лис, Е.С. Егорова, А.А., Соколов.</i> Связь адвекции тепла с возрастным составом ледяного покрова Баренцева моря .....	87
<i>П.В. Богородский, О.Р. Сидорова.</i> Нарастание льда при наличии конвекции воздуха в его снежном покрове .....	88
<i>М.В. Шаратунова.</i> Основные особенности ледового режима Восточно-Сибирского моря в текущем климатическом периоде.....	89
<i>И.Д. Болховский, С.И. Биденко.</i> Оценка ошибки смещения ледовой кромки в задаче обеспечения безопасности арктической навигации .....	90
<i>К.В. Крацова, В.Н. Смирнов, И.Б. Шейкин.</i> Длинные волны зыби в центральной Арктике и их влияние на состояние ледяного покрова.....	91
<i>Е.А. Смягликова.</i> Безопасность Арктики: подготовка современных судов ледового класса для исследований.....	92
<i>А.В. Чернов.</i> Принцип использования упрощенных моделей для физического моделирования компонент ледового сопротивления .....	93

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В АРКТИКЕ

<i>О.М. Лебедь, И.М. Егоров, С.В. Пильгаев, А.В. Ларченко, Н.Ф. Благовещенская, А.С. Калишин, Т.Д. Борисова, О.Ю. Стрибный, М.В. Филатов, М.В. Кузнецова, А.С. Никитенко, Е.Б. Бекетова, Ю.В. Федоренко.</i> Наблюдения авроральных шипений в период экспедиции «Северный полюс-41» .....	95
<i>Н.С. Тимукин, А.В. Шиндин, К.К. Грехнева, С.П. Моисеев, А.Б. Белецкий.</i> Эффекты ВЧ нагрева ионосферы, регистрируемые с помощью ионозонда ИОН-ФАСТ.....	95
<i>Л.П. Шадрина.</i> Магнитные супербури в начале XXI века .....	96
<i>С.Н. Шаповалов, А.А. Соломатникова, И.О. Рябинин.</i> Спектральные наблюдения солнечного УФ излучения и УФ-индекса в высокоширотной Арктике (п. Баренцбург, НИС «Ледовая база Мыс Баранова», НЭС «Северный полюс») .....	97

# УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

## ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

### **Экспедиции на научно-экспедиционном судне «Северный полюс» в 2022–2026 гг. — новый этап исследований в высокоширотной Арктике**

*В.В. Иванов<sup>1,2\*</sup>, К.В. Фильчук<sup>2</sup>, А.Ю. Ипатов<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
Москва, Россия*

*<sup>2</sup> ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

*\* vladimir.ivanov@aari.ru*

Натурные наблюдения с дрейфующего льда имеют более, чем вековую историю. Первый опыт такого рода был получен в экспедиции Ф. Нансена на шхуне «Фрам», продрейфовавшей в 1893–1896 гг. от Новосибирских островов до пролива, носящего теперь ее имя. Двадцать первого мая 1937 года в географической точке Северного полюса был поднят государственный флаг СССР, ознаменовав начало длительной истории советских дрейфующих полярных станций «Северный полюс» (СП). Всего с 1937 по 1991 гг. на арктическом дрейфующем льду под руководством ААНИИ отработала 31 СП. Еще 9 российских СП были организованы ААНИИ с 2003 по 2012 г. Значительное сокращение арктического морского льда в 1990–2000-х гг. сделало небезопасным функционирование долговременных обитаемых станций, расположенных на дрейфующем льду и не имеющих постоянной судовой поддержки. Так возникла идея дрейфующей станции нового типа, так называемой «судно – лед». Логистика такой станции включает судно, замороженное в лед и дрейфующее вместе с ним и обширный измерительный полигон, развернутый вокруг судна и оснащенный измерительным оборудованием для выполнения широкого круга научно-исследовательских задач. В марте – мае 2019 года в рамках экспедиции «Трансарктика-2019» была организована тестовая дрейфующая станция типа «судно-лед» в северной части Баренцева моря, а в начале 2022 года завершилось строительство специализированного научно-экспедиционного судна (НЭС) «Северный полюс», предназначенной для обеспечения дрейфующих станций нового типа в Северном Ледовитом океане (СЛО). Первая экспедиция НЭС в СЛО (СП-41) проходила с сентября 2022 г. по май 2024 г.

Сейчас в СЛО продолжается дрейф второй подобной экспедиции, которая стартовала в сентябре 2024 г. Экспедиции на НЭС «Северный полюс» 2022–2026 гг. являются логическим продолжением научных исследований, выполнявшихся с дрейфующих станций, базировавшихся на льду в XX веке и первой декаде XXI и проводятся по комплексным программам, включающим следующие основные научные направления: атмосфера, морской лед, океанография, геохимия (химический анализ проб вод, льда, донных осадков и атмосферы), гидробиология (изучение флоры и фауны), геология морского дна и геофизика (изучение ионосферы), исследование прочностных характеристик НЭС «Северный полюс» в условиях переменных нагрузок, создаваемых льдом. За 4,5 года работы судна получены уникальные данные о состоянии природной среды высокоширотной Арктики в современных условиях, характеризующихся быстрыми климатическими изменениями. Некоторые из этих результатов будут представлены на специализированных секциях конференции, тогда как значительная часть новых данных еще требует внимательного изучения и сопоставления со спутниковой информацией, результатами численного моделирования, продуктами атмосферного и океанского реанализов. Но уже сейчас можно с уверенностью констатировать, что технология «судно – лед» полностью себя оправдала. В докладе будет обобщен накопленный к настоящему времени опыт организации научных наблюдений на НЭС «Северный полюс» и рассмотрена как позитивная сторона такого формата арктических исследований, так и проблемные вопросы, которые в ряде случаев могут быть решены, что позволит повысить качество получаемых натуральных данных и расширить номенклатуру перспективных натуральных экспериментов.

# КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В АРКТИКЕ

## Арктический индикатор: Перезагрузка

*С.А. Солдатенко\**

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

*\* [soldatenko@aari.ru](mailto:soldatenko@aari.ru)*

Арктика является наиболее чувствительной к глобальным климатическим изменениям территорией планеты и выступает природным индикатором состояния климатической системы Земли. В этой связи особое значение приобретает формулировка интегральных индикаторов, способных адекватно отражать текущее состояние и динамику арктического климата. В докладе анализируются основные особенности климатических изменений в Арктике, в том числе арктическое усиление (рост региональной температуры в 3–4 раза превышающий общемировые показатели), деградация ледяного покрова (сокращение площади, толщины и возраста морского льда), таяние многолетней мерзлоты (увеличение глубины сезонного оттаивания), ослабление эффективного меридионального температурного градиента (уменьшение разности температур между Арктикой и низкими широтами). Изменение арктического климата имеет многочисленные проявления как в природных, так и в общественных системах, обуславливая необходимость разработки адаптационных стратегий на основе анализа климатических рисков.

В докладе раскрывается понятие «Переагрузка» как радикальная смена парадигмы развития арктических территорий — переход от стратегии «выживания» к проактивной, комплексной и устойчивой адаптации. Рассматриваются инфраструктурные, экологические, социально-экономические и управленческие аспекты переагрузки. В качестве практического примера приводится национальный архитектурный конкурс «Арктика. Переагрузка» (2026, Чукотский АО), продемонстрировавший новые подходы к созданию климатоустойчивой и комфортной среды в условиях Севера.

Кроме этого, концепция «переагрузки» предусматривает переход от традиционных, преимущественно скалярных и линейных климатических индексов к новым, многомерным и динамическим характеристикам

климатической системы Арктики. В рамках новой концепции арктический индикатор трактуется как динамическая переменная или вектор состояния, отражающий совокупность процессов в атмосфере, океане и криосфере. «Перезагрузка» индикатора заключается в переходе к физически интерпретируемым, нелинейным и прогностически значимым характеристикам, что позволяет более точно описывать переходы между климатическими режимами и повышает качество диагностики и прогноза изменений в Арктике и за ее пределами.

## **Климатические Tipping Points. Арктическая перспектива**

*Р.В. Бекряев\**

*Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова,  
Санкт-Петербург, Россия*

*\* bekryaev@mail.ru*

Резкие, внезапные и, как правило, необратимые изменения ключевых климатических элементов, называемые обычно Tipping Points (TP), привлекают внимание исследователей не только красотой теоретических построений, но и практическим значением, поскольку адаптация к стремительным по историческим меркам переходам к новым состояниям земной системы крайне затруднена, если вообще возможна. Высокие широты северного полушария и Арктика, в частности, являются счастливыми обладателями большинства известных на сегодняшний день потенциальных Tipping Elements — дрейфующий лёд Северного Ледовитого океана, ледниковый щит Гренландии, вечная мерзлота, бореальные леса, североатлантический субполярный вихрь. Особое место занимает атлантическая термохалинная циркуляция (АМОС — Atlantic Meridional Overturning Circulation), которая, не будучи специфически арктическим феноменом, тем не менее связана со всем комплексом процессов в атмосфере, гидросфере и криосфере высоких широт северного полушария.

В работе рассматриваются основные бифуркационные механизмы, ответственные за возникновение TP. Обсуждаются бифуркации в простой модели, используемой для исследования динамики АМОС. Особое внимание уделено концепции Critical Slowdown и основанных на ней подходах (Early Warning Signals), разрабатываемых для раннего предупреждения о предстоящих резких климатических сдвигах.

С концепцией TP связан недавно обнаруженный в ряде моделей земной климатической системы динамический феномен расщепления траекторий (Trajectories Splitting). Расщепление траекторий, определяемое множественностью статистически стационарных асимптотических ре-

шений (аттракторов) и чувствительностью решений к заданию начальных условий, означает потерю климатической предсказуемости второго рода и необходимость переосмысления основ ансамблевого подхода к оценке будущих изменений климата.

## **Опыт сверхдолгосрочного прогноза климатических характеристик Арктики**

*Л.А. Тимохов\*, Н.А. Лис, Е.А. Чернявская*

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

*\* [ltim@aari.ru](mailto:ltim@aari.ru)*

Масштабы и скорость изменения климата в Арктике в последние десятилетия вызывают большую обеспокоенность научной общественности. Поэтому особенно возросла актуальность исследований долговременных гидрометеорологических процессов. Использован эмпирический метод для получения статистических моделей долговременной изменчивости состояния атмосферы, океана и ледяного покрова в Арктике.

В качестве предикторов использовались следующие астрогеофизические характеристики: координаты полюса Земли, скорость вращения и наклон оси вращения Земли, индекс солнечной активности (числа Вольфа); поток солнечной инсоляции на внешнюю границу атмосферы и градиент инсоляции (инсоляционная контрастность); отклонения расстояния от Земли до Солнца; суммарный момент инерции вращения больших планет относительно центра масс Солнечной системы; аномалия силы притяжения между Землей и планетой Уран.

Для разработки моделей долгопериодной изменчивости климатических характеристик был использован мультирегрессионный анализ.

Результаты предвычисления температуры воздуха в Арктике расчетов на период 2021–2043 гг. демонстрируют слабый отрицательный тренд температуры, на фоне которого наблюдаются циклические колебания с периодом 10–15 лет с максимумом около 2024 и 2036 гг. и минимумом около 2030 и 2041 гг. Но пределы изменения температуры предполагаются аналогичными периоду 2000–2020 гг. Предвычисление чисел форм циркуляции атмосферы Е демонстрирует увеличение числа формы данной формы циркуляции, как это наблюдалось в 1950–1960-х годах. Для форм циркуляции атмосферы С и W+E период 2020–2043 гг. предполагает быть подобным прошлому периоду 1968–1992 гг. Предвычисление августовской ледовитости западных и восточных морей Арктики демонстрируют увеличение ледовитости в западных и восточных арктических

морях в период с 2007 г. до 2020–2024 гг. По нашим прогнозам, далее будут наблюдаться колебания ледовитости с небольшим отрицательным трендом. Но уровень ледовитости в 2030–2040 гг., вероятно, не достигнет уровня тяжелой ледовитости 1970-х годов. Полученные нами оценки близки к опубликованным другими авторами. Предлагаемая авторами концепция может быть использована для разработки метода сверхдолгосрочного прогноза климатических характеристик.

## **Пространственно-временная изменчивость характеристик приземных инверсий по данным дрейфующих экспедиций «Северный полюс»**

*А. С. Масловский\**

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

*\* [ASMaslovsky@aari.ru](mailto:ASMaslovsky@aari.ru)*

На основе данных непрерывных аэрологических наблюдений высокого пространственно-временного разрешения о температуре и влажности нижнего слоя атмосферы, выполненных на дрейфующих станциях «Северный полюс» на базе научно-экспедиционного судна «Северный полюс» за период с марта 2023 года по сентябрь 2025 года, а также данных реанализа ERA5 за этот же период, проведён сравнительный анализ внутригодовой изменчивости температуры и влажности воздуха в высокоширотной Арктике на стандартных изобарических поверхностях в слое от 1000 до 850 гПа. Выявлены существенные различия в вертикальных профилях температуры воздуха и, особенно, в профилях относительной влажности. Статистические оценки отклонений профилей указывают на наличие сезонной зависимости, причём наибольшие отклонения температуры наблюдаются весной, а влажности — зимой. На уровне 1000 гПа систематическая ошибка температуры составляет +0,43 °C зимой, +1,05 °C весной, +0,76 °C летом и +0,73 °C осенью, что свидетельствует о систематическом завышении температуры в реанализе по сравнению с наблюдениями. Систематическая ошибка относительной влажности на том же уровне также положительна во все сезоны: максимальна зимой (21,5 %) и осенью (17,7 %), минимальна летом (8,2 %). Коэффициент корреляции реанализа с наблюдениями для температуры составляет 0,89–0,98; для влажности на уровне 1000 гПа варьирует от 0,43 летом до 0,13 зимой, а осенью снижается до –0,02.

Проведён анализ пространственно-временной изменчивости характеристик приземных температурных инверсий по данным атмосферного зондирования и реанализа ERA5. Обнаружены систематические расхождения в повторяемости инверсий температуры воздуха, наибольшие из которых отмечаются летом. В мае – июне повторяемость инверсий по данным реанализа ниже наблюдаемой на 20–28 %, высота основания инверсии завышена на 260–335 м, а интенсивность инверсий в июле завышена на 2,2°C. Полученные результаты обосновывают необходимость использования аэрологических наблюдений для улучшения качества данных реанализа ERA5 в арктическом регионе, а также позволят более детально изучить структуру и динамику температурных инверсий в Арктике, а также оценить их влияние на распределение и перенос аэрозолей в приземном слое атмосферы.

## **Влагосодержания атмосферы Западной Арктики по данным радиозондирований и радиометра водяного пара**

*А.П. Макшас<sup>1\*</sup>, И.И. Большакова<sup>1</sup>, О.Л. Жукова<sup>1</sup>, И.А. Махотина<sup>1</sup>,  
Г.Н. Ильин<sup>2</sup>, В.Ю. Быков<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург, Россия

\* *maksh@aari.ru*

Изложены основы метода измерения интегрального влагосодержания атмосферы (ИВА) и водозапаса облаков с помощью радиометра водяного пара (РВП) и алгоритм расчета влагосодержания свободной атмосферы по данным радиозондирований. На основе сравнения данных непрерывных измерений ИВА, проведенных в 2022–2024 годах с помощью РВП, развернутого на НИС «Ледовая база Мыс Баранова», и данных аэрологических зондирований показано, что максимальное расхождение между оценками средних за сезоны наблюдается зимой, когда влагосодержание атмосферы минимально. При значимом коэффициенте корреляции от 0,94 до 0,98 по данным РВП наблюдается некоторое завышение величины осредненного ИВА, от 3 % летом до 20 % зимой.

Выявлено практически синхронное изменение влагосодержания в слоях 1000–850 и 850–500 гПа от весны до осени (коэффициенты корреляции 0,82–0,85), что свидетельствует как об адвективном переносе относительно однородных по высоте воздушных масс, так и о достаточно интенсивном перемешивании на границе пограничного слоя

атмосферы и нижней тропосферы. Исключение представляет зимний сезон, когда коэффициент корреляции между слоями не превышает 0,67. Вероятно, это связано с наличием преимущественно устойчивого пограничного слоя зимой, обусловленного радиационным выхолаживанием подстилающей поверхности.

Анализ данных РВП, осредненных за каждый час, не выявил суточного хода величины ИВА даже в июле, месяце максимального суточного хода солнечной радиации, что важно при оценке адекватности сопоставления осредненных за сезон данных аэрологической наблюдений, выполняемых на сети станций в 0 GMT, но при разной высоте солнца. Данные РВП позволили также оценить связь основных составляющих теплового баланса подстилающей поверхности с ИВА и водозапасом облаков в зимний и летний сезоны.

Методика расчета ИВА по данным радиозондирований использована для оценки пространственно – временной изменчивости влагосодержания для станций, выполнявших аэрологические наблюдения в западном секторе Арктики в 2000–2025 годах, показавшей положительные тренды ИВА в летний сезон (до 0,246 кг/м<sup>2</sup>/год) и отрицательные (–0,08 кг/м<sup>2</sup>/год) на всех станциях за исключением побережья Гренландии — в зимний.

## **Зависимость сезонных прогнозов в Арктике от фаз арктического колебания**

*В.Ю. Целев\**

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

*\* v0010200@mail.ru*

Сезонное прогнозирование в Арктике осложнено дефицитом наблюдений и высокой изменчивостью климатической системы. Успешность прогнозов зависит от фазы Арктического колебания (АО) — основной моды естественной изменчивости атмосферы Северного полушария. Цель работы — количественно оценить связь индекса АО с метриками качества ансамблевых сезонных прогнозов температуры воздуха (T2m) и давления на уровне моря (SLP) в арктическом регионе и выявить различия в реакции гидродинамической модели CFSv2 и синоптико-статистического метода гомологов циркуляции на изменение интенсивности АО. В исследовании использованы хиндкасты CFSv2 и прогнозы, составленные по методу гомологов за период с 2010 по 2018 годы. Качество прогнозов оценивалось коэффициентом корреляции Пирсона (CORR) и коэффициентом геометрического подобия (RO), который рассчиты-

вается как доля узлов сетки с верно предсказанным знаком аномалии. Установлено, что качество прогнозов носит выраженный режимно-зависимый характер. В положительной фазе АО, при прогнозе поля SLP в зимний период, медианные значения CORR и RO возрастают, межквартильный размах сужается, а вероятность положительной корреляции увеличивается с 0,55 до 0,80. Однако при экстремально высоких значениях индекса ( $>1,5$ ) наблюдается снижение фазовой предсказуемости из-за опережения моделью эволюции циркуляционных процессов. Для T2m влияние АО слабее, а статистически значимые эффекты проявляются только зимой, когда адвекция играет заметную роль. Выявлены значимые отрицательные корреляции индекса АО с метриками качества прогнозов полей SLP в зимний период (коэффициент до  $-0,79$ ). Метод гомологов циркуляции менее чувствителен к экстремальным фазам АО и демонстрирует преимущество при отрицательной фазе за счёт возможности выявлять уникальные траектории процессов, тогда как модель CFSv2 эффективнее при умеренной положительной фазе АО. В летний сезон значимые связи практически отсутствуют. Таким образом, предсказуемость в Арктике является режимно-обусловленной характеристикой динамической устойчивости циркуляции. Это означает необходимость применения адаптивного подхода к комбинированию прогнозов: при ожидании отрицательной АО следует увеличить вес метода гомологов, при умеренной положительной АО веса модели CFSv2. При сильной положительной АО ( $>1,5$ ) рекомендуется снизить веса обоих методов и с большим весом учитывать климатологический прогноз. Фаза АО может служить индикатором ожидаемой надёжности сезонного прогноза в Арктике.

## **Многолетняя изменчивость вихревого меридионального атмосферного переноса тепла в Западную Арктику**

*И.А. Ильющенкова\**

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

*\* ilyushenkova@aari.ru*

Атмосферный меридиональный перенос энергии является ключевым механизмом, усиливающим потепление в Арктике. Он может быть представлен суммой вкладов, связанных с внутренней энергией (потoki явного и скрытого тепла), а также потенциальной и кинетической энергии, вклад которых сравнительно невелик. Перенос энергии в Арктику можно разделить на средний меридиональный (ячейки циркуляции)

и вихревой (синоптические процессы). Целью исследования является анализ вихревой составляющей атмосферного меридионального потока тепла. Рассчитан атмосферный меридиональный перенос тепла, поступающий в Арктику через широту  $66,5^\circ$  с.ш. в секторе от  $40^\circ$  з.д. до  $60^\circ$  в.д. за период 1948–2025 гг. Оценка многолетних трендов выполнена с использованием множественного теста Манна-Кендалла.

Анализ вихревой составляющей меридионального потока явного тепла показывает, что период с 1948 по 1970 гг. характеризовался стационарностью: тренды не были статистически значимыми. В период с 1971 по 2000 гг. наблюдались как положительные, так и отрицательные тенденции, однако значимые изменения фиксировались крайне редко. Период с 2000 по 2025 гг. характеризуется устойчивым ростом потока явного тепла, переносимого барическими образованиями. Наиболее выраженные положительные тренды наблюдаются для интервалов, начинающихся после 2010 г., со скоростью  $0,08\text{--}0,13$  ПВт за 10 лет. Анализ вихревой составляющей меридионального потока скрытого тепла демонстрирует, что в 1948–1995 гг. значения оставались относительно стабильными, тренды были статистически незначимыми. В 1996–2000 гг. появились первые признаки отрицательных тенденций, усилившихся после 2015 г. (до  $-0,01$  ПВт за 10 лет). В 2008–2013 гг. снижение ослабевало, а начиная с 2014 года отмечается переход к росту, который усиливается после 2021 г.

Полученные результаты указывают на значительные изменения вихревого атмосферного меридионального переноса тепла в Западную Арктику, после 2010 года фиксируется усиление вихревого переноса как явного, так и скрытого тепла, при этом отрицательные тенденции практически исчезают.

## **Значение гидрологических наблюдений в устьях крупных рек Арктики для оценки последствий климатических изменений**

*Е.В. Румянцева\*, О.В. Муждаба, М.В. Третьяков*

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

\* *rev@aari.ru*

Устьевые области рек Арктической зоны продолжают успешно осваиваться и активно вовлекаются в хозяйственную деятельность, зачастую даже более интенсивно, чем участки открытого моря. Планы развития Трансарктического транспортного коридора предполагают обновление портовой инфраструктуры, расположенной на устьевых участках рек

и устьевых взморьях. Кроме того, в устьевых областях рек Арктической зоны сосредоточены месторождения полезных ископаемых, что влечет за собой строительство объектов для их добычи, переработки и транспортировки. Одновременно с этим следует учитывать уникальность и уязвимость арктических экосистем, а также интересы коренных народов, связанные с традиционным природопользованием.

Практическая значимость гидрологических наблюдений в устьевых областях рек заключается в оценке и прогнозе состояния окружающей среды для обеспечения транспортной, экологической и экономической безопасности. Фоновые регулярные наблюдения на государственной сети станций и постов в устьевых областях дают основу для оценки последствий климатических изменений для водных объектов.

Современное состояние гидрологической сети в устьевых областях рек Арктической зоны оценивается авторами как критическое. По состоянию на 2025 г. из 19 устьевых областей больших рек, впадающих в арктические моря, измерения расходов воды на замыкающих створах рек в европейской части Арктики проводятся на реках Онега, Северная Двина и Мезень, на замыкающем створе Печоры (с. Оксина) наблюдения прекращены в 2023 г. из-за отсутствия специалистов-гидрологов. На сибирских реках надежные и качественные наблюдения за водным стоком ведутся лишь на Оби и Оленьке, на остальных реках отсутствуют с конца 1990-х годов, что приводит к серьезным трудностям при оценке климатических изменений стока и водных ресурсов.

В ААНИИ разработаны комплексные программы гидрологических наблюдений в устьевых областях Оби, Енисея, Пясины, Хатанги, Лены и Анадыря, основанные на их гидролого-морфологического районировании. В условиях дефицита кадров, дороговизны содержания плавсредств и ряда других проблем развитие наблюдений в устьевых областях Арктической зоны может быть обеспечено путем организации комплексной арктической устьевой гидрологической экспедиции, которая взяла бы на себя функции Росгидромета в части ведения мониторинга этих объектов.

## **Крах научной дипломатии как новая геополитическая реальность**

*Д.А. Кунгурова\**

*Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия*

*\* d.kungurova.sas@yandex.ru*

Парадокс современной Арктики заключается в том, что таяние льдов открывает новые транспортные пути и доступ к ресурсам, но одновременно подрывает фундамент мирного научного сотрудничества,

заложенный в эпоху Горбачёва. Вопреки идее «зоны мира», провозглашённой в Мурманске в 1987 году, Арктический совет — институт, сознательно исключивший военную безопасность из своей повестки (Оттавская декларация), — оказался парализован после 2022 года. Отсюда возникает необходимость пересмотреть сам принцип арктической геополитики. В своём докладе я предлагаю тезис: геополитика Арктики более не определяется географическим положением или границами прибрежных государств. Решающим фактором становится способность доступа к данным о регионе, их контроля, интерпретации и влияния на информационные потоки. На смену «арктической исключительности» приходит парадигма двойного назначения (dual-use), в рамках которой научные исследования инструментализируются как стратегический ресурс в государственной конкуренции. Особое внимание уделяется феномену «околоарктического» игрока — Китая, который рано осознал, что научные исследования являются легитимным средством участия в управлении Арктикой. Нарращивая флот ледового класса и станции на Шпицбергене, Пекин обходит геополитические барьеры, не имея собственной арктической береговой линии. Одновременно анализ карты военных баз и заявлений НАТО о ядерном оружии на Кольском полуострове демонстрирует сдвиг фокуса с мирного регулирования на защиту от соседа, что ведёт к милитаризации. Возможные векторы развития включают три сценария: конкурентную поляризацию (наука как продолжение политики силой), прагматичный минимализм (точечное сотрудничество в области безопасности мореплавания) и технократический прорыв (замена наземного взаимодействия ИИ и спутниковыми группировками). Исходя из вышесказанного, будущее Арктики будет определяться не столько таянием льдов, сколько тем, кто создаёт алгоритмы для их интерпретации. Выживание научной дипломатии зависит от способности реформатировать экспертное знание из оружия в мост.

# ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В АРКТИКЕ

## Обмен между Атлантикой и Арктическим бассейном в современных условиях:

### изменения, причины и последствия для климата

*Г.В. Алексеев*<sup>1\*</sup>, *И.М. Ашик*<sup>1</sup>, *В.В. Иванов*<sup>1,2</sup>, *А.Ю. Ипатов*<sup>1</sup>,  
*М.С. Махотин*<sup>1</sup>, *К.В. Фильчук*<sup>1</sup>, *Ю.В. Узрюмов*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ГИЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
Москва, Россия

\* alexgv@aari.ru

Атлантическая меридиональная опрокидывающая циркуляция — система поверхностных и глубинных течений в Атлантическом океане, благодаря которой обеспечивается более мягкий климат в северной Европе по сравнению с расположенной в той же широтной зоне Гренландией. Существующие палеоклиматические исследования указывают, что ослабление АМОЦ способно привести к похолоданию, подобному наблюдавшемуся в «малый ледниковый период» XIV–XIX веков в Европе. Результаты численного моделирования, дают разбросы в оценках изменчивости АМОЦ — от отсутствия ослабления до конца нынешнего века до коллапса к 2050 г. Основываясь на результатах этих экспериментов, можно считать, что триггером, обеспечивающим бифуркацию между крайними режимами АМОЦ, является поступление в систему пресной воды извне. При этом, согласно тем же экспериментам, не выявлено ни одного механизма отрицательной обратной связи, которая могла бы нивелировать воздействие избыточного поступления пресной воды. С учетом изложенного, роль Северного Ледовитого океана в формировании циркуляции вод в Северной Атлантике, как основного источника пресной воды для этой акватории, выходит на первый план. Известно, что после ряда аномально теплых лет в Арктике в конце 1950-х в Северной Атлантике в конце 1960-х гг. сформировалась так называемая Великая Соленостная Аномалия — заметное опреснение вод в Субполярном круговороте, сопровождавшаяся похолоданием. Возможно ли повторение аналогичного события? Известно, что с середины 1990-х гг. в Канадском

секторе СЛО (круговорот Бофорта) наблюдается беспрецедентное накопление опресненных вод. Подтверждения возможности такого развития событий содержатся в недавно опубликованных результатах модельных экспериментов В.В. Иванов (2024) и К. Ванг (2024).

В начале 1990-х годов в климатической системе Арктики произошел сдвиг в сторону потепления, которое сопровождалось изменениями температуры и солености водных масс Арктического бассейна под влиянием возросшего притока воды из Атлантики, увеличения стока рек, осадков и таяния льда. Выполненные оценки показывают, что содержание пресной воды (СПВ) в верхнем слое Арктического бассейна в 1990–2000-е годы понизилось в Евразийской и выросло в Американо-Арктической частях бассейна. В среднем во всем бассейне преобладал рост из-за большего вклада Американо-Арктической части, занимающей 61 % площади бассейна. Наибольшее содержание пресной воды во всем бассейне отмечено в 1960-е годы, предшествующие отрицательной солёностной аномалии в Северной Атлантике в 1968–1982 годах. Сокращение СПВ в Евразийском бассейне происходило параллельно с увеличением притока атлантической воды и осолонения верхнего 100-метрового слоя вопреки росту осадков и речного стока. Накопление пресной воды происходит в круговороте Бофорта, где СПВ в слое 0–100 м увеличилось в 2000–2010-х годах на 36 %, а в слое 0–50 на 46 %. Ученые нашли, что многолетние изменения содержания пресной воды в Арктическом бассейне с начала XX-го столетия и до 2000-х годов соответствуют повышению и понижению температуры в слое воды атлантического происхождения в Арктическом бассейне. Другие ученые в результате модельных расчетов получили, что приток атлантической воды (АВ) может объяснить большую часть изменчивости СПВ в верхних 1000 м в модели без учета притоков пресной воды.

Таким образом, наблюдения за характеристиками слоя АВ в Арктическом бассейне информативно не только для оценки температуры и объема АВ, но также изменений содержания пресной воды. Благодаря работам В.Т. Тимофеева (1963), А.Ф. Трёшникова и Г.И. Баранова (1972), Е.Г. Никифорова и А.О. Шпайхера (1980) и советским океанографическим съёмкам Арктического бассейна в 1973–1979 гг. построены климатические распределения характеристик слоя АВ (Атлас Арктики, 1985; EWG Atlases, 1990), которые могут служить основой для интерполяции наблюдений в отдельных точках бассейна. Оценки содержания пресной воды и особенно ее стока в Атлантику требуют постоянных измерений потоков и запасов пресной воды особенно в «буферной зоне», прилегающей к берегам Канадского

архипелага и Гренландии, где наблюдения дрейфующей платформы невозможны. В то же время наблюдения в отдельных точках Арктического бассейна, в проливе Фрама и на разрезе Кольский меридиан позволяют проследить распространение и температуру в ядре АВ по данным исторических наблюдений и современных измерений в режиме мониторинга и обнаружить ослабление притока АВ или его отсутствие.

Таким образом, океанографические исследования, выполняемые в Арктическом бассейне Северного Ледовитого океана, в том числе и на дрейфующих станциях «Северный полюс», являются важнейшим источником информации, позволяющей оценивать не только состояние вод СЛО, но их влияние на динамику североатлантического термохалинного конвейера, согревающего северную Европу и приатлантическую Арктику.

## **Особенности пространственно-временной изменчивости температуры атлантических вод в западной части бассейна Нансена и их проявление в состоянии ледяного покрова**

*В.В. Иванов<sup>1,2\*</sup>, К.В. Фильчук<sup>2</sup>, М.В. Карпов<sup>2</sup>, С.М. Ковалев<sup>2</sup>, Д.Д. Ризе<sup>2</sup>,  
С.В. Павский<sup>2</sup>, Е.В. Афанасьева<sup>2</sup>, А.А. Соколов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
Москва, Россия*

<sup>2</sup> *ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

\* *vladimir.ivanov@aari.ru*

Несмотря на значительно возросшее количество данных гидрологических измерений в Северном Ледовитом океане в последние 20 лет, по сравнению с предшествующим периодом времени, большая их часть по-прежнему приходится на летний сезон (июль – сентябрь), когда условия навигации наиболее благоприятные. Представленные в докладе данные гидрологических наблюдений составляют редкое исключение, поскольку были собраны в середине зимнего сезона (с декабря 2023 по апрель 2024 г.) вблизи континентального склона к северу от Земли Франца Иосифа (ЗФИ) и к северу от Шпицбергена в первой экспедиции («Северный Полюс-41») на дрейфующей Ледостойкой самодвижущейся платформе (ЛСП) «Северный Полюс». Благодаря удачному сочетанию районов и времени выполнения измерений, они позволили проследить пространственно-временную изменчивость температуры и солёности промежуточной водной массы атлантического происхождения (АВ) между сезонными пиками потепления и похолодания,

временные границы которых были установлены по историческим записям с автономных буйковых станций в 2000–2010-е гг. Сопоставление гидрологических данных с контактными измерениями толщины льда на примыкающем к ЛСП ледовом полигоне позволило количественно оценить вклад теплового потока из водной толщи в зимнее таяние льда. С учетом выявленных закономерностей были конкретизированы необходимые условия, обеспечивающие возрастание теплового воздействия АВ на ледяной покров (атлантификацию) в западной части бассейна Нансена в середине зимнего сезона.

## **Неоднородность пространственно-временной эволюции теплозапаса вод Северного Ледовитого океана**

*А.В. Даньшина<sup>1\*</sup>, В.Ю. Чанцев<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

*\* danshina@aari.ru*

Рассматриваются особенности распределения теплозапаса в бассейне Северного Ледовитого океана в трех его слоях: 0–150 м, 150–800 м, 800 м – дно. Выделенные слои характеризуют теплообмен с атмосферой (слой 0–150 м), проникновение атлантических вод в бассейн Северного Ледовитого океана (слой 150–800 м) и придонные воды (слой 800 м – дно). Исследование построено на оценке трендов плотности теплозапаса и его многолетних аномалий, рассчитанных по данным величин температуры и солёности океанского реанализа GLOBAL\_MULTY\_YEAR\_PHY\_001-030 ([https://data.marine.copernicus.eu/product/GLOBAL\\_MULTY\\_YEAR\\_PHY\\_001\\_030/description](https://data.marine.copernicus.eu/product/GLOBAL_MULTY_YEAR_PHY_001_030/description)) за период с 2000 г. по 2025 г.

Проведенное исследование показало наличие неоднородности в пространственном распределении межгодовой тенденции аномалий теплозапаса. Распределение пространственной неоднородности значительно отличается по выделенным слоям. Если в поверхностном слое в большей степени прослеживается тенденция к увеличению теплозапаса в течение рассматриваемого периода, то в промежуточном и придонном слоях преобладает отрицательная тенденция в формировании аномалий теплозапаса.

Положительные тренды аномалии теплозапаса в поверхностном слое преобладают в западной части Норвежско-гренландского бассейна, по пути проникновения атлантических вод, в Баренцевом и Карском морях, распространяясь в Канадскую котловину.

Российские шельфовые моря Северного Ледовитого океана, такие как море Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотские моря находятся под действием отрицательных трендов аномалии теплозапаса поверхностного слоя.

В промежуточном и придонном слоях отрицательный тренд аномалии теплозапаса распространяется на всю центральную часть Северного Ледовитого океана, при этом придонный слой Норвежско-Гренландского бассейна, наоборот, подвержен увеличению теплозапаса. В промежуточном слое положительный тренд аномалий теплозапаса прослеживается вдоль пути проникновения атлантических вод вплоть до моря Лаптевых.

Работа выполнена в рамках плановой научной тематики ААНИИ по теме 5.1 плана НИТР Росгидромета 2025–2029 гг. (рег. номер в ЕГИСУ НИОКТР: 125040704938-7).

## **Межгодовая изменчивость летних тихоокеанских вод в Арктическом бассейне Северного Ледовитого океана**

*М.С. Махотин\*, Л.А. Тимохов, Н.В. Лебедев*

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия*

*\* makhotin@aari.ru*

Наблюдающиеся в последние десятилетия повышение температуры воды наблюдается не только в поверхностном слое Северного Ледовитого океана (СЛО), но и в нижележащих слоях и, в том числе, в слое летних тихоокеанских вод (ЛТВ), поступающих в Чукотское море через Берингов пролив в летний период и являющиеся дополнительным источником тепла и биогенных элементов в СЛО. Распространяясь по Арктическому бассейну, ЛТВ отдают свое тепло ниже- и верхележащим слоям, оказывая влияние на температуру поверхностного слоя и толщину ледяного покрова.

На основе натуральных измерений и данных реанализа (продукт GLORYS12V1) в период с 1993 по 2025 гг. были рассчитаны основные характеристики ЛТВ в Арктическом бассейне СЛО (толщина, залегание верхней и нижней границ, площадь распространения, объем и теплозапас).

Наибольшие значения теплосодержания и толщины ЛТВ наблюдались в юго-западной части Канадской котловины и уменьшались по мере удаления от Берингова пролива, достигая минимума в котловине Макарова. В распространении глубин залегания слоя ЛТВ наблюдалась

тенденция поднятия нижней (с 125 до 100 м глубины) и опускания верхней (с 50 до 85 м глубины) границ при продвижении от Канадской котловины к хребту Ломоносова и котловине Макарова.

Было показано, как в зависимости от режима атмосферной циркуляции изменяется конфигурация границы распространения ЛТВ. Так в 2009 г. под действием сильного антициклона наблюдалось аномальное распространение ЛТВ практически по всей территории Американо-Азиатского суббассейна вплоть до хребта Ломоносова. Увеличение площади распространения компенсировалось, главным образом, за счет уменьшения средней толщины слоя ЛТВ.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-17-00041.

## **Фронтальная зона распространения Тихоокеанских водных масс в Арктическом бассейне**

*И.А. Гангнус<sup>1\*</sup>, В.В. Иванов<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
Москва, Россия*

<sup>2</sup> *ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

*\* igangnus@gmail.com*

Тихоокеанские водные массы, проникающие через Берингов пролив в Северный ледовитый океан, распространяются в центральном Арктическом бассейне подповерхностных слоев в галоклине, служащим естественным барьером для вертикального водообмена распресненных поверхностных вод с нижележащими, богатыми биогенными веществами. На границе ареала распространения Тихоокеанских вод формируется особая фронтальная зона, характеризующаяся в первую очередь, подъемом изогалин и локальным увеличением концентраций биогенных веществ в поверхностном слое вследствие перемешивания с тихоокеанскими водами и, тем самым, усиливая потенциальную биологическую продуктивность.

В работе использованы данные по термохалинным и гидрохимическим характеристикам, собранные в экспедициях NABOS-2021 на борту НЭС «Академик Трешников», на СП-41 на ледостойкой платформе «Северный полюс», сезонной дрейфующей станции СП-2015, а также — избранные данные из базы GLODAPv2.2023.

По результатам анализа выявлено, что величина солености, соответствующая слою с максимумом биогенных веществ, характеризующего

тихоокеанские воды в районе фронтальной зоны их распространения, может быть как меньше, так и больше средней (33 епс). В районе исчезновения максимума биогенных веществ в слое галоклина отмечается увеличение их содержания, в первую очередь, кремния, в поверхностном слое, при одновременном уменьшении солености и вертикальных ее градиентов за счет выравнивания вертикального профиля. Недостаток нитратов относительно фосфатов (минимум N\*), которым характеризуются тихоокеанские воды, в этом районе также отмечается, как в слое верхнего галоклина, так и на поверхности, что подтверждает их смешение друг с другом. Таким образом, во фронтальной зоне распространения тихоокеанских вод выделяются две границы: области распространения тихоокеанских вод в галоклине при характерных для них величинах солености и зоны влияния тихоокеанских вод на характеристики галоклина и поверхностного слоя при более высоких или низких величинах солености.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 24-17-00041.

## **Особенности гидрохимической структуры вод котловины Подводников по данным экспедиции «Северный полюс-42»**

*И.Б. Сиваченко\*, А.Е. Новихин*

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

*\* [ibsivachenko@aari.ru](mailto:ibsivachenko@aari.ru)*

В ходе гидрохимических исследований с борта ЛСП «Северный полюс» получены новые данные о распределении биогенных элементов в центральной Арктике. Субмеридиональный маршрут дрейфа охватывал южную оконечность хребта Ломоносова, котловину Подводников и западный склон поднятия Менделеева. В работе описываются результаты гидрохимических наблюдений за период с октября 2024 г. по март 2025 г., описывающих преимущественно условия полярной ночи.

По данным наблюдений выявлена сильная отрицательная корреляция между содержанием растворенного кислорода и минеральными формами азота ( $r = -0,89$ ), а также умеренная отрицательная связь с фосфатами ( $r = -0,69$ ), что указывает на типичный для данного сезона процесс реминерализации органического вещества. Около нулевые значения хлорофилла ( $10^{-3}$ – $10^{-2}$  мг/л) в исследуемых горизонтах демонстрируют отсутствие фотосинтеза и преобладание процессов деградации органики.

Над районом хребта Ломоносова водные массы характеризуются пониженным содержанием силикатов, что согласуется с историческими данными и идентифицирует их как воды Евразийского бассейна. Вместе с тем обращает на себя внимание обедненная силикатами толща воды над восточными склонами хребта вплоть до глубин ~2500 м. Предполагается, что обедненные силикатами воды из нижней части слоя атлантических вод (на глубинах около 800 м) с западной стороны хребта «затягиваются» и перетекают через гребень, следуя изопикнической поверхности. Так по данным термохалинного профилирования, над хребтом на уровне 500–1500 м формируется область пониженной консервативной температуры ( $-0,5 \dots +0,1$  °C). С восточной части хребта на тех же глубинах наблюдается квазивертикальная область повышенных значений температуры ( $-0,2 \dots +0,5$  °C), что формирует плотностной барьер, препятствуя дальнейшему горизонтальному распространению вод Евразийского бассейна в котловину Подводников.

В районе поднятия Менделеева фиксируется повышение содержания биогенных элементов (силикатов, валового и минерального фосфора) в слое поверхностных вод (10–80 м) при одновременном понижении солености. Это согласуется с данными СП-41 и указывает на возможное нахождение в этом районе вод тихоокеанского происхождения, распространяющихся в центральный бассейн СЛО через Берингов пролив.

## **Сезонная динамика карбонатной системы и оценка потоков $\text{CO}_2$ в системе океан–атмосфера по данным дрейфа «Северный полюс-42»**

*Н.К. Алексеева\*, Н.А. Лис, И.Б. Сиваченко*

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

*\* [nkalekseeva@aari.ru](mailto:nkalekseeva@aari.ru)*

Северный Ледовитый океан играет ключевую роль в глобальном углеродном цикле, однако сезонные данные о карбонатной системе в высоких широтах крайне ограничены. Заполнение этого пробела необходимо для понимания механизмов закисления океана, оценки буферной ёмкости арктических вод и верификации климатических моделей. На основе гидрологических и гидрохимических данных дрейфа СП-42 (октябрь 2024 – август 2025) рассчитаны параметры карбонатной системы в приполюсном районе и оценен потенциальный поток  $\text{CO}_2$  на границе океан–атмосфера с учётом сплочённости льда. Используются данные прямых измерений pH (pH-метр HANNA HI 2002-02), общей щёлочности (ТА, титрование на Metrohm Ti Touch 916), солёности,

температуры. Параметры карбонатной системы, а также степень насыщенности вод арагонитом ( $\Omega_{Ar}$ ), фактор Ревеля — показатель буферной емкости были рассчитаны в программном пакете CO2calc v1.4.0 (константы Mehrbach et al., 1973). Оценка потока  $CO_2$  выполнена с учётом данных о сплочённости льда. Выявлена выраженная сезонная динамика карбонатной системы. Осенью наблюдалось консервативное поведение TA/S ( $R^2 = 0,30$ ), вертикальная стратификация, а ниже 1700 м были зафиксированы коррозионные условия ( $\Omega_{Ar} < 1$ ). Зимой, при изоляции под ледяным покровом, происходило накопление  $CO_2$  ( $pCO_2$  до 535 мкатм) и подкисление (рН до 7,97) при ослаблении связи TA/S ( $R^2 = 0,19$ ). Весной отмечено усиление консервативного смешения ( $R^2 = 0,47$ ) и нетипичное увеличение  $\Omega_{Ar}$  с глубиной. Летом наблюдалась дестабилизация TA/S ( $R^2 = 0,26$ ), формирование глубинного максимума  $pCO_2$  (550–750 мкатм) и минимум  $\Omega_{Ar} = 0,5$ . Буферная ёмкость снижалась с глубиной во все сезоны. Рассчитан потенциальный поток по градиенту  $pCO_2$  (вода–атмосфера), однако реальная скорость газообмена остаётся неопределённой. Таким образом, по материалам дрейфа СП-42 получен непрерывный сезонный ряд параметров карбонатной системы высокоширотной Арктики. Установлено, что зимнее подкисление и летний коррозионный горизонт являются критическими режимами функционирования системы. В то же время оценка реального потока  $CO_2$  в условиях сплочённости льда 65–100 % сталкивается с фундаментальным ограничением: ледяной покров физически блокирует турбулентный газообмен, позволяя рассчитать лишь потенциальный поток по градиенту  $pCO_2$ .

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 24-17-00041.

## **Исследование Обско-Енисейского плюма в проливе Шокальского**

*В.А. Меркулов\*, А.Д. Морковских, Н.А. Иванов*

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

*\* [vamerkulov@aari.ru](mailto:vamerkulov@aari.ru)*

В проливе Шокальского, на НИС «Ледовая база Мыс Баранова» с 2014 года проводятся океанографические исследования. Исследования направлены на изучение гидрологического режима данной акватории, и наличие научно-исследовательской станции даёт возможность максимально интенсивно проводить такие исследования.

По данным предыдущих лет в проливе Шокальского отмечалось наличие 3 основных водных масс, расположенных в различных его частях. Термохалинные исследования, проводимые здесь с 2014 года, показали,

что в 30-метровом поверхностном слое в зимнее время в основном наблюдаются воды, с температурой, близкой к температуре замерзания, и солёностью равной 32–33 ‰.

В декабре 2024 года солёность и температура поверхностного слоя пролива были близки к нормальным значениям. Из-за процессов ледообразования температура подлёдного слоя воды колебалась около температуры замерзания ( $-1,8$  –  $-1,7$  °С), солёность была равна 32,5 ‰. В начале января 2025 года солёность стала постепенно понижаться. К середине января она была уже ниже 31 ‰, а в начале февраля опустилась до 30. По результатам гидрохимических измерений, концентрации кремния в поверхностном слое пролива Шокальского доходили до 556,59 мкг/л (31.03.2025) при том, что границей распространения речных вод является изолиния 250 мкг/л кремния. Кроме того, до середины мая отмечается тенденция к росту силикатов в поверхностном слое морской воды.

По данным с измерителей течений было обнаружено, что в моменты сильного распреснения происходило усиление адвективного переноса воды с юга на север. Это, а также результаты гидрохимических измерений, доказывает тот факт, что данные воды поступали в пролив из Карского моря, и скорее всего они являются трансформированными речными водами из Оби и Енисея.

В докладе будет подробно рассказано о результатах исследования пресноводного обско-енисейского плюма, проникшего в пролив Шокальского зимой 2025 года.

## **Особенности гидролого-гидрохимического режима морей западной Арктики (Баренцево, Карского)**

*К.В. Артамонова<sup>1\*</sup>, О.Н. Лукьянова<sup>2</sup>, И.А. Гангнус<sup>3</sup>,  
В.В. Иванов<sup>3</sup>, А.А. Сумкина<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия*

<sup>2</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширинова РАН, Москва, Россия*

<sup>3</sup> *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

\* *ksusha.vniro@gmail.com*

В работе проанализированы гидролого-гидрохимические условия Баренцева и Карского морей по данным собственных экспедиций, полученных на океанографических разрезах в 93-м (2023 г.) и 96-м рейсах (2024 г.) НИС «Академик М. Келдыш», данных, полученных в ходе экспедиции Трансарктика-2019 на НЭС «Академик Трешников», а также информации из открытых источников. С 2003 по 2023 гг. рассмотрено

изменение положения кромки льда Баренцева моря, при этом с 2003 г. существенных продвижений ее на север не выявлено.

По полученным данным проанализирована структура вод Баренцева моря, для которой характерна сильная пространственная изменчивость: на западе — вся толща вод представлена теплыми и солеными атлантическими водами, для которых характерно более низкое содержание растворенного кислорода и более высокие концентрации нитратов; в центральной части хорошо прослеживаются трансформированные атлантические и баренцевоморские воды (с более низкой температурой и соленостью и более высоким содержанием растворенного кислорода), на северо-востоке моря нами были зафиксированы затоки трансформированных теплых атлантических вод, на севере — арктические воды с минимальной температурой и более низкой по сравнению с баренцевоморскими соленостью. На повторяющихся разрезах оценена сезонная и межгодовая изменчивость гидролого-гидрохимических характеристик.

В северо-западной части Карского моря (в районе жёлоба Святой Анны) был зафиксирован заток трансформированных атлантических вод, с ядром на глубине 150–300 м. В жёлобе Воронина — заток атлантических вод не прослеживался, вся толща глубже верхнего прогретого слоя характеризовалась отрицательными температурами. В центральной и южной частях Карского моря по всем гидролого-гидрохимическим характеристикам хорошо прослеживался заток распреснённых вод, при этом в августе 2024 г. линза вод с соленостью от 4 до 13 епс распространялась из Обской губы на северо-запад и затем фиксировалась вдоль западного побережья о-ва Белый.

## **Седиментогенез на хребте Альфа по результатам экспедиции «Северный полюс-42»**

*А.А. Крылов<sup>1,2\*</sup>, С.А. Малышев<sup>1</sup>, Е.С. Миролюбова<sup>1</sup>, Е.С. Овсянникова<sup>1,2</sup>,  
Е.А. Гусев<sup>1</sup>, Д.В. Элькина<sup>1</sup>, Т.И. Хоснуллина<sup>1,2</sup>, А.Ю. Ипатов<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *Всероссийский научно-исследовательский институт геологии  
и минеральных ресурсов Мирового океана им. академика И.С. Грамберга,  
Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup> *Институт Наук о Земле, СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>3</sup> *ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

*\* akrylow@mail.ru*

Станция «Северный полюс-42» была открыта 30 сентября 2024 года в Северном Ледовитом океане и продолжает работу до настоящего времени. Геологический пробоотбор осуществляется с помощью 6-и метровой

грунтовой прямоточной трубки, дночерпателя «Океан» и скальной драги. На борту проводится комплекс геологических исследований: литологическое описание керна и его опробование на разные виды анализов, отбор донно-каменного материала, измерения магнитной восприимчивости, дозиметрия, отбор и измерение газовой фазы осадков, изучение смер-слайдов с помощью петрографического микроскопа, а также отмывок алевро-песчаной фракции с помощью бинокля. В стационарной лаборатории ФГБУ ВНИИОкеангеология проводится отбор образцов для палеомагнитных измерений и детальное опробование разреза для изучения грунулометрического и вещественного состава осадков.

Наиболее интересный материал был получен на хребте Альфа — одном из наименее изученных районов центральной части СЛО. Основная информация о его строении была получена в 60–70-е годы прошлого века американцами с дрейфующего ледяного острова Т-3, и в 1983 году канадцами во время проведения дрейфующего эксперимента CESAR. После указанных работ данный регион исследовался геологами лишь фрагментарно.

Донные отложения хребта Альфа состоят из чередующихся слоёв с коричневыми и оливковыми цветовыми оттенками. Коричневые слои накапливались в тёплые климатические эпохи, а оливковые — в холодные. Как правило, на контакте между оливковыми и коричневыми слоями наблюдалось повышенное количество псефитового материала, что связано с процессами дегляциации и массовым таянием паковых льдов и айсбергов на границе между периодами оледенений и межледниковий.

Результаты набортных газо-геохимических исследований впервые показали наличие повышенных содержаний углеводородных газов, что свидетельствует о генерации и миграции здесь катагенетических углеводородов. Их источником являются биокремнистые отложения, накопленные в регионе с кампана-маастрихта до конца эоцена.

# МОРСКИЕ ЭКОСИСТЕМЫ

## Проявление антропогенного влияния на донные экосистемы Арктического бассейна по данным дрейфующей станции СП-42 (2025–2026)

*Н.Е. Журавлева\**

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

*\* nezhuravleva@aari.ru*

В последние годы на водные экосистемы Арктики сильно возросла антропогенная нагрузка в связи с усилением транспортного и туристического потока. Введенные меры противодействия загрязнению окружающей среды, содержащиеся в приложении V к Конвенции МАРПОЛ, не в состоянии предотвратить попадание в океан фрагментов краски, металла и пластика с корпусов судов во время движения и перенос твердых загрязнителей с дрейфом льда.

За период с 14.09.2025 по 14.04.2026 с борта ЛСП «Северный полюс» было отобрано 36 количественных проб грунта дночерпателем Ван Вина и 15 проб малой драгой. Район работ охватил участок котловины Амундсена и сопредельный склон хребта Ломоносова протяженностью около 420 км. В верхних слоях (3–5 см) грунта выявлены частицы мусора (фрагменты древесины, краски, пластика, синтетического ворса, металла). Отмечены случаи использования гидробионтами чужеродных элементов грунта. Среди многощетинковых червей (Polychaeta), обычно применяющих раковины пелагических фораменифер (Foramenifera) для инкрустации своих трубок, были обнаружены экземпляры, использовавшие в этих целях фрагменты окисленного железа и синтетических волокон. Среди мшанок (Bryozoa) и гидроидных полипов (Hydrozoa), нуждающихся в твердом субстрате для оседания их личинок, отмечены случаи использования в качестве субстрата фрагментов пластика и краски, имеющих шероховатую поверхность. В пробах грунта, с преобладанием разрушающейся древесины в непромываемой осадочной фракции, численность гидробионтов заметно выше, чем в пробах с аналогичными характеристиками, но с меньшей долей древесины. Подобные находки не являются показателем явной угрозы для донных сообществ, но на данном этапе сложно прогнозировать последствия дальнейшего

накопления различных чужеродных элементов осадков в Арктическом бассейне с его довольно стабильной абиссальной экосистемой. Масса мусора (кроме древесины) пока не превышает 1 г/кв.м дна. Наибольшее обилие мусора наблюдалось в пробах из глубоководной части котловины Амундсена с максимумом у подножия склона хребта Ломоносова, где состав гидробионтов и грунта указывают на наличие придонного течения, спускающегося с хребта. С уменьшением глубин на склоне мусор встречается все реже. Накопление инородных элементов в грунте будет, по всей вероятности, продолжаться, и для оценки возможных трансформаций донных экосистем как в отношении видового разнообразия и численности гидробионтов, так и их топических и трофических связей необходимо продолжение мониторинга и исследований.

## **Новейшие данные о планктонных сообществах Арктического бассейна по материалам круглогодичных наблюдений дрейфующей станции СП-41 (2022–2024)**

*К.Н. Кособокова<sup>1</sup>, И.В. Берченко<sup>2</sup>, О. Зимина<sup>3,4,2</sup>*

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

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

<sup>3</sup> *ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>4</sup> *Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия*

*\* xkosobokova@ocean.ru*

Центральная глубоководная часть Северного Ледовитого океана — Арктический Бассейн (АБ) — одно из самых экстремальных местобитаний морских организмов и быстро меняющихся океанических районов на Земле. Прогнозируется, что сокращение площади многолетних льдов, возрастание доли сезонных льдов и доли свободных ото льда водных пространств может привести в ближайшее время к изменениям функционирования экосистемы пелагиали АБ. Зоопланктонные сообщества АБ интенсивно исследовались в последние три десятилетия благодаря экспедициям научно-исследовательских ледоколов. Традиционно эти исследования осуществлялись в «летний» период с июня по октябрь, когда наиболее разреженный лед и световой режим благоприятствуют заборным работам. Наблюдения за морскими сообществами Арктики в остальную часть года, к сожалению, оставались единичными. Программа биологических работ во время долгосрочного дрейфа ледостойкой платформы «Северный Полюс» в Северном Ледовитом океане с 2022 г. предоставила исключительную возможность

для осуществления круглогодичных наблюдений за планктонными сообществами АБ, что в современных условиях необходимо для слежения за изменениями в арктической биоте под влиянием климатических изменений. В данной работе представлены первые результаты изучения современной структуры планктонных сообществ АБ в районе дрейфа станции СП-41 с октября 2022 г. по январь 2024 г. Сбор зоопланктона проводили раз в 10 дней послойно до глубины 100 м и раз в месяц послойно облавливали всю водную толщу до дна. Всего за этот период было выполнено 29 станций до глубины 100 м и 14 глубоководных станций. Первые результаты обработки материала из поверхностного слоя 0–100 м показали ярко выраженные сезонные изменения обилия зоопланктона, сводящиеся к резкому снижению биомассы в период с февраля по июнь. Высказаны две гипотезы, объясняющие обнаруженные изменения. С одной стороны, снижение биомассы может быть связано с обычными сезонными миграциями массовых видов зоопланктона на глубины более 100 м на зимний период. С другой, низкая биомасса в этот период может быть отражением региональных различий в распределении зоопланктона в пределах исследованной акватории.

## **Исследование годовой динамики вертикальной структуры ледовой фауны по данным дрейфующей станции «Северный полюс-42» (2024–2025)**

*Я.П. Процюк\**

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия  
Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия*

*\* Iaroslava.Protciuk@zin.ru*

На протяжении долгого времени ледовые организмы оставались вне поля зрения исследователей. Лишь с середины XIX в. начали изучать ледовую флору, а о ледовой фауне заговорили только с середины XX в. На данный момент известно более 2000 видов организмов, ассоциированных со льдом: вирусы, бактерии, археи, микроводоросли, грибы, простейшие и беспозвоночные. Они населяют систему каналов и капилляров в толще льда.

В последние два десятилетия отмечается уменьшение площади ледяного покрова, изменение его возрастного состава, а вместе с этим изменения состава ледовых сообществ. Данное исследование направлено на уточнение таксономического состава и вертикальной структуры ледовой фауны.

В экспедиции «Северный полюс-42» в период с октября 2024 по июль 2025 гг. проводился ежемесячный послойный отбор кернов для изучения

сезонной динамики обилия и состава криофауны. Ледяные керны отбирали на двух полигонах, расположенных на расстоянии одного километра друг от друга, толщина варьировалась от 23 до 205 см. Сегменты кернов плавляли в темном прохладном помещении, затем талую воду фильтровали. Полученный материал просматривали в стереоскопическом микроскопе: определяли таксономический состав животных и проводили количественный учет всех многоклеточных организмов.

В составе ледовой фауны были зарегистрированы две таксономические группы: Nargasticoida и Rotifera. По численности преобладали гарпактикоиды. Животные встречались в нижнем и среднем горизонтах (до 80 см) ледяного керна с максимальным обилием в нижней его трети (0–30 см).

В частности, обнаружено распределение, которое может быть оценено как адаптация науплиевой стадии одного из представителей Nargasticoida к периоду цветения водорослей. В тоже время, характерный для Арктического бассейна таксон Nematoda, описанный ранее в других работах, обнаружен не был.

Полученные результаты помогут уточнить вертикальную стратификацию ледовой фауны, а также оценить степень уязвимости ледового сообщества к климатическим изменениям и связанными с ним изменениям возрастного состава ледяного покрова.

Работа поддержана темой № 125012800889-2 госзадания ЗИН РАН.

## **Deep-water gastropods of the Central Arctic Ocean and bathymetric faunal transitions across the Arctic deep sea**

*I.O. Nekhaev<sup>1\*</sup>, E.M. Chaban<sup>2</sup>, Z. Rumyantseva<sup>3</sup>,  
V. Shumilovskikh<sup>1</sup>, O.L. Zimina<sup>4,2,3</sup>*

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Zoological Institute of Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

<sup>3</sup> Murmansk Marine Biological Institute of Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia

<sup>4</sup> State Scientific Center of the Russian Federation Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

\* *inekhaev@gmail.com*

The deep-sea molluscan fauna of the Arctic Ocean remains unevenly studied, particularly in the Central Arctic Ocean (CAO), which is still much less documented than the northern seas. The structure of faunal transitions along the Arctic bathymetric gradient also remains debated, as these transitions may represent either sharp biogeographic boundaries or broader depth-structured zones. Here, we combine new data on the deep-water fauna of the CAO with a broader analysis of bathymetric zonation in Arctic shell-bearing gastropods.

The CAO dataset is based on material collected during the drifting expedition North Pole–41 in 2022–2024, supplemented by museum collections and published records. Fifteen gastropod species were confirmed from depths below 900 m. They were recorded mainly on the Lomonosov Ridge and the Eurasian slope, but were absent in studied samples from the Amundsen Basin and Gakkel Ridge. The fauna was extremely species-poor, while only occasional specimens observed at depths below 3000 m.

To place this pattern in a broader Arctic context, we analysed bathymetric zonation of shell-bearing gastropods in the western Eurasian Arctic using 1508 occurrence records of 169 species. The analyses revealed four major bathymetric zones: upper bathyal, middle bathyal, lower bathyal, and abyssal. Faunal differentiation with depth was driven mainly by gradual impoverishment, whereas species turnover played a secondary role. The middle bathyal emerged as the main transition zone, with approximately equal contributions of turnover and nestedness and the highest concentration of species range boundaries. In CAO, zonation was less distinct than in the northern seas because of the strong impoverishment of deep-sea assemblages and upward shifts in species depth ranges.

## **Зообентос Арктического бассейна по материалам дрейфующей станции СП-41 (2022–2024)**

*О.Л. Зими́на<sup>1,2,3\*</sup>, С.Ю. Гагаев<sup>2</sup>, Н.В. Денисенко<sup>2</sup>, С.Г. Денисенко<sup>2</sup>,  
Н.Е. Журавлева<sup>2</sup>, Н.Ю. Иванова<sup>2</sup>, Е.Л. Мархасева<sup>2</sup>, Г.С. Морозов<sup>2</sup>,  
И.О. Нехаев<sup>4</sup>, Е.Г. Панина<sup>2</sup>, А.В. Смирнов<sup>2</sup>, И.С. Смирнов<sup>2</sup>, Е.М. Чабан<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Зоологический институт РАН, Россия

<sup>3</sup> Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия

<sup>4</sup> Санкт-Петербургский государственный университет,  
Санкт-Петербург, Россия

\* *olzimina@aari.ru*

Глубоководная часть Полярного бассейна по сей день остается одним из наименее изученных районов Мирового океана. Сведения о донной фауне этого региона очень фрагментарны, что связано с труднодоступностью района и техническими сложностями работы среди дрейфующих льдов. При этом зообентос является важной частью морских экосистем, звеном трофических цепей и круговорота органического вещества. Сообщества реагируют на изменение условий среды обитания изменением структуры и состава, что может служить индикатором состояния экосистемы. По материалам, полученным в ходе дрейфа стан-

ции «Северный полюс-41» в период 2022–2024 гг., проанализирован качественный и количественный состав донных сообществ Полярного бассейна. Количественные пробы отбирали при помощи большого бокс-корера с площадью захвата 0,25 м<sup>2</sup>. Всего получено и обработано 107 количественных проб зообентоса. Сборами охвачены южная часть хребта Ломоносова, котловина Амундсена, хребет Гаккеля, котловина Нансена и континентальный склон к северу от архипелагов Земля Франца-Иосифа и Шпицберген. Полученные данные позволили оценить и сравнить качественный и количественный состав донной фауны в разных районах Полярного бассейна. В обработанном материале предельно обнаружено 500 таксонов донных беспозвоночных, относящихся к 12 типам. По видовому разнообразию в исследованном районе преобладают ракообразные, полихеты и двусторчатые моллюски. Разнообразие и количественные параметры донной фауны различаются в разных участках исследованного района в зависимости от глубины. Максимальные значения этих параметров зафиксированы на вершине хребта Ломоносова и в верхней части склона к северу от архипелагов ЗФИ и Шпицберген, а минимальные в ложе котловин Амундсена и Нансена. Снижение количественных характеристик донной фауны с увеличением глубины в Полярном бассейне связывают с ухудшением трофических условий, что обусловлено замедленными продукционными процессами в пелагиали и подледном слое.

## **Птицы и млекопитающие Арктического бассейна по наблюдениям дрейфующих станций СП-41 и СП-42 (2022–2025)**

*М.В. Гаврило<sup>1\*</sup>, Я.П. Процюк<sup>1,2</sup>, О.Л. Зиминая<sup>1,2,3</sup>, Ю.Г. Гаврилов<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Зоологический институт РАН, Россия

<sup>3</sup> Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия

\* *m\_gavrilo@mail.ru*

Современные сведения о встречаемости птиц и млекопитающих в акватории Арктического бассейна довольно скудны. Специальные орнитологические наблюдения в высокоширотных рейсах проводят крайне редко, и большинство доступных данных поступает от попутных наблюдений в туристических круизах. В период существования традиционных дрейфующих станций «Северный полюс» полярники фиксировали залеты птиц и встречи морских млекопитающих, их наблюдения были обобщены в серии публикаций в середине XX в. После этого

сведения с дрейфующих поступали совсем редко и не публиковались. В ходе дрейфа ЛСП «Северный полюс» наблюдения за позвоночными также носили попутных характер, тем не менее благодаря им удалось собирать материалы круглогодично на протяжении трех лет.

В докладе приведены сведения о видовом составе, фенологии и географии встреч птиц и млекопитающих в период с осени 2022 года по август 2025. Всего было отмечено не менее 11 видов птиц (буревестник *Ardenna* spp. (*tenuirostris/grisea*), глупыш *Fulmarus glacialis*, обыкновенная гага *Somateria mollossima*, камнешарка *Arenaria interpres*, мосевка *Rissa tridactyla*, белая чайка *Pagophila eburnea*, атлантический чистик *Cerpphus grylle*, толстоклювая кайра *Uria lomvia*, люрик *Alle alle*, обыкновенная каменка *Oenanthe oenanthe*, пуночка *Plectrophenax nivalis*). В ряде случаев вид птиц определить не удалось. Камнешарка — новый залетный вид для Арктического бассейна. Из млекопитающих наиболее часто отмечался белый медведь *Ursus maritimus*, кроме него зарегистрирован песец *Vulpes lagopus* и три вида морских млекопитающих: нерпа *Pusa hispida*, гренландский тюлень *Pagophilus groenlandicus*, морж *Odobenus rosmarus*. Приведены обстоятельства встреч и сравнение с ранее опубликованными материалами наблюдений в Арктическом бассейне.

## Результаты многолетнего мониторинга мезозообентоса Баренцева моря

И.Е. Манушин<sup>1\*</sup>, А.С. Кудряшова<sup>1</sup>, Н.А. Стрелкова<sup>1</sup>, Д.Ю. Блинова<sup>1</sup>,  
Д.В. Захаров<sup>2</sup>, К.С. Рольская<sup>1</sup>, L.L. Jørgensen<sup>3</sup>, Н.Е. Мусеева<sup>1</sup>,  
А.А. Ломака<sup>1</sup>, В.С. Вязникова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Полярный филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ПИНРО), г. Мурманск, Россия

<sup>2</sup> Зоологический институт РАН, Россия

<sup>3</sup> Институт морских исследований (ИМР, Institute of Marine Research, IMR), Берген, Норвегия

\* [manushyn@pinro.vniro.ru](mailto:manushyn@pinro.vniro.ru)

ПИНРО совместно с норвежским ИМР в течение 20 лет проводит мониторинг мезозообентоса Баренцева моря. Проект, начавшийся как второстепенное исследование при траловой съёмке донных рыб, постепенно перерос в масштабное направление, имеющее самостоятельную ценность. Отличительная особенность данного мониторинга — получение данных буквально в режиме реального времени, без длительной камеральной обработки на берегу, что свойственно для дночерпательной съёмки. Ценность получаемого материала также в том, что животные с многолетней продолжительностью жизни — хороший индикатор климатических изменений, слабо реагирующий на сезонные процессы.

Сохранение повышенного теплосодержания вод Баренцева моря в течение нескольких десятков лет оказало большое влияние на донную фауну, что хорошо заметно по изменениям в мегазообентосе. За время мониторинга снизилась общая биомасса, особенно на севере и востоке моря. Возможная причина — уменьшение поступления органики в придонный слой воды. Вероятно, в последние десятилетия нарушился существовавший до начала последнего потепления процесс первичной продукции органического вещества. Также не исключено, что вследствие увеличения температуры более быстрый процесс минерализации оседающего детрита снижает пищевую ценность поступающей на дно органики, что уменьшает количество энергии, доступной донным обитателям. Нельзя исключать и негативную реакцию бореально-арктических видов, составляющих основу зообентоса Баренцева моря, на высокую и аномально высокую придонную температуру. Снижение биомассы мегазообентоса зафиксировано до глубины 350 м, а на глубинах 150–300 м оно достоверно.

Также достоверно уменьшилась средняя масса особей большинства видов. Вероятными причинами являются увеличение трат на метаболизм и снижение доступности пищи. Единственной трофической группой, в которой нет достоверного тренда на снижение средней массы, являются грунтоеды, которые питаются отложенной в толще грунта за многие годы органикой. Таким образом, повышенное содержание теплосодержание вод Баренцева моря в течение нескольких десятилетий вызвало уменьшение биомассы мегазообентоса и изменение его структуры.

## **Восточные ворота в Арктику открываются шире: последствия климатических изменений для биогенного переноса в высокие широты и биопродуктивности Чукотского моря**

*Ю.И. Зуенко<sup>1</sup>\*, А.С. Курносова<sup>1</sup>, А.С. Малышева<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Тихоокеанский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ТИНРО), г. Владивосток, Россия

<sup>2</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, г. Москва, Россия

\* *zuenko\_yury@hotmail.com*

По данным гидрохимических исследований ТИНРО в Чукотское море летом 2010, 2020 и 2024 гг. определено положение высокопродуктивных зон, формируемых в процессе утилизации биогенных элемен-

тов, поступающих с потоком обогащённых ими тихоокеанских вод через Берингов пролив в юго-восточную часть моря. Вклад этого процесса в продукцию органического вещества оценен путём разделения консервативных (за счет биогеохимических процессов) и неконсервативных (за счет смешения вод потока с водными массами Чукотского моря) компонент баланса кислорода и фосфора в потоке, используя метод TS-анализа. Ситуация 2020-х гг. принципиально отличалась от ситуации 2010 г., которую полагаем типичной для предшествующих климатических условий. В этих условиях с коротким летом и относительно слабой адвекцией вод через пролив высокопродуктивные зоны, признаком которых был префицит растворённого кислорода и быстрое потребление фосфора в фотическом слое, располагались вблизи Берингова пролива (продукция 0,1–0,2 гC/м<sup>3</sup>·сут.) и на удалении от него на 400–600 км, близ о. Врангеля (продукция 0,3–0,4 гC/м<sup>3</sup>·сут.). В ближней к проливу зоне на фотосинтез расходовались биогенные элементы из поверхностного слоя потока, а в удалённой — из подповерхностного слоя. В современных условиях усиленной адвекции через Берингов пролив, но слабой стратификации вод из-за отсутствия льда активный фотосинтез начинается значительно дальше по потоку (> 500 км от пролива), а запас биогенных элементов в подповерхностном слое потока вообще не расходуется в пределах моря и по-видимому выносится в Арктический бассейн. Локализация высокопродуктивных зон по гидрохимическим признакам подтверждается спутниковыми данными о концентрации хлорофилла *a*. То есть, усиление адвекции богатых биогенными элементами тихоокеанских вод сопровождается снижением биопродуктивности юго-восточной части Чукотского моря в летний сезон, что отражает перестройку сезонного продукционного цикла на этой акватории с полярного типа (с летним «цветением») на субполярный (с «цветением» весной и осенью и низкопродуктивным летом).

## **Минтай Чукотского моря: от рыбохозяйственных исследований к промыслу**

*А.В. Буслов\*, Е.Е. Овсянников*

*Тихоокеанский филиал Всероссийского научно-исследовательского института  
рыбного хозяйства и океанографии (ТИНРО), г. Владивосток, Россия*

*\* [aleksandr.buslov@tinro.vniro.ru](mailto:aleksandr.buslov@tinro.vniro.ru)*

Многолетние исследования ихтиоцены Чукотского моря свидетельствовали о низкой численности минтая в этом районе Арктики. Минтай в тралениях, как правило, был представлен штучно и преимущественно

но у Берингова пролива. Такая картина подтверждалась результатами исследований, выполнявшимися до начала 2010-х гг. Однако в ходе комплексных рыбохозяйственных исследований 2018-2020 гг. в юго-западной части Чукотского моря были обнаружены значительные ресурсы минтая. Анализ уловов показал, что скопления состоят из молоди, представленной сеголетками и годовиками, а также старшевозрастных рыб, 90 % численности которых составляет 8–15-годовиками. Установлено, что запас минтая в Чукотском море формируется за счет миграций рыб из Берингова моря. Зашедший из Берингова моря минтай полностью или частично не возвращается обратно, при этом у оставшихся в более суровых условиях Чукотского моря рыб заметно снижается темп роста.

Исследования размерно-возрастной структуры запаса минтая в Чукотском море дают основания полагать, что даже в случае прекращения массовых заходов минтая на чукотский шельф через Берингов пролив существующий запас не исчезнет в течение одного года. В этом случае его промысел в районе исследований будет возможен на протяжении еще нескольких лет с уменьшающейся эффективностью по мере естественной и промысловой убыли запаса.

Впервые специализированный лов минтая в Чукотском море был организован в 2021 г. Мониторинг промысла показал приуроченность скоплений минтая к прибрежным акваториям юго-западной части моря, из чего можно предположить, что основная его добыча базируется преимущественно на резидентных рыбах. Всего за пять лет промысла в Чукотском море было добыто 63 тыс. т минтая при годовых колебаниях от 4 до 20 тыс. т. За первые два года наблюдался рост вылова за счет увеличением периода промысла, выставления большего количества судов и роста суточного вылова на одно судно. В 2023 г., при снижении суточных уловов, годовой вылов остался на прежнем уровне за счет увеличения продолжительности промысла и выставления большего количества судов. В 2024 г. годовой вылов снизился из-за уменьшения продолжительности лова, а в 2025 г. вылов снизился из-за плохой промысловой обстановки и низкой плотности скоплений минтая.

В целом, результаты научно-исследовательских съемок и мониторинга промысла показывают, что в 2025 г. миграция крупных особей минтая через Берингов пролив в южную часть Чукотского моря заметно снизилась, что в перспективе должно привести к сокращению промысловой биомассы минтая.

# МОРСКИЕ ЛЬДЫ И ЛЕДОТЕХНИКА

## Тенденции изменения площади льдов в Северном Ледовитом океане в конце теплого сезона за период с 1978 по 2025 гг.

*А.В. Юлин\*, В.В. Иванов, Т.В. Шевелева, Е.В. Козловский*  
ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия

\* *icefor@aari.ru*

Изменчивость площади ледяного покрова Северного Ледовитого океана (СЛО) является одним из наиболее информативных показателей климатических изменений, отражающий сложные взаимодействия в системе «атмосфера–лед–океан».

Постоянный спутниковый мониторинг состояния ледяного покрова СЛО, начиная с 1978 г. по настоящее время, позволяет провести анализ его межгодовых изменений за 48-летний ряд наблюдений. Анализ остаточной площади ледяного покрова в конце периода летнего таяния позволил установить характер и основные тенденции, происходящие с ледяным покровом в СЛО.

Условно весь ряд наблюдений, включая текущие годы, был разделен на три периода, которые имеют существенные различия по средним показателям площадных характеристик ледяного покрова в СЛО, сохранившегося после летнего таяния.

Первый период с 1978 по 1997 гг. (продолжительность 20 лет), в течение которого отмечались колебания остаточной ледовитости на повышенном фоне. В этот период площадь ледяного покрова в сентябре в среднем составляла около 7,0 млн. км<sup>2</sup>, с межгодовыми колебаниями до  $\pm 0,8$  млн. км<sup>2</sup>.

Второй период с 1998 по 2007 гг., (продолжительность 10 лет), выделяется максимальным сокращением площади льдов в сентябре. За этот короткий период, который хорошо подпадает под определение «полярное усиление», площадь льдов в конце теплого сезона сократилась в среднем с 7,0 до 4,5 млн. км<sup>2</sup>, уменьшаясь в среднем по 250 тыс. км<sup>2</sup>/год.

Третий период, который начался с 2008 г. и длится по настоящее время (продолжительность 18 лет). В этот период тенденция на уменьшение площади ледяного покрова замедлилась. Изменения площади льдов представляют собой колебания с межгодовыми отклонениями в  $\pm 0,8$  млн. км<sup>2</sup> на уровне около 4,5 млн. км<sup>2</sup>.

Длительный характер третьего периода, позволяет сделать предположение, что это не просто кратковременная пауза в дальнейшем сокращении площади льдов в СЛО, а достаточно устойчивый период, сформировавшийся в результате установившегося баланса поступающей и расходуемой тепловой энергии в океане.

## **Многолетние изменения состояния ледяного покрова Северо-Европейского бассейна**

*Е.У. Миронов\*, А.Б. Тюряков, Е.В. Козловский, В.В. Иванов*  
*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,*  
*Санкт-Петербург, Россия*

\* *mir@aari.ru*

В многолетних изменениях ледовитости Гренландского и Баренцева морей выявлен статистически значимый линейный тренд, показывающий сокращение площади льдов. Для выделения периодов устойчивого увеличения и уменьшения ледовитости использовался метод интегральных кривых аномалий. Период преобладания отрицательных аномалий ледовитости наблюдается в Гренландском море с сезона 2000/2001 гт., а в Баренцевом море с сезона 2004/2005 гт., т.е. смещен на 4 года в более позднюю сторону. Выполненный анализ возрастной структуры ледяного покрова показал, что на протяжении всего зимнего периода в ледяном покрове Гренландского моря превалируют старые льды, занимая не менее трети от общей площади льдов. Для Баренцева моря характерно наличие старых льдов только на акватории северных районов, однако их количество не превышает 4 % относительно общей площади ледяного покрова. Сопоставление полученных за период 1997–2022 гт. оценок с более ранними исследованиями возрастной структуры ледяного покрова 1989–1992 гт. для Гренландского и 1971–1976 гт. для Баренцева моря, говорит о замещении градации толстых (старых) льдов на градацию более тонких (однолетних) льдов и, следовательно, об уменьшении средней толщины ледяного покрова. В период более легких ледовых условий соответственно смещается кромка льдов и граница старых (однолетних льдов) на запад в Гренландском море и на север – северо-восток в Баренцевом море. Важным фактором многолетних изменений ледовых условий в последние годы является существенное увеличение повторяемости полного очищения акватории Баренцева моря ото льдов в последние 20 лет. Основными причинами полного очищения акватории ото льдов являются межгодовые изменения атмосферной циркуляции и адвекции теплых атлантических вод. Для выявления зависимости изменений ледовитости от различных гидрометеорологических факторов применялись статистические методы анализа с использованием мультирегрессионных моделей, а именно метод включения переменных. В качестве предикторов использовались различные гидрометеорологические параметры и климатические индексы.

# Многолетние изменения положения летней кромки льдов в арктических морях в течение 1981–2025 гг.

*А.Г. Егоров\*, Е.А. Павлова, А.Д. Ревина, Е.А. Чернявская*

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

*\* ego@aari.ru*

Уменьшение площади и толщины льдов является одним из ведущих индикаторов изменения глобального и полярного климата. Кромка дрейфующих льдов в летний период показывает кардинальные изменения климата в течение последних 2–3 десятилетий. Анализ её многолетних изменений исключительно важен для углубления исследовательских представлений о происходящих в природе колебательных процессах. В настоящем сообщении используются данные авиационного и спутникового мониторинга о положении кромки дрейфующих льдов в августе и сентябре на меридиональных створах от Гренландии до Аляски.

В течение 45 лет наблюдаются 3 многолетних состояния режима кромки льдов, разнонаправленных по знаку тенденции изменений.

1. В 1981–2000 гг. отмечается южное положение кромки, соответствующее повышенному количеству арктических льдов, средняя аномалия для всех створов в сентябре составляет  $-1,52$  градуса широты или  $-0,95$  величины среднего квадратичного отклонения (СКО).

2. В 2001–2020 гг. наблюдается северное положение кромки, т.е. пониженное количество арктических льдов, средняя аномалия для всех створов в сентябре составляет  $+1,27$  градуса широты или  $+0,79$  величины СКО. Уменьшение площади льдов крайне неравномерно: максимальное продвижение кромки на север наблюдается на меридиане о-ва Врангеля (более  $5,5$  градуса широты), а минимальный — к северо-востоку от Шпицбергена (менее  $0,5$  градуса широты). Наблюдается определенная пространственная последовательность в наибольшем продвижении кромки на север: в 2001–2005 гг. — Гренландское море, в 2006–2010 гг. — Чукотское море, в 2011–2013 гг. — Баренцево море, 2014–2016 гг. — Восточно-Сибирское море, в 2017–2020 гг. — моря Карское и Лаптевых, т.е. происходит упорядоченное колебательное западно-восточное перемещение кромки, которое достигло максимума в 2020 г.

3. В 2021–2025 гг. кромка изменила направление движения и стала вновь смещаться на юг, в сторону евразийского побережья; средняя аномалия для всех створов в сентябре составляет  $-0,98$  градуса широты или  $-0,61$  величины СКО. Наибольшее смещение происходит к востоку от Северной Земли, где кромка спустилась на юг в среднем на  $150$  км и уже

вернулась к состоянию начала 2000-х гг., а наименьшее — к западу от архипелага, где кромка регрессировала до состояния только начала 2010-х гг.

Исходя из колебательного характера природных изменений, можно ожидать неравномерного во времени и пространстве продолжения смещения кромки на юг в ближайшие десятилетия.

## **Динамические процессы в ледяном покрове Арктики при наблюдении на дрейфующих станциях «Северный полюс»**

*В.Н. Смирнов\*, Л.В. Панов, К.В. Иванов, М.С. Знаменский, Г.О. Акимов  
ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

*\* smirnov@aari.ru*

Результаты натурных исследований динамических процессов в дрейфующем льду Арктики способствуют совершенствованию прогностических методов в научных и прикладных задачах в системе атмосфера–лед–океан. С помощью сейсмического метода проведен мониторинг механического состояния льда при процессах сжатия, образования протяженных трещин и торошения.

Во льду дрейфующих станций СП-41 и СП-42 выявлены интенсивные колебания льда, обусловленных поверхностными и внутренними волнами океана. Серии амплитудных спектров указывают на поверхностные волны с периодами до 50 секунд. Описаны ледовые события, когда в течение нескольких суток в поле волн зыби происходили амплитудно-частотные изменения. На основе полученных ранее в экспедиции МОЗАИКА данных о явлении распространения волн зыби от удаленного источника построена соответствующая модель явления.

На СП-42 в летний период наблюдений зарегистрированы колебания льда с периодом до 12 минут. Предполагается, что природа возникновения таких колебаний обусловлена короткопериодными внутренними волнами океана.

Представлено описание процессов образования и развития протяженных трещин в ледяном покрове. Определены характеристики упругих импульсов от возникающих трещин и торошения в диапазоне частот 0,1–50 Гц. При разрушении льда фиксируются горизонтально-поляризованные волны, характеризующие механику образования трещин. По времени вступления объемных и изгибно-гравитационных волн оцениваются эпицентральные расстояния до «ледотрясения».

Линейные масштабы трещин и гряд торосов могут составлять сотни-тысячи метров, временные масштабы — от долей секунд до минут.

Формы упругих волновых профилей от трещин отражают их схожесть в различные сезоны мониторинга. Законы масштабирования в пространстве и во времени свидетельствуют о характере крупномасштабной механики разрушения ледовой поверхности океана.

Выявлены краткосрочные прогностические признаки образования процессов сжатия и торошения льдов. Представлены физические характеристики упругих импульсов как результат при возможных формах разрушения сдвигом или отрывом. Ярким показателем формы изгибно-гравитационной волны является аномальная дисперсия с уменьшением частоты в пределах 50–0,1 Гц. Подобная информация позволяет определять толщину льда при образовании упругих сигналов от трещин. Рассмотрены особенности волновых процессов, связанных с автоколебаниями и «ледовыми ударами», характеризующими механику разрушения льда и образование торосов.

## **Исследования торосов на дрейфующей станции «Северный полюс-41» в течение годового цикла**

*Р.Б. Гузенко\*, Ю.Г. Гаврилов, С.В. Хотченков*

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

\* [guzenko@aari.ru](mailto:guzenko@aari.ru)

Торосы являются характерным элементом ледяного покрова замерзающих акваторий планеты. Исследование торосов необходимо для лучшего понимания природных процессов, определяющих распределение их параметров в пространстве и их эволюцию во времени, что способствует раскрытию фундаментальных закономерностей изменчивости ледяного покрова в целом. Последние годы большое внимание в мировой научной литературе уделяется торосам в контексте биологических исследований, рассматривающих подводную часть торосов как место обитания для одних живых организмов и кормовую базу для других. Кроме того, торосы, наряду со стамухами и айсбергами, являются наиболее опасными ледяными образованиями, способными существенно затруднять различные морские операции. Именно характеристики консолидированного слоя торосов определяют основные нагрузки, связанные с морским ледяным покровом, на суда и шельфовые сооружения.

С начала октября 2022 года по конец августа 2023 года на дрейфующей в Арктическом бассейне полярной станции «Северный полюс-41» с применением передовых технологий (электробурения с записью ско-

рости бурения, термокос, видеосъемки телеуправляемым подводным аппаратом и др.) проводились многомесячные наблюдения за шестью грядами торосов, среди которых было две старых (предположительно, двухлетних) и четыре однолетних, образовавшихся преимущественно из двухлетнего льда. Среди результатов проведенных исследований можно выделить следующее:

1. Собраны данные по эволюции основных морфометрических параметров торосов разных размеров и возраста в течение зимнего и летнего периодов.

2. По совокупным данным электробурения с записью параметров бурения и термокос определена динамика процесса консолидации внутренней части торосов в результате атмосферного выхолаживания в зимний период и таяния в летний.

3. Определены соотношения между толщинами консолидированного слоя и ровного льда в течение всего периода наблюдений.

4. Получены данные, позволяющие связать толщину консолидированного слоя однолетних торосов с суммой градусо-дней мороза.

5. Анализ измерений блоков льда на нескольких торосах позволил выявить малоизученный механизм деформации льда при торосообразовании — продольное расслоение льда.

Результаты многомесячных исследований торосов будут использованы в моделях динамики и термодинамики ледяного покрова, в климатических моделях для оценки энергообмена между океаном и атмосферой через ледяной покров, в определении биомассы населяющих лед организмов, а также для уточнения алгоритма расчета ледовых нагрузок от ледяных образований в разные сезоны года.

Аналитическая работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 25-27-00389.

## **Изменчивость сроков освобождения ото льда в Беринговом море и на прилегающих акваториях**

*К.К. Кивва\*, А.А. Сумкина, А.С. Мальшева*

*ГНЦ РФ Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия*

*\* kivva@vniro.ru*

Сроки освобождения акватории от морского льда важны для планирования хозяйственной деятельности, а также служат индикатором климатических изменений. В частности, от этих сроков может зависеть начало весеннего «цветения» фитопланктона. Их изменчивости в Арктике

и Субарктике посвящено несколько недавних публикаций. В большинстве из них использованы многолетние спутниковые данные по концентрации (сплочённости) льда и пороговый метод (концентрация льда в ячейке 0,15) для обнаружения даты полного освобождения ото льда (ДПО). Изменчивость ДПО в Беринговом море и в Тихоокеанском секторе Арктики на сегодняшний день не описана. Кроме того, нет детальной информации о физических факторах, определяющих изменчивость ДПО. В данной работе приводится климатология ДПО для района 55–75° с.ш., 160–210° в.д. Район охватывает Берингово море и прилегающую часть Тихоокеанского сектора Арктики. ДПО определены на основе массива CDR NSIDC (1979–2023 гг., разрешение 25 км, шаг 1 сутки) с помощью порогового метода. Проанализированы тренды ДПО. Выполнена группировка ячеек по синхронности изменчивости ДПО с помощью метода кластерного анализа DBSCAN с использованием коэффициента корреляции Спирмена в качестве меры сходства (первый этап группировки). Параметры DBSCAN выбраны с помощью диаграмм количества групп и доли «шума» (объектов, не отнесённых ни к одной из групп). Группировка выполнена для всех интервалов длиной 20 лет за 1979–2023 гг. Это позволило проследить изменчивость выделенных районов. Дополнительно выполнена группировка по категориальным значениям, соответствующим первому этапу группировки. Это позволило выделить группы ячеек сетки, в пределах которых наиболее часто наблюдалась синхронность изменчивости ДПО в отдельные интервалы времени длиной 20 лет. В качестве основного физического фактора, определяющего изменчивость ДПО, рассмотрены ветровые условия за 1, 2 и 3 месяца до ДПО. Обнаружены статистически значимые коэффициенты корреляции между ДПО и направлением ветра в ряде районов Берингова моря.

## **О первом опыте эксплуатации системы мониторинга ледовых нагрузок НЭС «Северный полюс» в период дрейфа станции «северный полюс-41»**

*И.А. Свистунов\*, В.А. Лихоманов*

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия*

*\* iasvistunov@aari.ru*

Ледовое сжатие — одно из наиболее опасных природных явлений с позиции эксплуатации инженерных объектов в ледовых условиях. В результате влияния ветра, течений и прочих факторов отдельные

ледяные поля начинают наслаиваться, дробиться и нагромождаться. Суда, ледоколы и другие плавучие сооружения регулярно становятся вынужденными участниками этих процессов. Воздействие льда может вызвать повреждения корпусных конструкций, а также привести к серьезным авариям с самыми трагическими последствиями, известные нам уже из истории.

Наиболее надежный подход для исследования ледовых нагрузок от ледовых сжатий может быть реализован только в натуральных условиях при длительном пребывании плавучего объекта в дрейфующих льдах. Возможность решения такой задачи предусматривалась при проектировании первой в мире ледостойкой самоходной платформы (ЛСП) «Северный полюс», предназначенной для возрождения комплексной научно-исследовательской деятельности России в Арктике в формате дрейфующих полярных станций.

Основным инструментом для сбора данных о реальных силах от ледовых сжатий является сам корпус ЛСП, оборудованный уникальным измерительным комплексом — системой мониторинга ледовых нагрузок (СМЛН). Волоконно-оптические датчики (ВОД) СМЛН позволяют фиксировать упругие микродеформации в конструкциях под влиянием внешних сил со стороны льда. Фактически корпус платформы выступает в роли динамометра для измерения в натурном масштабе сил, действующих в ледяных полях при подвижках и ледовых сжатиях.

В рамках первого дрейфа ЛСП «Северный полюс» (дрейфующая станция СП-41) решался комплекс задач, направленных на введение СМЛН в эксплуатацию и отработку методики проведения исследований ледовых сжатий. Для этого в период с сентября 2022 г. по август 2023 г. проводились следующие работы:

1. Выполнена оценка работоспособности ВОД СМЛН на чистой воде (на волнении) и во льдах во время перехода ЛСП к точке базирования, а также в условиях ледового дрейфа.

2. С помощью СМЛН получены данные о напряженно-деформированном состоянии (НДС) корпуса при возникновении подвижек ледяных полей, приводящих к затиранию платформы, сопровождаемому сжатием и выламыванием ледяных секторов в контактной зоне.

3. Проанализированы механизмы разрушения ледяной пластины и поведение ЛСП как твердого тела в системе платформа-льдина при действии ледовых сжатий.

4. Проведена серия экспериментов по статическому и динамическому нагружению корпуса для тестирования СМЛН и верификации численной модели бортового перекрытия.

5. Выполнены тарировка и вмораживание в ледяное поле датчиков подсистемы мониторинга НДС базовой льдины. С помощью подсистемы получены данные о действующих во льду напряжениях.

6. Проведена серия экспериментов по исследованию фрикционных характеристик корпуса и льда в трущейся паре платформа-льдина. Отработана методика проведения экспериментов.

В докладе будут представлены некоторые результаты выполненных исследований согласно обозначенным направлениям. Будет рассмотрена первая версия общей концепции исследования ледовых сжатий на основании данных, получаемых с помощью СМЛН. Будут обозначены перспективы развития выполненных работ в последующих дрейфующих станциях, организуемых на базе ЛСП «Северный полюс».

## **К расчету ледовых нагрузок (на примере сооружений Карского моря)**

*М.Е. Миронов\**

*ООО «Морстройтехнология», Санкт-Петербург, Россия*

*\* [mmironov@morproekt.ru](mailto:mmironov@morproekt.ru)*

Одна из стратегических задач развития морского транспорта России — развитие Арктической зоны России. Предпринимателями и правительством Российской Федерации здесь запущен целый ряд масштабных проектов. Для достижения этой задачи первостепенными являются вопросы, связанные со строительством объектов инфраструктуры морских портов. При проектировании и эксплуатации морских портов, перегрузочных комплексов и других объектов на замерзающих акваториях необходимы достоверная оценка элементов метеорологического и ледового режима, а также определение ледовых нагрузок на гидротехнические сооружения (ГТС).

Это в полной мере относится к акваториям Карского моря, включающего Байдарацкую и Обскую губы, Енисейский залив и др. Например, компанией «Морстройтехнология» (МСТ) только в последние годы в результате выполнения инженерно-гидрометеорологических изысканий получены достоверные исходные данные для проектирования ледовой переправы в губе Крузенштерна залива Шарапов Шар, пирса Салмановского месторождения, ледозащитных сооружений для причалов Тамбейского месторождения и др.

В настоящем докладе представлены результаты исследований характеристик элементов метеорологического и ледового режима для некоторых акваторий Карского моря, а также результаты расчета ледовых нагрузок на различные ГТС.

Доклад составлен с помощью разработанных в МСТ программ автоматизированного расчета параметров льда и ледовых нагрузок, позволяющих обоснованно определять характеристики метеорологического и ледового режима в проектных целях, а также рассчитывать ледовые нагрузки на ГТС, путем введения существенных изменений к требованиям действующего нормативного документа (СП 38.13330).

Разработанные программы автоматизированного расчета активно используются МСТ по согласованию с заказчиками при проектировании ГТС, например, на акватории Белого моря, и они могут быть применены при переработке действующих норм (СП 38.13330), которые устарели в части требований к расчетным характеристикам ледового режима и методикам определения ледовых нагрузок на ГТС.

### **Предварительные результаты исследования влияния ледового упора движителя на ледовую ходкость судна**

*А.А. Добродеев<sup>1,2</sup>, К.Е. Сазонов<sup>1,2\*</sup>, А.М. Клубничкин<sup>1</sup>, А. М. Жидкова<sup>1,3</sup>,  
Я.Ф. Иванова<sup>1</sup>, Д.С. Рябченко<sup>2,4</sup>*

<sup>1</sup> *Крыловский государственный научный центр, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup> *Санкт-Петербургский Государственный морской технический университет,  
Санкт-Петербург, Россия*

<sup>3</sup> *Государственный университет морского и речного флота  
им. адмирала С.О. Макарова, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>4</sup> *СПб ГБПОУ «Петровский колледж», Санкт-Петербург, Россия*

*\* K\_Sazonov@ksrc.ru*

Ледовая ходкость является одной из важнейших характеристик ледоколов и судов ледового плавания, которая определяет их возможность движения во льдах. До недавнего времени изучение ледовой ходкости в основном сводилось к определению предельной ледопроеходимости судна, кроме этого довольно много усилий было потрачено на изучение ледового момента, возникающего при взаимодействии движителя со льдом. Изучению же ледового упора движителей практически не уделялось внимание. Однако без изучения этого вопроса не представляется возможным решить ряд важных проблем морской ледотехники. Это объяснение результатов натурных испытаний ледоколов, когда зафиксированная частота вращения движителя никак не может обеспечить гидродинамическую тягу, необходимую для того, чтобы судно двигалось с зафиксированной скоростью. Другой проблемой является объяснение эффективности движения судов задним ходом во льдах.

По мнению авторов доклада одной из возможных причин объясняющую повышенную тягу движителей в ледовых условиях является возникновение при взаимодействии гребного винта со льдом дополнительного ледового упора. Для выяснения этого вопроса специалистами ледового бассейна КГНЦ был поставлен ряд экспериментов по фрезерованию льда моделью гребного винта, а также по изучению упора гребного винта, работающего в составе самоходной модели, буксируемой сквозь ледяной покров. Кроме этого был выполнен ряд теоретических расчетов с использованием лопастной теории гребного винта.

Предварительные результаты выполненных исследований, которые, по мнению авторов, не только демонстрируют наличие ледового упора, но и показывают, возможно, его большое значение для ходкости судна во льдах, представлены в докладе.

# ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В АРКТИКЕ

## Комплексные геофизические исследования в Арктике

*А.С. Калишин<sup>1\*</sup>, Н.Ф. Благовещенская<sup>1</sup>, Т.Д. Борисова<sup>1</sup>,  
Ю.В. Федоренко<sup>2</sup>, И.М. Егоров<sup>1</sup>, Г.А. Загорский<sup>1</sup>, Д.К. Дронов<sup>1</sup>,  
О.Ю. Стрибный<sup>1</sup>, Н.П. Сенчина<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия

\* askalishin@aari.ru

ААНИИ выполняет большой комплекс геофизических работ в высоких широтах с 20-х годов XX столетия. Основными целями работ являются: предупреждение и минимизация воздействия опасных гелиогеофизических явлений, исследование физических закономерностей солнечно-земного взаимодействия, обеспечение технической экспансии в высокие широты. Для достижения перечисленных выше целей необходимо решить большой круг задач от непрерывного многолетнего мониторинга фоновых геофизических условий до проведения активных экспериментов по генерации искусственных ионосферно-магнитосферных турбулентностей. В последние годы ААНИИ провел ряд организационных и технических мероприятий с целью создания новых инструментов геофизических исследований в высоких широтах. К их числу относятся и комплекс средств мониторинга фоновой геофизической обстановки на Ледостойкой самодвижущейся платформе (ЛСП) «Северный полюс».

На ЛСП проводится большой комплекс геофизических наблюдений: гравиметрические, магнитные, оптические, наклонное зондирование ионосферы, наблюдения СНЧ/ОНЧ радиоизлучения, доплеровские измерения.

Для проведения радиофизических исследований на борту судна и ледовом поле развернут комплекс антенн КВ-диапазона. Организован приемный пункт наклонного зондирования ионосферы, который интегрирован в высокоширотную сеть Росгидромета и ААНИИ.

Проводятся непрерывные наблюдения естественных и искусственных ионосферных возмущений доплеровским методом. По результатам наблюдений выполняется диагностирование внезапных ионосферных возмущений — резкого возрастания электронной концентрации в D-, E- и F-областях ионосферы.

Совместно со специалистами Полярного геофизического института были организованы синхронные измерения магнитного и электрического поля СНЧ/ОНЧ диапазона (300 Гц – 15 кГц). Для этого был применен многофункциональный цифровой СНЧ/ОНЧ приемник, обеспечивающий регистрацию двух горизонтальных магнитных и вертикальной электрической компонент поля.

Ввод в эксплуатацию ЛСП позволил на новом качественном уровне выполнять гравиметрические наблюдения в акватории Северного Ледовитого океана. В экспедиции СП-41 использовался относительный гравиметр «Чекан-АМ», при помощи которого проводились непрерывные гравиметрические наблюдения на борту судна. В период проведения СП-42 к имеющему относительному гравиметру был установлен абсолютный баллистический лазерный гравиметр ГАБЛ-ПМ.

В докладе представлен комплекс геофизических исследований, развернутый на ЛСП и первые полученные результаты.

## **Анализ структуры «токовый клин суббури» по данным SML индексов**

*О.А. Трошичев\*, Н.А. Степанов*

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

*\* olegtro@aari.ru*

Активная фаза магнитной суббури характеризуется взрывным развитием западного электроджета в ночном секторе авроральной зоны. Формирование западного электроджета определяется действием «суббуривого токового клина» (SCW) — системы магнитосферных продольных токов, которые втекают в авроральную ионосферу в после-полуночном секторе и выходят из ионосферы в пред-полуночном секторе. Считается, что суббуриевой токовый клин обеспечивает замыкание токов нейтрального слоя хвоста магнитосферы через высоко-проводящую авроральную ионосферу при достижении критического уровня неустойчивости токов в нейтральном слое. Анализ поведения SCW системы в ходе суббури выполнялся по данным SuperMAG индексов магнитной активности SML, которые характеризуют максимальную интенсивность отрицательных магнитных возмущений в двухчасовых секторах геомагнитного времени (MLT) в интервале геомагнитных широт от 55° до 85°. Был выполнен анализ поведения SML индексов в ночном (20–22, 22–24, 24–00, 00–02, 02–04) и утреннем (04–06, 06–08, 08–10) MLT секторах для 150 изолированных магнитных суббурь с интенсивностью выше 400 нТ,

наблюдавшихся в 1998–2016 годах. Как показали результаты анализа, локализация и долготная протяжённость SCW системы регулярно изменяются в ходе суббури: на стадии внезапного начала суббури (SO) сигнатура SCW наблюдается в нескольких секторах MLT, тогда как на стадии максимума суббури (MAX) сигнатура SCW фиксируется обычно в пределах одного или двух MLT секторов. При этом локализация этих MLT секторов может быть совершенно разной: они могут наблюдаться на полуночном меридиане или быть смещёнными относительно него в вечернюю или утреннюю сторону. Если на стадии SO суббури сигнатура SCW фиксировалась в пред-полуночном секторе, то суббуря достигала максимальной интенсивности (стадия MAX) в полуночном секторе, если же сигнатура SCW на стадии SO фиксировалась в после-полуночном секторе, то максимум магнитной активности смещался в утренний сектор. Таким образом, применение индексов SML позволило выявить новые, ранее неизвестные, регулярности в поведении SCW системы в ходе развития суббури. Для лучшего понимания этих регулярностей и контролирующих их механизмов предлагается ввести в практику специальный SCW индекс магнитной активности, определяемый по данным об SML индексах в ночных 20–02 MLT секторах.

## **Абсолютные гравиметрические измерения на НЭС «Северный полюс»**

*Д. К. Дронов<sup>1\*</sup>, Д.А. Носов<sup>2</sup>, Н.П. Сенчина<sup>1</sup>, Ю. Г. Турбин<sup>1</sup>,  
И.С. Сизиков<sup>2</sup>, А.С. Калишин<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Институт автоматизации и электрометрии Сибирского отделения РАН,  
г. Новосибирск, Россия

\* *dkdronov@aari.ru*

В работе представлены результаты первых измерений, выполненных с помощью абсолютного баллистического лазерного гравиметра ГАБЛ-ПМ, на борту ледостойкой платформы (ЛСП) в рамках экспедиции «Северный полюс-42». Основная цель доклада — продемонстрировать результаты полученных измерений и на основе полученного опыта оценить возможные перспективы для продолжения измерений в последующих экспедициях. Авторами проведены высокоточные опорные измерения на пирсе в Санкт-Петербурге, выполнена настройка наземного прибора и адаптация методики измерений для работы на борту ЛСП без гиросtabilизированной платформы. Оценено влияние внешних факто-

ров: установлено, что даже при стоянке у причала на точность критически влияют погодные условия и работа судовых механизмов (двигатели, кран, лифт). Отклонение луча интерферометра от вертикали на  $0,1^\circ$  вносит погрешность  $\sim 1,5$  мГал, а вибрации приводят к сбоям в интерферометре. Измерения начались с начала экспедиции и проводятся регулярно. Благодаря разработанной методике – выбору благоприятных условий с минимальной качкой и вибрацией, учету особенностей дрейфа ЛСП, корректировке вертикали — удалось получить качественные результаты. В дни затишья (качка до  $0,02^\circ$ ) среднеквадратическое отклонение в пределах каждой серии составило примерно  $0,06$  мГал. При усилении качки (до  $0,06^\circ$ ) погрешность ожидаемо выросла. К настоящему моменту по маршруту дрейфа выполнено около 30 измерений со значением среднеквадратической ошибки от  $0,06$  до  $0,9$  мГал. Выяснилось, что для проведения плановых измерений, с привязкой к определенной дате и координатам, без гиростабилизации ГАБЛ использовать невозможно. Применимость прибора обеспечивается строгим соблюдением инструкции по эксплуатации и разработанными методическими приёмами абсолютных измерений на ЛСП. Достигнутая среднеквадратическая ошибка позволяет признать результаты пригодными для решения задач развития сети гравиметрических наблюдений в Арктике. Полученный опыт будет использован при дальнейшей работе и для создания морского гравиметрического комплекса, включающего абсолютный гравиметр «ГАБЛ-ПМ» и относительный гравиметр «Чекан-АМ», объединённых общей вычислительной базой. Будет произведена оценка необходимости и потенциальной возможности уточнения глобальных моделей гравитационного поля Земли в высоких широтах для целей навигации и решения геологических задач изучения Арктики.

## **Нелинейные нерезонансные явления в высокоширотной F-области ионосферы при воздействии мощных КВ радиоволн**

*Н.Ф. Благовещенская\**

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

*\* nataly@aari.ru*

Представлены результаты исследований явлений в высокоширотной верхней (F-область) ионосфере, инициированных воздействием мощных КВ радиоволн в условиях, когда волна накачки обыкновенной (O-мода) поляризации не отражается от ионосферы. Выполнен ана-

лиз результатов многолетних экспериментов на КВ нагревном стенде EISCAT/Heating в г. Тромсе, Норвегия (69,6° с.ш., 19,2° в.д.) с использованием разнообразной диагностической аппаратуры. Эксперименты выполнялись в вечерние часы при спокойных магнитных условиях, когда частота волны накачки превышала критическую частоту слоя F2 на 1,0–2,0 МГц. Установлено, что в этих условиях при высоких эффективных мощностях излучения ( $R_{эфф} > 350$  МВт) происходит создание дактов повышенной электронной плотности, генерация мелкомасштабных искусственных неоднородностей (МИИН) и узкополосного искусственного радиоизлучения ионосферы (УИРИ). Сделано сравнение характеристик МИИН и спектральной структуры УИРИ при воздействии на ионосферу мощными КВ радиоволнами обыкновенной (О-мода) и необыкновенной (Х-мода) поляризации.

**Современные геофизические наблюдения  
на северо-востоке России:  
результаты геомагнитных измерений  
в Якутии в 24–25 циклах солнечной активности**

*А.В. Моисеев\**

*Институт космофизических исследований и аэронавтики им. Ю. Г. Шафера СО РАН,  
г. Якутск, Россия*

*\* moiseev@ikfia.ysn.ru*

Экспериментальные исследования наземных проявлений геофизических возмущений в околоземном космическом пространстве проводятся в ИКФИА СО РАН уже более 60 лет. Геофизические станции Института расположены в северо-восточной части России на географических широтах от 62 до 76° и способны осуществлять мониторинг геофизической обстановки в большой области пространства как по широте, так и по долготе. Институтом проводятся исследования вариаций космических лучей, ионосферных параметров, геомагнитного поля, полярных сияний, ОНЧ-излучений.

Далее в докладе приводятся результаты исследования геомагнитных пульсаций в диапазоне Pc5 за 10 лет (2012–2021 гг.) по данным цепочки геофизических станций Тикси (71,41° с.ш., 128,32° в.д.), Жиганск (66,47° с.ш., 123,22° в.д.), Якутск (62,02° с.ш., 129,44° в.д.). Эти станции являются высокоширотными станциями международного проекта MAGDAS (MAGnetic DAta Acquisition System) и оснащены японскими трехкомпонентными феррозондовыми магнитометрами, позволяющими осуществлять высокоточные непрерывные измерения геомагнитного поля Земли.

Анализ показал, что часть зарегистрированных пульсаций связана с суббурями, и скорее всего относится к диапазону P<sub>13</sub>. Полученные результаты согласуются с более ранними статистическими исследованиями P<sub>5</sub> в Канаде, однако демонстрируют различия, связанные с региональными особенностями ионосферы Якутии. Ниже приводятся результаты проведенного нами исследования.

– Межгодовой ход активности P<sub>5</sub> пульсаций наблюдается с запаздыванием на 1–2 года относительно солнечного цикла.

– В сезонной активности P<sub>5</sub> выражены максимумы, соответствующие равноденствиям, ряд отклонений связан как с особенностями 24-го солнечного цикла, так и с эффектами в магнитосфере и в ионосфере.

– На суточный ход P<sub>5</sub> на высоких широтах оказывает влияние главный ионосферный провал.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИКФИА СО РАН (регистрационный номер 1025031900003-2-1.3.8.)

## **Итоги морских экспедиций 2020–2021 г.г.**

*А.В. Тertyшников\**

*Институт прикладной геофизики им. Академика Е.К. Федорова, Москва, Россия*

*\* [atert@mail.ru](mailto:atert@mail.ru)*

Приведены сведения об экспериментах, организованных автором в ходе морских экспедиций в высоких широтах в 2020 г. в Южном океане и в 2021 г. в Северном ледовитом океане. Эксперименты проводились на НИС «Профессор Молчанов», НЭС «Михаил Сомов», гидрографических судах «Горизонт» и «Маршал Геловани» для решения задачи определения положения магнитных полюсов, которые находятся в зоне ответственности ААНИИ.

Приведены маршруты экспериментов и результаты расчетов, в которых данные измерений магнитных склонений сравнивались с данными по модели Международного геомагнитного аналитического поля IGRF13 (International Geomagnetic Reference Field). По времени минимальной невязки оценивалось положение магнитного полюса Земли во время экспедиции. Это простая обратная задача на соответствие для гладких функций.

Выполнена проверка «Способа определения положения магнитного полюса Земли» (Патент по Заявке на изобретение 2020134228/28(062757). Автор Тertyшников А.В.). Квазизамкнутые маршруты позволили нивелировать ошибки магнитной девиации судов.

Преимущество предложенной технологии верификации моделей магнитного поля Земли и оценки положения магнитных полюсов Земли состоит в возможности проводить регулярные оперативные измерения с судов Росгидромета на большом удалении от зоны полюсов. В том числе с помощью судовых информационно-аналитических систем, воздушных и космических измерений.

## **Результаты оптических наблюдений камеры всего неба во время экспедиции «Северный полюс-41»**

*Г.А. Загорский\*, С.А. Долгачева, А.С. Калишин, И.М. Егоров, А.В. Тепляков  
ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

*\* gazagorskiy@aari.ru*

В отделе геофизики Арктического и антарктического научно-исследовательского института активно внедряются оптические методы геофизического мониторинга. В высоких широтах к основным проявлениям геомагнитной активности относятся высыпания энергичных частиц магнитосферного происхождения и связанные с ними полярные сияния, авроральное поглощение, развитие естественных неоднородностей и пр. Одним из видов наблюдений за геомагнитной активностью является наземный мониторинг оптических явлений в авроральной зоне, в которой наиболее частым проявлением возмущений являются полярные сияния.

Целью наблюдений является исследование ионосферно-магнитосферных явлений оптическими методами. В задачи наблюдений входят: обеспечение оперативными данными об оптических явлениях в полярных областях Арктики, разработка и освоение нового вида наблюдений геофизического мониторинга на высокоширотной сети Росгидромета

С 2022 года и по конец 41-ой экспедиции «Северный полюс» на ледостойкой в ледовом лагере возле самодвижущейся платформы «Северный полюс» функционировала камера всего неба. За время работы камеры была накоплена большая статистика данных с изображениями полярных сияний разной формы, в том числе вызванных высыпаниями частиц в зоне каспа. На снимках также фиксировались и другие структуры, связанные с динамикой полярной ионосферы, например, SubAuroral Ion Drifts/Polarization Jet (SAID/PJ). Наблюдаемые явления отражаются в данных, полученных с других геофизических приборов, включая спутниковые измерения.

Кроме того, с помощью КВН исследуются и другие оптические явления, происходящие в других слоях атмосферы. Например, внутренние гравитационные волны (ВГВ), которые являются маркером динамики как приземной атмосферы, так и ионосферы.

## **Система непрерывного мониторинга вариаций геомагнитного поля в диапазоне от 0,001 до 120 Гц**

*А.В. Шиндин\*, А.В. Щенников, К.В. Козлов*

*Научно-исследовательский радиофизический институт,  
Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского,  
Нижний Новгород, Россия*

*\* shindin@rf.unn.ru*

В октябре 2024 года на полигоне «Видлица» НИРФИ ННГУ им. Н.И. Лобачевского была испытана система мониторинга вариаций естественного магнитного поля Земли. Полигон «Видлица» является одним из пунктов сети геофизического мониторинга НИРФИ ННГУ и расположен в Питкярантском районе республики Карелия на берегу Ладожского озера. Особенности расположения полигона являются значительное удаление от крупных населенных пунктов и производственных предприятий, а также отсутствие близкорасположенных линий электропередачи. Это обуславливает низкий уровень промышленных помех в наблюдаемом частотном диапазоне.

Основными элементами системы мониторинга являются:

– малошумящие широкополосные индукционные магнитометры разработанные и произведенные НИРФИ ННГУ и позволяющие измерять магнитное поле в диапазоне частот от 0,001 Гц до 2 кГц. Спектральная плотность собственного шума магнитометров в рабочем диапазоне частот значительно ниже естественного магнитного фона Земли даже при спокойных геомагнитных условиях;

– модульная система регистрации (разработка НИРФИ ННГУ) на базе аналого-цифрового преобразователя Vkinging VK701N-SD-V2 с разрядностью 24 бита и частотой дискретизации 25600 Гц и мини-ПК архитектуры x64 под управлением ОС Linux;

– система автономного аккумуляторного питания емкостью около 1400 Вт·ч с возможностью подзарядки от солнечных батарей и от сети 220 В.

Два индукционных магнитометра размещены в герметичных контейнерах и закопаны в грунт на глубину около 30 см для защиты от воздействия ветра и осадков. Магнитометры ориентированы по сторонам света Север-Юг и Восток-Запад. При выборе места установки магнитометров был учтен тот факт, что растущие близко деревья в ветреную погоду создают сейсмические помехи, к которым индукционные магнитометры чувствительны. Кабели к контейнерам подведены в герметичном гофроканале. По кабелям на магнитометры поступает напряжение питания, а также передается дифференциальный аналоговый выходной сигнал на систему регистрации.

Сигналы с выходов магнитометров поступают на входы аналоговых сглаживающих фильтров, а затем на входы АЦП. Оцифровка производится с частотой 25600 Гц и разрядностью 24 бита с последующей обработкой сигналов программными цифровыми фильтрами-дециматорами. Итоговая частота дискретизации на выходе фильтров равна 320 Гц. При этом верхняя регистрируемая частота сигнала равна 128 Гц.

Оцифрованные и отфильтрованные данные записываются на локальный жесткий диск с привязкой к системному времени. Системное время синхронизируется по протоколу NTP. Полученные данные периодически копируются на два удаленных сервера. Данные доступны через интернет в режиме реального времени.

Система мониторинга постоянно модифицируется и улучшается. На данный момент основными недостатками являются относительно малое время автономной работы (60 часов без подзарядки АКБ) и отсутствие системы жесткой временной синхронизации сбора данных. В настоящее время ведутся работы в направлениях снижения потребляемой мощности и увеличения емкости АКБ, а также разработки модуля синхронизации сбора данных по сигналам точного времени.

Анализ полученных на полигоне «Видлица» данных показал высокую степень корреляции между амплитудами индукции магнитного поля на полигоне с планетарным показателем геомагнитной активности Земли (Кр-индекс).

## **Динамика аномального магнитного поля в Арктике и её возможные причины**

*Ю.Г. Турбин\**

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

*\* turbin\_ug@aari.ru*

Состояние природной среды в последнее время значительно и резко изменилось. Заметные изменения произошли и в литосфере. Они проявились в росте количества землетрясений, извержений вулканов, в активизации глобальных разломов. Особенно заметными оказались изменения положения магнитного полюса. Район нахождения магнитного полюса северного полушария был чётко отмечен по данным ледостойкой платформы в рейсе СП-41 в районе хребта Ломоносова. Кроме того, по данным НИС «Ледовая база Мыс Баранова» было установлено, что та составляющая магнитного поля, которая создаётся намагниченными породами, не остаётся постоянной. Ранее уже сообщалось, что за пять лет это изменение составило 28 нТл. Оценка возможных причин такого изменения показала, что наиболее вероятной из них является изменение температуры пород литосферы. Такая возможность определяется геологией и геодинамикой этого района.

Остров Большевик, на котором расположена НИС, в ныне принятой схеме динамики литосферных плит, находится в районе, где в других аналогичных районах образуется островная дуга вулканов. В соответствии с этой схемой литосферная плита морского дна, в нашем случае это дно котловины Нансена, погружается под материк и по мере погружения разогревается. Тепло с нагревающейся её части поступает наверх, разогревая и расплавляя вышележащие породы. Это тепло, также, как и тепло других внутриземных источников, вполне может быть одной из причин изменения намагниченности пород и, соответственно, величины магнитного поля в этом районе. При этом для значительных изменений намагниченности не требуется значительных изменений температуры пород, если эти изменения происходят вблизи точки Кюри. Сейсмические исследования, проведённые как в районе хребта Гаккеля и острова Большевик, так и в аналогичных геотектонических районах, показали, что характерные времена изменения температуры литосферы в этих районах составляют всего первые единицы лет. Тогда изменения величины локального аномального магнитного поля, вызванные изменением намагниченности пород литосферы, могут служить индикатором изменения интенсивности теплового потока из глубин Земли.

Кроме того, изменениями аномального магнитного поля можно объяснить движение магнитного полюса при практически неизменном положении как геомагнитного полюса и магнитного экватора, так и резкие изменения направления хода или величины вековой вариации на некоторых станциях, то есть появление её локальных джерков.

## **Особенности моделирования КВ радиоканала при искусственной модификации ионосферы**

*Т.Д. Борисова\**

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия*

*\* borisova@aari.ru*

Ионосфера — чрезвычайно сложная система, поведение которой обусловлено как процессами, происходящими в ионосфере и зависящими от влияния излучения Солнца, процессов в магнитосфере, движений в верхней атмосфере и т.д. Особый интерес представляет поведение ионосферы в экспериментах при воздействии мощных коротких радиоволн (КВ).

Для исследования явлений, вызванных мощными КВ радиоволнами в ионосферной плазме используется широкий набор диагностической техники, включающей в себя разнообразные системы радиозондирования, доплеровские измерения, радары, телекамеры оптических измерений, магнетометры и другие научно-измерительные приборы,

установленные как на поверхности Земли, а также и на спутниках. Интерпретация экспериментальных результатов требует построение определенной модели проводимого эксперимента для учета основных (известных) факторов, влияющих на поведение системы как целого. Модель должна адекватно описывать весь круг процессов, которые можно учесть в ходе эксперимента по модификации ионосферы и при этом не быть слишком сложной, т.к. чрезмерное усложнение модели может привести к уменьшению достоверности получаемых результатов моделирования. За основу описания пространственно-временных изменений электронной концентрации ионосферы взята глобальная модель ионосферы, построенная на основе объединения известных моделей отдельных ионосферных слоев E, F1, F2 и межслоевых долин.

Численная модель радиоканала для определения траекторных (энергетических) и доплеровских характеристик КВ радиосигналов в плавно-неоднородной анизотропной ионосфере с локальными неоднородностями разработана в ААНИИ в границах метода геометрической оптики. Модель реализована исходя как из существующего уровня наших знаний, так и из требований предъявляемых к модели в ходе конкретного эксперимента. Модель описывает:

- рефракционные явления с резкими границами;
- эффекты рассеяния на локальных неоднородностях (механизмы ракурсного и обратного рассеяния).

### **ЛЧМ-ионозонд 1,5–54 МГц на базе ионозонда ИОН-ФАСТ для исследования эффекта ракурсного рассеяния в Арктике**

*К.К. Грехнева<sup>1\*</sup>, А.В. Шиндин<sup>2</sup>, Н.С. Тимукин<sup>2</sup>, С.П. Моисеев<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> ООО Радио Гигабит, Нижний Новгород, Россия*

*<sup>2</sup> Научно-исследовательский радиофизический институт, Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия*

*\* kseniya81422@mail.ru*

Обеспечение устойчивой КВ-радиосвязи в арктической зоне является критически важной задачей, особенно в периоды сильной магнитно-ионосферной возмущенности. Традиционные каналы связи, использующие распространение через F-слой, подвержены серьезной деградации во время магнитных бурь: наблюдается, резкий рост поглощения радиоволн в нижней ионосфере и сужение диапазона рабочих частот вплоть до полного блэкаута. Однако интенсивное высыпание заряженных частиц в высоких широтах сопровождается образованием мощного неоднородного спорадического слоя Es. Использование низкочастотной

части УКВ-диапазона позволяет реализовать альтернативный канал связи за счет ракурсного рассеяния радиоволн от неоднородностей слоя Es, тем самым нейтрализуя последствия блэкаута.

Для исследования параметров высокоширотных ионосферных каналов разработан макет мобильного ЛЧМ-ионозонда с расширенным до 54 МГц диапазоном зондирования. Основой макета выступает универсальная диагностическая платформа (Xilinx Zynq 7020 на базе отладочной платы Red Pitaya SDRlab 122-16).

Платформа оснащена двухканальными 16-битными АЦП и 14-битными ЦАП с частотой дискретизации 122,88 МГц, что аппаратно обеспечивает возможность работы в расширенном частотном диапазоне.

Передающая часть ионозонда включает два независимых комплекта предусилителей (5 Вт) и мощных линейных LDMOS-усилителей (до 1,5 кВт), а приемная — два комплекта малошумящих усилителей и фильтров нижних частот.

В ходе стендовых испытаний подтверждена возможность макета излучать и регистрировать ЛЧМ сигнал во всем заявленном диапазоне (1,5–54 МГц). Успешно протестирована работа программно-аппаратного комплекса маршрутизации и обмена данными. Лабораторные испытания подтверждают готовность модифицированной платформы к проведению натурных экспериментов.

Использование расширенного до 54 МГц частотного диапазона и двухканальной цифровой обработки сигналов является перспективным инструментом для мониторинга изменчивости ионосферы в условиях Арктики.

Внедрение ЛЧМ-ионозондов с расширенным диапазоном частот в районах Арктики позволит повысить надежность систем связи за счет оперативной адаптации алгоритмов автоматического установления канала к условиям ракурсного рассеяния на спорадическом слое Es.

## **Наблюдение эффектов солнечных вспышек на НЭС «Северный полюс»**

*А.С. Калишин\*, И.С. Байшев, Н.Ф. Благовещенская, Т.Д. Борисова,  
И.М. Егоров, Г.А. Загорский, О.Ю. Стрибный*

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

*\* askalishin@aari.ru*

Представлены результаты наблюдений эффектов солнечных вспышек, выполненных в период экспедиций СП-41 и СП-42 при помощи многоканального доплеровского комплекса. Для проведения наблю-

дений на борту судна и ледовом поле был развернут комплекс антенн КВ-диапазона. В качестве диагностических сигналов используются амплитудно-модулированные сигналы вещательных станций. Регистрировались сигналы радиоцентров Китая, Европы и США. По результатам наблюдений выполнено диагностирование внезапных ионосферных возмущений (ВИВ) — резкого возрастания электронной концентрации в D-, E- и F-областях ионосферы. Подобные изменения электронной концентрации наблюдались во время солнечных вспышек, которые сопровождались всплесками интенсивности рентгеновского и ультрафиолетового излучения Солнца.

Доплеровский метод позволяет фиксировать такие ВИВ как коротковолновый фединг (SWF), который проявляется в виде резкого уменьшения амплитуды диагностического сигнала, и внезапная девиация частоты SFD — выражается в изменении частоты принимаемого сигнала.

Диагностика ВИВ имеет важное значение для прогнозирования магнитно-ионосферных возмущений и условий распространения радиоволн. ВИВ представляют собой непосредственные эффекты солнечных вспышек, которые регистрируются на всей освещенной стороне Земли практически одновременно с солнечной вспышкой. Вместе с этим во время вспышки Солнце является также источником низкоэнергичной плазмы, которая достигает Земли через 20–40 часов после вспышки, поэтому ВИВ могут быть использованы в качестве предикторов геомагнитных возмущений.

## **Геофизические наблюдения в п. Баренцбург**

*Н.А. Степанов\*, А.В. Франк-Каменецкий, Т.Д. Борисова, С.Н. Шаповалов  
ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

*\* nikitasa@aari.ru*

Геофизические наблюдения, проводимые в п. Баренцбург (арх. Шпицберген, 78,06° с.ш., 14,22° в.д.), являются самыми высокоширотными стационарными наблюдениями в Российской Арктике. В зависимости от геомагнитной возмущенности и местного времени, станция может располагаться как в полярной шапке, так и в зоне полярных сияний, а в некоторых случаях даже в субавроральной зоне. Такое расположение станции позволяет исследовать процессы, определяющие космическую погоду. Геофизические наблюдения включают в себя регистрацию вариаций магнитного поля Земли (МВС LEMI-004), измерение интенсивности космического радиоизлучения в КВ диапазоне с целью определения аномаль-

ной ионизации в нижней ионосфере (риометр), наклонное зондирование ионосферы (ЛЧМ ионозонд) и спектральные наблюдения солнечной УФ радиации (спектрометр AvaSpec-3648). Данные наблюдений передаются в реальном времени в Полярный геофизический центр ААНИИ, где совместно с данными наблюдений других Российских высокоширотных станций используются для диагностики космической погоды, возможности ее прогнозирования и условий распространения радиоволн.

**Результаты моделирования сеансов  
коротковолновой радиосвязи  
между НЭС «Северный полюс»  
и научными станциями в Антарктиде**

*Т.Д. Борисова\*, О.Ю. Стрибный, А.С. Калишин, Н.Ф. Благовеценская  
ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

\* *borisova@aari.ru*

В период проведения экспедиций «Северный полюс-41» и «Северный полюс-42» были проведены серии сеансов коротковолновой радиосвязи между ледостойкой самодвижущейся платформой и научно-исследовательскими станциями в Антарктиде. Протяженность радиотрасс составляла более 17 тыс. км. Радиосвязь осуществлялась в диапазоне частот от 7 до 21 МГц. Мощность излучения зависела от частотного диапазона, а также от типа используемой модуляции и варьировалась в диапазоне от 100 до 1500 Вт. Выполнен анализ фоновых геофизических условий в периоды проведения сеансов радиосвязи и моделирование траекторных расчетов методом геометрической оптики.

## ПОСТЕРНЫЕ ДОКЛАДЫ

### КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В АРКТИКЕ

#### **Использование методов машинного обучения для классификации состояний пограничного слоя атмосферы при различных условиях облачности по данным дрейфующих станций «Северный полюс»**

*И.А. Махотина\**

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

*\* ir@aari.ru*

Облачность, взаимодействуя с длинноволновой радиацией, оказывает влияние на радиационный баланс морского ледяного покрова, уменьшает эффективное излучение поверхности и увеличивает встречное излучение атмосферы по сравнению с аналогичными измерениями при ясном небе. На основе данных измерительной кампании SHEVA авторы (Stramler et al, 2011) выявили наличие в зимний период двух мод в распределении повторяемости длинноволнового радиационного баланса и, поставив их в соответствие с состоянием ясного неба и сплошной облачности, показали, что в зависимости от наличия или отсутствия облаков пограничный слой атмосферы (АПС) может находиться в двух характерных состояниях: при ясном небе АПС устойчивый, более холодный, а при сплошной облачности — неустойчивый, более теплый, с сильным ветром. Ещё одним способом определять наличие облаков в полярную ночь является использование облакомера, оснащенного импульсным диодным лазером. Начиная с 2007 года, использование на дрейфующих станциях облакомера позволило улучшить временное разрешение и получить информацию о наличии облаков в зените над прибором с шагом 15 секунд. Третий способ изучения состояния неба — визуальное определение облачности. На дрейфующих станциях «Северный полюс» (СП) в 1950–1990 гг. визуальные наблюдения показали наличие максимумов в распределении повторяемости баллов облачности для ясного неба (0–2 балла) и сплошной облачности (8–10 баллов). Задачей данного исследования является определение наиболее надёжного способа для разделения случаев ясного неба и сплошной облачности в полярную ночь. Приводится анализ со-

стояния приземного слоя атмосферы в Арктике в период с ноября по февраль при наличии и отсутствии облаков по результатам наблюдений на СП-37, СП-39 – СП-42 (с 2009 по 2025 гг.). Разделение по категориям (сплошная облачность или ясное небо) проводилось тремя способами: на основе визуальных наблюдений, по значению длинноволнового баланса и по облакомеру. Для решения задачи классификации в работе использовались методы машинного обучения и вычислялись матрицы ошибок для каждого из выбранных методов (дискриминантный анализ, метод  $k$ -средних, метод опорных векторов).

## **Исследование динамики ледника Норденшельда по данным сейсмометров за 2017 год**

*К.В. Кравцова\*, Н.В. Колабутин, М.С. Знаменский*

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

*\* kvkravcova@aari.ru*

Архипелаг Шпицберген расположен в зоне влияния крупных североатлантических морских течений и мощных атмосферных потоков, где климатические изменения происходят в 4 раза быстрее среднемировых показателей. Ледниками покрыто около 60 % его поверхности; они отступают, подвергаются абляции и активно продуцируют айсберги. Целью исследования является анализ динамического состояния ледника Норденшельда и выявление сейсмических предвестников айсбергообразования.

В работе использованы данные молекулярно-электронных сейсмометров СМЕ-4311, размещённых в составе сейсмокомплекса: на леднике Норденшельда установлено две и одна на береговом грунте. Период наблюдений охватывает временной отрезок с 8 августа по 14 сентября 2017 года.

Для обеспечения сопоставимости записей выполнена децимация данных до 20 Гц с применением фильтра антиалайзинга. Ко всем каналам был применен полосовой фильтр Баттерворта в частотном диапазоне 0,033–9,5 Гц. Детектирование событий выполнено алгоритмом STA/LTA; параметры окон и пороговые значения были оптимизированы отдельно для августовской и сентябрьской серий данных с учётом различий в интенсивности, уровне сейсмического шума и плотности событий.

Различие в масштабах интенсивности между августом и сентябрём подтверждает различную природу процессов: массовое внутреннее растрескивание в августе и единичные, но более энергетически значимые события отёла в сентябре. Показано, что события отёла характеризуются более высокой межстанционной корреляцией по сравнению с сигналами

лами внутреннего трещинообразования. Сейсмокомплекс и методика STA/LTA продемонстрировали эффективность для мониторинга нестациональности ледниковых фронтов и могут быть использованы при разработке систем раннего предупреждения об айсбергопасности.

## **Влияние особенностей инсоляции на пространственное распределение баланса массы ледниковых куполов острова Беннетта**

*А.А. Фыгина<sup>1,2\*</sup>, А.В. Терехов<sup>1</sup>, Д.В. Банцев<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Институт наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург, Россия

\* *aafygina@aari.ru*

На примере острова Беннетта (Восточно-Сибирское море) рассмотрена роль коротковолновой радиации (КВР) в формировании пространственного распределения баланса массы арктических ледниковых куполов. Целью исследования являлась количественная оценка влияния неравномерности инсоляции на величину снижения поверхности ледников. Изменение высоты поверхности четырех ледниковых куполов острова Беннетта общей площадью около 56 км<sup>2</sup> за 2012–2022 гг. было рассчитано ранее по разновременным фрагментам ЦМР ArcticDEM. В среднем, оно составило  $-6,27 \pm 0,12$  м, что соответствует балансу массы в  $-5,33 \pm 0,39$  м в.э. Средний за типичный сезон абляции (76 безморозных суток в год, 1994–2024 гг. по данным реанализа ERA5-Land) поток приходящей КВР при ясном небе был смоделирован в SAGA GIS с учётом астрономических и морфометрических факторов. Пространственная изменчивость инсоляции при ясном небе на поверхности куполов составляет от 360 до 520 Вт/м<sup>2</sup>. Для двух куполов выявлена статистически значимая прямая зависимость снижения поверхности от величины инсоляции, с линейным трендом 0,013–0,021 м дополнительного таяния на 1 Вт/м<sup>2</sup>. Показано, что для меньших куполов максимальные различия в инсоляции при ясном небе (160 Вт/м<sup>2</sup>) эквивалентны действию высотного градиента в 100–200 м. Для крупнейшего купола, Толля, проследить влияние инсоляции оказалось невозможным: из-за горизонтального движения ледника, понижение поверхности, рассчитанное геодезическим методом, не тождественно реальному таянию, поэтому дальнейшее изучение вопроса требует натурных измерений баланса массы гляциологическим методом.

# Оценка испарения в заполярной области России по водноиспарительной сети Росгидромета

*А.Д. Журавлева\*, С.А. Иванова, Л.С. Курочкина*

*Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия*

*\* a.d.zhuravleva@gmail.com*

В представленном исследовании осуществлен анализ динамики испарения на водноиспарительных площадках заполярного региона России. Используются архивные данные всех функционирующих станций, где измерения проводились с применением водного испарителя ГГИ-3000. К перечню водноиспарительных площадок относятся: Туманная, Умба, Зареченск, Каневка, Апатиты (Мурманская область); Салехард (Ямало-Ненецкий автономный округ, р. Обь); Туруханск (Красноярский край, р. Енисей); Жиганск, Верхоянск, Среднеколымск (Республика Саха (Якутия), р. Лена, Яна, Колыма). Хронология наблюдений охватывает период с 1955–1965 гг. по 2021–2024 гг.

Установлен общий отрицательный тренд испарения по совокупности станций, коррелирующий с феноменом «парадокса испарения». Валидация расчетов по методике Иванова Н.Н., которая связывает испарение с открытой водной поверхностью (за месяц в миллиметрах слоя воды) со средней месячной температурой воздуха и относительной влажностью воздуха, подтвердила их адекватность наблюдаемым значениям посредством трех метрик: коэффициента корреляции, коэффициента Клинг-Гупта и относительной ошибки средних (Bias, %). Сравнительный анализ включал также данные реанализов ERA5, GLEAM и MODIS.

Полученные результаты обосновывают рекомендацию по применению методики Иванова Н.Н. в качестве надежного инструмента оценки испарения при наличии метеорологических наблюдений; в случае дефицита данных целесообразно использовать продукты реанализа. Исследование свидетельствует о снижении испарения в арктической зоне России и предлагает методологию для его количественной оценки в контексте климатических изменений.

# ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В АРКТИКЕ

## Попутные термохалинные исследования поверхности Северного Ледовитого океана в августе-сентябре 2025 года

*Н.А. Куссе-Тюз\*, В.А. Меркулов, А.Д. Тарасенко*

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

*\* kusse-tuz@aari.ru*

В августе-сентябре 2025 года состоялась экспедиция «Северный полюс-42» на НЭС «Академик Трёшников». Почти на всей протяжённости пути экспедиции проводились попутные наблюдения за температурой и солёностью поверхности моря. Измерения как правило выполнялись каждые 2 часа, а в случае прохождения судном потенциально интересных районах (у кромки льда, в местах возможного появления речных плумов) измерения производились ежечасно. За период с 21 августа по 23 сентября 2025 года было выполнено 264 измерения вдоль трека судна. Измерения проводились с середины восточной части Баренцева моря, через центральную часть Карского моря, сквозь пролив Шокальского, далее в море Лаптевых от мыса Арктического вдоль континентального склона до хребта Ломоносова, и затем на север по нему до приполюсного района и на обратном пути, практически повторяющем трек.

Солёность Баренцева моря составляла около 34,5 п.е.с. В восточной части Карского моря было отмечено падение солёности до 26 п.е.с., а в восточной части моря Лаптевых до 24 п.е.с., что указывает на пересечение Обско-Енисейского и Ленского речных плумов соответственно. В северо-западной части моря Лаптевых солёность достигала 32,7 п.е.с. Во всех этих морях в конце экспедиции, по сравнению с её началом наблюдалось сезонное понижение температуры. Так, в Баренцевом море она упала с 7–10 °С до 4–7 °С, в Карском — с 6–10 °С до 0–3 °С и в Лаптевых — с 0–5 °С до –1 – –2 °С.

По мере пересечения прикромочной зоны в сторону сплочённого ледяного покрова наблюдалось относительно резкое понижение температуры до значений около температуры замерзания: до –1,4 – –1,6 °С и далее к северу вплоть до –1,7 °С. Поле солёности же было гораздо бо-

лее неоднородным. По мере удаления к северу от прикромочной зоны (79–80° с.ш.) солёность росла от 26 п.е.с. до 31–32 п.е.с. на 83–84 ° с.ш. Севернее 84° с.ш. маршрут судна охватывал зоны к востоку и западу от хребта Ломоносова, которые значительно отличались друг от друга по солёности. В котловине Амундсена и над хребтом Ломоносова наблюдались значения 31–32,5 п.е.с., а в котловине Макарова 30–30,5 п.е.с.

Также было проведено сравнение со спутниковыми данными солёности и температуры с учётом сплочённости льда.

## **Основные паттерны крупномасштабной изменчивости температуры поверхности воды Северо-Европейского бассейна**

*Е.А. Чернявская\*, Н.А. Лис, Л.А. Тимохов*

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия*

*\* eachernyvszkaya@aari.ru*

Северо-Европейский бассейн — критическое звено трансформации атлантических вод и теплообмена между Атлантикой и Арктикой. Понимание пространственно-временной организации аномалий температуры поверхности океана (ТПО) необходимо для прогноза климатических изменений в регионе.

Целью работы являлось выявление и физическая интерпретация ведущих режимов изменчивости ТПО в Норвежском, Гренландском и Баренцевом морях как единой системы за период 1950–2024 гг. Для этого было применено разложение на эмпирические ортогональные функции (ЭОФ) к среднегодовым аномалиям ТПО (реанализ ERA5, разрешение 0,25°). Проведен корреляционный анализ временных рядов главных компонент (ГК) с индексами атмосферной циркуляции, потоками тепла через ключевые створы бассейна и данными вертикальных разрезов. Выделены три статистически значимые моды, объясняющие 55,8 % общей дисперсии поля ТПО.

Первая мода (25 % дисперсии) имеет дипольную структуру «запад–восток» и, по-видимому, описывает механизм атлантификации и скорость транзита тепла в Арктику.

Вторая мода (16,4 % дисперсии) характеризуется широтно-ориентированной дипольной структурой модулируя поле аномалий ТПО под влиянием изменений интенсивности Атлантической меридиональной опрокидывающейся циркуляции (АМОЦ) и Арктической осцилляции.

Третья мода (14,4 % дисперсии) проявляется обширной положительной аномалией в западной и центральной частях акватории. Интерпретируется как индикатор глубинной конвекции в Гренландском море: положительная фаза ее ГК соответствует усилению зимней конвекции (выхолаживанию поверхности и заглужению вод), отрицательная — подавлению.

Выявленные моды позволяют количественно оценивать вклад различных механизмов (адвекции, изменчивости АМОЦ, глубокой конвекции) в термический режим Северо-Европейского бассейна. Результаты могут быть использованы для интерпретации климатических прогнозов, оценки воздействия на ледовый режим и экосистемы, а также для верификации климатических моделей в высоких широтах.

## **Изменчивость теплообмена в Баренцевом и Беринговом морях**

*А.А. Сумкина\*, К.К. Кивва, А.С. Мальшева*

*ГНЦ РФ Всероссийский научно-исследовательский институт  
рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия*

*\* sumkinaaleksa@yandex.ru*

Тепловой баланс поверхности моря определяет поглощение или отдачу тепла при взаимодействии океана с атмосферой, что напрямую влияет на физические процессы в обеих средах. Суммарная теплоотдача в холодный период года задает глубину развития конвекции, формирует структуру водных масс и выступает важным фактором, влияющим на сроки и интенсивность весеннего «цветения» фитопланктона. Используются данные реанализа ERA5 Европейского центра среднесрочных прогнозов (ECMWF) о потоках коротковолновой и длинноволновой радиации, явного и скрытого тепла. Анализ проведен для Баренцева моря за период 1979–2019 гг. и для Берингова моря за 1979–2021 гг. Суммарный тепловой баланс (ТБ) рассчитывался как сумма всех компонентов. Для каждого года определялась дата устойчивого перехода баланса через ноль, а модуль суммы отрицательных значений за холодный период интерпретировался как величина сезонной теплоотдачи (выхолаживания поверхности).

В Баренцевом море отмечается четкая меридиональная зональность в распределении теплоотдачи. Наибольшие абсолютные значения (от  $-4500$  до  $-4000$  МДж/м<sup>2</sup>) приурочены к зоне влияния центральной ветви Нордкапского течения ( $72-73^{\circ}$  с.ш.,  $20-30^{\circ}$  в.д.), а также к проливу Фрама (до  $-4500$  МДж/м<sup>2</sup>). В Беринговом море максимальная средняя

теплоотдача ( $-4500 \dots -3500$  МДж/м<sup>2</sup>) зафиксирована в двух районах: у Корякского побережья (северо-западная часть моря) и на склоне шельфа. Высокие значения ( $-3500 \dots -3000$  МДж/м<sup>2</sup>) также характерны для южного побережья Чукотского полуострова. В глубоководных районах, свободных ото льда, показатели составляют около  $-2000$  МДж/м<sup>2</sup>. Минимальные значения теплоотдачи ( $-1500 \dots -500$  МДж/м<sup>2</sup>) отмечены в восточной части моря. Полученные количественные оценки сезонной теплоотдачи позволяют уточнить представления о пространственной неоднородности энергообмена в арктических и субарктических морях.

## **Сток рек архипелага Шпицберген в современных климатических условиях**

*К.В. Ромашова\*, И.И. Василевич, М.В. Третьяков, Н.Л. Секисов,  
Г.А. Шарков, А.М. Голубков*

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

*\* kvromashova@aari.ru*

В современных климатических условиях на архипелаге Шпицберген, являющемся одним из наиболее быстро нагреваемых регионов Арктики, происходит значительная трансформация гидрологического режима малых рек, наглядно проявляющаяся на примере водотоков залива Грэнфьорд. Основным фактором изменений выступает повсеместная деградация ледников. Согласно обобщённым данным, реки архипелага с высокой степенью оледенения водосборов (более 45 %) Байелва, Веренскиолд, Альдегонда, Бретьерна являются наиболее полноводными, их среднегодовой слой стока достигает 1053–1886 мм, тогда как для безледниковых или слабо оледенелых водосборов (менее 15 %) эта величина составляет около 500 мм. Водосбор залива Грэнфьорд включает реки с различным типом питания (ледниковое, снеговое, смешанное) и позволяет выявлять общие тенденции изменения стока архипелага.

Прямые измерения расхода воды в устьях рек на архипелаге проводятся с июня по сентябрь, однако они не охватывают многоводный период весеннего половодья (май–июнь) и осенний период с возможными оттепелями (октябрь). Сочетание инструментальных измерений сезонного стока (июль – сентябрь) и математического моделирования годового гидрографа позволяет наиболее полно охарактеризовать современный режим рек бассейна. Чтобы восполнить пробелы, мы адаптировали полу-распределённую гидрологическую модель стока HBV отдельно для каждой реки залива Грэнфьорд и для каждого года в период

2016–2025 гг. Сравнение модельных оценок с данными прямых измерений в летний период подтверждает их хорошую сходимость и позволяет уточнить вклад/влияние различных источников питания внутри сезона. По нашим данным в период 2016–2025 гг.: увеличивается повторяемость зимних дождей, отмечается внутрисезонная изменчивость стока, наблюдается увеличение водности экстремальных паводков на фоне продолжающегося таяния ледников.

## **Современные подходы к оценке влияния притока пресных вод на природные процессы в морях Северного Ледовитого океана**

*Н.А. Волкова\**

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия*

*\* navolkova@aari.ru*

В последние десятилетия приток пресных вод в моря Северного Ледовитого океана (СЛО) демонстрирует устойчивую тенденцию к росту, обусловленную как увеличением речного стока крупных арктических рек (Оби, Енисея, Лены), так и ускоренным таянием ледников и многолетней мерзлоты. Трансформация гидрологического режима оказывает влияние на стратификацию водных масс, процессы льдообразования, биопродуктивность шельфовых экосистем и климатическую систему в целом. Традиционные методы оценки распространения пресных вод, основанные на дискретных экспедиционных данных и упрощенных гидрологических моделях, не позволяют в полной мере учитывать высокую пространственно-временную изменчивость этого процесса в условиях современной Арктики.

В работе представлены результаты анализа данных дистанционного зондирования Земли с использованием алгоритмов машинного обучения. Применялась информация от российских спутниковых группировок для мониторинга высокоширотных районов. Искусственный интеллект использовался для обработки больших массивов спутниковых снимков и выявления закономерностей. Алгоритмы позволили диагностировать изменения солености и температуры поверхностного слоя воды. Получены предварительные оценки влияния речного стока на водные массы океана. Выявлены зоны интенсивного перемешивания пресных и морских вод в Карском море. Методы машинного обучения ускорили обработку данных по сравнению с ручным анализом.

Работа выполнена в рамках темы 5.1 Плана НИТР Росгидромета на 2025–2029 гг. «Развитие моделей и методов мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы, океана, морского ледяного покрова, ледников и вечной мерзлоты, исследования процессов взаимодействия льда с природными объектами и инженерными сооружениями для Арктики».

## **Динамика стока Колымы в XXI веке под влиянием меняющегося климата**

*А.А. Лисина<sup>1,2\*</sup>, И.Н. Крыленко<sup>1,2</sup>, Ю.Г. Мотовилов<sup>2</sup>, Н.Л. Фролова<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

*<sup>2</sup> Институт водных проблем РАН, Москва, Россия*

*\* [lisanastya99@mail.ru](mailto:lisanastya99@mail.ru)*

Бассейн р. Колымы, полностью расположенный в зоне сплошного распространения многолетней мерзлоты, относится к числу наиболее чувствительных к климатическим изменениям регионов Северо-Востока России. Цель работы — оценка возможных изменений речного стока Колымы в XXI веке на основе гидрологического моделирования. Для расчетов использован информационно-моделирующий комплекс ЕСОМАГ, ранее апробированный для бассейна Колымы на историческом периоде. Калибровка и верификация модели по данным гидрологических наблюдений для створов Колымское и Среднеколымск показали хорошее качество воспроизведения суточных расходов воды, что позволяет применять модель для сценарных оценок будущего стока. Ранее выполненные расчеты показали, что модель воспроизводит основные наблюдаемые изменения водного режима, включая рост годового стока, увеличение стока в конце лета — начале осени и сокращение продолжительности зимней межени. По данным наблюдений в створе Колымское годовой сток увеличился на 7 % при сравнении более раннего и более позднего интервалов наблюдений. Для соответствующих периодов выявлено увеличение среднегодовой температуры воздуха на 1,3 °С и годовой суммы осадков на 9 %, что указывает на выраженный климатический сигнал в изменении водного режима бассейна. В настоящей работе для оценки будущих изменений стока использованы климатические данные проекта СМIP6, что позволяет получить более современную оценку возможной трансформации водного режима Колымы в XXI веке. Расчеты показывают сохранение общей направленности изменений водного режима: ожидается увеличение годового стока, а также рост стока летне-осеннего периода. Наиболее заметные изменения

связаны с перераспределением стока внутри года, включая тенденцию к сокращению зимней межени и усилению водности во второй половине теплого сезона. Полученные результаты важны для оценки будущих изменений водных ресурсов северных рек криолитозоны и могут быть использованы при анализе гидрологических рисков и адаптации водохозяйственных решений в бассейне Колымы.

## **Мезомасштабный вихрь в прикромочной ледовой зоне Карского моря в августе 2024 года**

*Д.С. Красильников<sup>1,2,3\*</sup>, В.А. Добродий<sup>4</sup>, В.В. Жмур<sup>1,2,3,5</sup>, И.Е. Козлов<sup>4</sup>,  
О.А. Сашова<sup>1</sup>, С.А. Мошаров<sup>1</sup>, А.В. Зимин<sup>1,6</sup>,  
Ю.В. Фомин<sup>2</sup>, Е.В. Плотников<sup>4</sup>*

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

<sup>2</sup> *Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>3</sup> *Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный, Московская обл., Россия*

<sup>4</sup> *Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия*

<sup>5</sup> *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

<sup>6</sup> *Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

*\* krasilnikov.dmitrij@inbox.ru*

Прикромочная ледовая зона — это регион активного взаимодействия между атмосферой, океаном и льдом, где часто образуются вихревые структуры. Уточнение процессов, происходящих в этой зоне, важно как для моделирования местной циркуляции, так и для прогнозирования климатических изменений, в частности, сокращения площади морского льда и изменения экосистем в Северном Ледовитом океане. В работе на основе совместного анализа данных контактных и спутниковых измерений за короткий период лета 2024 года исследуется мезомасштабный вихрь в малоизученной прикромочной ледовой зоне на северо-востоке Карского моря. Для анализа также привлекались элементы теории эллипсоидальных вихрей. Показана сложная эволюция и вычислены основные характеристики вихря. Выдвинуты две гипотезы о причинах формирования вихревой структуры. Установлены различия в биомассе и продукционных характеристиках фитопланктона, в то время как видовая структура не показала значимой изменчивости между различными частями вихря. Результаты показывают важность развития теорий, описывающих поведение вихрей и их взаимодействие с ледовой кромкой.

Исследование было поддержано российской национальной научно-образовательной программой «Плавающий университет» (научный проект № 075-03-2024-117), научным проектом FSEG-2026-0020 СПбПУ, госзаданиями ИО РАН № FMWE-2024-0016 и МГИ РАН № FNNN-2024-0017.

## **Сравнение сезонной изменчивости атлантических вод в проливе Фрама и море Лаптевых**

*Н.А. Онищенко<sup>1\*</sup>, Д.И. Фрей<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, Москва, Россия*

<sup>2</sup> *Морской гидрофизический институт Российской академии наук, Севастополь, Россия*

*\* onisch01@gmail.com*

Следствием современных климатических трендов в Арктике является сокращение площади морского льда, особенно в летний период, и изменение структуры водных масс Северного Ледовитого океана. Важнейшим климатическим процессом является атлантификация, в ходе которой на регион увеличивается влияние теплой и соленой воды атлантического происхождения. Эти воды попадают в Северный Ледовитый океан двумя основными путями — через пролив Фрама и через Баренцево море. В Баренцевом море атлантические воды трансформируются и формируют баренцевоморскую атлантическую воду, которая продолжает движение на восток. Атлантическая вода, поступающая через пролив Фрама, изменяется меньше и движется на восток вдоль континентального склона. Несмотря на высокий интерес к исследованиям Арктики, многие районы остаются недостаточно изученными. Так, например, район моря Лаптевых, где встречаются и баренцевоморские, и фрамовские атлантические водные массы, изучен недостаточно. Спутниковые наблюдения ограничены верхним слоем океана, затруднены ледовым покровом и облачностью, а натурные данные остаются редкими и получены в безледный период. Поэтому особенно актуальными являются данные с круглогодичных автономных заякоренных станций, позволяющие исследовать изменчивость поля температуры, солёности и скорости течений в различные сезоны и на различных временных масштабах. В данном регионе с августа 2015 по август 2018 года на глубинах от 300 до 3000 метров были установлены семь автономных станций. На них были установлены регистраторы температуры и солёности, доплеровские акустические профилографы скорости течений (ADCP) и механические измерители скорости течений (RCM), данные которых

сравнивались с измерениями со станций в проливе Фрама. В работе исследовалась сезонная изменчивость фрамовских атлантических вод в проливе Фрама и на континентальном склоне моря Лаптевых, установлен сезонный ход и экстремумы основных характеристик водных масс. Также планируется, что полученный сезонный ход может лечь в основу оценки времени распространения Атлантических вод вдоль континентального склона морей российской Арктики.

Работа поддержана грантом Российского научного фонда 26-17-00013.

### **Палеомагнитные исследования донных осадков экспедиций «Северный полюс-41» и «Северный полюс-42»**

*Д.В. Элькина<sup>1\*</sup>, Т.И. Хоснуллина<sup>1,2</sup>, К.В. Гетман<sup>1,2</sup>, Д.И. Баженова<sup>1,2</sup>, А.Л. Пискарев<sup>1,2</sup>, А.А. Черенковская<sup>3</sup>, С.А. Мальшев<sup>1,4</sup>, Е.С. Овсянникова<sup>1,2,4</sup>, А.С. Гагаев<sup>1,4</sup>, Е.С. Миролюбова<sup>1,4</sup>, А.А. Крылов<sup>1,4</sup>, Е.А. Гусев<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. академика И.С. Грамберга, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup> *Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>3</sup> *Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, Россия*

<sup>4</sup> *ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия*

*\* darielfly@gmail.com*

В ходе дрейфа самодвижущейся ледовой платформы «Северный полюс» научно-исследовательского Института Арктики и Антарктики выполнялись работы геологического отряда по отбору колонок донных морских осадков из различных районов Северного Ледовитого океана. Колонки, отобранные в ходе рейсов «Северный полюс-41» и «Северный полюс-42», были подвергнуты палеомагнитным исследованиям для сравнения характеристик осадконакопления, действующих в разных районах глубоководного Арктического бассейна. Значения измеренной в колонках донных осадков магнитной восприимчивости хорошо коррелируют между соседними колонками и дают возможность оценить направление изменения скорости осадконакопления по различным морфоструктурам Северного Ледовитого океана.

# МОРСКИЕ ЭКОСИСТЕМЫ

## **Почвенное органическое вещество полярных регионов: детальные количественные и качественные оценки**

*И.И. Алексеев<sup>1\*</sup>, Е.Н. Грек<sup>1,2</sup>, А.А. Четверова<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup> ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

*<sup>2</sup> Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия*

*\* i.alekseev@aari.ru*

Результаты исследований последних десятилетий показывают, что огромное количество органического углерода, хранящегося в мерзлотных почвах, в связи с климатическими изменениями может подвергнуться высвобождению, вызванному увеличением доступности органических соединений растительного происхождения и повышением температуры. Наша работа направлена на оценку запасов органического углерода, оценку степени гумификации органопробилей почв (по показателю Сгк/Сфк), характеристику молекулярной организации органического вещества почвы, определение его потенциальной уязвимости в различных районах Арктики (п-ов Ямал, арх. Шпицберген) и Антарктики (оазисы Восточной Антарктиды, морская Антарктика).

В изученных почвах наблюдалось преобладание углерода фульвокислот, что наряду с преобладанием низкомолекулярных фрагментов во фракциях фульвокислот указывает на повышенные риски минерализации в системе гуминовых веществ полярных почв. <sup>13</sup>С-ЯМР спектроскопия гуминовых кислот (ГК) показала низкое количество ароматических фрагментов в большинстве исследованных почв. Все изученные почвы характеризуются преобладанием алифатических структур, а также углеводов, полисахаридов, простых эфиров и аминокислот, что свидетельствует о ранних стадиях процесса гумификации в изученных почвах. Это согласуется с результатами предыдущих эпизодических исследований в различных районах Сибири. Низкое содержание углерода в пробах из большинства поверхностных горизонтов изученных литоземов в оазисах Восточной Антарктиды объясняется тем, что в молекулах ГК представлены в основном алифатические группы. Гумификация в орнитогенных почвах Антарктиды в таких почвах осуществляется

более интенсивно, что приводит к формированию ГК с более развитой периферической алифатической частью. Все изученные ГК почв в Восточной Антарктиде отличаются преобладанием алифатических структур. Помимо этого, в ГК содержатся значительные количества углеводов, полисахаридов, эфиров и аминокислот. При этом в ГК почв преобладают гидрофильные фрагменты.

## **Влияние ледовых и ветровых условий на фенологию весеннего «цветения» фитопланктона в Беринговом море**

*А.С. Малышева<sup>1,2\*</sup>, К.К. Кивва<sup>1</sup>, А.А. Сумкина<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия*

*<sup>2</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

*\* malysheva@vniro.ru*

В арктических и субарктических морских экосистемах во время весеннего «цветения» (ВЦ) фитопланктона формируется более 50 % от общего годового объема первичной продукции, что служит пищей для всех гетеротрофных организмов в экосистеме. В условиях современных изменений климата прогнозируется сдвиг в сроках ВЦ фитопланктона, что может повлиять на структуру пищевой цепи Берингова моря и на виды, находящиеся на более высоких трофических уровнях, в том числе используемые в российском рыбном промысле. Изменчивость силы ветрового перемешивания и дат полного очищение ото льда (ДПО) акватории влияет на время и интенсивность ВЦ в высоких широтах. В данной работе приводится анализ воздействия этих параметров на ВЦ в Беринговом море и прилегающей части Тихоокеанского сектора Арктики (50–75° с.ш., 150–210° в.д.).

Фенологические характеристики ВЦ рассчитаны по спутниковым данным концентрации хлорофилла-а (Хл-а, мг/м<sup>3</sup>) из базы Ocean Colour Climate Change Initiative (ОС ССИ) версии 6. Исходные ежедневные данные с пространственным разрешением 4×4 км интерполированы на сетку 25×25 км в полярной стереографической системе координат. Для заполнения пропусков в исходных данных использован метод Data Interpolation Empirical Orthogonal Function (DINEOF). Дата начала ВЦ зафиксирована по пороговому методу (медиана ряда концентрации Хл-а от начала года до пика «цветения»). ДПО определены на основе массива CDR NSIDC (1979–2023 гг., разрешение 25 км, шаг 1 сутки) с помощью

порогового метода (концентрация льда в ячейке 0,15). Данные по скорости ветра (зональная и меридиональная составляющие) использованы из атмосферного реанализа ERA5. Рассмотрены кубические значения скорости ветра за месяц до и месяц после начала ВЦ.

Отмечена значимая положительная корреляция ( $r = 0,5-0,8, p < 0,05$ ) даты начала ВЦ с ДПО: чем раньше сходит лёд, тем раньше начинает развиваться ВЦ. Ветер был сильнее до начала ВЦ, значимые различия особенно заметны в глубоководной части моря.

В северной части Берингова моря ВЦ в большей степени зависит от ДПО, а в глубоководной части моря существенно влияет ветровое перемешивание.

## **Сезонная динамика размерно-весовых характеристик отдельных видов рода *Calanus* в Арктическом бассейне в 2023 году (по данным дрейфующей станции СП-41)**

*Р.Б. Самсонов<sup>1\*</sup>, О.Л. Зимина<sup>1,2,3</sup>*

<sup>1</sup> ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия

\* [rbmsamsonov@aari.ru](mailto:rbmsamsonov@aari.ru)

Отбор проб зоопланктона выполнялся в рамках программы биологических исследований дрейфующей станции «Северный полюс-41». Ежедекадно производился тотальный облов слоя 0–100 м сетью Джеди с ячеей 150 мкм и диаметром входного отверстия 37 см. Собранные пробы фиксировались формалином в конечной концентрации 4 %. В лабораторных условиях под бинокулярным микроскопом производилось измерение длины просом массовых видов арктического зоопланктона. Результаты измерений использовались для расчета массы в единицах углерода. Для дальнейшего анализа был выбран массив данных с января по декабрь 2023 года.

Полученные данные демонстрируют тенденции сезонных изменений длины и углеродной массы исследованных представителей зоопланктона.

*Calanus hyperboreus* демонстрирует увеличение среднего размера особи с апреля по август с последующим его снижением в октябре и выходом на плато в зимний период. При этом общая углеродная масса этого вида в течение года изменялась волнообразно, с промежуточными пиками в марте и мае, достигая максимума к августу, и резко снижаясь до минимальных значений в октябре.

Объединенные данные для *Calanus glacialis* и *Calanus finmarchicus* демонстрируют увеличение размеров с марта по июнь с плавным снижением к августу. При этом общая углеродная масса этих двух видов имела максимум и минимум в марте и июне, соответственно. В июле на фоне снижения длины тела наблюдался локальный максимум массы.

Характер наблюдаемых изменений вероятнее всего связан с особенностями жизненного цикла зоопланктонных сообществ и их особенностями питания и размножения.

## **Круглогодичные наблюдения за ледовой и подледной альгофлорой в районе дрейфа станции СП-42 (2024–2025)**

*В.М. Сергеева<sup>1\*</sup>, П.А. Беляков<sup>2</sup>, О.Л. Зиминова<sup>2,3,4</sup>*

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

<sup>2</sup> *ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>3</sup> *Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>4</sup> *Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия*

\* *vsergeeva@gmail.com*

За последние десятилетия заметные климатические изменения привели не только к сокращению общей площади морского льда и повышению подводной облученности в арктическом регионе, но также и к значительным балансовым изменениям между молодыми, однолетними и многолетними льдами в бассейне Северного Ледовитого океана (СЛО). Такие изменения ледяного покрова в центральной части СЛО могут привести к существенным перестройкам сообществ, населяющих лед, и, в частности, ледовой альгофлоры (обитающих во льду фотосинтезирующих водорослей, создающих первичную продукцию), что определит объем и доступность пищевых ресурсов для других трофических уровней. Несмотря на важность получения данных о первичных продуцентах, центральная часть СЛО остается одной из самых слабо изученных областей Арктики из-за ее крайней труднодоступности. В рамках программы СП-42 удалось не только собрать уникальный материал для оценки видового состава и количественных характеристик ледовых водорослей и подледной альгофлоры, но также исследовать фотосинтетическую активность водорослей в кернах однолетнего и молодого льда и в подледной воде в СЛО с октября 2024 г. по июль 2025 г. Метод нативной флуоресценции воды позволил быстро и эффективно измерить ключевые характеристики физиологического

состояния фитопланктона — квантовую эффективность первичных процессов фотосинтеза и потенциальную фотосинтетическую способность в живых образцах после обратной фильтрации. Предварительные результаты показали значительные различия таксономического и размерного состава водорослей, а также количественных характеристик по всей толщине кернов молодого и однолетнего льда и в подледной воде на протяжении всего периода исследований. Резкое увеличение количественных характеристик ледовой альгофлоры началось в середине мая, при этом для однолетнего льда были характерны в 3–10 раз более высокие значения, по сравнению с молодым льдом. В кернах молодого льда преобладали более крупные водоросли, по сравнению с однолетним льдом, где высокий вклад (до 80 %) составляли формы размером менее 3 мкм. Судя по этим данным, изменения ледяного покрова в СЛО будут приводить к изменениям размерной и таксономической структуры сообществ ледовой альгофлоры, что может оказать влияние на другие трофические уровни в глубоководном бассейне.

# МОРСКИЕ ЛЬДЫ И ЛЕДОТЕХНИКА

## Комплексное исследование морского льда в экспедициях ЛЕД-СМП

*Д.Ю. Юскаев<sup>1\*</sup>, Т.А. Алексеева<sup>1,2</sup>, С.С. Сероветников<sup>1</sup>, Е.И. Макаров<sup>1</sup>,  
В.А. Бородин<sup>1</sup>, В.Д. Котельников<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

*<sup>2</sup> Институт космических исследований РАН, Москва, Россия*

*\* [dyuskaev@aari.ru](mailto:dyuskaev@aari.ru)*

В 2023 году Арктический и антарктический научно-исследовательский институт (ААНИИ) начал серию экспериментальных научных и обучающих экспедиций «ЛЕД-СМП» на борту атомных ледоколов, функционирующих на трассах Северного морского пути (СМП). Исходной целью первой экспедиции «ЛЕД-СМП-2023» было получение новых данных о ледяном покрове в юго-западной части Карского моря, верификация методики прогноза оптимальных вариантов плавания и подготовка молодых специалистов. Уже при анализе полученных результатов и планировании программы второй экспедиции стало понятно, что спектр поставленных задач необходимо существенно расширять, а также, что назрела необходимость смены подходов к изучению морского льда как среды судоходства в целом и, в особенности, в районах интенсивного судоходства.

Основными задачами экспедиций ЛЕД-СМП в 2023–2025 гг. являлся сбор высоко детализированных данных о ключевых параметрах морского льда и сопутствующих метеорологических условиях, уточнение аспектов динамического режима ледяных массивов Карского моря, отработка режимов оперативного уточнения и верификации прогностической информации ААНИИ. Попутно решался широкий спектр прикладных задач по совершенствованию методов инструментальных наблюдений с борта судна, проведению специализированных экспериментов в реальных условиях морских операций, а также совершенствованию методик получения высоко-детализированной информации о фактических ледовых условиях. Отдельно необходимо выделить проведенный в 2024 г. совместно со специалистами ИКИ РАН подспутниковый эксперимент, в ходе которого осуществлялось измерение собственного микроволнового излучения морского льда и открытой воды.

В рамках экспедиций была разработана и введена в практику обновленная методика специальных судовых ледовых наблюдений. Основой нового подхода является планируемый эксперимент, который заключается в оценке ожидаемого результата наблюдений. В центре управления экспедицией производится анализ динамики ледяного покрова в районе экспедиции, составляется оптимальный маршрут плавания и выделяются наиболее важные для прогноза районы, то есть районы повышенной деформации ледяного покрова. На борту судна научная группа проводит максимально детализированные наблюдения в выделенных районах и по мере их прохождения анализирует и обобщает данные специальных судовых ледовых наблюдений и оперативно отправляет их в центр управления экспедицией.

Финансирование: ледовые наблюдения и анализ данных в рамках экспедиций ЛЕД-СМП выполнялись в рамках НИТР 5.1 Росгидромета на 2025–2029 гг. Подспутниковый эксперимент выполнялся в рамках госзадания ИКИ РАН (тема «Мониторинг»). Частичное финансирование экспедиции ЛЕД-СМП осуществлялось в рамках проекта РНФ № 23-17-00161.

## **Связь адвекции тепла с возрастным составом ледяного покрова Баренцева моря**

*Н.А. Лис<sup>1\*</sup>, Е.С. Егорова<sup>2</sup>, А.А., Соколов<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> ГИЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

*<sup>2</sup> Центр Морских исследований МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

*\* nalis@aari.ru*

В последние десятилетия в Баренцевом море сокращается доля многолетних льдов и растет роль начальных и молодых видов во многом из-за усиления поступления теплых атлантических вод. Цель настоящей работы — на основе совместного анализа интегральных потоков тепла через ключевые створы Северо-Европейского бассейна и данных о площадях льдов различных возрастных градаций выявить статистически значимые связи и определить соответствующие временные лаги.

Установлено, что молодые дрейфующие льды наиболее чувствительны к адвекции тепла Норвежского и Нордкапского течений. Значимые корреляции с короткими лагами (1–3 месяца) подтверждают прямой отклик начальных видов льда на сезонную изменчивость потоков тепла в приповерхностном слое. Для тонкого однолетнего припая наиболее

значимы потоки тепла через пролив Фрама (лаг 15 мес.,  $R = -0,74$ ) и приграничные желоба (лаги 11–14 мес.), что указывает на накопительный эффект адвекции.

С увеличением толщины и возраста льда временные лаги возрастают. Максимальная отрицательная корреляция площади льдов с потоками через западные проливы для среднего припая ( $R = -0,87$ ) фиксируется при лаге 18 месяцев. Для толстого однолетнего дрейфующего льда и толстого припая максимальная связь с потоками тепла через пролив Фрама достигается при лагах 16–19 месяцев ( $R$  до  $-0,87$  и  $-0,86$  соответственно). Такая задержка отклика обусловлена высокой термической инерционностью более толстых льдов и их зависимостью от процессов ледообмена с Арктическим бассейном.

Основным фактором теплопереноса выступает скорость течений: именно она определяет быстрый отклик начальных льдов и долгопериодную реакцию толстых форм. Полученные количественные оценки могут быть использованы для совершенствования прогностических моделей ледовых условий.

## **Нарастание льда при наличии конвекции воздуха в его снежном покрове**

*П.В. Богородский\*, О.Р. Сидорова*

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

*\* bogorodski@aari.ru*

В рамках задачи Стефана рассмотрено влияние термической конвекции паровоздушной смеси внутри снежного покрова на темпы роста лежащего под ним морского льда. Исследование ограничено малоизученным начальным периодом льдообразования, когда лёд достаточно тонок, чем обеспечивает необходимый, для макроскопического движения частиц воздуха, градиент температуры в снеге, и учитывает конденсацию/испарение пара при его движении в поровом пространстве. Показано, что в этом случае для слоя снега имеется критериальное число, определяющее интенсивность конвективного теплопереноса по сравнению с диффузионным (аналог числа Пекле в жидкости). С помощью термодинамической модели, использующей полуэмпирические параметризации тепло- и массообменных свойств снежно-ледяного покрова, выполнены оценки эффективности конвективного переноса и рассчитаны типичные значения характеристик процесса. Проанализирован вклад входных параметров задачи в увеличение эффективной теплопро-

водности снежного покрова и, тем самым, понижение его теплоизолирующих свойств. Показано, что учёт конвективного механизма существенно ускоряет модельный рост льда и потому, наряду с диффузионным, должен учитываться в расчётах энерго- и массообмена моря и атмосферы в период интенсивного нарастания снежно-ледяного покрова.

## **Основные особенности ледового режима Восточно-Сибирского моря в текущем климатическом периоде**

*М.В. Шаратунова\**

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

*\* mvsh@aari.ru*

В работе проанализированы основные характеристики пространственно-временных изменений ледяного покрова Восточно-Сибирского моря в течение годового цикла. Наиболее неблагоприятные ледовые условия характерны для восточной части моря на протяжении всего навигационного периода. В качестве исходных данных использовались региональные ледовые карты Центра «Север» ГНЦ «ААНИИ», информация с полярных станций за период 1997–2025 гг. Проведено обобщение и анализ данных для зимнего периода (октябрь – май): расчет возрастного состава льда, изменение толщины льда на станциях и площади припая. В условиях положительного тренда температуры воздуха, по данным полярных станций процесс нарастания льда в последние годы происходит медленнее на 1–2 декады, толщины льда уменьшились на 10–12 % за 20-летний период с 2005 г. В западной части моря площадь однолетнего толстого льда сократилась в 1,5 раза, тогда как на востоке количество старых льдов уменьшилось вдвое. В процентном соотношении площадь однолетнего среднего льда увеличилось на 15–20 %. Средние сроки разрушения припая сместились на более ранние даты, амплитуда колебаний сроков взлома припая составила 1 месяц. Анализ ледовых условий для летнего периода (июнь–сентябрь) включал в себя: сплоченность ледяного покрова, интенсивность сокращения ледовитости, площадей ледяных массивов и положение границы дрейфующих льдов. Характерной особенностью изменения сезонного хода с 2005 г является временной сдвиг начала таяния льда, что приводит к более раннему очищению моря ото льда (на 20–30 дней). В Восточно-Сибирском море интенсивное уменьшение ледовитости происходит во второй половине летнего сезона (3 декада августа). Результаты исследования показали устойчивое снижение

площади льда в августе – сентябре в среднем на 40 %. В сентябре повторяемость полного очищения акватории моря увеличилась до 60 %. За последнее 20-летие повторяемость «тяжелого» типа развития ледовых условий не превышала 17 %. Анализ изменчивости положения границ сплоченных льдов показывает их смещение до 200 миль в северном направлении, что существенно изменяет условия плавания судов в «легкую» сторону. Важно отметить возможность формирования «тяжелых» условий ледового плавания на локальных участках моря при «лёгких» ледовых условиях в целом по акватории моря. Полученные результаты позволяют оценить состояние льдов Восточно-Сибирского моря в условиях современного климатического периода.

## **Оценка ошибки смещения ледовой кромки в задаче обеспечения безопасности арктической навигации**

*И.Д. Болховский<sup>1\*</sup>, С.И. Биденко<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Российский государственный гидрометеорологический университет,  
Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup> *АО «НПО «Импульс», Санкт-Петербург, Россия*

*\* ilya.bolkhovsky@gmail.com*

Точность прогнозов ледовой обстановки является ключевым фактором безопасности арктической навигации. Интеграция нейросетевых прогнозов ледовой обстановки в систему гидрометеорологического обеспечения арктического судоходства требует независимой проверки. Применяемые метрики RMSE, MAE и  $R^2$  оценивают статистическое соответствие поля концентрации льда, но не учитывают пространственное распределение ошибок. Безопасность маршрута определяется положением кромки льда, а сводные метрики маскируют локально опасные отклонения.

Представлена геоинформационная методика оценки точности прогнозирования на основе интегрированной ледовой пограничной ошибки (Integrated Ice Edge Error). Поле концентрации сопоставляется с порогом 15 %, и ошибка раскладывается на ошибку площади и ошибку смещения кромки, отражающую смещение границы при равенстве площадей. Для задач навигации главный показатель — ошибка смещения.

Методика реализована как четырёхэтапный модуль геоинформационной системы и не зависит от архитектуры прогнозной модели — LSTM, U-Net, ConvLSTM. Подход согласуется с операционной практикой ледового картирования ААНИИ, где автоматизированный анализ

спутниковых данных служит поддержкой эксперта. Критерий пригодности: модель применима, если ошибка смещения кромки составляет менее половины полной пограничной ошибки. Сам критерий согласуется с современной операционной практикой валидации нейросетевых прогнозов концентрации льда по нормализованной пограничной ошибке.

## **Длинные волны зыби в центральной Арктике и их влияние на состояние ледяного покрова**

*К.В. Кравцова\*, В.Н. Смирнов, И.Б. Шейкин*

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

*\* kvkravcova@aari.ru*

Волны зыби распространяются во льдах Северного Ледовитого Океана на тысячи километров, и их значимая высота по результатам измерений в центральной части Бассейна достигает 30 мм. Вызванное климатическими изменениями сокращение площади ледяного покрова Арктики стимулирует развитие волновой активности в регионе, также как и изучение влияния поверхностных волн на динамические и кинематические характеристики дрейфа и состояние льдов. Мониторинг волновых полей Арктического Бассейна в настоящее время становится актуальной задачей климатических проектов.

Для измерений амплитудных и фазовых характеристик морского волнения использовалась система из группы сейсмометрических станций, установленных на поверхности ледяного поля, на дистанции около 600 метров. Широкополосные сейсмические приборы регистрировали весь спектр колебаний льда в диапазоне частот от 0, 015 до 50 гц, и в реальном времени передавали информацию на судовые мониторы. Длинные волны зыби выделялись с помощью полосового фильтра с периодом 20–40 сек. Основное внимание исследований было сфокусировано на штормовых событиях. Амплитудный анализ позволил получить статистические оценки значимой высоты волн зыби, спектральной плотности их энергии и закона распределения амплитуд. Выделена и изучена групповая структура волн. С помощью фазового анализа были получены статистические оценки времени задержки фронта поверхностных волн для группы станций, и рассчитаны значения фазовой и групповой скорости, длины волн, а также направления их прихода. Результаты анализа показали, что волны зыби с периодом 20–30 сек и длиной 800–1200 м поступают в центральную часть Арктического Бассейна из Северной Атлантики через пролив Фрама, пройдя подо

льдом более чем 1000 километров. Оценки фазовой и групповой скорости длинных волн составили около 38 и 21 м/сек, соответственно, что хорошо согласуется с теоретическими расчетами. Рассмотрены дисперсионные свойства волн зыби и представлены оценки дистанции до очага шторма. Интенсивности штормовых волн зыби не достаточно для разрушения ровного льда, однако изгибные деформации создают внутри льда циклические сжатия и растяжения, которые в свою очередь активируют такие процессы как дренаж и миграция рассола, образование микротрещин и изменения структуры льда. Дополнительно к этому из-за неоднородности ледяного покрова могут возникать локальные концентрации напряжений и разрушения в зоне контакта ледяных полей и вблизи торосов, что оказывает влияние на динамическое состояние и кинематику дрейфа льдов.

Измерения показали также, что на поверхности покрытого льдом океана постоянно присутствуют малые колебания в частотном диапазоне длинных волн зыби, значимая высота которых составляет около 1 мм. Природа фоновых волновых полей еще мало изучена, однако в презентации представлены некоторые оценки амплитудных и фазовых характеристик, и их обсуждение. В работе были использованы результаты наблюдений на ледяном поле МОЗАИК в период трансарктического дрейфа 2019–2020 гг.

## **Безопасность Арктики: подготовка современных судов ледового класса для исследований**

*Е.А. Смягликова\**

*ЗАО «Канонерский судоремонтный завод», Санкт-Петербург, Россия*

*\* [smyaglikovay@mail.ru](mailto:smyaglikovay@mail.ru)*

Арктика — стратегический регион России с большим экономическим и человеческим потенциалом. Важнейшее значение арктического региона обусловлено потребностью безопасно доставлять грузы морским транспортом, а также проводить различные научные исследования для дальнейшего устойчивого развития АЗРФ. Значение морского транспорта трудно переоценить, и на первый план выходит задача подготовки современных судов ледового класса, специалистов, обладающих соответствующими компетенциями, необходимыми для эксплуатации высокотехнологичных морских судов в суровых климатических условиях арктического региона. В апреле 2026 года в Морской столице России эти и другие вопросы достижений и развитие отечественной транспортной отрасли обсудили в деловой повестке на Международном транспортно-

логистическом форуме. Использование крупнотоннажных судов в составе различных арктических транспортных систем становится основой их успешного функционирования. Ледоколы и суда ледового плавания, предназначенные для использования в этих системах, уже проектируются и частично строятся. Важно, что процесс создания новых судов должен осуществляться с обязательным научным обеспечением, что позволит повысить эффективность принимаемых технических решений, а также существенно повысит безопасность транспортных операций в сложных ледовых условиях Арктики. В научной среде созданы абсолютно новые инструменты для всестороннего изучения протекающих процессов при таких режимах эксплуатации судов. Однако Россия не единственная страна, развивающая научный флот для изучения и освоения самых холодных мест на планете. Отметим, что сейчас активно строится научный флот ледового класса, конкуренция в исследованиях растет среди таких государств как Япония, Китай, Великобритания, Канада, США, Норвегия, Южная Корея, Германия, Австралия. Особенность ситуации заключается в том, что все указанные задачи по подготовке отечественных современных судов ледового класса для исследований должны быть решены в кратчайшие сроки. В этом и заключается решение задачи по безопасности Арктики.

## **Принцип использования упрощенных моделей для физического моделирования компонент ледового сопротивления**

*А.В. Чернов\**

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

*\* [chernov@aari.ru](mailto:chernov@aari.ru)*

В ледовой ходкости судов принято разделение полного ледового сопротивления на ряд компонент, каждая из которых соответствует определенному процессу, происходящему при взаимодействии корпуса судна со льдом. В число компонент обычно включаются сопротивление, зависящее от разрушения ледяного покрова, сопротивление, вызванное притапливанием и поворачиванием выломанных секторов, сопротивление раздвижением частиц льда, ледовое сопротивление цилиндрической вставки, сопротивление воды. Каждая из компонент сопротивления зависит от размеров и формы корпуса судна, причем зависимости значительно отличаются друг от друга.

Процесс ломки льда является определяющим для сопротивления льда движению судна, поскольку не только вносит наибольший вклад в сопротивление, но и косвенно влияет на остальные компоненты за счет размеров и расположения выламываемых секторов. Анализ расчетного выражения метода Ионова показывает, что процесс ломки льда при движении передним ходом происходит на уровне ватерлинии в пределах носового заострения, то есть на участке от форштевня до ближайшего к носу шпангоута наибольшей ширины. Высота данной зоны примерно соответствует толщине льда. С целью минимизации влияния прочих компонент ледового сопротивления, для моделирования компоненты ломки льда в ледовом бассейне предлагается использовать не корпус судна целиком, а физические модели, воспроизводящие данную область корпуса судна. Форма модели определяется отношением длины носового заострения к ширине корпуса на миделе  $L_{\text{нз}}/B_m$ , распределением углов развала борта  $\beta$  и углов заострения ватерлинии  $\alpha$  по длине носового заострения.

Эксперимент по физическому моделированию компоненты ломки льда проводится путем буксировки модели в поле моделированного льда заданной толщины с заданной скоростью. Буксировка осуществляется буксировочной тележкой, оснащенной буксировочным устройством, исключающим появление крена и дифферента модели в процессе движения и обеспечивающим измерение продольного усилия с помощью одноосевого динамометра. После пробега в поле сплошного льда выполняется повторный пробег в сформированном канале, с теми же скоростями, что и в сплошном ровном льду. Поскольку ледяной покров уже сломан в ходе предыдущего пробега, а минимальная осадка модели обеспечивает минимальное перемещение обломков льда, то при повторном пробеге моделируются все остальные компоненты ледового сопротивления, за исключением компоненты ломки льда. Сопротивление ломки льда может быть определено как разность полных сопротивлений во льду, измеренных при первом и втором пробеге.

По результатам экспериментов в бассейне определяется множество значений коэффициента сопротивления  $k_{\sigma}$ , связанного с изгибной ломкой льда. Поскольку для формирования сетки моделей применяется систематическое варьирование параметров, то обработка результатов экспериментов позволяет построить многомерную поверхность  $k_{\sigma}(\alpha, \beta, L_{\text{нз}}/B)$ . Таким образом, предложен и практически реализован принцип использования упрощенных моделей для физического моделирования компоненты ледового сопротивления, связанной с процессом ломки льда. По результатам экспериментов может быть уточнено расчетное выражение для указанной компоненты. Аналогичным образом могут быть разработаны упрощенные модели, предназначенные для исследования других компонент ледового сопротивления.

# ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В АРКТИКЕ

## Наблюдения авроральных шипений в период экспедиции «Северный полюс-41»

*О.М. Лебедь<sup>1</sup>, И.М. Егоров<sup>2\*</sup>, С.В. Пильгаев<sup>1</sup>, А.В. Ларченко<sup>1</sup>,  
Н.Ф. Благовещенская<sup>2</sup>, А.С. Калишин<sup>2</sup>, Т.Д. Борисова<sup>2</sup>,  
О.Ю. Стрибный<sup>2</sup>, М.В. Филатов<sup>1</sup>, М.В. Кузнецова<sup>1</sup>, А.С. Никитенко<sup>1</sup>,  
Е.Б. Бекетова<sup>1</sup>, Ю.В. Федоренко<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия

<sup>2</sup> ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

\* *imegorov@aari.ru*

В период экспедиции «Северный полюс-41» были проведены синхронные измерения трех компонент электромагнитного поля в ОНЧ-диапазоне на дрейфующей ледостойкой платформе (ЛСП), а также на станции «Ловозеро», расположенной в Мурманской области, и в обсерватории «Баренцбург» на арх. Шпицберген. В докладе приводится описание измерительной аппаратуры и условий проведения наблюдений на ЛСП. Рассмотрены события одновременной регистрации всплесков аврорального хисса, при которых, спектрально-временные характеристики всплесков на всех станциях были практически одинаковы. Регистрацию хисса с одинаковыми свойствами на столь больших расстояниях можно объяснить одновременным высыпанием авроральных электронов с энергиями от 0,1 до 10 кэВ, генерирующих квазиэлектростатические волны на высотах 10–20 тыс. км, и присутствием мелкомасштабных ионосферных неоднородностей в окрестности каждой из трех станций, на которых происходит рассеяние этих волн в конус выхода к земной поверхности.

## Эффекты ВЧ нагрева ионосферы, регистрируемые с помощью ионозонда ИОН-ФАСТ

*Н.С. Тимукин<sup>1\*</sup>, А.В. Шиндин<sup>1</sup>, К.К. Грехнева<sup>1</sup>,  
С.П. Моисеев<sup>1</sup>, А.Б. Белецкий<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Научно-исследовательский радиофизический институт, Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

<sup>2</sup> Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия

\* *timukinn@bk.ru*

В докладе представлены результаты мониторинга динамики ионосферных возмущений во время геомагнитных бурь в августе-сентябре 2024 г., нагревных экспериментов 2025–2026 гг. во время воздействия

стенда СУРА на ионосферу и одновременной регистрации искусственного оптического свечения. Мониторинг осуществлялся с использованием сети геофизического мониторинга НИРФИ ННГУ. Сеть геофизического мониторинга НИРФИ ННГУ представляет собой набор пространственно-разнесенных приемных пунктов, связанных информационной сетью и оборудованных геофизическим оборудованием производства НИРФИ. На стенде также приведены результаты сравнения ионосферных данных, полученных на сети геофизического мониторинга с данными, полученными ионозондом CADI.

Во время экспериментов по исследованию динамики ионосферных возмущений во время геомагнитных бурь и модификации ионосферы стендом СУРА были проанализированы ионограммы, зарегистрированные ионозондами ИОН-ФАСТ и CADI. Во время геомагнитной бури класса G1 были зарегистрированы быстрые движения области отражения сигнала, а во время бури класса G4 было зарегистрировано значительное расслоение треков O- и X-волн. Во время рассматриваемых нагревных экспериментов на стенде СУРА, проведенных через три дня после геомагнитной бури класса G1 были зарегистрированы похожие эффекты (дополнительные отражения и «расслоения»), обладающие ярко выраженной направленностью и частотной избирательностью.

Одновременно с регистрацией искусственного оптического свечения в зеленой линии атомарного кислорода и синей линии молекулярного азота ионозондом ИОН-ФАСТ регистрировались быстрые изменения параметров спорадического слоя Es с временными масштабами 1–10 с.

## **Магнитные супербури в начале XXI века**

*Л.П. Шадрина\**

*Академия наук Республики Саха Якутия, г. Якутск, Россия*

*\* lushasr@mail.ru*

В последние 5 лет геомагнитные бури большой интенсивности (супербури) наблюдаются происходят значительно чаще, чем в предыдущие 10 лет. Показано, что это закономерное следствие очередного, XXV цикла солнечной активности. Предыдущий XXIV цикл был заметно слабее предыдущего. В его максимуме в ноябре 2014 года основной показатель солнечной активности — числа Вольфа (W) — достигал значения только  $W = 146$ , тогда как в максимуме XXIII цикла, в сентябре 2001 года,  $W = 238$ , почти вдвое больше. Это проявилось и в количестве супербурь — магнитных бурь с понижением Dst индекса геомагнитного поля более 200 нТ. В XXIII цикле (1998–2008 годы) зарегистрировано

16 супербурь, а в XXIV цикле (2009–2019 годы) — всего 2 супербури, обе в 2015 году. Начавшийся в 2020 году XXV солнечный цикл достиг своего максимального значения в августе 2024 года,  $W = 216$ . За это время уже отмечено 7 супербурь, последняя из них — в январе 2026 года.

Рассмотрены основные закономерности регистрации этого одного из экстремальных геоэффективных проявлений солнечной активности — геомагнитных супербурь, с 1998 по 2026 годы. Всего за это время было 174 больших (более 100 нТ) бурь, из них 25 супербурь, включая 9 экстрабурь (понижение Dst более 300 нТ). По трем последним циклам активности эти 25 супербурь распределены неравномерно: 16:2:7. Причем XXV цикл продолжается, и его интенсивность сравнима с XXIII циклом. А значит, не исключено, что число супербурь увеличится.

Показано, что супербури обусловлены активными образованиями на Солнце — пятнами, вспышками, корональными дырами, факелами и другими. Прохождение корональных выбросов массы через орбиту Земли приводит к изменению космической погоды. В результате на Земле регистрируются значительные вариации магнитного поля, которые могут сопровождаться нарушениями радиосвязи, возникновением геоиндуцированных токов в линиях электропередач, полярными сияниями. Рассмотрены некоторые последствия этих бурь на Земле.

## **Спектральные наблюдения солнечного УФ излучения и УФ-индекса в высокоширотной Арктике (п. Баренцбург, НИС «Ледовая база Мыс Баранова», НЭС «Северный полюс»)**

*С.Н. Шаповалов<sup>1\*</sup>, А.А. Соломатникова<sup>2</sup>, И.О. Рябинин<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

*<sup>2</sup> Главная геофизическая обсерватория им.А.И.Воейкова,  
Санкт-Петербург, Россия*

*\* shapovalov@aari.ru*

Вариации спектральной светимости Солнца в области приходящего к земной поверхности излучения UVB (297–315 нм) и UVA (315–400 нм) обусловлены изменением солнечной деятельности на протяжении циклов Швабе-Вольфа (~11 лет) и цикла Хейла (~22 года). Основная часть этих вариаций относится к процессам 11 летней солнечной активности, дифференциальному вращению гелиоширот (~27 сут) и малоизученным изменениям яркости Солнца. Во временном диапазоне UVB-UVA

также присутствуют и «высокочастотные» гармоники Солнца, т.н. «пятиминутные» колебания (*p-mods*). Эти осцилляции могут быть потенциальным источником «пятиминутных» колебаний в фотохимических процессах стратосферы, включая реакции образования озона, а также в фотосинтезе, что является важным дополнением к механизму воздействия солнечного УФ излучения на фотобиологические процессы и организм человека. Кроме того, временные характеристики параметров приземной атмосферы и биосферы в разных регионах планеты имеют различия из-за орографии местности, содержания озона и др., что отражается в оценке связи УФ-индекса (UVI) с СА. Поэтому уровень UVI, с которым тесно коррелируют приземная температура воздуха  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), влажность воздуха ( $RH$ ) и приповерхностное атмосферное давление ( $hPa$ ), можно считать, в определенной степени, сезонным показателем СА. Эффективным способом исследования установленных связей, а также их роли в изменении климата является проведение мониторинга UVB-UVA (внесены в стандарты International Organization for Standardization, ISO) совместно с измерениями UVI в высокоширотной Арктике и Антарктиде.

Для заметок

Для заметок