



РОССИЙСКИЕ ПОЛЯРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ СБОРНИК



ISSN 2218-5321 PRINT
ISSN 2618-6705 ONLINE



В НОМЕРЕ:

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЯРНЫХ ОБЛАСТЕЙ

С.М. Ковалев. Исследования крупномасштабной динамики, физических процессов, механики деформирования и разрушения морских льдов	3
В.Г. Смирнов, И.А. Бычкова, Н.Ю. Захваткина. Разработка методов оперативной оценки нарушений сплошности ледяного покрова с использованием спутниковой информации	5
Г.В. Алексеев, Е.И. Александров, Н.Е. Иванов. Особенности климата Арктики в 2021 году	7
Н.А. Куссе-Тюз, Е.В. Блошкина, И.А. Гангнус, А.Б. Тимофеева. Основные результаты работ экспедиции NAVOS-2021 на НЭС «Академик Трёшников»	10
С.В. Попов, М.П. Кашкевич, А.С. Боронина. Комплексные инженерные изыскания в оазисе Ширмахера (Земля Королевы Мод, Восточная Антарктида) в сезон 67-й РАЭ	12
И.С. Ковчин, И.В. Идрисов. Российская сеть автоматических метеорологических станций в Антарктике	16
Н.Э. Демидов, А.В. Гузева. Озера полюса ветров Антарктиды (ст. Русская)	19

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

А.П. Кузьмичев. Технология сбора данных автоматизированных гидрологических наблюдений в Арктической зоне РФ в современных условиях	23
А.С. Калишин, Н.Ф. Благовещенская, А.В. Николаев, Т.Д. Борисова, Д.Д. Рогов. Развитие и модернизация технологий мониторинга геофизической обстановки над территорией Российской Федерации и Арктики	25

СООБЩЕНИЯ

Е.В. Перминова. Ежегодный научно-практический семинар «Анализ гидрометеорологических процессов в арктических морях и гидрометеорологическое обеспечение морских операций в Арктике в 2021 году»	32
---	----

НАУКА НА ПОЛЮСАХ ЗА КРУЖКОЙ ЧАЯ

С.В. Кашин, В.Р. Ярыгина, А.Н. Усова. Одиннадцать морей Северного Ледовитого океана	33
---	----

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ ААНИИ

М.А. Емелина. Этнографические исследования Северной научно-промысловой экспедиции — Института изучения Севера — Всесоюзного арктического института	34
--	----

НОВОСТИ КОРОТКОЙ СТРОКОЙ

М.А. Емелина. Устная память Арктики	39
---	----

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РФ
АРКТИЧЕСКИЙ И АНТАРКТИЧЕСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

РЕДКОЛЛЕГИЯ:

И.М. Ашик (главный редактор)
тел. (812) 337-3102, e-mail: ashik@aan.ru

А.С. Филиппова (ответственный секретарь редакции)

С.Б. Балясников, М.В. Гаврило, М.А. Гусакова,
М.В. Дукальская, М.А. Емелина, В.П. Журавель, А.В. Клепиков,
С.Ю. Лукьянов, А.С. Макаров, В.Л. Мартынов,
А.А. Меркулов, В.Т. Соколов, А.Н. Усова

Литературный редактор Е.В. Миненко
Выпускающий редактор А.А. Меркулов

Редакционная почта: gr@aan.ru

РОССИЙСКИЕ ПОЛЯРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

№ 1 (47) 2022 г.

ISSN 2218-5321 Print

ISSN 2618-0705 Online

Адрес редакции:

ГНЦ РФ Арктический и антарктический
научно-исследовательский институт
199397, Санкт-Петербург, ул. Беринга, 38

Мнение редакции может не совпадать с позицией автора.

Редакция оставляет за собой право редактировать и сокращать материал.

Редакция не несет ответственности за достоверность сведений, изложенных в публикациях и новостной информации.

На 1-й странице обложки: вверху — подводное изображение оз. Аэрогеодезии (фото А.Н. Николаева);
внизу — радар некогерентного рассеяния для исследования характеристик ионосферы (фото В.А. Корниенко).
На 4-й странице обложки: Соборная гора (Cathedral Point) на о. Мейбл, Земля Франца-Иосифа (фото М.В. Гаврило).

ИССЛЕДОВАНИЯ КРУПНОМАСШТАБНОЙ ДИНАМИКИ, ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, МЕХАНИКИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ МОРСКИХ ЛЬДОВ

В 2021 году были продолжены исследования волновых процессов в дрейфующем льду. Исходные данные были получены в зимний период 2019/20 года на международной многопрофильной дрейфующей станции по изучению арктического климата (MOSAiC) с помощью расстановки автономных сейсмических станций. При обработке материалов сейсмических наблюдений использовались данные метеостанции судна «Полярштерн».

Для сбора и экспресс-анализа данных использовалась система мониторинга динамики дрейфующего морского льда, созданная в ААНИИ в лаборатории физики льда — вода применялись широкополосные трехкомпонентные низкотемпературные электронно-молекулярные сейсмометры СМЕ-4311 с коэффициентом преобразования 4000 В/м/с. Амплитудно-частотная характеристика сейсмометра СМЕ-4311 столбообразная в частотном диапазоне 0,0167–50 Гц и с более низкой границей до 0,01 Гц. Для регистрации наклонов льда в двух горизонтальных координатах использовались наклонометры типа ИН-Д3а-360. Наклонометр на выходе имеет сумму показаний в виде ускорений и наклонов. Диапазон измерения наклонов — ± 360 угловых секунд; диапазон измерения ускорений — 17,5 мм/с² при динамическом диапазоне 60 дБ.

Первичными звеньями системы мониторинга состояния льда являются полевые сейсмические станции сбора данных от присоединенных датчиков — сейсмометров и наклонометров (рис. 1). Полевые станции сбора данных производят операцию оцифровки данных от датчиков с заданной частотой 100 Гц для всех каналов. При этом сбор всех каналов данных на станциях синхронизирован с помощью часов глобальной системы позиционирования. Электропитание всех полевых приборов осуществлялось от аккумуляторных батарей.

В первичную обработку исходных данных входили следующие этапы:

- построение временных ходов скорости смещений в колебаниях и волнах;
- построение спектров колебательных и волновых процессов методом быстрого преобразования Фурье;
- построение спектров колебательных и волновых процессов методами непрерывного вейвлет-преобразования;

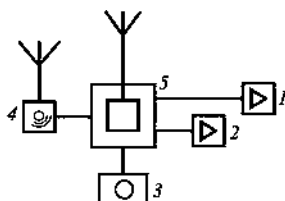


Рис. 1. Блок-схема полевой сейсмостанции:

1 — сейсмометр СМЕ-4311; 2 — наклонометр ИН-Д3-360; 3 — аккумуляторная батарея; 4 — приемник GPS-сигнала; 5 — модуль оцифровки данных с радиоканалом

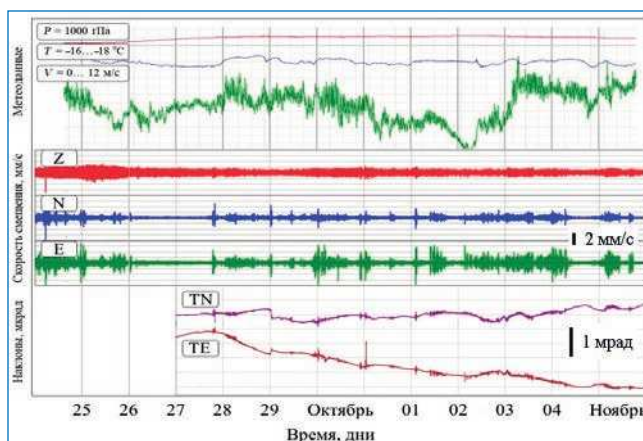


Рис. 2. Временной ход вертикальных и горизонтальных колебаний дрейфующего льда и метеопараметров.

Z, N, E — записи сейсмометра с вертикальным (красные) и горизонтальными (синие и зеленые) колебаниями льда; TN, TE — запись от двух компонент наклонометра

– построение синхронных с динамикой льда графиков метеорологических характеристик.

Рассмотрим динамические процессы в системе лед — вода в массиве сплоченных однолетних и двухлетних дрейфующих ледяных полей толщиной до 1,5 м.

На рис. 2 представлен временной ход изменчивости вертикальных и горизонтальных колебаний льда и метеопараметров в начале зимнего периода наблюдений. При сравнительно слабых перепадах скорости ветра не отмечается заметной изменчивости амплитуды вертикальных колебаний льда. В то же время и горизонтальные составляющие колебаний, имея интенсивные сигналы с заметной периодичностью появления, слабо связаны со скоростью ветра.

Кроме вертикальных колебаний в ледяном покрове амплитудный спектр имеет пики горизонтальных сигналов на частотах до 0,01 Гц. Возникновение таких сигналов не коррелирует по времени с вертикальными колебаниями и с метеопараметрами. Природу возникновения горизонтальных колебаний в дрейфующем льду можно рассматривать в связи с образованием протяженных трещин и последующих сдвигов в сплоченном ледяном покрове. Подобные горизонтальные сигналы могут быть как от локальных подвижек льда, так и от масштабных приливных явлений. На данном этапе можно предполагать, что отмеченные на графиках горизонтальные колебательные процессы обусловлены крупномасштабными движениями ледяного покрова, в том числе приливными колебаниями в океане.

На рис. 3 представлено событие 16–18 февраля 2020 года интенсивных колебаний гравитационных волн, достигавших максимума амплитуд более 5 мм/с. Спектральный состав процессов 16–17 февраля с применением вейвлет-преобразования отражает распределение энергии колебаний в диапазоне частот 0,030–0,048 Гц

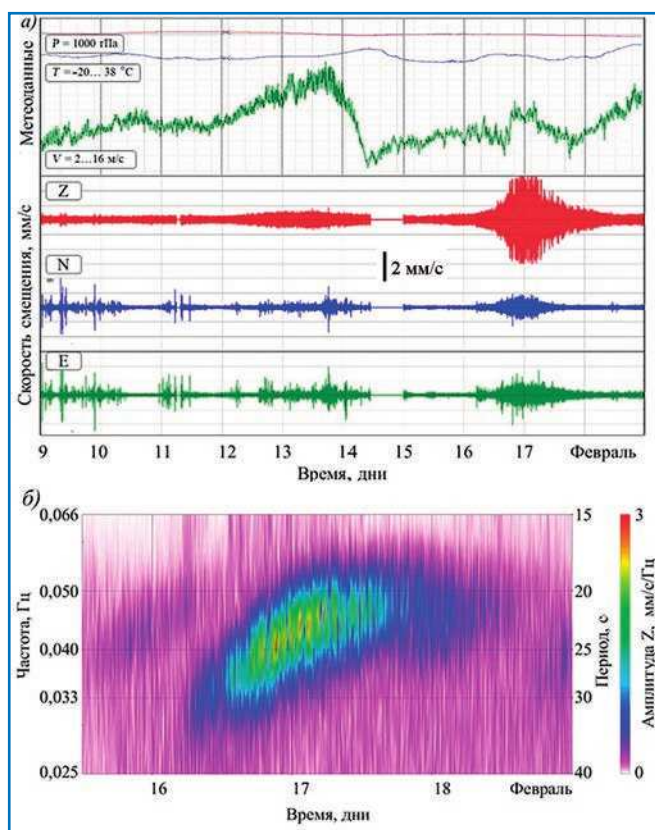


Рис. 3. Динамическое событие с интенсивными поверхностными гравитационными волнами в дрейфующем ледяном покрове в период 9–18.02.2020.

а) — временной ход Z, N, E; б) — спектр непрерывного вейвлет-преобразования («портрет» циклона) за период 16–18.02.2020

(рис. 3б). В течение 15–18 февраля отмечается увеличение частоты колебаний. Скорость ветра составляла 5 м/с. Очевидно, что этот цуг колебаний не мог возникнуть от слабого ветра, колебания являются проявлением распространения океанической гравитационной волны.

В спектре/«портрете» циклона выделяются красные точки, амплитуда в которых достигает 5 мм/с и более. Кроме того, отмечаются периодические с интервалом 30–60 минут как максимальные амплитуды вертикальных колебаний, так и увеличение частоты гравитационных океанических волн. Можно предположить, что во время пиков максимальных значений спектра происходили разрушения льда, т. е. от 18 часов 16 февраля до 06 часов 17 февраля. В событии 16–17 февраля вместе с основным энергонесущим пиком на частоте 0,04 Гц возникали пики на частоте 0,12–0,13 Гц. Это указывает на очевидность трещинообразования и возникновения плоских и изгибных волн в момент локального разрушения льда в районе лагеря станции. Анализ временных рядов колебаний во льду в разных частотных полосах позволяет выявлять детали процесса трещинообразования и разрушения льда. Можно утверждать, что в событии 16–17 февраля основным «виновником» разрушения льда являлся цуг океанической гравитационной волны с периодом 25–27 с. Это новый факт, важный для понимания механики разрушения ледяных полей при незначительной скорости ветра и отсутствии резонансного эффекта.

Из графиков временного хода амплитуды скорости смещений во льду (рис. 2) видно, что в течение 20 дней сохранялся постоянный по амплитуде фон вертикальных колебаний льда. Эти колебания преимущественно с пе-

риодом до 35 с рассматриваются как долгопериодные волновые движения, которые можно отнести к типу инфрагравитационных волн (ИГВ) в океане.

Согласно амплитудным спектрам общий фон инфрагравитационных колебаний на поверхности океана оставался постоянным в течение всего периода наблюдений. Четкий и постоянный пик колебаний на частоте 0,03 Гц позволяет сделать предположение о природе зарождения и длительного существования этих волн. Очевидно, что этот фон колебаний может быть обусловлен воздействием атмосферных процессов на поверхность океана и проявлением динамики штормов. Инфрагравитационные волны прямо не зарождаются в штормовом районе. Мощные штормовые волны в виде зыби вначале перемещаются к шельфовым наклонным побережьям, где может происходить нелинейное взаимодействие с излучением ИГВ. Наблюдения в марте 2020 года отмечают постоянным уровнем инфрагравитационных волн и эпизодическими волнами зыби от динамических циклонов.

В ААНИИ для решения научных и практических задач разрабатываются методики и оборудование для измерения давлений и напряжений, возникающих в ледяных образованиях в результате естественных процессов и при антропогенном воздействии на ледяной покров. Датчики давления применяются для определения давления во льду при естественных процессах, когда направление воздействия на ледяной покров заранее неизвестно.

Плоские датчики напряжений для льда применяются в случаях известного источника напряжений в ледяном покрове и реагируют на напряжения растяжения-сжатия, развивающихся в определенном направлении. Источником таких напряжений могут служить, например, гидротехнические сооружения. Такие датчики имеют поперечные размеры значительно меньше продольных и делятся на датчики с жесткой приемной плитой и мембранные тонкостенные устройства.

В 2021 году был разработан мембранный гидравлический датчик напряжений, который имеет лучшее соотношение толщины и продольного размера, чем датчик с жесткой приемной плитой, постоянную чувствительность во всем диапазоне измерений и упрощенную схему установки в лед.

В ААНИИ разработан, запатентован и внедрен в практику комплекс для исследования характеристик прочности льда в естественных условиях. В комплекс входят:

- зонд-индентор гидравлический для проведения испытаний прочности в естественном ледяном покрове в скважинах;
- полевой гидравлический пресс для испытаний образцов льда на сжатие;
- полевая испытательная машина ПИМ-200, предназначенная для испытания прочности при центральном изгибе образцов льда в виде тонких дисков;
- система для испытаний прочности при изгибе ледяных консольных балок на плаву воздействием вниз;
- установка для вырезания консольных балок на плаву и блоков льда в ровном ледяном покрове.

Комплексная система для определения характеристик прочности льда в естественных условиях предполагает ее дальнейшее развитие и совершенствование. В связи с этим в 2021 году была разработана и запатентована система для испытаний прочности при изгибе ледяных консольных балок на плаву воздействием вверх.

В 2021 году описан алгоритм формирования ровного припайного льда в районе береговой линии. Нарастание льда у берега протекает по другому сценарию, чем нарастание льда на открытых участках акватории. Основными факторами, порождающими эти изменения, являются наличие прибрежных открытых трещин вдоль береговой линии и интенсивное снегонакопление в прибрежной полосе и в районе образовавшихся трещин.

Наличие открытых трещин вдоль береговой линии оказывает существенное влияние на формирование льда, порождая следующие ситуации:

- увеличивает динамичность ледообразования на нижней границе льда, что способствует образованию кристаллов внутриводного льда или обломков льда от соприкосновения краев трещины и приводит к нарастанию на нижней границе ледяного покрова льда генетического типа с более высоким динамическим индексом;

- изменяет тепловой баланс льда в районе трещины;

- способствует натеку морской воды на поверхность льда при погружении кромки мористой части льда у трещины ниже уреза воды, что является одним из условий нарастания льда сверху в зимний период;

- в летний период способствует стоку талой воды с поверхности льда и снега.

Поверхность берега располагается выше поверхности воды, что способствует снегонакоплению на льду в районе береговой линии. При увеличении снега

в районе приливо-отливной трещины мористый край льда под тяжестью снега опускается ниже поверхности воды. Морская вода проникает через снежный покров и распространяется вдоль поверхности льда, смачивая снег и создавая слой водно-снежной смеси до места, где уровень воды совпадает с поверхностью льда. При замерзании водно-снежной смеси образуется слой льда сверху, над уровнем первоначальной поверхности льда. При повторении ситуации образуется новый слой водно-снежного льда над ранее сформированным. Таким образом, лед сверху нарастает послойно, пока этот процесс повторяется.

Лед в районе береговой линии в местах аккумуляции снега формируется из двух основных слоев: льда, выросшего сверху, и льда, выросшего снизу. Условия ледообразования этих слоев различны, что приводит к различиям в кристаллическом строении и текстуре. В количественном отношении толщина этих слоев меняется по мере удаления от приливной трещины. В районе приливной трещины толщина льда, выросшего сверху, максимальная и может значительно превышать толщину льда, выросшего снизу. По мере удаления от приливной трещины соотношение слоев изменяется с последующим преобладанием льда, выросшего снизу, до полного исчезновения слоя, выросшего сверху. Расстояние, на котором наблюдается отсутствие слоя, выросшего сверху, может быть принято за границу влияния формирования льда под действием снегонакопления у берега.

С.М. Ковалев (АНИИ)

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОПЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ НАРУШЕНИЙ СПЛОШНОСТИ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Представлены промежуточные итоги по результатам разработки автоматизированных методов оценки состояния морского ледяного покрова, на основе снимков ИСЗ видимого и ИК-диапазонов и радиолокационных данных с различной поляризацией. Тема исследований имеет непосредственное практическое значение. В условиях роста трафика по СМП, проведения масштабных работ по освоению месторождений углеводородного сырья в мелководной зоне арктических морей возрастает потребность в достоверной оперативной информации и надежных краткосрочных прогнозах о состоянии ледяного покрова и наличии благоприятных для ледового плавания районов нарушений сплошности. В связи с ожидаемым переходом на круглогодичную навигацию по СМП потребуются ускоренное создание новых технологий в области мониторинга состояния морского ледяного покрова и прогнозирования ледовых условий. Основным источником данных для таких технологий станет спутниковая информация, полученная как в оптическом диапазоне, так и по радиолокационным снимкам. В настоящее время на уровне Правительства РФ поставлена задача улучшить качество прогнозирования ледообразования на СМП, в том числе за счет использования алгоритмов машинного обучения по распознаванию спутниковых радиолокационных снимков.

Обнаружение нарушений сплошности ледяного покрова по оптическим снимкам

Из-за ограничений по естественной освещенности в Арктике в зимний период (октябрь — начало марта) в оптическом диапазоне для мониторинга ледовой обстановки со спутников используются только тепловые ИК-снимки. В остальное время используются и снимки видимого диапазона, имеющие лучшее пространственное разрешение по сравнению с инфракрасными. Оперативная информация видимого и ИК-каналов доступна в настоящее время со спутников Landsat-8, Sentinel-2, Terra/MODIS, Suomi-NPP. Из отечественных спутников в этих диапазонах можно применять снимки ИСЗ серии «Канопус», «Ресурс-П», «Метеор», «Арктика-М». Для обнаружения нарушений сплошности ледяного покрова (НСЛ) на снимке видимого диапазона могут применяться как градиентный метод поиска аномалий сигнала, так и метод бинаризации сигнала с классификацией изображения на зоны «лед» — «вода».

Алгоритм обнаружения НСЛ по оптическим снимкам с бинаризацией сигнала включает несколько этапов: выделение зон суши; создание облачной маски; сегментация снимка на зоны с разным порогом яркости; бинаризация изображения с подготовкой файла «лед — вода». Зоны

суши исключаются из расчета путем загрузки из базы данных шейп-файла береговой линии исследуемого района.

Создание облачной маски

Для обнаружения НСЛ на оптических снимках предварительно должны быть выделены и исключены из дальнейшего анализа зоны моря, в которых облачность полностью экранирует излучение от морской поверхности. Также необходимо выделить зоны полупрозрачной облачности, по которым информация о характеристиках НСЛ может быть получена. Облачная маска создается путем использования изображений, полученных в видимой и ближней ИК-областях спектра, а также снимка теплового диапазона.

Снимок теплового ИК-канала позволяет выделить холодные облака, температура которых ниже, чем температура ледяного покрова на этом же снимке. Снимок в узком диапазоне 1,36–1,39 мкм Landsat-8 позволяет выделить перистые облака; иные объекты в этом канале не видны. По снимку в ближневолновом ИК-диапазоне

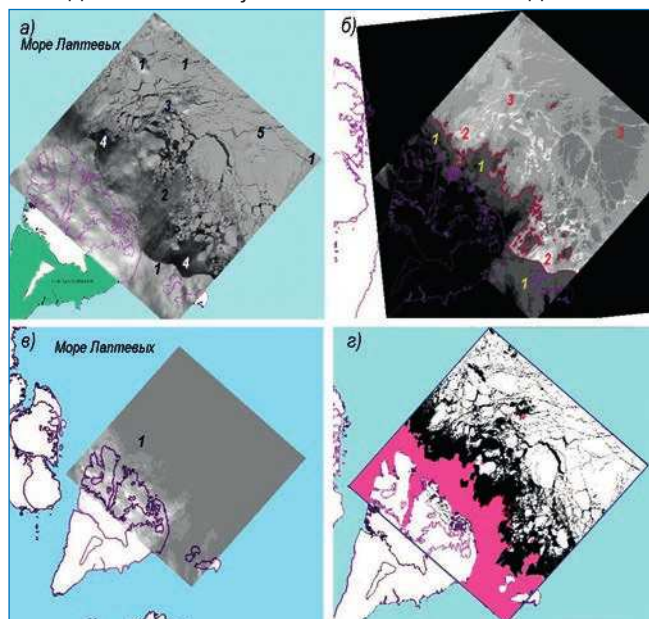


Рис. 1. Нарушения сплошности ледяного покрова, выделенные по снимку с Landsat-8 за 21 апреля 2021 года. Район моря Лаптевых.

а) исходный снимок, панхроматический диапазон: 1 — сплошная облачность; 2 — перистые облака; 3 — тень от облаков; 4 — открытая вода; 5 — разводы; б) снимок в тепловом ИК-диапазоне: 1 — холодная облачность; 2 — открытая вода (полюнья); 3 — разводы; в) снимок в канале 1,36 – 1,39 мкм: 1 — облачность; г) бинаризованный снимок с нанесенной облачной маской: красный цвет — итоговая облачная маска, построенная по данным разных каналов.

выделяется яркая облачность. Облачные зоны, выделенные в трех каналах, образуют облачную маску (рис. 1).

Сегментация оптического спутникового снимка на зоны с разной величиной порога яркости для разделения классов «лед—вода».

После выделения на снимке объектов суши, участков моря со сплошной облачностью и участков открытой воды на оставшейся части снимка, содержащей изображение ледяного покрова, выделяют зоны, для которых применяется разная величина порога «лед—вода». При сегментации выявляют зону сплошного ледяного покрова с НСЛ; зону полупрозрачного облачного покрова (при наличии); зону теней от отдельных облаков (при наличии).

Подготовка бинарного файла «лед—вода».

Пороговая яркость для выделенных зон определяется по гистограмме сигнала во фрагменте снимка с использованием метода Отсу. По установленным по-

рогам яркости исходное изображение бинаризируется и содержит 2 класса: лед и вода (рис. 1г).

Далее по бинарному изображению готовится полигональный шейп-файл разводов.

Детектирование разрывов во льду по радиолокационным данным с использованием текстурных характеристик

Алгоритм автоматического обнаружения НСЛ на изображениях радиолокатора с синтезированной апертурой (РСА) основан на исследовании отраженного от поверхностей льда и открытой воды радиолокационного сигнала и анализе текстурных характеристик изображения. Измеряемой характеристикой обратного рассеяния является удельная эффективная площадь рассеяния (УЭПР, σ^0), выраженная в дБ.

Разрывы во льдах часто заполнены начальными видами льда и характеризуются на HV-поляризации очень низкими значениями сигнала, а окружающий лед, напротив, высокими значениями. Толстый/деформированный морской лед показывает другие поляризметрические характеристики по сравнению с более тонким морским льдом, увеличивая значения на кросс-поляризации и соотношение между кросс-поляризацией (HV) и ко-поляризацией (HH).

Пространства чистой воды и начальных видов льда в НСЛ (разрывов, трещин и каналов) обнаруживаются методами нейронных сетей (НС) с использованием признаков, полученных в результате анализа поляризационного отношения в разных поляризационных каналах (HH, HV), поляризационной разности в тех же каналах и текстурных характеристик. Классификатор учитывает 6 оптимальных текстурных характеристик из общего набора, составляющего 26 характеристик.

Поляризационное отношение (CR):

$$CR = 10 \cdot \log_{10}((\sigma_{HH}^0)/(\sigma_{HV}^0))$$

Поляризационная разность (PD):

$$PD = \sigma_{HH}^0 - \sigma_{HV}^0$$

В исследовании используются PCA-изображения, полученные со спутников Sentinel-1A и Sentinel-1B в режиме сверхширокой полосы обзора (Extra Wide, EW) с HH и HV поляризациями. Продукты уровня L1 с наземным обнаружением среднего разрешения (GRDM) обеспечивают охват полосы 410 км, полученной в пяти полосах обзора с размером пикселя 40 м.

Алгоритм оценки НСЛ по данным РСА состоит из последовательных процедур, начиная от предварительной обработки и до классификации с помощью нейросетевого метода.

Предварительная обработка

Спутниковые изображения проходят предварительную обработку, включая удаление теплового шума, угловую коррекцию (приведение к общему углу падения) и удаление спекл-шума. Угловая коррекция заключается в компенсации влияния угла падения на значения интенсивности сигнала на HH-канале.

После угловой коррекции производят коррекцию шума на изображении. РСА-данные, получаемые в режиме широкой полосы обзора EW для Sentinel-1, формируются из более узких полос EW1–EW5, что на HV-поляризации вызывает видимые флуктуации интенсивности как внутри полос, так и на их смежных границах в направлении по дальности РСА-изображения. Внутри полос по азимутальному направлению существует еще специфический вид шума — так называемый «гребешковый» эффект. Для

уменьшения этого шума применяется сглаживание изображения по полосам обзора и их границам: удаление флуктуаций яркости в направлении по азимуту и дальности по методике, предложенной Европейским космическим агентством (ЕКА). Из значений интенсивности сигнала вычитаются значения шума, предоставляемые во вспомогательных метаданных для каждого РСА-снимка. Это улучшает качество изображения, но в полосе EW1 сохраняется значительный остаточный шум. Информация о границах диапазонов EW1–EW5 извлекается из вспомогательных метаданных снимка. По стандартному алгоритму шумоподавления ЕКА, значения σ° на HV-поляризации с фиксированными шагами пикселей извлекаются в направлении по дальности РСА-изображений для EW1 и EW2 + EW3. Затем отношения для каждой пары (EW1 против EW2 + EW3) вычисляются и усредняются. Этот динамический усредненный коэффициент применяется для коррекции значений σ° полосы EW1.

Процедура подавления шума существенно влияет на значения обратного рассеяния начальных видов льда / темного ниласа и особенно невзволнованной водной поверхности, создавая отрицательные значения, поэтому в анализ включают минимально допустимый уровень шума. Затем спекл-шум изображения уменьшается с помощью применения фильтра Гаусса. На этом этапе также применяется маскирование областей суши, которые в дальнейших расчетах не участвуют. Значения УЭПР в дБ для обоих каналов нормируются в заданном диапазоне. Диапазон определяется непосредственно по РСА-снимкам, выбранным для дальнейшего обучения алгоритма, путем построения гистограмм распределения значений УЭПР для каждого снимка и выбора минимального и максимального значения УЭПР по средним минимумам и максимумам всех снимков.

Примеры использования радиолокационных данных для обнаружения НСЛ

В ноябре 2021 года из-за ранних сроков образования ледяного покрова в ледовый плен на трассе СМП попали более 20 судов. РСА-изображения Sentinel-1 были использованы для обнаружения НСЛ, которые могли бы быть рекомендованы судоводителям для вывода судов из районов тяжелой ледовой обстановки, не прибегая к ледокольной проводке.

Классифицированные снимки (рис. 2) иллюстрируют тяжелую ледовую обстановку, сложившуюся в этом районе СМП в конце ноября. Практически вся акватория уже покрыта льдом, пространства чистой воды и разводий занимают крайне малый процент, безледокольная проводка судов не реальна. Снимок от 1 декабря, классифицированный методом НС, показал, что тяжелые ледовые условия сохраняются, транспортные суда не имеют возможности самостоятельно продолжить движение.

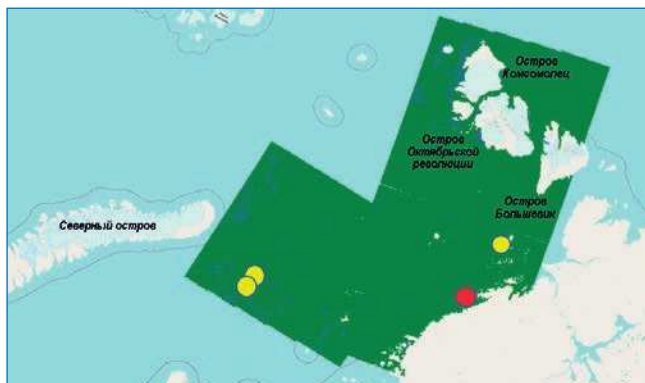


Рис. 2. Композиция трех классифицированных РСА-изображений Sentinel-1 от 27.11.2021 года, Карское море и море Лаптевых. Точками обозначено положение судов, оказавшихся в ледовом плену. Цвета: зеленый — лед, синий — разрывы, заполненные водой или начальными видами льда

Приведенный пример подчеркивает важность организации в период ледообразования спутникового радиолокационного мониторинга акватории СМП на ежесуточной основе. Реализации такого плана мешает пока отсутствие в РФ собственных радиолокационных спутников природо-ресурсного назначения. Вместе с тем хорошие перспективы для мониторинга нарушений сплошности ледяного покрова связаны в РФ с эксплуатацией КА «Арктика-М», запущенного на высокоэллиптическую орбиту в феврале 2021 года «Арктика-М» позволяет обеспечить в течение суток многократную съемку одного и того же участка российской Арктики в оптическом диапазоне, что даст возможность построения композитных карт ледяного покрова за одни сутки по большей акватории, открытой от облачности (с учетом облачной динамики). Также повысится точность построения полей скорости льда, картирования разрывов, прогноза зон сжатия ледяного покрова, учитывая высокую скорость изменчивости процессов сжатия.

Выводы

Построенные в автоматизированном режиме по спутниковым данным детальные ледовые карты с нанесенными нарушениями сплошности (разводьями, трещинами, полыньями) могут быть задействованы в оперативном режиме, в частности для прокладки маршрутов судов во время проводок.

Спутниковые карты НСЛ могут использоваться для верификации методик прогнозирования НСЛ.

Наличие оперативных спутниковых данных о реальной ледовой обстановке и прогностической информации о НСЛ позволит существенно повысить эффективность плавания по СМП.

*В.Г. Смирнов, И.А. Бычкова,
Н.Ю. Захваткина (АНИИИ)*

ОСОБЕННОСТИ КЛИМАТА АРКТИКИ В 2021 ГОДУ

Изменения климата в Арктике привлекают особое внимание в связи с усилением здесь глобального потепления и таянием морских льдов. В слежении за изменениями важная роль принадлежит наблюдениям на метеорологических станциях, большая часть которых поддерживается Росгидрометом. При оценке температуры к Арктике обычно относят область севернее 60° с. ш. Акватория Северного Ледовитого океана с мор-

ским льдом на поверхности занимает область севернее 70° с.ш., поэтому мы оцениваем температуру и в этой области, а также в области максимального распространения морского льда (морская Арктика).

Температуры воздуха в северной полярной области (СПО) и в арктических морях по данным 250 метеорологических станций (рис. 1) понизилась по сравнению с 2020 годом, и 2021 год оказался среди не самых теплых

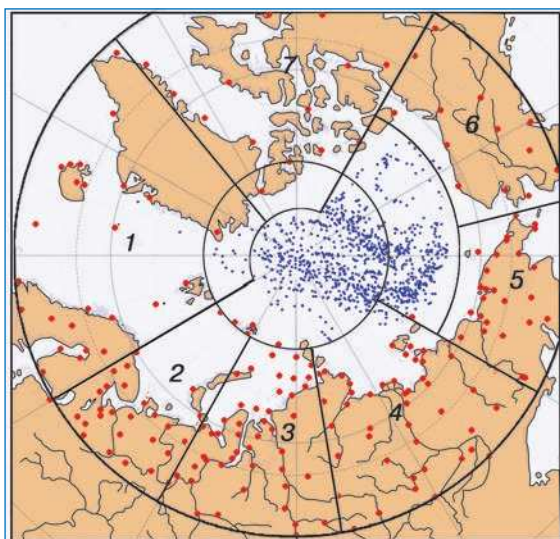


Рис. 1. Сеть метеорологических станций (красные точки), дрейфующих станций и буев (синие точки) в СПО и границы климатических районов: 1 — Атлантический; 2 — Североевропейский; 3 — Западносибирский; 4 — Восточносибирский; 5 — Чукотский; 6 — Аляскинский; 7 — Канадский

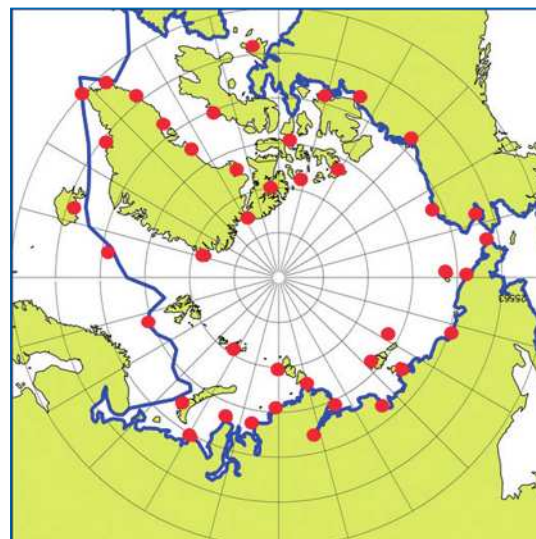


Рис. 2. Морская Арктика.

Красные точки — метеорологические станции, синяя линия — граница зимнего распространения морского льда

лет (табл. 1) за период с 1936 года. Заметим, что в 2021 году средняя температура на земном шаре и в Северном полушарии также понизилась.

Таблица 1

Аномалии температуры воздуха (отклонение от нормы за 1961—1990 годы) на территории СПО и отдельных широтных зон в среднем за сезоны 2021 года, °С

Широтная зона, ° с. ш.	Зима		Весна		Лето	
	Аномалия	Ранг	Аномалия	Ранг	Аномалия	Ранг
70—85	3,6	4	2,7	9	1,2	7
60—70	0,0	26	1,8	11	1,5	4
60—85	1,6	12	2,3	8	1,4	5

В районах арктических морей и на территории суши севернее 70° с. ш. зимой 2020/21 года отмечались преимущественно положительные аномалии температуры воздуха. Весной в районах арктических морей наблюдались только положительные аномалии температуры. Наиболее высокие значения положительных аномалий обнаруживались в районе Карского моря. Летом наиболее высокая температура воздуха (аномалия +2,9 °С) отмечена в Восточной Сибири, которая оказалась самой высокой с 1936 года. В районах арктических морей в течение 1936–2021 годов основное повышение температуры зимой отмечается в районах Чукотского моря и моря Бофорта. Линейный тренд здесь составляют 3,18 и 4,30 °С за 86 лет. Весной рост температуры в районах морей Карского и Чукотского составил около 3,27 °С за 86 лет.

В многолетних изменениях сезонных сумм осадков в СПО наблюдается статистически значимое увеличение со средней скоростью около 3,17 мм/10 лет в холодном сезоне 1936–2021 годов. При этом рост осадков преимущественно отмечается в Атлантическом секторе и на востоке Канадского. В теплом сезоне в большинстве районов присутствует тренд к уменьшению осадков.

Морская Арктика

Особый интерес представляют изменения температуры воздуха над областью морской Арктики, включающей покрытую льдами в зимний период акваторию Северного Ледовитого океана (рис. 2). Изменения тем-

пературы в этой области влияют в первую очередь на зимнее разрастание и летнее таяние морского ледяного покрова. Для оценки изменений термического влияния на ледяной покров выбраны данные 41 станции на островах и побережье Северного Ледовитого океана, откуда начинается летнее отступление морских арктических льдов.

На рис. 3 показаны средние за зиму и лето значения приповерхностной температуры воздуха (ПТВ) на станциях в морской Арктике с 1951 по 2021 год. С середины 1990-х годов по 2020 год температура повысилась зимой более чем на 4 °С, а летом — почти на 2,5 °С. После 2019 года ПТВ зимой понизилась к 2021 году на 2 °С. Летом понижение ПТВ в эти годы составило 0,7 °С.

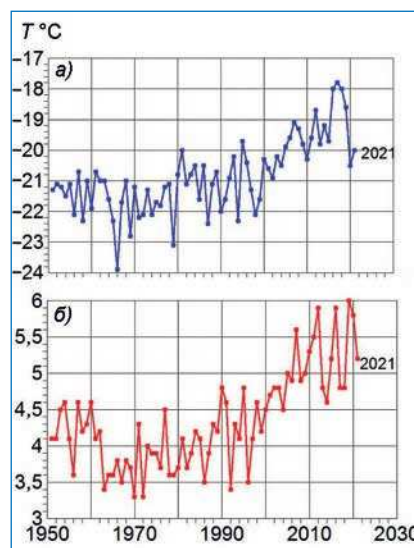


Рис. 3. Средняя за декабрь—февраль (а) и за июнь — август (б) приповерхностная температура воздуха на 41 станции в морской Арктике в 1951 – 2021 годах

Замедление роста ПТВ и начало понижения более очевидно в изменениях средней по 7 ПТВ на 7 станциях с началом наблюдений в 1901 году (рис. 4). Эти изменения объясняются наложением колебания с периодом около 70 лет на положительный тренд глобального потепления.

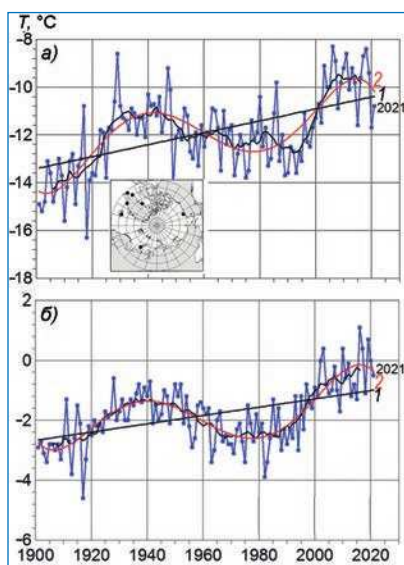


Рис. 4. Температура воздуха зимой (а) и летом (б) в 1901—2021 годах на 7 станциях (на врезке) в морской Арктике. 1 — скользящее осреднение за 11 лет; 2 — полином 5-й степени

Потепление в морской Арктике сопровождается сокращением площади морского льда (рис. 5).

Зимой сокращение площади морского льда, в отличие от изменения температуры воздуха, меньше, чем летом: зимой сокращение от максимума 1982 года до минимума в 2016 году составило 9 %, а летом — от максимума 1980 года до минимума 2012 года 54 %. При этом летнее сокращение тесно связано с ростом летней температуры воздуха (коэффициент корреляции 0,93, рис. 5). В 2021 летняя температура воздуха в морской Арктике понизилась на 0,7 °C относительно 2020 года, а площадь, занятая льдом в сентябре, выросла на 26 %.

Еще заметнее потеплело в 2010-е годы на акватории сибирских арктических морей (Карское — Чукотское моря), по которым проходит Северный морской путь. Данные метеорологических станций на побережье и островах морей (рис. 6) показывают повышение зимней температуры воздуха с 1970-х годов по 2016 год почти на 10 °C, а летней почти на 3 °C (рис. 7).

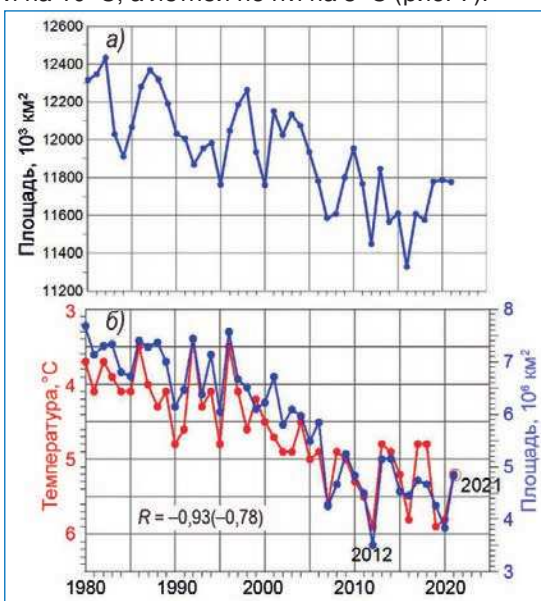


Рис. 5. Площадь, занятая морским льдом в Северном Ледовитом океане в марте (а) и в сентябре (б). Красным нанесена летняя температура воздуха в морской Арктике. R — коэффициент корреляции между температурой и площадью льда, в скобках между отклонениями от тренда

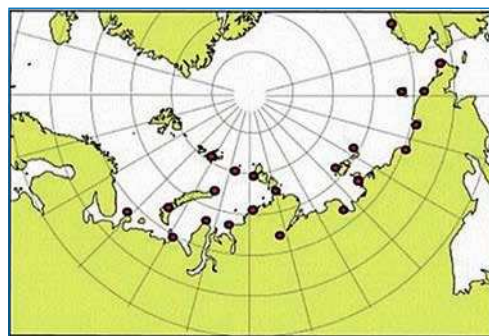


Рис. 6. Метеорологические станции на побережье и островах арктических морей, через которые проходит Северный морской путь

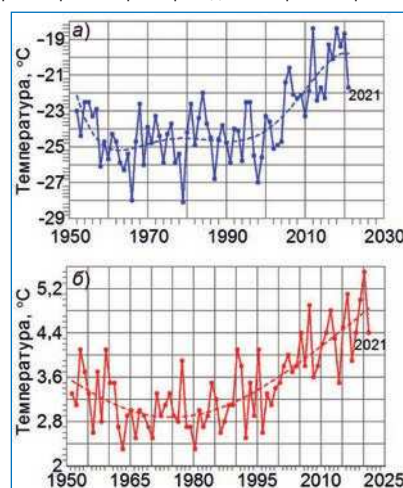


Рис. 7. Температура воздуха на акватории сибирских арктических морей зимой (а) и летом (б) в 1951—2021 годах. Пунктир — полином 5-й степени

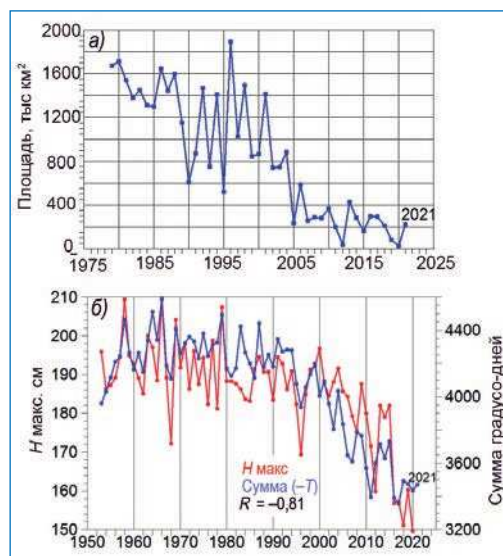


Рис. 8. Морской лед на акватории сибирских арктических морей, через которые проходит Северный морской путь.

а — площадь, занятая морским льдом в сентябре; б — сумма градусо-дней и максимальная толщина припайного льда (в апреле) на метеорологических станциях на побережье и островах морей.

Площадь, занятая морским льдом на акватории морей в конце летнего сезона, в сентябре, быстро сокращалась с 1996 года и за десять лет к 2005 году уменьшилась более чем в восемь раз — с 1892 до 234 тыс. кв. км. В последующие годы площадь льда колебалась вблизи этого уровня с минимальным значением 26,3 тыс. кв. км в 2020 году, превысивший предшествующий минимум 2012 года (37 тыс. кв. км). В 2021 году площадь льда возросла до 222,7 тыс. кв. км (рис. 8а).

С ноября по июнь моря покрываются сплоченными льдами, концентрация и толщина которых достигает максимума в апреле. Индикатором роста толщины льда в морях служит сумма градусо-дней мороза (сумма отрицательных температур воздуха с октября по апрель), которая тесно связана (коэффициент корреляции 0,81) со средней толщиной припайного льда на этих же станциях (рис. 8б).

Таким образом, основная особенность климата Арктики в 2021 году — замедление или даже приостановка потепления и сохранение с 2007 года летней площади морского льда в арктических морях на уровне около 200 тыс. кв. км после быстрого сокращения с 2001 года.

*Г.В. Алексеев, Е.И. Александров,
Н.Е. Иванов (АНИИ)*

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ ЭКСПЕДИЦИИ NABOS-2021 НА НЭС «АКАДЕМИК ТРЁШНИКОВ»

Основная информация об экспедиции NABOS-2021 (Nansen and Amundsen Basins Observational System) была представлена в статье «Экспедиция NABOS-2021 на НЭС «Академик Трёшников»» в четвертом выпуске Информационно-аналитического сборника «Российские полярные исследования» за 2021 год. В данной статье приведена краткая информация об основных результатах океанографических, гидрохимических и ледоисследовательских работ, выполненных в ходе экспедиции.

Районом исследований являлась северная часть морей Лаптевых и Восточно-Сибирского и примыкающие к ним районы котловин Нансена, Амундсена и Макарова Арктического бассейна СЛО. Запланированный маршрут был ограничен с юга исключительной экономической зоной Российской Федерации (рис. 1, врезка), а впоследствии дополнительно скорректирован в соответствии с ледовой обстановкой (рис. 1).

Целью океанографических и гидрохимических работ являлось исследование механизмов трансформации атлантических вод (АВ), поверхностного слоя и галоклина и оценка пространственной изменчивости гидрофизических и гидрохимических характеристик и их роли в формировании современных климатических из-

менений. Наиболее интересным среди прочих оказывается квазиширотный разрез, состоящий из разрезов № 2, № 3 и № 4 (42 CTD-станции из 103 выполненных), поскольку он охватывает значительную часть района исследований и отражает основные особенности распределения океанографических параметров изучаемого региона. Выполненный вдоль континентального склона от 126° до 180° в. д., он идет через южную оконечность хребта Ломоносова до хребта Менделеева (рис. 2).

Поверхностный слой западной части разреза до хребта Ломоносова характеризовался положительными значениями температуры, что обусловлено радиационным прогревом в летний период. Значения температуры в нем постепенно убывают в восточном направлении от 1,9 до 0 °С. Значения солёности изменяются незначительно в пределах 32–33 psu. К востоку от хребта Ломоносова значения температуры составили –1,6...–1,7 °С. Значения солёности на поверхности были меньше 31–31,5 psu. Выклинивание на востоке разреза водной массы с температурой выше –1,6 °С и относительно невысокой солёностью (30–33 psu) на глубинах 20–40 м говорит о наличии здесь вод тихоокеанского происхождения, что подтверждают результаты гидрохимического анализа на

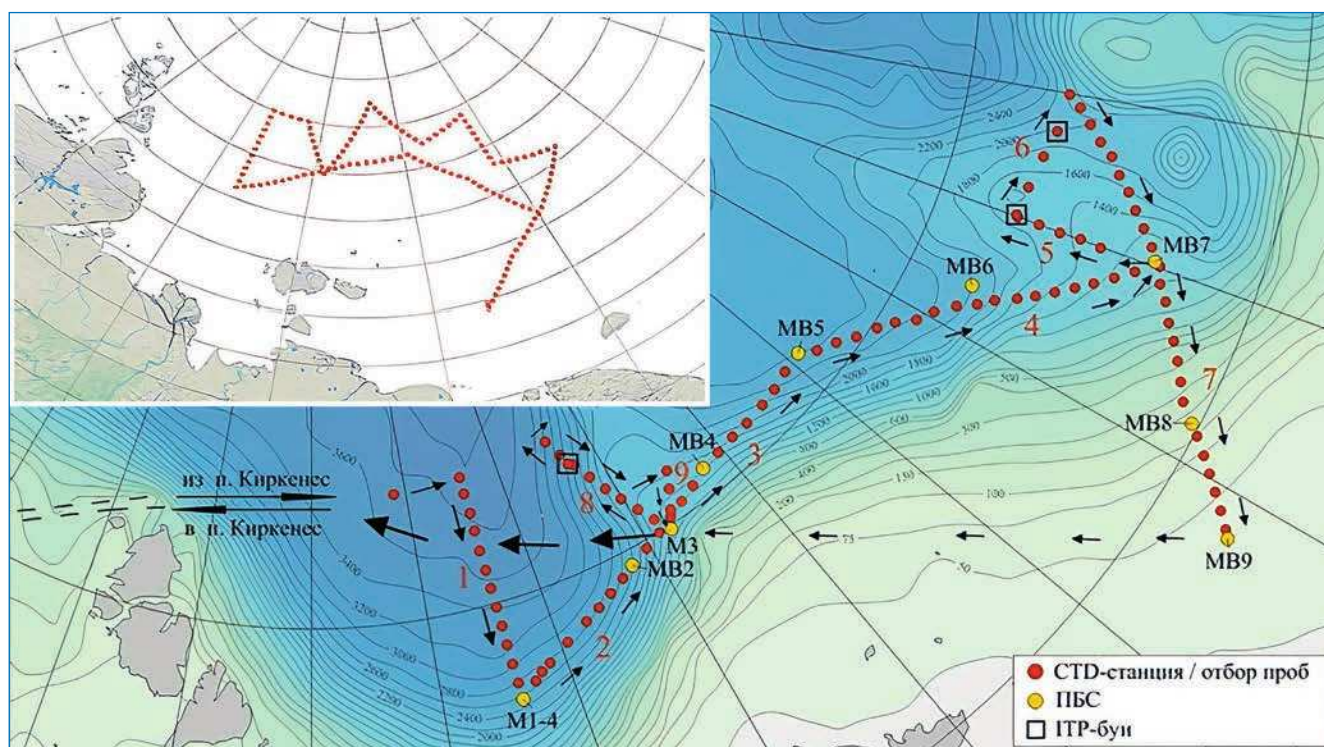


Рис. 1. Запланированный (врезка) и фактический маршрут экспедиции

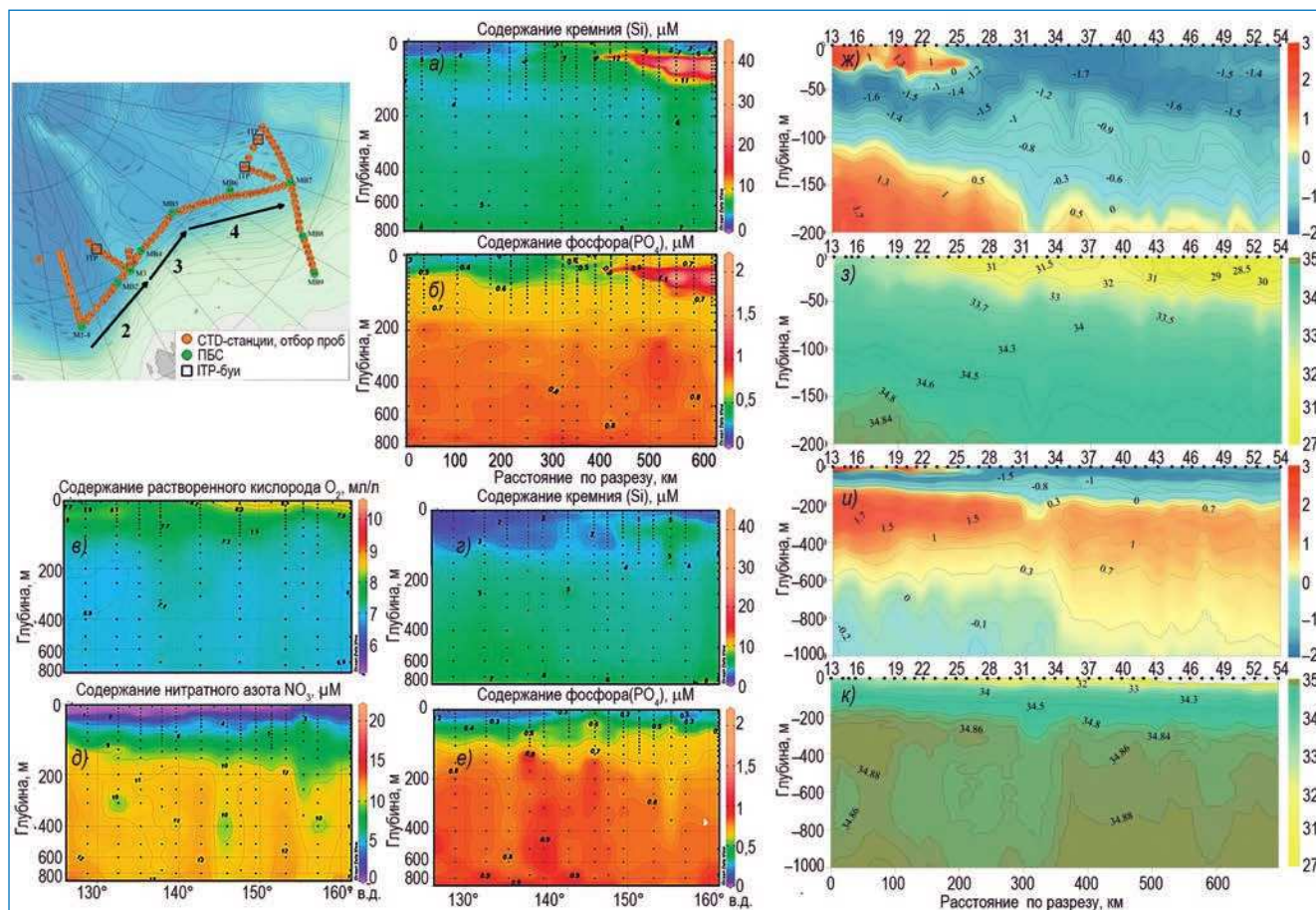


Рис. 2. Распределение гидрохимических и гидрофизических характеристик на разрезах № 2, № 3 и № 4:

а — кремний (разрез № 4), б — фосфаты (разрез № 4), в — растворенный кислород (разрезы № 2 и № 3), г — кремний (разрезы № 2 и № 3), д — нитраты (разрезы № 2 и № 3), е — фосфаты (разрезы № 2 и № 3), ж — температура в слое 0–200 м (разрезы № 2, № 3 и № 4), з — солёность в слое 0–200 м (разрезы № 2, № 3 и № 4), и — температура в слое 0–1000 м (разрезы № 2, № 3 и № 4), к — солёность в слое 0–1000 м (разрезы № 2, № 3 и № 4). На врезке стрелками указано направление разрезов слева направо

биоогенные элементы и растворенный кислород. В целом тихоокеанские водные массы начинают проследиваться в восточной части акватории в слое от 30 до 100 м начиная со 175° в. д., а наибольшего развития они достигают в северо-восточной части, где их мощность достигает 100 м, а расположены они на глубинах от 50 до 150 м.

Значительное распреснение верхних 10 м (солёность менее 28,5 psu) на ст. № 43–51, вероятно, обусловлено и летними процессами ледотаяния, и влиянием речных вод, поступающих сюда с юга, что проявляется в повышенном содержании кремния в пробах воды.

Положение верхней границы АВ было зафиксировано на глубинах 110–130 м к западу от хребта Ломоносова и 150–200 м в восточной части разреза. Ядро АВ постепенно заглублялось в слое от 180–350 м с максимальными значениями температуры до 1,95 °С — на самых западных точках разреза до слоя 220–450 м и температурой, не превышающей 1,2 °С. Мощность слоя АВ варьировала от станции к станции, в целом увеличиваясь от запада к востоку. Минимальные значения наблюдались на станциях № 15 и № 23 около 500 м, максимальное, почти 1200 м — на станциях № 43 и № 49.

К западу от хребта Ломоносова на глубинах больше 1000 м температура изменяется от –0,2 до –0,7 °С, а солёность от 34,88 до 34,945 psu. К востоку от хребта температура на глубинах более 1500 м не опускается ниже –0,43 °С, а солёность у дна достигает значений более 34,956 psu.

В районе ст. № 32 был зафиксирован вихрь с центром на горизонте около 100 м. Температура в центре

вихря составила –0,8 °С, солёность 34,2 psu. Также вихрь выражен в распределении биоогенных элементов и растворенного кислорода в районе этой же станции. Прохождение вихря привело к опусканию верхней границы АВ в этом районе с 150 до 270 м.

Одной из основных задач экспедиции также была работа с притопленными автономными буйковыми станциями. Так, была успешно поднята одна ПАБС, установленная в 2018 году в предыдущей экспедиции NABOS. С нее были получены трехлетние ряды данных температуры и солёности с 6 горизонтов (55, 125, 200, 250, 400 и 600 м), профили скоростей и направлений течений в слое от поверхности до порядка 700 м, а также скорость и направление дрейфа льда. Было установлено 9 ПАБС, 6 из которых во льдах, на двухлетний срок.

Целями судовых специальных наблюдений за распределением элементов ледяного покрова, осуществляемых визуально и с использованием цифрового телевизионного комплекса, являлись: сбор данных для анализа межгодовой и сезонной изменчивости основных характеристик ледяного покрова, валидации данных спутникового зондирования, анализа ледовых условий плавания в высоких широтах, закономерности распределения характеристик ледяного покрова и их влияние на эксплуатационные аспекты движения судов и ледоколов различных типов для решения ряда важных прикладных задач, пополнение базы данных ледовых условий плавания в Арктическом бассейне, а также обеспечение работ экспедиции ледовой информацией.

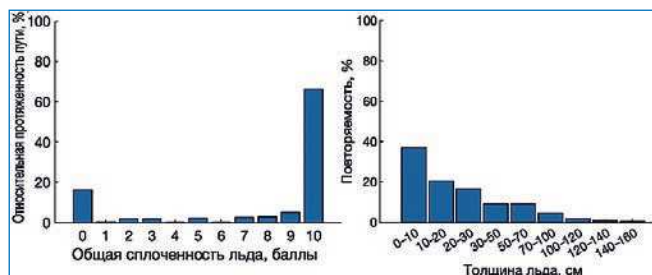


Рис. 3. Распределение сплоченности (слева) и толщины льда (справа) по всему пути следования экспедиции во льдах

Наблюдения были открыты 13.09.2021 в 13:07 UTC в непосредственной близости от кромки льдов (в точке с координатами 80°53' с. ш. 71°24' в. д.) и продолжались непрерывно по ходу всего движения судна во льдах с перерывами только в нескольких непродолжительных выходах на чистую воду: 16–19.09.2021, 07–08.10.2021, 11–14.10.2021. Ледовые наблюдения завершились с выходом на чистую воду в Карском море (15 октября в точке с координатами 81°32' в. д. 76°43' с. ш.). Результатом визуальных наблюдений стало выделение 612 однородных ледовых зон по пути следования экспедиции. Ледовую обстановку на пути плавания в большинстве случаев можно охарактеризовать как сложную. На рис. 3 приведено распределение сплоченности и повторяемость толщины льда.

Как видно из гистограммы, 66 % пути во льдах были пройдены во льду сплоченностью 10 баллов. Выделение 16 % на сплоченность 0 (от 0 до 1) баллов связано с наличием по пути следования довольно протяженных зон с отдельно плавающими льдинами, сплоченность в которых обычно определяется как 0,1 балла. Поскольку моментов пересечения кромки, где обычно отмечаются такие зоны, было несколько, на сплоченность льда от 0 до 1 балла приходится такой значительный процент протяженности пути.

Высокая повторяемость небольших толщин льда (до 30 см) объясняется тем, что визуально толщина льда оценивается только по пути плавания, для которого характерен выбор более легких условий, с наличием разводий, разрывов, зон с преобладанием молодого льда. Так, повторяемость льда с толщиной 0–10 см в 37 % объясняется отношением к этой категории начальных видов льда, таких как сало или ледяные иглы, которые могут занимать обширные акватории в прикормочных зонах, а также ниласа, встречавшегося довольно часто, поскольку шел активный процесс ледообразования, в том числе в разводьях, по которым двигалось судно. Толщина остаточного льда варьировала от 30–50 см до свыше 160 см, в отдельных случаях (торосистые образования) свыше 300 см. В целом по 9 % приходится на толщину льда 30–50 и 50–70 см (на каждую градацию), на толщину свыше 70 см приходится 8 % протяженности пути.

В ходе наблюдений лед оценивался по пути и по району плавания, однако в большинстве расчетов используются только оценки по пути плавания, поскольку

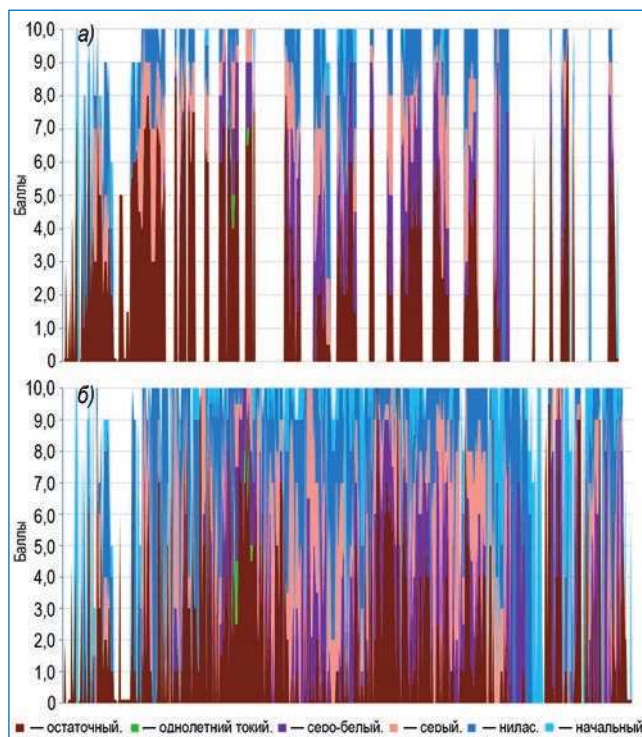


Рис. 4. Однородные ледовые зоны по маршруту следования экспедиции, описанные по району (а) и по пути (б) следования

данные по району имеют большое количество пропусков из-за плохой видимости и ночного времени. Тем не менее, поскольку судно выбирает более легкие условия для продвижения, лед по району может наблюдаться более тяжелый, чем по пути.

На рис. 4 можно оценить изменения ледовых условий по всему маршруту следования, наблюдавшихся по пути и по району. Даже при наличии пропусков в наблюдениях по району заметно большее количество остаточных льдов, чем по пути следования, что характеризует ледовые условия по району как более тяжелые, чем отмечающиеся по пути.

Были организованы три ледовые станции, в рамках которых было установлено три ИТР-буя (Ice Tethered Profiler), два ледовых масс-балансовых буя IMBB, проведены подспутниковые эксперименты определения толщины ледяного покрова с помощью пассивного микроволнового радиометра (PMR), аналогичного установленному на спутнике AMSR2, отобраны пробы снега и морского льда на гидрохимический анализ, проведен океанографический подледный эксперимент по измерению тонкой структуры температуры верхнего слоя океана непосредственно подо льдом.

*Н.А. Куссе-Тюз, Е.В. Блошкина,
И.А. Гангнус, А.Б. Тимофеева (АНИИ)*

КОМПЛЕКСНЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ В ОАЗИСЕ ШИРМАХЕРА (ЗЕМЛЯ КОРОЛЕВЫ МОД, ВОСТОЧНАЯ АНТАРКТИДА) В СЕЗОН 67-Й РАЭ

В ходе летнего полевого сезона 67-й РАЭ в ноябре и декабре 2021 года на посадочной площадке станции Новолазаревская (Земля Королевы Мод, Восточная Антарктида), озерах и ледниках оазиса Ширмахера, а так-

же на участке трассы следования санно-гусеничного похода в сторону барьера выполнялись комплексные геофизические, буровые и геодезические работы. Их основной задачей являлось обеспечение безопасности

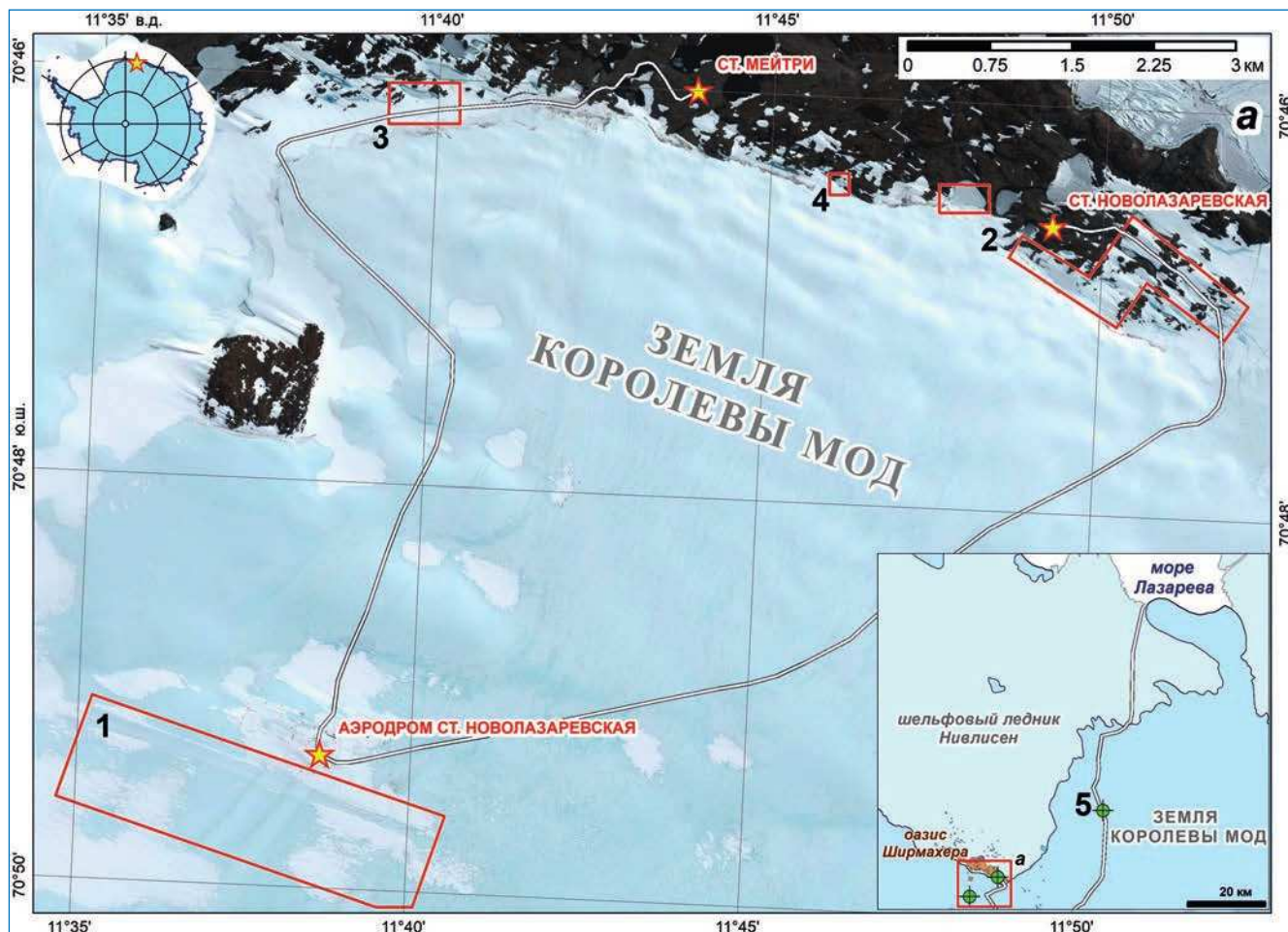


Рис. 1. Схема расположения участков работ:

1 — аэродром станции Новолазаревская; 2 — район станции Новолазаревская; 3 — район станции Мейтри; 4 — район ОМР на трещине в леднике; 5 — район зоны трещин на трассе следования СГП

логистических операций Российской антарктической экспедиции, а также проведение фундаментальных научных исследований, связанных с изучением динамики и теплофизических процессов в леднике, строения его приповерхностной части, а также процессов прорыва озер оазиса.

Инженерные изыскания на взлетно-посадочной полосе (ВПП), а также на ее боковых и торцевых зонах безопасности (район № 1, рис. 1) выполнялись в периоды с 30 октября по 5 ноября и с 14 по 15 декабря. Работы включали в себя георадарное профилирование, тахеометрическую съемку, шнековое бурение залеченных трещин и установку термокосы для изучения теплофизических свойств этой части ледника при помощи математического моделирования.

В период пребывания отряда на станции Новолазаревская исследования были сосредоточены в районе озера Топографов и каскада озер Ледяное, Южное и Станционное, которые соединены между собой ледовыми гротами (район № 2, рис. 1). В состав работ входили георадарное профилирование озер и гротов (рис. 2а), тахеометрическая съемка района изысканий (рис. 2б) с привязкой к пунктам государственной геодезической сети для последующего составления высокоточных схем снежно-ледяной поверхности, придонного рельефа озер, глубин озер и толщин льда над ними, а также бурение под задачи термометрии (рис. 2в). Выполнение указанного комплекса работ необходимо для составления обоснованных рекомендаций по передвижению

в этом районе станционной и эксплуатации аэродромной транспортной техники.

Помимо вышеперечисленных работ проводились исследования на других гидрологических объектах для решения аналогичных задач. В частности, было выполнено исследование озер в районе индийской станции Мейтри (район № 3, рис. 1), а также снежно-ледяного склона покровного ледника, стекающего в безымянное озеро (район № 4, рис. 1). Интерес к последнему обусловлен наличием обширной быстрорастущей трещины, которая, вероятно, в ближайшее время станет причиной откола этой части ледника в озеро. Тем не менее в силу удаленности объекта от станции такое развитие событий не представляет опасности. С другой стороны, трещина, по-видимому образовавшаяся относительно недавно и проходящая через весь ледник, позволила визуально оценить его строение. В этом районе были выполнены опытно-методические работы по лоцированию трещины, а также выкопан шурф глубиной 1,4 м для составления плотностного и температурного разреза всей снежно-фирновой толщи, вплоть до льда.

В дополнение к перечисленному, 3 декабря были выполнены георадарные работы в зоне трещин, которая пересекает трассу следования санно-гусеничного похода (СГП) на барьер. Они носили рекогносцировочный характер. Их задача заключалась, главным образом, в уяснении объема и состава работ, если возникнет необходимость в обследовании этой территории под задачи обеспечения безопасности СГП (район № 5, рис. 1).

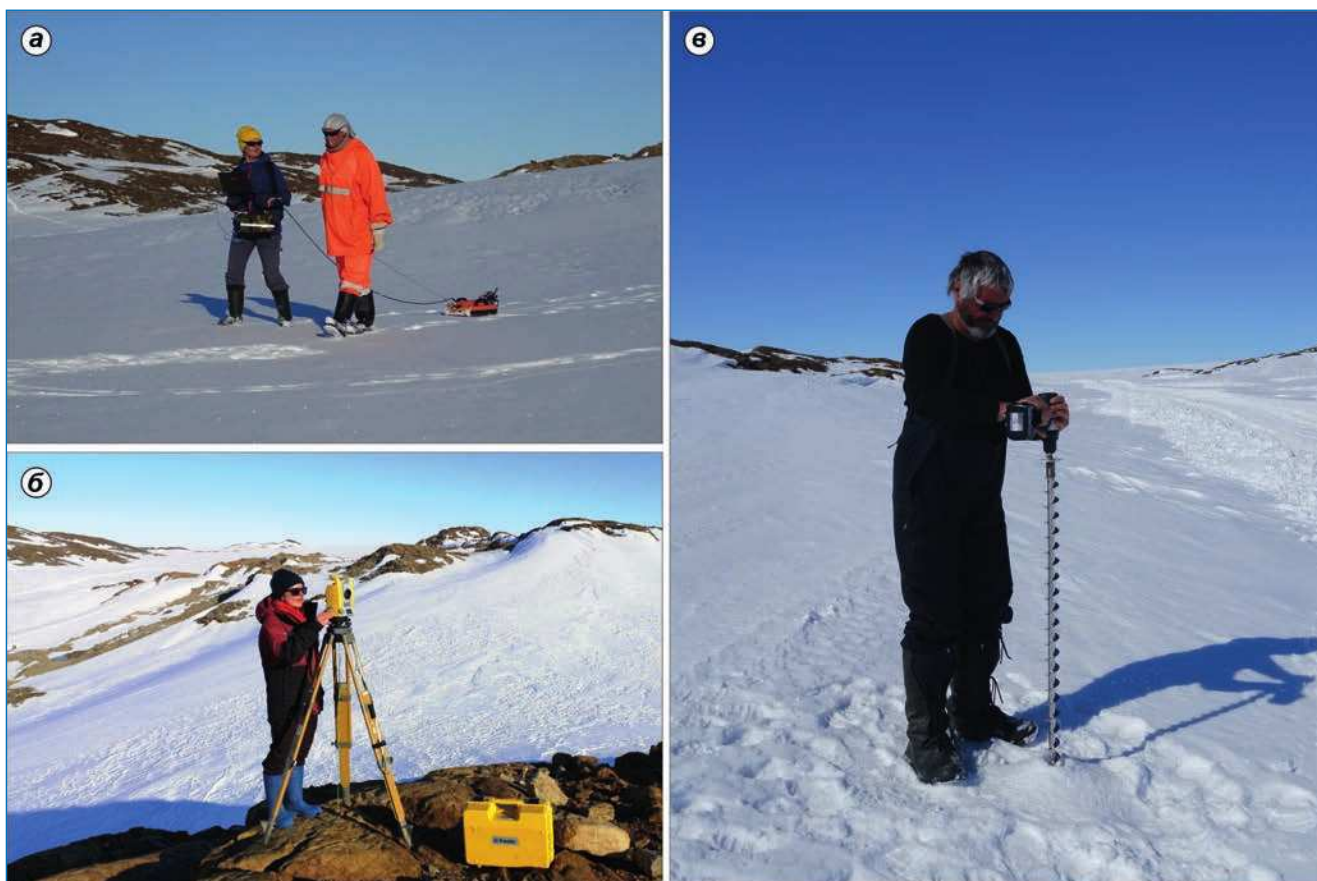


Рис. 2. Процесс выполнения георадарного профилирования (а), тахеометрической съемки (б) и шнекового бурения (в). Фото предоставлено авторами

Комплексные инженерные изыскания, выполненные на аэродроме, показали, что приповерхностная часть ледника в районе ВПП, а также ее боковых и торцевых зонах безопасности является целостной. Полости, которые представляют опасность для взлета и посадки воздушного судна, отсутствуют. На это указывают георадарные данные, полученные по профилю, расположенному вдоль ВПП. Он представлен на рис. 3. На временном разрезе наблюдается прямая волна 1, а также субгоризонтальные и волнообразные слои 2. Последние характерны для динамически спокойных областей ледника. Помимо этого имеются многочисленные дифрагированные волны 3, которые ассоциируются с залеченными трещинами. В основном их ширина составляет 10—15 см и лишь в отдельных местах превышает 20 см. Самые большие трещины были разбурены на глубину одного шнека (1 м). Судя по характеру заглубления бура, пустоты внутри них отсутствуют. Предполагается, что в период интенсивного приповерхностного таяния во время летнего сезона трещины были заполнены талой водой, которая затем заморозилась. На это указывает внешний вид трещин: их прозрачность и выраженное отличие от окружающего ледника.

На временном разрезе визуально выявляются деформированные и смятые слои внутри ледника 4. Область их развития маркируется четко выраженными наклонными нарушениями слоев 5 (рис. 3). Это наводит на предположения о том, что на этом участке ВПП встречаются два ледовых потока. Их взаимодействие в краевых частях ледника деформирует его. При этом в центральной части ВПП деформации еще более значительные, что приводит к образованию выраженных вертикальных неоднородностей. Поскольку трещины на поверхности ледника не об-

разуются, на что указывают как визуальные наблюдения, так и геофизические данные, можно предположить, что скорости течения ледника здесь незначительные, а ее неравномерность не превышает предельных напряжений в леднике, которые приводят к образованию трещин. То есть характер взаимодействия указанных потоков приводит лишь к пластическим деформациям. Однако для более обоснованных выводов требуется углубленное изучение динамики ледника в этом районе.

Работы на озере Топографов, помимо общенаучного интереса, обусловлены решением ряда практических задач, которые включали в себя корректировку положения трассы следования СГП для безопасного движения транспортной техники, а также оценку возможности подъема тягача, провалившегося под лед в середине февраля 2021 года. Согласно полученным данным, средняя глубина озера составляет 8,3 м, при этом максимальное измеренное значение достигает 13,7 м. Площадь озера оценена величиной около 20,2 тыс. м² при объеме водной массы около 168 тыс. м³. Средняя толщина льда над озером составляет 6,6 м, при максимальном значении 12,1 м. Анализ временных георадарных разрезов указывает на то, что часть озера промерзла до дна. В его юго-западной части, вблизи скал, наоборот, наблюдаются небольшие значения толщины льда (около 2 м). В этом районе проходит трасса следования СГП, и именно здесь ушел под лед тягач. В месте его затопления наблюдается резкое увеличение глубины озера, что обусловлено расчлененным рельефом дна. Таким образом, для более безопасного движения транспортной техники целесообразно сместить трассу чуть севернее и проложить ее по береговой части, представленной скальными выходами, перекрытыми мощным (от 4 до

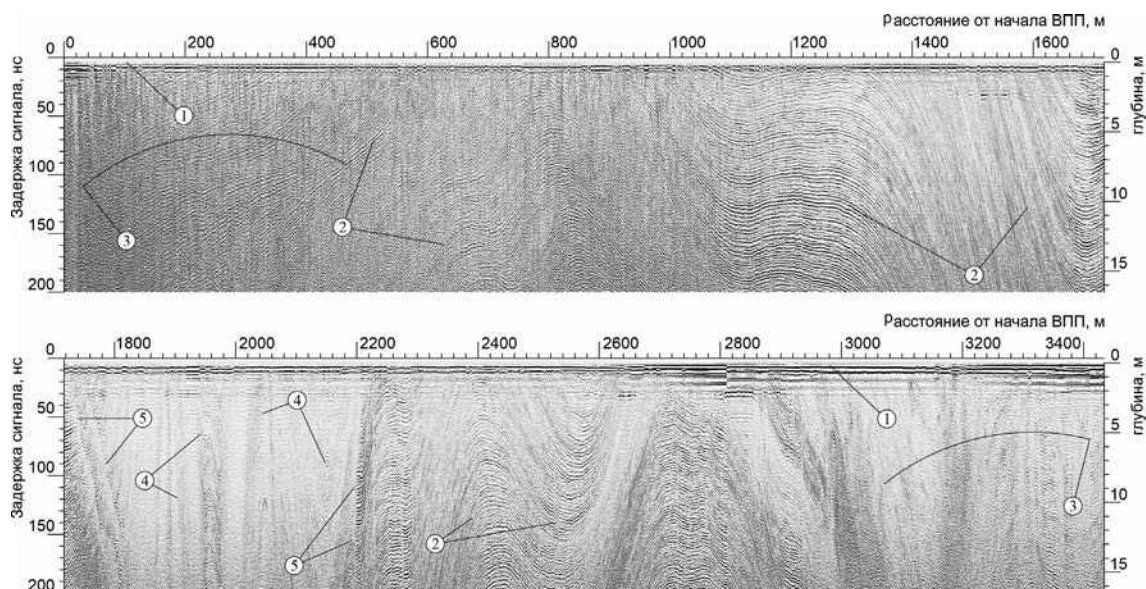


Рис. 3. Временной георадарный разрез по маршруту, расположенному вдоль середины ВПП:

1 — прямая волна; 2 — ненарушенные, субгоризонтальные или волнообразные внутренние слои в теле ледника; 3 — зоны «залеченных» трещин; 4 — сильно деформированные или смятые слои внутри ледника; 5 — зоны выраженных наклонных нарушений слоев

12 м) льдом, что позволит использовать эту удобную по местоположению трассу не только в зимний сезон.

Согласно полученным данным, утонувший тягач располагается на грунте, на глубине около 5 м от текущей дневной поверхности. При этом его верхняя часть, высотой около одного метра или чуть более, судя по георадарным разрезам, вмерзла в лед. Следует ожидать, что, поскольку коэффициент теплопроводности металла весьма значителен (у стали около 50 Вт/(м·К), для сравнения у льда 2,22 Вт/(м·К)), с течением времени тягач будет все больше и больше обрастать льдом. Это существенно усложнит процесс его подъема уже через год. Согласно полученным данным, на момент съемки тягач если и покрыт льдом, то пока еще в незначительном количестве. Более точно судить о процессах формирования льда на поверхности тягача можно после выполнения моделирования протекания теплофизических процессов в озере. Необходимые для этого измерения температуры воды в озере и во льду в ходе полевого сезона выполнены.

Еще одной задачей, нацеленной на изучение опасных гидрологических явлений, являются работы на каскаде озер Ледяное, Южное и Станционное (район № 1, рис. 1). Исследование прорывов озера Южное началось еще во времена строительства станции Новолазаревская, когда в летний период произошло стремительное повышение уровня воды на 3,5 м, что спровоцировало сброс водных масс через ледяную плотину. Поток воды устремился в район строительства станции. Чтобы спасти ее от затопления, был прорыт канал, отводящий паводковые воды в озеро Станционное. Позже было установлено, что озеро Ледяное, расположенное непосредственно у подножия материкового ледника, также является частью гидрологической системы. Оно располагается выше озер Южное и Станционное и аналогичным образом, через ледовый грот, сбрасывает излишки водных масс. Озеро Ледяное является наиболее трудным для исследования ввиду того, что практически не вскрывается ото льда. Этот факт объясняет плохую изученность водоема, даже несмотря на его большой вклад в прорыв всего каскада озер.

В ходе полевого сезона на озерах Южное и Ледяное была выполнена георадарная съемка на частотах

150 МГц и 400 МГц. На момент выполнения работ (начало декабря 2021 года) площадь озера Южное составила 8200 м². Акватория характеризуется длиной 155 м, при средней ширине около 65 м. Водоем имеет вытянутую форму и неизрезанные берега. Область наибольших глубин расположена в северо-восточной части вблизи снежно-ледяной перемычки, где из озера выходит канал стока, т. н. «большой грот». Максимальная мощность водного слоя составляет 2 м, а толщина льда 2,8 м. Остальная часть водоема мелководная (толщина водного слоя до 1 м). На основной его части мощность льда также незначительная, местами менее 50 см.

Озеро Ледяное является одним из крупнейших водоемов, расположенных рядом со станцией Новолазаревская. Благодаря результатам георадарного профилирования удалось точно определить его береговую линию и установить, что длина акватории составляет 250 м, при наибольшей ширине около 210 м. Площадь озера Ледяное оценивается в 163 тыс. м². В целом водоем имеет вытянутую овальную форму, а в его центре находится остров, сложенный характерными для этого места метаморфическими породами. Области наибольших глубин расположены вдоль ледника. Мощность водного слоя составляет более 15,5 м, а толщина льда изменяется от 3 до 6 м.

Помимо детального изучения озер исследованы ледяные гроты, соединяющие указанные озера. Получены данные о точном местоположении, конфигурации и морфометрических характеристиках как самих гротов, так и перекрывающей их толщи. Поскольку каналы являются унаследованными, в дальнейшем при помощи математического моделирования планируется оценить максимально возможные паводки на этих озерах и их последствия.

Рекогносцировочные работы, выполненные в зоне трещин, которая пересекает трассу следования СГП со станции на барьер, инструментально подтвердили первоначальное предположение о том, что трещины характеризуются ровными вертикальными или слегка наклонными стенками. Это обусловлено строением ледника, на котором отсутствует снежно-фирновая толща, что принципиально отличает его от районов станций Мирный и Прогресс. По-

этому формирование каверн, аналогичных тем, которые наблюдаются в зонах трещин в районе станций Мирный и Прогресс, является маловероятным. Для лучшей локализации распространения трещин в районе трассы СГП и их возможного развития требуется выполнение более масштабных работ, по аналогии с теми, которые выполнялись на вышеуказанных станциях.

В ходе полевых работ выполнено: георадарное профилирование в объеме — 52,5 погонных километра; электромагнитных зондирований по системе ОГТ — 2; пробурено скважин — 15, из них для температурных измерений — 5; отработано пунктов тахеометрической съемки — 701.

Авторы благодарят начальника станции Новолазаревская 66-й РАЭ Д.Г. Серова, а также сотрудников

зимовочного состава станции и отдельно А.Г. Мельникова за огромную помощь в проведении полевых работ; сотрудника ААНИИ В.В. Харитонову за предоставление бурового оборудования, а также сотрудников Института наук о Земле СПбГУ А.М. Белова, Т.В. Паршину, Г.В. Пряхину и С.В. Тюрина за предоставленную аппаратуру и помощь в ее подготовке к полевому сезону. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-05-00343 «Выявление особенностей протекания процесса прорывов озер оазисов Антарктиды на основе данных полевых исследований и математического моделирования».

С.В. Попов^{1,2}, М.П. Кашкевич², А.С. Боронина^{3,2}
(1 — АО «ПМГРЭ», 2 — СПбГУ, 3 — ГГИ, Санкт-Петербург)

РОССИЙСКАЯ СЕТЬ АВТОМАТИЧЕСКИХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ В АНТАРКТИКЕ

До настоящего времени на значительных пространствах Антарктиды, где нет полярных станций, отсутствуют регулярные метеорологические наблюдения, а в отдельных точках они были прерваны в связи с закрытием станций. Такое положение дел не позволяет обеспечить репрезентативность получаемой информации и достоверную прогнозируемость погодных явлений во всей Антарктике. Однако развитие современных технологий дало возможность в последние годы приблизиться к решению данной проблемы путем создания в Антарктике локальной сети автоматических метеорологических станций автономного базирования со спутниковым каналом передачи результатов наблюдений.

Основу сети автоматических метеорологических станций автономного базирования составила антарктическая метеогеофизическая станция с питанием от аккумуляторных батарей и спутниковым каналом связи. Такая станция была разработана в 2007 году российскими и финскими специалистами на базе оборудования MAWS 110 финской компании «Vaisala Oyj». Станция предназначена для выполнения автоматических измерений скорости и направления ветра, атмосферного давления, температуры и влажности воздуха, температуры подстилающей поверхности с накоплением и передачей полученных данных по спутниковому каналу связи. Измерения на станции и передача осуществлялись в основные синоптические сроки, в моменты времени, соответствующие действующему регламенту наблюдений конкретного метеорологического параметра. В перспективе предполагалось, что к такой станции могли бы подключаться геофизические датчики, однако на практике во всех образцах станций ограничивались вышеуказанным перечнем параметров, и эти станции фактически стали просто метеорологическими. Их метеорологические характеристики приведены в таблице, а электропитание осуществлялось от никель-кадмиевого аккумулятора с подзарядкой от солнечных батарей. При этом параметры солнечных батарей и аккумуляторов были подобраны таким образом, чтобы попытаться обеспечить надежную автономную работу станции минимум в течение всего срока ее службы продолжительностью пять лет.

Таблица

Характеристики метеорологической станции

Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерений	Погрешность
Скорость ветра W, м/с	0 – 75	±(0,5+0,05W)
Направление ветра, град.	0 – 360	±5
Атмосферное давление, гПа	650 – 1100	±0,5
Температура воздуха, °C	–50 – 60	±0,2
Относительная влажность воздуха, %	0 – 100	±3

Для этого были применены наиболее экономичные в плане энергопотребления конструктивные решения, которые позволяли добиться того, чтобы разряд аккумуляторов в момент активной работы станции компенсировался их зарядкой от солнечных батарей в светлое время суток. Предполагалось, что во время полярной ночи продолжительностью до трех месяцев, когда невозможна подзарядка аккумуляторов, питающее напряжение не будет опускаться ниже 10,5 В. В результате, как показал многолетний опыт эксплуатации, даже при температурах воздуха ниже –45 °C обеспечивалась нормальная работоспособность всей станции, включая спутниковый передатчик.

Вся полученная измерительная и служебная техническая информация записывается во внутреннюю энергонезависимую память и передается по спутниковому каналу связи системы Iridium в формате SBD. Прием переданных данных производится на электронную почту с доступом по специальному паролю.

Первая российская автоматическая антарктическая метеорологическая станция на базе MAWS 110, установленная на полевой базе Молодежная, включает в себя следующее оборудование:

- логгер QML 201,
- комбинированный датчик WM30 скорости и направления ветра анемометрически-флюгерного принципа действия,
- кремниевый емкостной датчик атмосферного давления PMT16A,
- датчик HMP45D температуры платино-резистивного типа Pt 100 IEC 751 и относительной влажности воз-

духа, выполненный на емкостном тонкопленочном полимере,

- модем спутниковой связи A3LA-D фирмы NAL,
- никель-кадмиевые батареи со специальным электролитом,
- солнечные батареи — 2 штуки, каждая мощностью 25 Вт,
- метеорологическая мачта высотой 4 м.

Масса оборудования станции не превышает 170 кг, а максимальный размер упаковки — 2,5 м. Станция могла транспортироваться любыми видами транспорта, включая авиацию и тракторно-санный поезд. Конструкция станции выполнена таким образом, чтобы логгер вместе с буферными аккумуляторами питания и системой защиты внешних линий, датчиком атмосферного давления и спутниковым модемом связи располагались внутри специального влагозащитного корпуса, как показано на рис. 1. При этом датчики ветра, температуры и влажности вместе со стандартной радиационной защитой DTR13 размещаются на мачте на высотах 4 и 2 м соответственно. Мачта снабжена рядом оттяжек из стального троса и установлена на специальном постаменте из стального листа. Аккумуляторные батареи питания находятся под постаментом и укрыты от снежных наносов. Мачта и солнечные батареи жестко закреплены на скальном основании. Мачта сориентирована по сторонам света, а батареи — по максимальному солнцу. При вводе станции в эксплуатацию с помощью внешнего устройства в ее показания была введена поправка начального атмосферного давления, учитывающая высоту места к уровню моря, и проверена работоспособность, включая спутниковый канал связи. Первый образец такой станции начал работу 25 февраля 2007 года в Антарктиде около полевой базы Молодежная. Он был установлен на скалистой возвышенности, как показано на рис. 1, на высоте 74 м от уровня моря, в точке с координатами: 67°40'108 ю. ш., 45°50'595 в. д. В 00 GMT 26 февраля 2007 года по спутниковому каналу связи Iridium впервые были переданы, а в Санкт-Петербурге, в ААНИИ — приняты результаты срочных метеорологических измерений, произведенных данной станцией.

В дальнейшем она продолжала проводить в автоматическом режиме срочные метеорологические измерения и регулярные ежесуточные передачи полученных результатов в ААНИИ вплоть до февраля 2010 года. Однако затем связь со станцией была поте-



Рис. 1. Первая российская автоматическая антарктическая метеорологическая станция на базе MAWS 110, установленная на полевой базе Молодежная

альная комплектация станции, учитывающая особые погодные условия данного места, характеризуемые исключительно сильными, до 80 м/с и продолжительными ветрами. В такой станции применен ультразвуковой датчик скорости ветра типа WS425 с подогревом, специальная радиационная и ветровая защита для датчика температуры и спутниковый передатчик Inmarsat, работающий в формате мини-С. Защита датчика температуры и влажности представляет собой тонкостенную металлическую трубу внутренним диаметром около 0,16 м, длиной 1 м с отверстиями по ее длине. Для обеспечения бесперебойного питания на полевой базе Русская был установлен ветрогенератор мощностью 120 Вт выходным

Рис. 2. Автоматическая метеорологическая станция, установленная на полевой базе Ленинградская



ряна. Как было установлено экспедицией посещения базы Молодежная в декабре 2011 года, ураганным ветром, периодически достигавшим скорости до 60 м/с, станция была существенно разрушена: сломаны датчики ветра, температуры, повреждена антенна спутникового передатчика. В дальнейшем были проведены ремонтно-восстановительные работы, и в 2012 году функционирование станции было возобновлено.

Вслед за полевой базой Молодежная, в 2008 и последующих годах автоматические метеорологические станции были установлены на полевых базах Русская, Ленинградская (рис. 2). Именно в этих местах ранее были начаты регулярные метеорологические наблюдения, которые затем были прерваны в связи с закрытием этих баз.

Для их возобновления и было организовано размещение на этих точках автоматических метеостанций. При этом для полевой базы Русская была разработана специ-

альная комплектация станции, учитывающая особые погодные условия данного места, характеризуемые исключительно сильными, до 80 м/с и продолжительными ветрами. В такой станции применен ультразвуковой датчик скорости ветра типа WS425 с подогревом, специальная радиационная и ветровая защита для датчика температуры и спутниковый передатчик Inmarsat, работающий в формате мини-С. Защита датчика температуры и влажности представляет собой тонкостенную металлическую трубу внутренним диаметром около 0,16 м, длиной 1 м с отверстиями по ее длине. Для обеспечения бесперебойного питания на полевой базе Русская был установлен ветрогенератор мощностью 120 Вт выходным напряжением 12 В турбинного типа WS-0,30A производства немецкой компании Windside. Турбина генератора изготовлена из металла, имеет площадь 0,3 м² и рассчитана на работу при ветрах скоростью до 60 м/с. Ветрогенератор имеет массу до 90 кг и был закреплен на стене домика станции со стороны преимущественных направлений ветров. Предполагалось, что это обеспечит устойчивую выработку ветрогенератором достаточного количества электроэнергии для бесперебойной работы спутникового передатчика и подогрев датчика ветра. Однако неоднократные ураганные ветра до 80 м/с, характерные для данного района Антарктиды, повредили лопасти ветрогенератора и вывели его из строя. В этой связи станцию переоборудова-

ли на работу со спутниковым передатчиком модели RST600 системы Iridium, что существенно снизило ее энергопотребление и позволило отказаться от использования ветрогенератора. Подобной моделью передатчика впоследствии снабжались все остальные такие метеостанции.

В 2010 году автоматическую метеостанцию установили на полевой базе Дружная-4 (рис. 3). В отличие от первоначальной конструкции модификация этой станции снабжена индикаторным табло. Его наличие позволяет оператору считывать результаты измерений и тем самым оперативно в режиме реального времени получать информацию непосредственно на месте и выполнять контроль работоспособности данной станции.

В 2014 году аппаратура этой автоматической метеостанции была перемещена с полевой базы Дружная-4 на полевую базу Оазис Бангера, в связи с тем, что основной объем российских исследований с применением малой авиации был перенесен в данный район Антарктики.

В 2012 году в начале взлетно-посадочной полосы станции Прогресс была установлена автоматическая метеостанция, которая способна производить стандартные метеорологические наблюдения и переходить в специальный ушаченный режим работы для обеспечения полетов авиации на аэродроме станции Прогресс. В дополнение к ней была установлена полуавтоматическая метеостанция на командно-диспетчерском пункте ВПП. Оборудование данной станции было дополнено измерителем оптической видимости FS11 и облакомером CL31 также производства финской компании "Vaisala Oyj".

Несмотря на полностью автоматический режим работы и наличие автономного энергоснабжения, вышеописанные станции требуют периодических, в идеале ежегодных регламентных работ. Эти работы должны включать в себя корректировку внутреннего времени, проверки датчиков, считывания накопленной в память информации. Именно это выполнялось специалистами РАЭ в Антарктиде, при необходимости также проводился ремонт такелажа и замена

датчиков, выходящих из строя.

Антарктический опыт эксплуатации показал, что основные поломки связаны с сильными ветрами: камнями повреждается остекление солнечных панелей и такелаж, а также выходят из строя анемометрические датчики ветра, оснащенные вращающимися элементами. На полевой базе Дружная-4 такой датчик был заменен на ультразвуковой, не имеющий в отличие от анемометров подвижных элементов, наиболее подверженных износу и механическим повреждениям.

Несомненным подтверждением правильности принятых и реализованных технологических решений является то, что все указанные станции продолжают в настоящее время успешно работать и до сих пор передавать результаты измерений в ААНИИ. К этим принципиальным решениям, обеспечиваю-

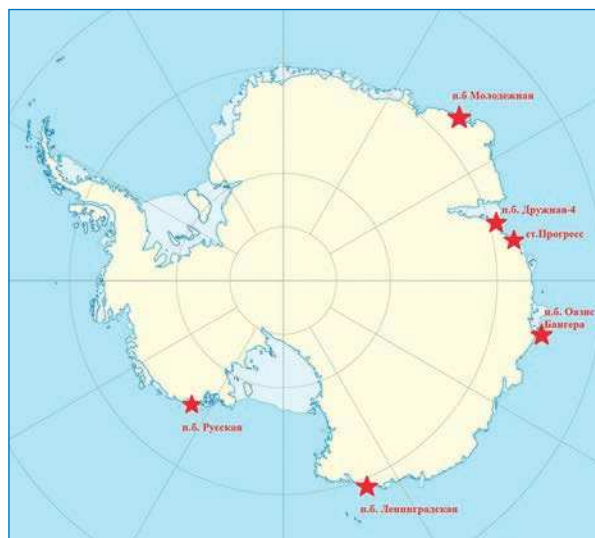
щим длительную автономность в условиях Антарктики и долговременную живучесть, относится выбор конструкции датчиков и схемы установки, форматов и каналов передачи информации, а также применение такого режима электропитания, который оптимально сочетает использование аккумуляторных батарей с их зарядом от солнечных — в светлое время суток. Следует отметить высокую надежность продукции фирмы "Vaisala Oyj", составляющую основные высокотехнологичные компоненты станции. При этом обеспечивается широкая взаимозаменяемость между собой отдельных образцов однотипных датчиков и единообразие их подключения к логгерам, что позволяет в случае необходимости применять один и тот же тип датчиков на всех автоматических метеостанциях и, следовательно, существенно экономить средства РАЭ для содержания парка запасных частей и поверки датчиков.

Отечественные специалисты впервые в Антарктике создали сеть из 6 автоматических станций (Молодежная, Русская, Ленинградская, Дружная-4, Оазис Бангера, ВПП ст. Прогресс), с помощью которой налажены метеорологические наблюдения, накопление и передача данных из Антарктики без непосредственного участия



Рис. 3. Автоматическая метеорологическая станция, установленная на полевой базе Дружная-4

Рис. 4. Схема размещения российских автоматических метеостанций на карте Антарктиды



человека. Схема размещения этих станций на карте Антарктиды приведена на рис. 4. Пять из шести этих станций имеют присвоенный Всемирной метеорологической организацией (ВМО) синоптический индекс, и каждые 6 часов синоптические телеграммы становятся доступны всему миру. Данный шаг позволил расширить охват регулярными метеорологическими наблюдениями континентальной Антарктики.

С 2017 года началось постепенное переоснащение полуавтоматических метеостанций на основе

процессора MILOS 500 на новые — на базе MAWS 110, которые можно, в перспективе, модернизировать для работы в автоматическом режиме. Это позволит в последующем максимально исключить субъективный фактор при проведении наблюдений за погодой, повысить качество материала наблюдений и одновременно снизить нагрузку на персонал.

И.С. Ковчин (НПО «Аквастандарт»), И.В. Идрисов (АНИИ).

Фото авторов

ОЗЕРА ПОЛЮСА ВЕТРОВ АНТАРКТИДЫ (СТ. РУССКАЯ)

Станция Русская — последняя из семи станций, основанных СССР в Антарктиде. Это единственная станция на участке побережья протяженностью около 3500 км между американской станцией Мак-Мердо и Антарктическим полуостровом. Со времени создания станции в 1980 году и до консервации в 1990 году научные работы на ней состояли из метеорологических, геофизических, морских ледоисследовательских и астрономических наблюдений. В 53, 59, 65, 66-й РАЭ здесь проводились кратковременные сезонные работы, которые заключались в основном в подготовке к возобновлению функционирования станции. Таким образом, о природных условиях участка суши, на котором расположена Русская, до сих пор имеются лишь отрывочные сведения. Не исключением в этом отношении являлась и изученность озер.

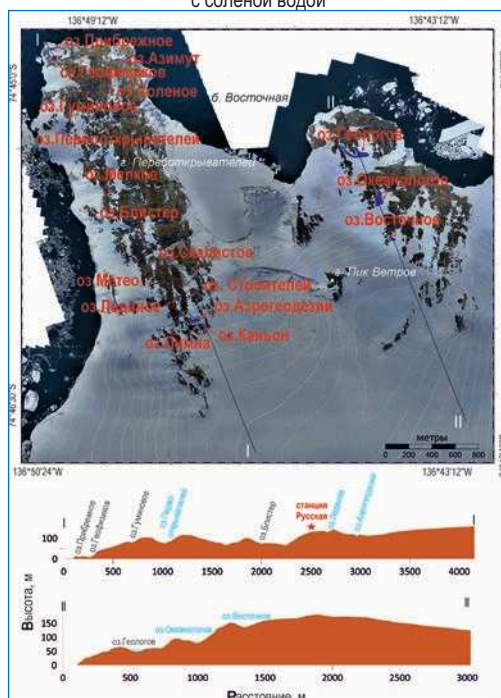
В сезон 67-й РАЭ (4–13 февраля 2022 года) НЭС «Академик Трёшников» прибыло на ст. Русская с целью изыскательских работ под строительство нового зимовочного комплекса. Параллельно с изысканиями удалось провести обследование озер, включавшее бурение льда, отбор проб воды, бентоса и донных отложений, радиолокационные и электроразведочные работы, а также подледную видеосъемку. Результаты этих лимнологических исследований позволили получить первое представление об озерах на участке суши, расположенном в одном из самых малоизученных регионов береговой зоны Антарктиды.

Природные условия. Станция Русская (74°45'56" ю.ш., 136°47'56" з. д.) расположена в Западной Антарктиде на восточном берегу моря Росса на Земле Мэри Бэрд. Свободный от льда участок суши состоит из двух полуостровов, разделенных бухтой Восточная с впадающим в нее выводным ледником (рис. 1). Полуострова представляют собой скалистые мелкосопочки, обрывающиеся уступами к морю и полого поднимающиеся на юг, где перекрываются ледником. Общая площадь не покрытой ледником территории составляет около 2,2 км². Наибольшая высота на восточном полуострове — г.

Пик Ветров высотой 189,2 м, на западном — г. Первооткрывателей высотой 133,6 м. В геологическом отношении территория сложена габброидами, рассеченными с севера на юг и с запада на восток жилами и дайками основного, среднего и кислого состава. Скальные грунты с поверхности по большей части перекрыты слоем продуктов морозного и ветрового выветривания мощностью от 10 см до 1,5 м, представляющим собой щебнистый грунт с заполнителем из дресвы и песка с включениями глыб. Меньшее распространение имеют осыпи крупнообломочного материала. На южной части восточного полуострова скальный грунт перекрыт маломощной мореной, которая подверглась мерзлотной переработке с образованием структурных грунтов. В феврале 2022 года глубина сезонного оттаивания в элювии на горизонтальных площадках составляла от 20 до 30 см. В долинах за счет летнего таяния снежников и ледников формируются протяженные наледы. Благодаря постоянным сильным ветрам в основном восточных румбов устойчивый снежный покров не формируется. Накопление снега наблюдается лишь в ветровой тени на западных склонах сопки и в долинах.

Над восточной частью моря Росса, где располагается станция Русская, существует очаг наиболее низкого на Земле атмосферного давления, что определяет специфически суровые погодные условия даже по антарктическим меркам. Среди других береговых станций Антарктиды Русская характеризуется аномально низким атмосферным давлением и высокой скоростью ветра. Благодаря этому станция получила образное название «полюса ветров Антарктиды». Среднее многолетнее число дней со скоростью ветра более 15 м/с в районе станции составляет 264, а более 30 м/с — 136. 27 октября 1986 года максимальный порыв ветра достиг скорости 75 м/с. Если по станционным наблюдениям 1980-х годов припай, как правило, сохранялся в течение летнего времени, то во время сезонных работ 53, 59, 65, 66, 67-й РАЭ, проводимых в феврале, он отсутствовал.

Рис. 1. Ортофотоплан района работ на ст. Русская. На профилях голубым цветом подписаны пресноводные озера, черным цветом — озера с соленой водой



Наземная растительность в целом, сравнивая с оазисами, в которых расположены другие российские станции, более скудная: редкие черные пятна мхов и лишайников. Животный мир представлен колонией пингвинов Адели на севере западного полуострова и аналогичной по численности колонией Адели на севере восточного полуострова, где в феврале 2022 года также были встречены несколько тюленей Уэдделла и около десяти императорских пингвинов. На Русской отмечены поморники, антарктические буревестники и реже капские голуби.

Методы изучения озер. Озера обследовались в пеших маршрутах, которые намечались по аэрофотоснимку. Площади озер и их высотные отметки определялись по ортофотоплану. Радиолокационные исследования озер для определения мощности льда и их глубины проводились георадаром Zond 12E. Для выявления наличия/отсутствия подозерных таликов применялась электроразведка методом становления поля в ближней зоне (ЗСБ) аппаратурой ЦИКЛ. Для бурения льда озер использовался шнековый бур Kovacs длиной до 5 м и шнековый мотобур Jiffy длиной до 1 м. Отбор проб воды проводился на следующие виды анализов: общая минерализация, pH, основные ионы, фосфаты, силикаты, O_2 . Водородный показатель, окислительно-восстановительный потенциал, минерализация определялись с помощью портативного анализатора Milwaukee. Кроме того, отбирались пробы донных отложений для исследования состава и строения органического вещества, и в стерильную тару отбиралась вода и биогенные пленки цианобактериальных матов для биологических видов анализов.

Результаты и обсуждение. В общей сложности по данным анализа АФС и маршрутных исследований существует 18 озер с максимальной длиной от 30 до 300 м. Коллегиальным решением участников сезонных работ 67-й РАЭ этим озерам присвоены названия (рис. 1). Озеру Ледяное как источнику водоснабжения станции название было присвоено еще во времена САЭ, и оно оставлено неизменным. На восточном полуострове имеется всего три озера, но два из них — оз. Геологов и оз. Океанологов (рис. 2, 3) — являются самыми большими озерами. Остальные озера равномерно распределены по западному полуострову. Большинство озер занимает котловины, приуроченные к тектоническим разломам и углубленные ледниковым выпахиванием. Для многих озер, например для оз. Океанологов и оз. Мелкое, характерно расположение в долинах, заложенных по менее устойчивым к выветриванию дайкам. У нескольких озер (Азимут, Прибрежное, Восточное) борта представлены снежниками или ледниками, их котловины по происхождению можно классифицировать как подпрудные.

Максимальные глубины встречены в оз. Аэрогеодезии и оз. Геологов. В оз. Аэрогеодезии дно зафиксировано на глубине 5,1 м, а в оз. Геологов колонна из 5-метровых шнеков не вышла из льда озера. Остальные озера имеют глубины, не превышающие 3,5 м. В середине февраля (конец теплого периода) практически полностью вскрывшимися оказались оз. Мелкое и оз. Гуминовое. Незначительные открывшиеся забереги были у оз. Солёное. Аналогичная картина наблюдалась нами месяц ранее в оазисе Молодежный, где крупные озера Глубокое, Овальное и Лагерное были покрыты льдом, тогда как небольшие озера были открытыми. Это связано с тем, что в мелких озерах свет, проникая до дна, характеризующегося низким альбедо, начинает разогревать воду и лед,



Рис. 2. Бурение льда на оз. Геологов. На поверхности льда видна изливающаяся из скважины солоноватая вода



Рис. 3. Проведение электроразведочных работ на оз. Океанологов



Рис. 4. Характерная структура пористого льда с вертикальными кавернами из нижней части ледяного покрова оз. Аэрогеодезии

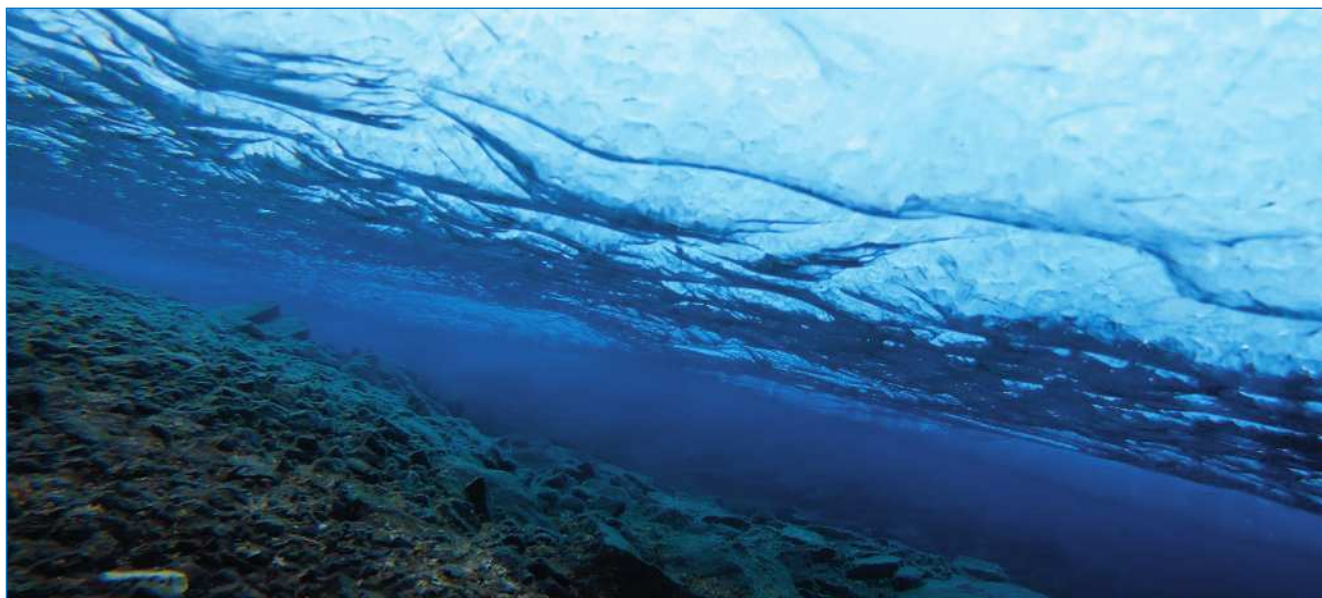


Рис. 5. Подводное изображение оз. Каньон

постепенно приводя к исчезновению последнего. Подтверждением этому является характерная структура льда не полностью промороженных озер. Под плотным льдом ближе к контакту с водой залегает слой льда мощностью в несколько дециметров, характеризующийся вертикальными кавернами и пористостью около 50 % (рис. 4). Вероятно, эти каверны образуются за счет таяния льда снизу.

Водная толща во всех исследованных озерах обладает высокой прозрачностью, что хорошо видно на фотоизображениях подводной съемки (рис. 5). Вода озер характеризуется диапазоном значений pH — от слабых до слабощелочных условий. Кроме того, интереснейшей особенностью территории является наличие одновременно пресноводных и соленых озер. Основные морфометрические и гидрохимические характеристики приведены в таблице. Рассолы-криопэги были выявлены подо льдом оз. Соленое, внутри льда и подо льдом оз. Азимут, линзами внутри льда в оз. Прибрежное, Блистер и Геологов. В двух последних озерах обнаружены ледяные бугры — блистеры высотой до 1,5 м (рис. 6). Можно предположить, что образование блистеров на

Таблица

Основные морфометрические и гидрохимические характеристики озер

Название	Площадь, км ²	Глубина, м	Абс. отм. уровня, м	М, г/л	ЕС, мС/см	pH
Геологов	0,0085	>5	54,6	1,410	1,99	5,9
Океанологов	0,0067	1,5	86,6	0,320	0,48	6,1
Восточное	0,0011	3,5	136,7	0,170	0,24	8,9
Каньон	0,0003	1,5	113,4	0,07	0,11	8,3
Аэрогеодезии	0,0023	5,1	118,5	0,210	0,32	6,8
Ледяное	0,0013	3,2	132,3			
Блистер	0,0008	3,0	74,5	5,42	7,98	7,2
Гуминовое	0,0020	1,0	81,1	3,05	4,49	7,7
Азимут	0,0004	3,3	38,5	33,52	49,28	8,4
Прибрежное	0,0010	2,0	9,5	27,02	39,97	8,0
Соленое	0,0010	1,0	65,7	3,490	5,18	5,9
Первооткрывателей	0,0011	2,3	74,7			

Примечание. М — минерализация, ЕС — электропроводность

Рис. 6. Блистер (ледяной бугор) на оз. Геологов



антарктических озерах связано с сезонным смерзанием линз внутриледного и подледного криопэга, возрастанием напора и вспучиванием поверхности. При бурении льда в оз. Геологов рядом с блистером из скважины диаметром 5 см в течение более суток наблюдался фонтан солоноватой воды высотой 10 см (рис. 2).

Отмечается корреляция солёности озёр с абсолютными отметками их уровней (рис. 1). Озёра с рассолом располагаются ниже отметки 85 м н. у. м, а озёра выше этой отметки — пресные. Природа появления солоноватых вод, вероятно, связана с наличием на поверхности грунта налётов NaCl (рис. 7), появляющихся при сублимации и испарении атмосферных осадков, насыщенных в прибрежной зоне морской солью. Нельзя также исключать, что такие налёты солей есть следствие недавнего в геологическом отношении выхода территории из-под уровня моря.

Донные отложения представлены глыбами и щебнем с песчано-гравийным заполнителем (рис. 5). Вероятно, такая особенность озёр связана с относительно недавним освобождением территории из-под ледника. Свою роль, по-видимому, играет и сильный ветер, который выдувает тонкозернистые продукты выветривания в море, не давая им попадать в озёра и накапливаться в них. На дне не полностью промерзших озёр были выявлены биогенные маты, но они за исключением оз. Гуминовое и оз. Солёное не формируют здесь сколько-нибудь масштабных скоплений, а представлены лишь отдельными хлопьями и пленками. Единственным озером, где под слоем биогенного мата были также выявлены илистые донные отложения, является оз. Гуминовое. Эти отложения имеют чёрный цвет, сильный запах разлагающейся органики, жирные на ощупь. Они характеризуются кислыми слабо-восстановительными условиями ($pH = 5,6$; $Eh = -40$ мВ).

В практическом отношении представляют интерес результаты изучения оз. Аэрогеодезии. Данное озеро располагается всего в 200 м от оз. Ледяное, на котором в советское время была установлена ледотаялка и с помощью вездехода вода доставлялась на станцию для бытовых нужд и в питьевых целях. При этом в отчётах о работе станции отмечалось, что вода имела запах сероводорода и тёмный оттенок, который пропал после оттаивания в ёмкости. Озеро Аэрогеодезии в разы больше промерзшего оз. Ледяное по запасам и, главное, как минимум часть года в нём подо льдом сохраняется незамерзшая вода. Вода озера имеет оптимальную для питьевых целей минерализацию (0,21 г/л). При проектировании нового комплекса зданий на станции Русская целесообразно будет провести сравнительный анализ оз. Ледяное и оз. Аэрогеодезии как альтернативных источников водоснабжения.

Заключение

В результате проведенных работ показано, что на свободном ото льда участке поверхности, на котором располагается станция Русская, имеется 18 озёр, вскрывающихся и не вскрывающихся ото льда в летнее время и характеризующихся различной солёностью. Выявлена корреляция солёности с высотными отметками озёр, когда пресные озёра располагаются выше солёных. Если ранее этот участок суши классифицировался как нунатак, то на основании собранных сведений об озёрах его следует отнести к приморским низменным оазисам. Впервые в Антарктике описаны формирующиеся на озёрах ледяные бугры — блистеры. Предложен к рас-



Рис. 7. Соляные налёты на поверхности скал

смотрению альтернативный источник водоснабжения станции из незамерзающего оз. Аэрогеодезии взамен использовавшейся в советское время ледотаялки на оз. Ледяное. Лабораторные работы с отобранными образцами, обработка данных радиолокации и электроразведки, а также полевые работы в будущих экспедициях позволят более полно понять природу озёр оазиса, в том числе детально разобраться с источниками засоления, изучить механизм формирования блистеров, термический режим озёр в годовом цикле и рассмотреть озёра как экосистемы.

Авторы искренне благодарят Д.В. Федорова за предоставление ортофотоплана оазиса и зам. начальника 67-й РАЭ А.Н. Николаева за проведение подводной съёмки озёр.

Н.Э. Демидов (АНИИ),
А.В. Гузева (Институт озероведения РАН — СПб ФИЦ РАН).
Фото А.Н. Николаева и Н.Э. Демидова

ТЕХНОЛОГИЯ СБОРА ДАННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РФ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Модернизация и восстановление сети гидрологических наблюдений на морских береговых станциях и в устьевых областях рек Российской Арктики — одна из приоритетных задач, которые должны быть решены в рамках государственной программы «Охрана окружающей среды».

По состоянию на 01.01.2021 на гидрологической сети Росгидромета установлено 1064 автоматизированных гидрологических комплекса (АГК), подавляющее число в обжитых районах, доступных для наземного транспорта и сетей сотовой связи.

В 2020 году не работали или не использовались 326 АГК (31 %), время эксплуатации 287 АГК (27 %) составило менее 95 %, лишь в 42 % случаев показания измерений АГК находились в допустимых пределах с данными ручных измерений и штатных приборов.

Основные причины:

- выход из строя узлов АГК: контроллера, датчика, модема — 59 %;
- непоступление данных из-за неустойчивости сотовой связи 28 %
- сложность правильной установки датчиков АГК при отсутствии стационарных гидрологических колодцев.

Для устранения причин неработоспособности или неудовлетворительной работы АГК, как правило, требуется внеплановый выезд на пункт гидрологических наблюдений (ПГН) специалистов УГМС/ЦГМС.

Типовым решением по организации сбора данных является подключение контроллера АГК к сети сотовой связи (GSM) или сети интернет (GPRS, 3G, LTE/4G) и передача информации в центры сбора данных УГМС/ЦГМС с использованием стандартных IP-приложений: электронная почта, FTP или SMS.

Отсутствие стабильной сотовой связи на большей части территории Арктической зоны РФ, Сибири и Дальнего Востока, а также в некоторых районах Европейской территории России представляется значительной проблемой для дальнейшей автоматизации наблюдений.

Многообразие типов АГК, установленных на сети Росгидромета, с передачей данных во внутреннем формате производителя привело к использованию в УГМС/ЦГМС нескольких типов центров сбора данных (ЦСДН), что усложняет контроль своевременности сбора данных персоналом подразделений связи.

Концептуальным недостатком действующей

системы сбора данных автоматизированных наблюдений в Арктической зоне РФ является передача данных измерений контроллером АГК непосредственно в центры сбора УГМС/ЦГМС без возможности контроля наблюдателем гидропоста.

Повысить надежность и увеличить продолжительность автономного функционирования АГК на ПГН в удаленных районах, сократить затраты УГМС на внеплановые выезды специалистов УГМС/ЦГМС возможно при организации контроля за работой АГК со стороны персонала подразделения, в ведении которого находятся ПГН, и использовании средств телекоммуникаций не только для сбора данных измерений, но и для удаленного контроля, управления, технической поддержки АГК из УГМС/ЦГМС.

Росгидромет входит в состав единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Использование в малонаселенных районах сетей сотовой связи общего пользования не гарантирует возможность передачи критически важной информации, так как на фрагментах сетей связи могут возникнуть отключения,

перегрузки или доступ к сетям может быть отключен.

Для организации сбора данных автоматизированных наблюдений на станциях и постах морской, речной, озерной сети УГМС в удаленных районах

предлагается использовать платформу сбора и передачи данных автоматизированного гидропоста (ПСПД АГП), разрабатываемую в ААНИИ.

Разработка линейки ПСПД АГП для различных условий применения в Арктической зоне РФ осуществляется ААНИИ с участием АО «Спутниковая система «Гонец»» и НТЦ «Мониторинг» (Нижний Новгород) в рамках плана совместных мероприятий (дорожной карты) Соглашения о стратегическом партнерстве.

Основные принципы реализации ПСПД АГП:

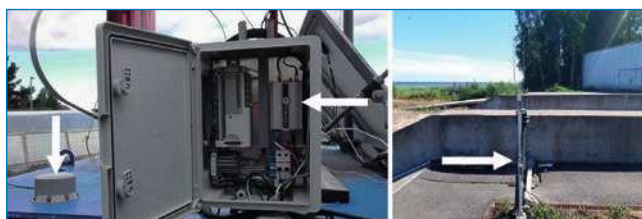
- использование для сбора данных, контроля и управления режимами работы компонент ПСПД АГП решений на основе промышленного интернета вещей (Industrial Internet of Things, IIoT). Особенностью про-

мышленного интернета вещей IIoT является интеграция операционных технологий, связанных со сбором данных о функционировании, диагностике, обеспечении безотказной работы, и информационных технологий, направленных на сервисы, безо-



Рис. 1. Типовая схема передачи данных АГК в ЦСДН

Рис. 2. Абонентский терминал спутниковой системы «Гонец» с мобильной антенной в блоке контроллера АМК на полевой базе ААНИИ «Ладога»



пасность, предоставление данных. IIoT опирается, в том числе, на старые технологии, аппаратные и программные средства, которые работают на интерфейсах RS485 и др., а не на современной, как правило беспроводной, архитектуре;

- использование в составе ПСПД АГП измерительных датчиков утвержденного типа, обеспеченных нормативным и методическим сопровождением, с наличием опыта эксплуатации на гидрологической сети Росгидромета в Арктической зоне РФ, разрешенных для взаимодействия с внешним оборудованием с использованием не-проприетарных протоколов связи RS-485 (SDI-12);
- автоматическая передача данных измерений, контроля, команд управления и взаимодействия с УГМС/ЦГМС по ведомственной сети связи (ВСС) Росгидромета с использованием любых средств связи, имеющихся на станции:

- комплект спутниковой связи VSAT;
- терминал спутниковой системы «Гонец» (может включать GSM-модем и передавать через спутник, только если нет связи по GSM);
- модем сотовой связи;
- комплект цифровой КВ-радиосвязи;
- терминал ССПД НИЦ Планета (передача данных измерений),
- передача данных измерений, файлов контроля функционирования в форматах и кодах для приема на основных комплексах автоматизированной системы передачи данных (АСПД) Росгидромета — центрах коммутации сообщений (ЦКС) UniMas.

В 2021 году разработан вариант реализации ПСПД АГП с гидростатическим датчиком уровня и температуры жидкости DTM.OCS, производитель компания “STS Sensor Technik Sirmach AG” (Швейцария), внесенным в Государственный реестр средств измерений.

Структурная схема ПСПД АГП с наблюдателем показана на рис. 3.

Разработанный вариант реализации ПСПД АГП может быть использован для организации автоматизированных гидрологических наблюдений на морских, речных, озерных гидропостах с наблюдателем (с персоналом), где установка гидростатических датчиков возможна в колодце мареографа, на стенке пирса, на дне водоема с соблюдением действующих рекомендаций и требований к способам установки датчика (рис. 4).

Вместе с тем очевидно, что наибольшую сложность при организации автоматизированных гидрологических наблюдений на необорудованном берегу на морских береговых станциях и в устьевых областях рек Российской Арктики представляет установка датчиков. Одним из возможных решений может являться использование платформы с всплывающим бумом, оснащенной модемом гидроакустической связи (рис. 5).

Решение прорабатывается с участием НТЦ «Мониторинг» (Нижний Новгород).

Дальнейшее повышение эффективности функционирования системы мониторинга в малонаселенных районах Арктической зоны РФ будет непосредственно связано с новыми возможностями систем телекоммуникаций, прежде всего новых спутниковых технологий.

Программой «Комплексное развитие космических информационных технологий на 2022–2030 годы» («Сфе-

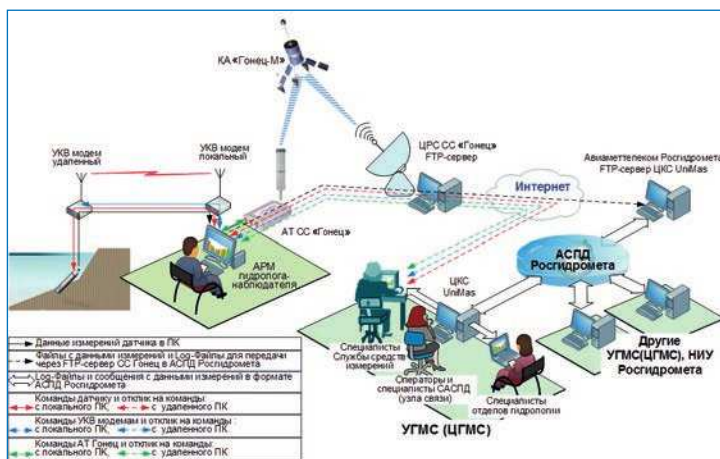


Рис. 3. Структурная схема ПСПД АГП с наблюдателем

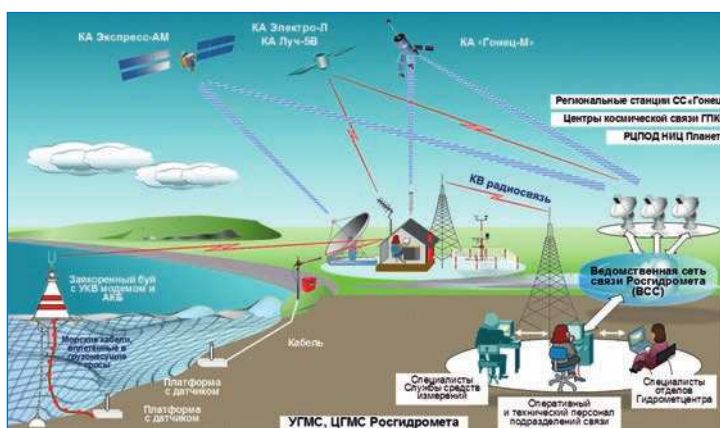


Рис. 4. Возможные варианты применения реализованной ПСПД АГП с наблюдателем

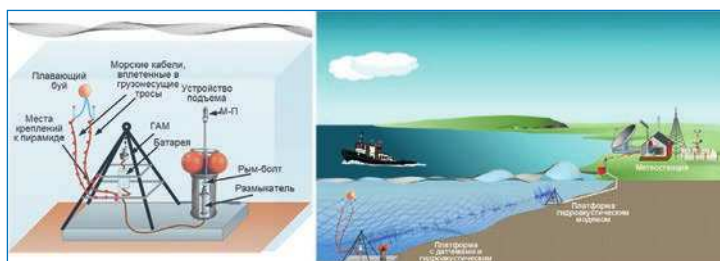


Рис. 5. Вариант реализации платформы с всплывающим бумом, оснащенной модемом гидроакустической связи и механизмами для подъема оборудования



Рис. 6. Типы земных абонентских терминалов спутниковой системы «Экспресс-РВ» для стационарных и подвижных объектов

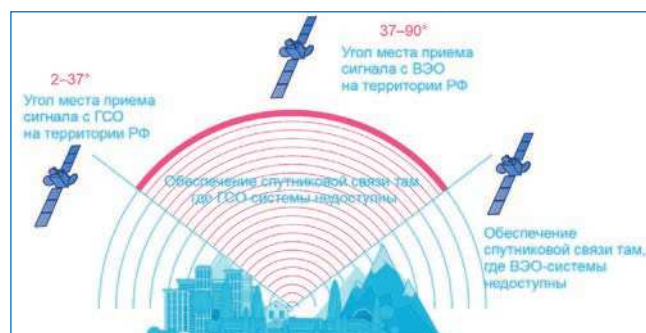


Рис. 7. Пространственная доступность спутниковых услуг на ГСО и ВЗО

ра») предполагается развертывание гармонизированной спутниковой телекоммуникационной инфраструктуры, которая будет включать:

- 12 КА на геостационарной орбите («Экспресс»), ≈ 110 Гбит/с;
- 4 КА на высокоэллиптической орбите («Экспресс-РВ»), $\approx 4,5$ Гбит/с;
- 264 КА на низких круговых орбитах («Марафон-IoT»), ≈ 30 млн аб. устройств;
- 28 КА на низких круговых орбитах («Гонец-М»), ≈ 3 млн аб. устройств.

В сети КА «Экспресс-РВ» будет обеспечиваться возможность работы абонентских терминалов

с антенной диаметром 60–70 см со скоростью до 80 Мбит/с (рис. 6)

Совместное использование космических аппаратов на ГСО и ВЭО в 3 раза повышает пространственную доступность спутниковых услуг (рис. 7).

Развертывание спутниковой системы «Марафон-IoT» предусматривает создание бесшовной глобально-распределенной сети IoT при соизмеримых ценовых и эксплуатационных параметрах абонентских устройств и сервисов, планируемых в перспективных сотовых сетях.

А.П. Кузьмичев (АНИИ)

РАЗВИТИЕ И МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ МОНИТОРИНГА ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И АРКТИКИ

Устойчивость работы средств радиосвязи, радионавигации, загоризонтной радиолокации в высокоширотных регионах Земли значительно усложняется из-за резкой изменчивости параметров среды распространения радиоволн — ионосферы, которая подвержена многим внешним факторам воздействия как естественного, так и искусственного происхождения.

Одним из факторов внешнего воздействия на ионосферу является создание искусственных ионосферных возмущений, вызванных воздействием мощных радиоволн, излучаемых с помощью специальных наземных коротковолновых (КВ) нагревных станций. В настоящее время в мире широкомасштабные исследования по созданию разнообразных искусственных возмущений в полярной ионосфере проводятся на двух КВ нагревных станциях: HAARP (Аляска, США) вблизи восточного сектора Российской зоны арктического побережья и EISCAT/Heating (Тромсё, Норвегия), расположенном в непосредственной близости к западному сектору прибрежной арктической зоны РФ. Одним из основных явлений, обусловленных воздействием мощных радиоволн КВ-диапазона, является возбуждение мелкомасштабных искусственных ионосферных неоднородностей (МИИН) — «сгустков», или зон пониженной концентрации плазмы. МИИН вытянуты вдоль силовых линий магнитного поля на десятки километров, но при этом имеют поперечный размер единицы — десятки метров. Подобного рода неоднородности вызывают рассеяние сигналов декаметрового (ДКМ) и метрового диапазона при их прохождении через искусственно возмущенную область (ИВО) ионосферы, тем самым вызывая образование дополнительной траектории распространения.

Не менее критическое влияние на функционирование радиотехнических систем в высоких широтах

оказывает зона активных высыпаний частиц — авроральный овал. При взаимодействии солнечного ветра и замороженного в него межпланетного магнитного поля (ММП) с магнитосферой Земли генерируются электрические поля и токи, вызывающие геомагнитные возмущения — магнитосферные бури и суббури. Физические процессы, протекающие в периоды геомагнитной активности, сопровождаются изменениями аврорального овала с соответствующим увеличением его площади. Усиливающийся поток энергии электронов и ионов сопровождается свечениями (полярными сияниями), по форме, структуре, размеру и динамике которых можно судить о процессах, протекающих в различных частях магнитосферы. Область частых появлений полярных сияний представляет собой овал, расположенный на высотах E- и F-слоя ионосферы (90–110 км и 180–260 км соответственно) и смещенный на ночную сторону относительно геомагнитных полюсов.

Для оперативного мониторинга условий распространения радиоволн ДКМ-диапазона в Арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ) и параметров ионосферы сотрудниками АНИИ развернута сеть наклонного радиозондирования ионосферы (НЗИ) — система пространственно разнесенных и синхронизированных по времени приемопередатчиков. Излученные одним диагностическим передатчиком сигналы одновременно регистрируются на всех пунктах приема сети, что позволяет исследовать характеристики ионосферы в точках отражения и усло-

вия распространения коротких радиоволн в обширном регионе. Информация, поступающая с сети НЗИ, отражает реальную картину распространения на конкретных радиотрассах, дает возможность определить максимальные и минимальные наблюдаемые частоты, траектории (моды) распространения

Рис. 1. Сеть пунктов наклонного зондирования ионосферы Росгидромета



радиоволн. В 2021 году в состав сети был интегрирован новый приемный пункт на НИС «Ледовая база Мыс Баранова» (арх. Северная Земля). Таким образом, на текущий момент сеть насчитывает шесть приемопередающих и три приемных пункта наблюдений (рис. 1).

Излучение зондирующих сигналов каждым приемопередающим пунктом осуществляется четыре раза в час. Результаты зондирования в режиме реального времени передаются в Полярный геофизический центр ААНИИ. Ежечасно формируется массив из 190 ионограмм, который необходимо обработать для диагноза условий распространения радиоволн декаметрового диапазона. Обработка такого массива данных в реальном времени возможна только при помощи программных средств, для чего необходимы эффективные алгоритмы автоматической обработки ионосферных данных, которые смогут идентифицировать параметры мод распространения радиосигналов на сложных высокоширотных ионограммах с хорошей точностью в режиме реального времени.

С целью развития методов мониторинга состояния ионосферы и условий распространения радиоволн в высоких широтах отдел геофизики ААНИИ проводит научно-исследовательские работы по следующим направлениям: оценка влияния МИИН, возбуждаемых излучением нагревных стенов, на условия распространения радиоволн; разработка модели определения положения видимых границ овала полярных сияний и ее верификация; разработка программных алгоритмов автоматического определения основных мод распространения диагностических сигналов наклонного зондирования ионосферы и их параметров.

Характеристики КВ-сигналов при ракурсном рассеянии по данным экспериментов и моделирования

Для учета влияния МИИН было выполнено исследование характеристик ракурсно-рассеянных на них КВ-сигналов, для этого использовались результаты экспериментальных работ по модификации высокоширотной ионосферы мощным КВ-радиоизлучением нагревного стенода EISCAT/Heating с 2011 по 2021 год. Эксперименты проводились с использованием фазированных антенных решеток «№ 1» (ФАР 1) и «№ 2» (ФАР 2) КВ нагревного стенода. ФАР 1 обеспечивает максимальную эффективную мощность излучения $P_{эфф} = 600 - 1200$ МВт в зависимости от частоты нагрева. Ширина диаграммы направленности ФАР 1 на уровне половинной мощности составляет порядка $5 - 6^\circ$, рабочий частотный диапазон $f_H = 5,4 - 8,0$ МГц. В ряде сеансов, особенно в годы минимальной солнечной активности, а также в вечерние часы, излучение мощной радиоволны осуществлялось на ФАР 2, работающей в диапазоне $f_H = 3,9 - 5,4$ МГц. Отметим, что ФАР 2 имеет ширину диаграммы направленности $12 - 14^\circ$ и обеспечивает $R_{эфф} = 200 - 250$ МВт. Мощная радиоволна обыкновенной (О-мода) или необыкновенной (Х-мода) поляризации излучалась в основном в направлении магнитного зенита (78°). В этих условиях создаются наиболее интенсивные искусственные ионосферные возмущения в поле мощной радиоволны. Отметим, что если вращение вектора $\mathbf{E}$ мощной электромагнитной волны нагревного комплекса совпадает с направлением вращения электронов, то такая волна имеет необыкновенную (Х-мода) или левую поляризацию. Если вращение происходит в противоположную сторону, то волна обладает обыкновенной (О-мода) или правой поляризацией.

В качестве средств дистанционной диагностики МИИН использовались: многоканальный приемный КВ доплеровский комплекс, установленный на научно-исследовательской станции (НИС) ААНИИ «Горьковская» под Санкт-Петербургом; мобильный приемный КВ доплеровский комплекс на станции Ловозеро, Мурманская обл.; комплексы наклонного зондирования ионосферы с линейно-частотной модуляцией (ЛЧМ-комплексы), установленные на НИС «Горьковская», а также в Ловозеро и пос. Амдерма. Диагностирование МИИН осуществлялось методом ракурсного рассеяния диагностических сигналов. В качестве диагностических передатчиков использовались КВ радиовещательные станции, работающие в режиме амплитудной модуляции.

МИИН обеспечивают интенсивное ракурсное рассеяние радиоволн с частотами от единиц мегагерц до 500 МГц.

Ракурсно-рассеянные сигналы (РРС) на получаемых КВ доплеровском комплексе динамических спектров — сонограммах проявляются в виде дополнительных треков, сдвинутых в отрицательную или положительную сторону от нулевой частоты, соответствующей распространению сигнала по дуге большого круга. Дополнительные треки наблюдаются в моменты излучения нагревного комплекса и отсутствуют в паузах. Величина и знак доплеровского смещения частоты определяются вектором скорости движения МИИН в искусственно возмущенной области ионосферы.

В качестве примера на рис. 2 представлены динамические доплеровские спектры диагностических КВ-сигналов, рассеянных на МИИН, регистрируемых в Ловозеро при излучении мощных радиоволн КВ-диапазона обыкновенной поляризации (О-мода).

Эффекты нагрева на ионограммах НЗИ проявляются в виде дополнительного трека с некоторой задержкой группового времени распространения радиосигнала относительно «прямых» сигналов на трассе, которые формируют регулярный вид ионограмм НЗИ (при отражении от ионосферных слоев E и F). Дополнительные треки на ионограммах НЗИ, обусловленные ракурсным рассеянием сигналов на МИИН, обладают следующими свойствами: наблюдаются на ионограммах в моменты работы нагревных комплексов и отсутствуют в паузах; имеют характерные временные задержки, определяемые геометрией заданной трассы наблюдений и местоположением КВ нагревного стенода; имеют частотный диапазон, зависящий от гелиогеофизических условий,

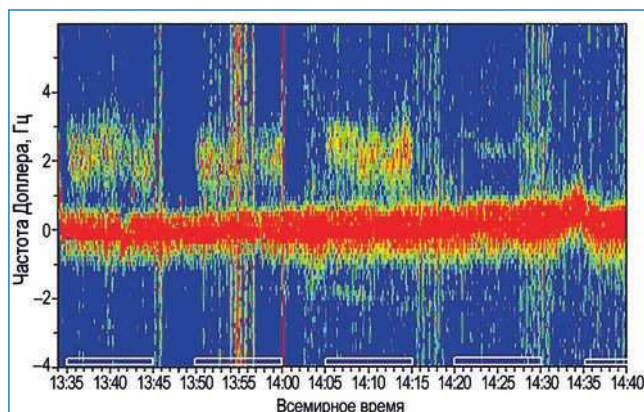


Рис. 2. Динамические доплеровские спектры диагностических КВ-сигналов, зарегистрированных на трассе Иссуден — Тромсё — Ловозеро на частоте 17620 кГц 10 октября 2011 года. Циклы нагрева отмечены на оси времени белыми прямоугольниками. Мощная радиоволна нагревного комплекса О-поляризации излучалась на ФАР 1 в направлении магнитного зенита на частоте 6200 кГц

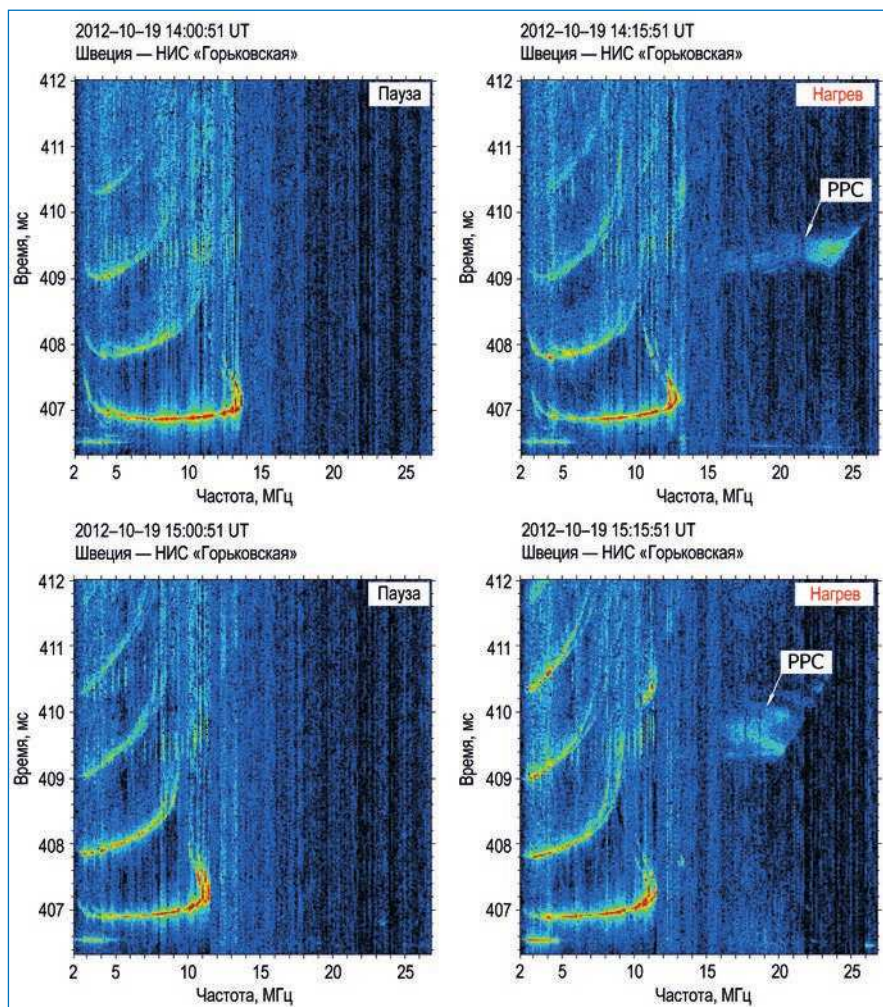


Рис. 3. Ионограммы наклонного зондирования ионосферы в паузах между циклами нагрева, а также в периоды нагрева с ракурсно-рассеянными сигналами на трассе Швеция — Горьковская 19 октября 2012 года

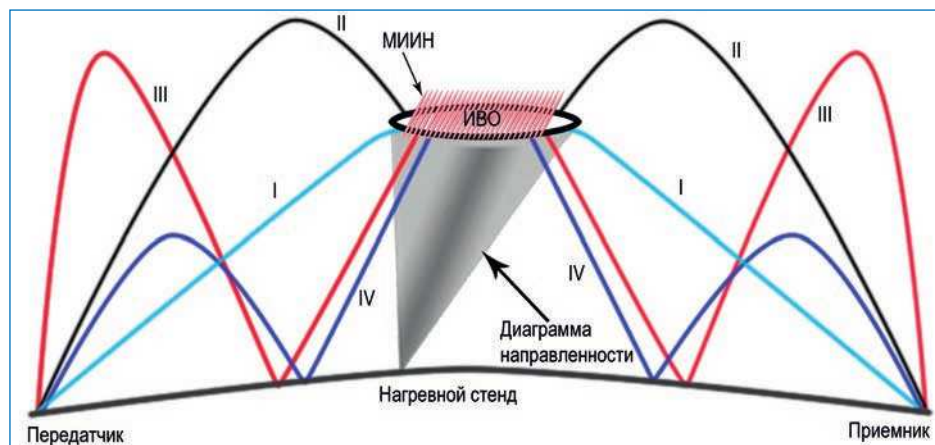
ориентации трассы РРС, моды распространения и режимов излучения мощных радиоволн нагревных стенов. Пример зарегистрированных РРС методом наклонного зондирования ионосферы 19 октября 2012 года на трассе Швеция — НИС «Горьковская» приведен на рис. 3.

По данным экспериментов, выполненных специалистами ААНИИ, установлено, что ракурсно-рассеянные на МИИН сигналы устойчиво регистрировались при различных режимах излучения КВ нагревного стенов (поляризация мощной радиоволны, тип используемой ФАР, отноше-

турные особенности высокоширотной ионосферы (главный ионосферный провал, спорадические крупномасштабные неоднородности на высотах E - и F -слоев).

В качестве примера на рис. 4 показан характерный вид рассчитанных по разработанной программе траекторий КВ-радиосигналов, рассеянных на МИИН, созданных нагревным стеном. Расчеты выполнены для ионосферных градиентов в искусственно возмущенной области ионосферы (ИВО), соответствующих фоновым значениям.

Рис. 4. Схема траекторий распространения радиосигнала на трассах «передатчик» — ИВО и ИВО — «приемник». I, II, III и IV — траектории радиосигналов



Оценка точности определения экваториальных границ видимых сияний в моделях авроральных высыпаний

Развитие алгоритмов и методик определения положения видимой экваториальной границы аврорального овала является неотъемлемой частью решения научных и прикладных задач, связанных с разработкой моделей химического состава ионосферы, моделей авроральных высыпаний частиц, обеспечением безаварийного функционирования техногенных систем в Арктике.

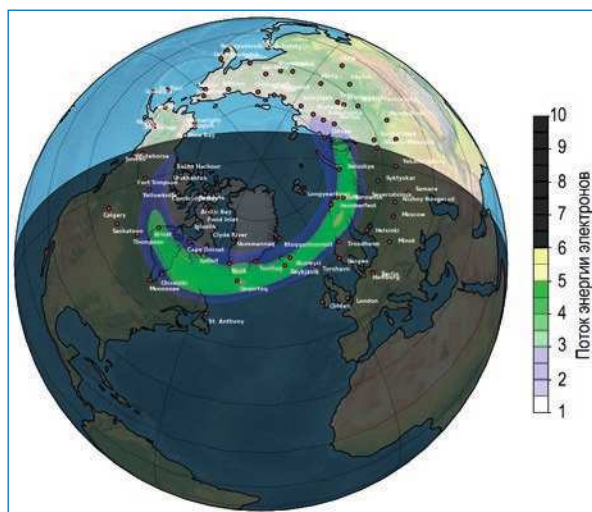


Рис. 5. Пример расчета овала авроральных высыпаний моделью OVATION Prime (PC)

На предыдущем этапе исследований авроральной ионосферы в ААНИИ была разработана модифицированная модель OVATION Prime (PC) (OV-PC). В отличие от оригинальной модели OVATION Prime (2010), в OV-PC в качестве входного параметра используется наземный индекс полярной шапки (PC-индекс), который повышает точность оценки характеристик аврорального овала, однако в настоящее время исключает возможность их прогноза больше чем на 15 минут. Пример моделирования овала полярных сияний представлен на рис. 5.

Индекс полярной шапки (PC) был впервые предложен О.А. Трошичевым и соавторами в 1988 году в качестве меры геомагнитных эффектов в полярной шапке, вызванных холловскими токами. Индекс PC рассчитывается по величине горизонтальной компоненты магнитных возмущений поля, измеряемых на полярных станциях вблизи южного и северного геомагнитного полюса. В настоящее время используются данные двух приполюсных станций: Канак (Туле) в Арктике и Восток в Антарктике. Индекс PCN обозначает северный индекс по данным станции в Туле, PCS — южный, по данным станции Восток.

На данном этапе работ выполнялась апробация модели OV-PC, для чего была выбрана наземная наблюдательная сеть оптических камер всего неба проекта THEMIS (Time History of Events and Macroscale Interactions during Substorms), запущенная в 2008 году и функционирующая в настоящее время. Проект THEMIS включает в себя 20 камер, расположенных в Канадском секторе и распределенных по долготе от Канады до Аляски. Пространственное разрешение снимков камер составляет примерно 1 километр, временное разрешение около 3 секунд.

Южная граница полярных сияний может не иметь четко выраженной краевой дуги, по которой можно с высокой точностью определить ее положение. Поэтому широта границы видимых сияний выбиралась по потоку энергии выпадающих частиц космического происхождения (в единицах эрг·см⁻²·с⁻¹), которые при взаимодействии с атомарным кислородом, молекулярным азотом и кислородом вызывают свечения разных оттенков: красного (630 нм), голубого (427,8 нм) и зеленого (557,7 нм) соответственно. Значение потока энергии, равное 1 эрг·см⁻²·с⁻¹, считается минимальным пороговым потоком, вызывающим свечение высокоширотной ионосферы на высотах выше 90 км, которое может уви-

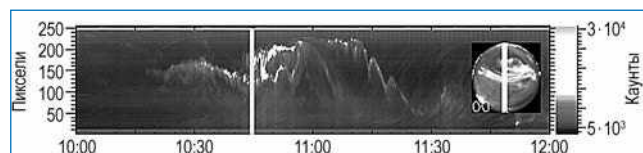


Рис. 6. Кеограмма, полученная по серии снимков с камер всего неба.

Справа на кеограмме изображен пример области снимка, которая была выделена и перенесена на комбинированное изображение

деть адаптированный к полной темноте глаз человека. Однако в реальных условиях столь малый поток энергии, и вызываемое им свечение, может быть плохо различимо на небосводе в силу ряда естественных факторов, таких как: шумовая засветка небосвода, неравномерность высыпаний в активной зоне и вдоль границы сияний и т. д. Поэтому минимальное значение потока энергии для моделей авроральных высыпаний частиц рекомендуется выбирать равное 2 эрг·см⁻²·с⁻¹, а для оптических камер в промежутке от 1,5 эрг·см⁻²·с⁻¹ до 2 эрг·см⁻²·с⁻¹, в зависимости от того, насколько хорошо наблюдаемые границы соответствуют модельным границам.

В целях оценки точности положения видимых границ в модели авроральных высыпаний OVATION Prime (PC) была проведена первичная обработка списка изолированных авроральных магнитных суббурь, содержащих в себе события за период 2008–2010 годов. Для каждого события (порядка 1000 суток с событиями) вручную были просмотрены кеограммы высокоширотных станций канадской цепочки THEMIS.

Для построения кеограмм на каждом снимке камеры выделялась узкая вертикальная область (обычно не более нескольких пикселей), сориентированная строго с севера на юг и содержащая центральную точку снимка (азимут). Выделенная область копировалась и объединялась с подобными областями на остальных снимках в хронологическом порядке, образуя комбинированное изображение (кеограмму). Вдоль оси OX на кеограмме отмечено время, вдоль оси OY пиксели выделенной области (центральной части снимка). На рис. 6 приведен пример построенной кеограммы.

Для анализа были выбраны кеограммы, построенные при трех различных уровнях геомагнитной возмущенности, отобранные по средней величине PC-индекса: PC0 < 2,5 мВ/м (слабовозмущенный уровень), 2,5 < PC1 < 4 мВ/м (средневозмущенный уровень) и 4 < PC2 < 8 мВ/м (сильновозмущенный уровень). Сравнение наблюдаемых и расчетных границ овала производилось поточно, путем вычисления средней дельты их широты $\Delta\lambda$ для каждого из трех уровней возмущенности:

$$\Delta\lambda = \Delta\text{lat} = \text{CGLat}_{\text{keo}} - \text{CGLat}_{\text{mod}}$$

где $\text{CGLat}_{\text{keo}}$ и $\text{CGLat}_{\text{mod}}$ — исправленная геомагнитная широта южной границы полярных сияний, определенная по кеограмме и рассчитанная по модели OV-PC соответственно.

Рис. 7 показывает величины Δlat , полученные при сравнении всех распознанных на кеограммах границ овала по разным пороговым значениям потока энергии со всеми вычисленными моделью OV-PC. По осям OX на рис. 7 отложены пороговые значения потока энергии для модельных границ, при этом каждый отдельный график соответствует конкретному потоку энергии, по которому определялись границы на кеограммах. Уровни геомагнитной активности отмечены цветными линиями: PC0 (синий), PC1 (зеленый), PC2 (красный). Из представленных результатов видно, что для всех трех уровней

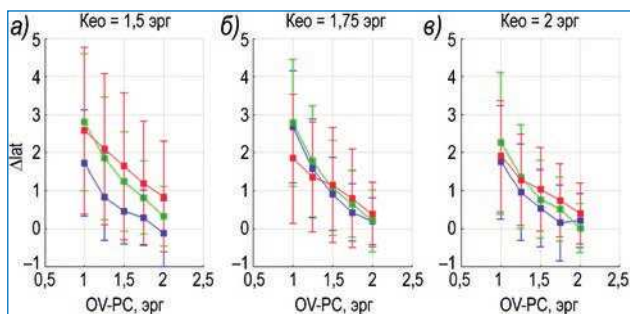
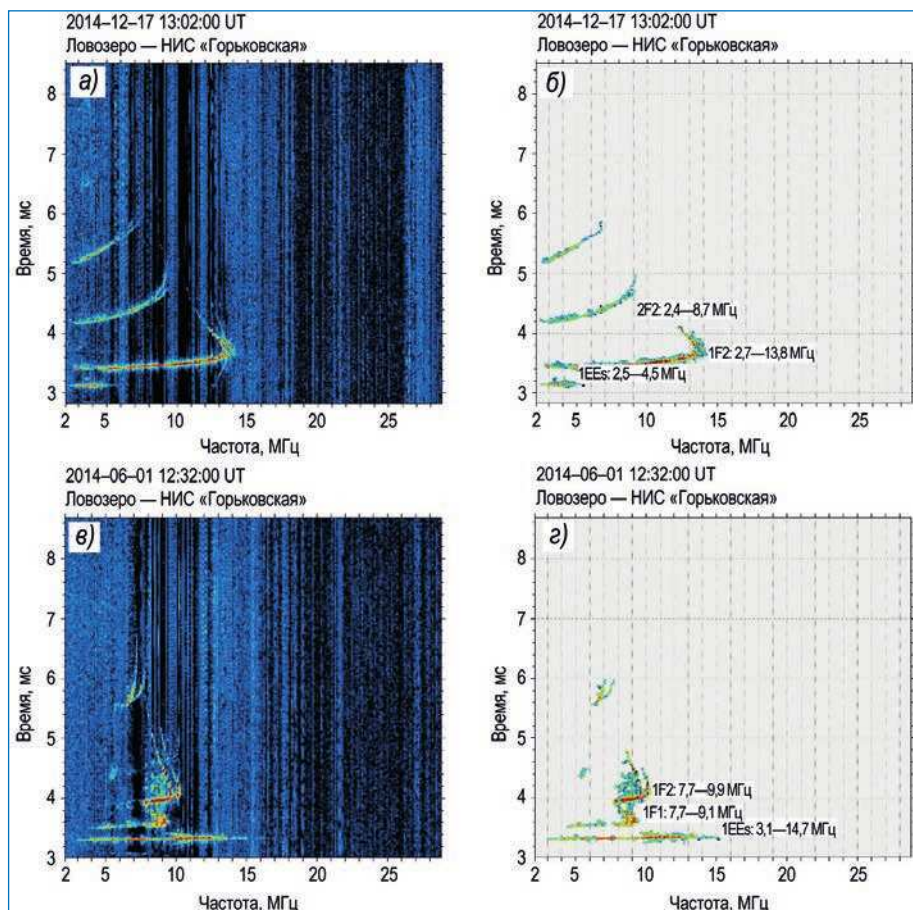


Рис. 7. Величины Δlat , полученные при сравнении всех распознанных на кеограммах границ овала по разным пороговым значениям потока энергии со всеми вычисленными моделью OV-PC. Графики соответствуют конкретному потоку энергии, по которому определялись границы на кеограммах: а) $1,5_{\text{кео}} \text{ эрг}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$, б) $1,75_{\text{кео}} \text{ эрг}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ и в) $2_{\text{кео}} \text{ эрг}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$

возмущенности наиболее точно соответствуют друг другу модельные границы, выбранные по критерию $2_{\text{ов-рс}} \text{ эрг}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ и наблюдаемые на кеограммах по критерию $1,75\text{--}2_{\text{кео}} \text{ эрг}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$.

Для выбранных пороговых значений потока энергии отклонение модельной широты границ сияний от наблюдаемой камерами THEMIS в среднем не превышает $\pm 1^\circ$ примерно в 73 % случаев для низкого уровня, 87 % для среднего уровня и 75 % для высокого уровня геомагнитных возмущений. На основании полученных результатов можно заключить, что точность определения границ видимых сияний в модели OVATION Prime (PC) в ночной части овала по оптимальным критериям сравнения составляет примерно 1°CGLat со среднеквадратичным отклонением $\pm 1^\circ \text{CGLat}$.

Рис. 8. Пример автоматической обработки ионограмм НЗИ: а, в — исходные данные, б, г — фильтрация, автоматическое выделение треков и определение их характеристик на трассе Ловозеро — Горьковская (900 км); а, б соответствуют зимним условиям, а, в, г — летним условиям



Разработка алгоритмов сопоставления треков, наблюдаемых на ионограммах наклонного зондирования ионосферы, с основными способами распространения радиоволн на исследуемых радиотрассах

Для исследования параметров ионосферы и условий распространения радиоволн в Арктической зоне РФ развернута сеть станций наклонного зондирования ионосферы. Оперативная диагностика состояния ионосферы и условий распространения радиоволн в режиме реального времени требует обработки большого объема входящей информации (ионограмм), что возможно только при помощи электронно-вычислительных средств. Поэтому большое внимание было уделено разработке алгоритмов автоматического определения параметров основных способов распространения радиоволн на высокоширотных трассах НЗИ. Разрабатываемые алгоритмы должны идентифицировать сигналы первого и второго скачка с отражением от ионосферных слоев E , $F1$ и $F2$, а также для каждого трека определять диапазон частот и время группового запаздывания.

С целью решения поставленной задачи все радиотрассы НЗИ были разделены на две группы — протяженностью до 2000 км и более 2000 км. Идентификация треков и их обработка на трассах протяженностью более 2000 км затруднены, поскольку наблюдается значительно большее количество возможных способов распространения радиоволн из-за возникновения условий для многократных комбинированных мод распространения (например, $1E1F2$, $1Es1F2$, $1F21Es$).

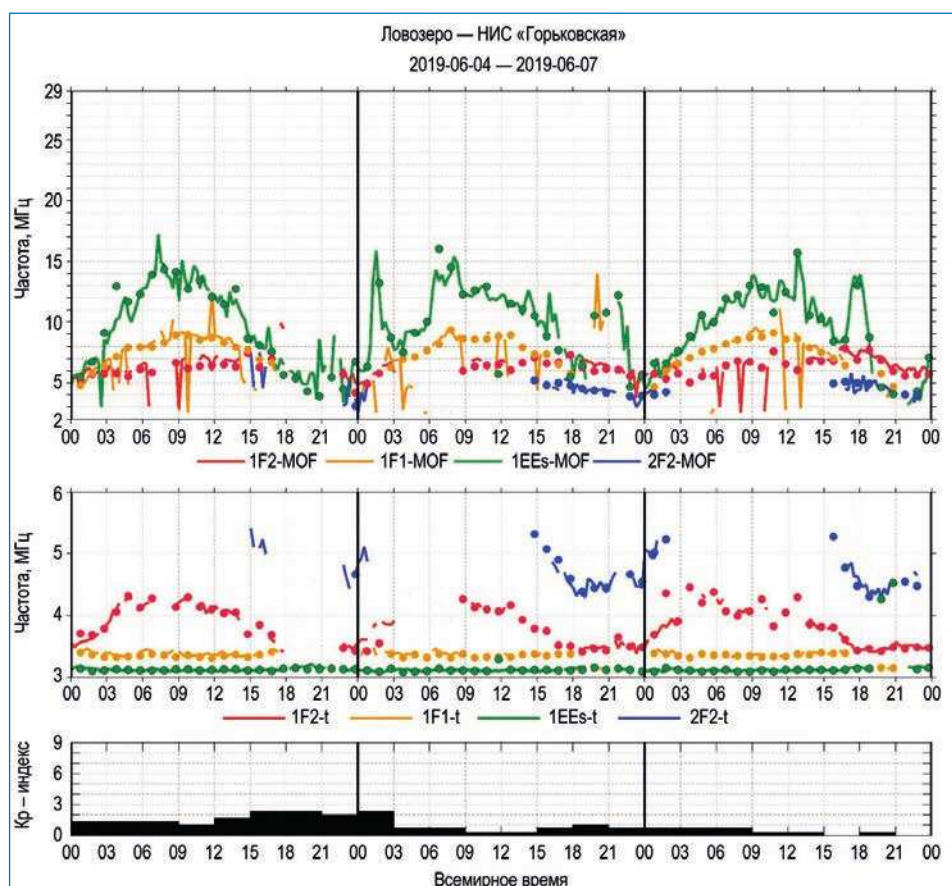
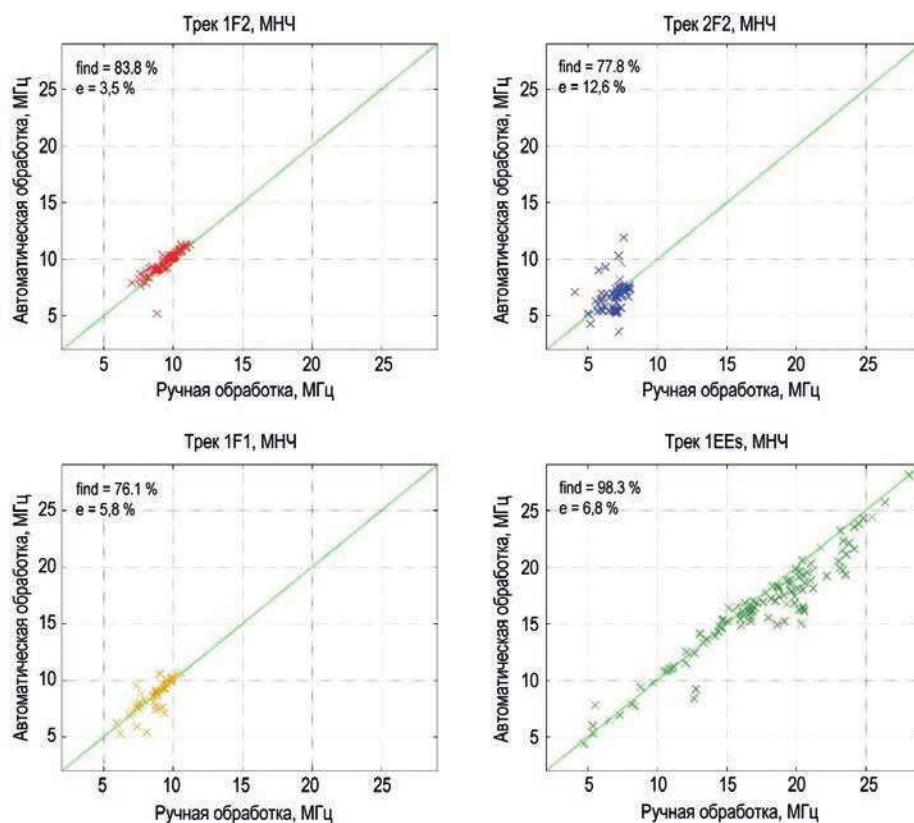


Рис. 9. Результат ручной (точки) и автоматической (линии) обработки ионограмм НЗИ на трассе Ловозеро — Горьковская за интервал 4–6 июня 2019 года

Рис. 10. Статистическая оценка результатов работы алгоритмов автоматической обработки ионограмм НЗИ для трасс протяженностью менее 2000 км в сравнении с ручной обработкой. МНЧ — максимально наблюдаемая частота треков 1F2 (а), 2F2 (б), 1F1 (в) и 1EEs (г). find — вероятность правильного обнаружения, e — ошибка определения значения



На первом этапе осуществлялась фильтрация первичных данных. Для анализа трековой структуры были разработаны алгоритмы очистки ионограмм НЗИ. На рис. 8 приведен пример автоматической обработки ионограмм НЗИ на трассе Горьковская — Ловозеро в год максимума солнечной активности зимой (17 декабря 2014 года) и летом (1 июня 2014 года). Идентификация треков проводилась по способу распространения. Как ясно следует из рис. 8, наблюдалось удовлетворительное соответствие между экспериментальными и расчетными данными.

На рис. 9 показан результат ручной (точки) и автоматической (линии) обработки ионограмм НЗИ на трассе Ловозеро — Горьковская за интервал 4–6 июня 2019 года. Видно, что алгоритмы, проверенные в период максимума солнечной активности, могут быть также успешно использованы в периоды минимума, демонстрируя только изменчивость ионосферы для разной солнечной активности (отличаются значения МНЧ и задержек).

На рис. 10 представлены статистические оценки результатов работы алгоритмов автоматической обработки ионограмм НЗИ в сравнении с ручной обработкой. Как следует из рис. 10, наблюдается согласие результатов автоматической и ручной обработки ионограмм НЗИ.

По результатам выполненных исследований были разработаны алгоритмы автоматического определения параметров основных способов распространения радиоволн на высокоширотных трассах НЗИ, проведено тестирование разработанных алгоритмов для ряда интервалов спокойных и возмущенных геофизических условий в период максимума и минимума 24-го цикла солнечной активности. Точность определения типов треков в среднем составила 87 % в спокойных и 71 % в возмущенных условиях. Точность определения треков с аномальными способами распространения (распространяющимися с отклонениями от дуги большого круга) — 76 %. Относительная ошибка определения частотных диапазонов отдельных треков не превышает 9 % (для спокойных геофизических условий).

Анализ выполнен по данным нескольких трасс наклонного зондирования ионосферы (протяженностью от 800 до 3700 км), расположенных в субавроральной и авроральной зонах. Разработанные алгоритмы автоматической обработки сигналов НЗИ внедрены в деятельность Полярного геофизического центра ААНИИ с целью оперативного мониторинга условий распространения радиоволн декаметрового диапазона в АЗРФ.

Научно-исследовательские работы, выполненные в 2021 году, были направлены на развитие и усовершенствование методов мониторинга состояния ионосферы, ее влияния на условия распространения радиоволн декаметрового диапазона в Арктической зоне. В ходе выполнения этапа 2021 года были получены следующие основные результаты.

Проведен анализ характеристик КВ-сигналов при ракурсном рассеянии на мелкомасштабных искусственных ионосферных неоднородностях, вызванных воздействием мощных радиоволн нагревного стенда EISCAT/Heating. Наблюдения выполнялись по данным средств дистанционной диагностики ААНИИ на основе использования многоканальных КВ доплеровских комплексов и комплексов наклонного зондирования ионосферы.

Создано программное обеспечение «Определение зон ракурсного рассеяния диагностических КВ-сигналов», предназначенное для определения параметров траекторий распространения КВ-радиосигнала на трассе «передатчик» — «искусственно возмущенная область (ИВО)» — «приемник» с учетом ракурсного рассеяния диагностического сигнала на МИИН в искусственно возмущенной области ионосферы. Разработанное программное обеспечение позволяет определить возможность приема КВ-радиосигналов, распространяющихся через ИВО в заданное место приема.

Разработан метод оценки точности границ видимых сияний модели OVATION Prime (PC) по данным оптических наблюдений. Диагностирование положения экваториальных границ аврорального овала при разных магнитосферных условиях является неотъемлемой частью исследований, связанных с разработкой моделей химического состава ионосферы, моделей авроральных высыпаний частиц и условий распространения радиоволн. Статистические точностные оценки модели были получены посредством сравнения видимых границ овала полярных сияний по данным оптических наблюдений сети камер всего неба проекта THEMIS и расчетных значений.

Разработаны алгоритмы автоматического определения параметров основных способов распространения радиоволн на высокоширотных трассах наклонного зондирования ионосферы. Алгоритмы позволяют идентифицировать сигналы первого и второго скачка с отражениями диагностических сигналов от ионосферных слоев E , $F1$ и $F2$. Для каждого трека алгоритмы определяют диапазон частот и время группового запаздывания. Предложены основные критерии поиска аномальных (боковых) способов распространения радиоволн по данным НЗИ.

Выполнена проверка разработанных алгоритмов по данным нескольких трасс наклонного зондирования ионосферы, расположенных в субавроральной и авроральной зонах, протяженностью от 800 до 3700 км. Сравнение результатов ручной и автоматической обработки ионограмм НЗИ для ряда интервалов спокойных и возмущенных геофизических условий в периоды максимума и минимума 24-го цикла солнечной активности показало удовлетворительное согласие. Точность определения типов треков основных способов распространения в среднем составила 87 % в спокойных и 71 % в возмущенных условиях.

Разработанные модели и алгоритмы будут внедрены в систему обработки первичной информации Полярного геофизического центра ФГБУ «ААНИИ», что позволит повысить точность диагноза состояния высокоширотной ионосферы, условий распространения радиоволн и информативность электронных ресурсов, в частности развития туристического сегмента в Арктике (прогноз, интенсивность и положение овала полярных сияний).

Отдел выражает большую благодарность за поддержку геофизических исследований Высокоширотной арктической экспедиции и Российской научной арктической экспедиции на арх. Шпицберген.

*А.С. Калишин, Н.Ф. Благовещенская, А.В. Николаев,
Т.Д. Борисова, Д.Д. Рогов.*

ЕЖЕГОДНЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ СЕМИНАР «АНАЛИЗ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ И ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОРСКИХ ОПЕРАЦИЙ В АРКТИКЕ В 2021 ГОДУ»

30 ноября 2021 года на базе Государственного научного центра РФ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» (ААНИИ) прошел очередной ежегодный научно-практический семинар «Анализ гидрометеорологических процессов в арктических морях и гидрометеорологическое обеспечение морских операций в Арктике в 2021 году». Первый семинар был проведен в 2017 году.

Основной целью семинара традиционно является подведение итогов гидрометеорологического обеспечения морских операций в Арктике в текущем году, анализ потребностей пользователей гидрометеорологической информации, возможности расширения объемов и номенклатуры, улучшения качества гидрометеорологической информационной продукции, используемой при осуществлении хозяйственной деятельности в Арктике.

В 2021 году в семинаре приняли участие более 80 делегатов из 20 российских организаций и компаний, среди которых представители ключевых российских предприятий: ФГКУ «Администрация Северного морского пути», ФГУП «Атомфлот», ФГУП «Росморпорт», ФГУП «Крыловский государственный научный центр», ФГУП «Гидрографическое предприятие», ООО «Газпром недра», ПАО «ГМК «Норильский никель», ООО «Арктический научный центр» и др.

В связи со сложной эпидемиологической обстановкой семинар был организован в смешанном формате с очным участием ограниченного числа специалистов. 37 участников приняли участие в семинаре очно, и более 40 человек присоединились по видеоконференцсвязи.

Рабочий момент семинара



Открыл семинар директор Арктического и антарктического научно-исследовательского института А.С. Макаров. Ведущие специалисты института представили основные итоги работы за 2021 год, наиболее значимые результаты научных исследований в Арктике и достижения в области гидрометеорологического обеспечения морских операций в арктических морях. От ААНИИ были представлены доклады по вопросам особенностей атмосферных и ледово-гидрологических процессов в Арктике в 2021 году, путей автоматизации метода определения оптимального маршрута плавания во льдах, методики прогнозирования типов ледовых условий в акватории СМП, тестирования системы ГМССБ САФЕТИКАСТ на базе полярно-орбитального ИСЗ ИРИДИУМ для МЕТЗОН РФ, мониторинга ледовых условий при проведении строительных и буровых работ в Обской губе. Также доклады специалистов ААНИИ были посвящены особенностям специализированного гидрометеорологического обеспечения судоходства в Арктике в 2021 году, специализированного гидрометеорологического обеспечения операций на припаях и необходимости государственного регламентирования этих работ, возможности использования долгосрочного специализированного прогноза оптимальных вариантов ледового плавания в интересах зимнего судоходства по СМП, а также по учету колебаний уровня при планировании морских операций.

Представитель ФГБУ «Администрация СМП» рассказал о результатах навигации в акватории СМП в 2021 году. Актуальные вопросы также были обозначены в докладе заместителя директора по судоходству ФГУП «Атомфлот»: «Атомный ледокольный флот в развитии инфраструктуры СМП». Значительное внимание было уделено теме освещения ледовой обстановки на участках СМП. Участники в очередной раз отметили безупречную и продуктивную организацию семинара, полезность и необходимость регулярного проведения таких семинаров как эффективного инструмента повышения качества гидрометеорологического обеспечения морских операций в полярных широтах и выразили сожаление по поводу невозможности очного участия и надежду на личную встречу на семинаре в ААНИИ в следующем году.

*Е.В. Перминова (ААНИИ).
Фото В.Ю. Замятин*

В новом выпуске рубрики «Наука на полюсах за кружкой чая» мы продолжаем серию научно-популярных публикаций о полярных океанах. В ней мы рассказываем про огромную сеть тайных агентов — морей, водоворотов, течений и волн, которые в совокупности влияют на климат и природу Земли. Второй выпуск посвящен морям Северного Ледовитого океана, пожалуй, самым обсуждаемым и богатым на исторические события из всех морей на планете. Лед, айсберги и штормовая погода надежно охраняют их секреты, но для ученых ААНИИ нет преград.

ОДИННАДЦАТЬ МОРЕЙ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

27 июня 1935 года Центральный исполнительный комитет СССР утвердил название «Северный Ледовитый океан», которое употреблялось в России еще с начала XIX века. Однако некоторые моря Северного Ледовитого океана до сих пор вызывают жаркие обсуждения среди океанологов и гидрологов, поэтому мы решили рассмотреть акватории, прилегающие к берегам арктических территорий. В северном полярном регионе российские океанографы выделяют 11 морей, мы подготовили досье по каждому из них.

Море Бофорта. Площадь: 481 тыс. км². Максимальная глубина: 4683 м. Холодное, ледовитое, богатое нефтью.

Чукотское море. Площадь: 595 тыс. км². Максимальная глубина: 1256 м. Самое суровое море. «Челюскин», «Нина Сагайдак», «Жаннетта» — здесь они попали в ледовый плен с печальным концом.

Восточно-Сибирское море. Площадь: 913 тыс. км². Максимальная глубина: 915 м. Холодное, мелководное. Отсюда начинал дрейфовать прославленный «Фрам», отсюда стартовала и международная арктическая исследовательская экспедиция MOSAiC.

Море Лаптевых. Площадь: 662 тыс. км². Максимальная глубина: 3385 м. Море с суровым характером. Чтобы его покорить, отважные первопроходцы потратили немало времени и сил, а некоторые отдали свою жизнь. В их честь названы берега и острова.

Море Баффина. Площадь: 530 тыс. км². Максимальная глубина: 2136 м. Под боком у Гренландии, родина айсберга, погубившего «Титаник». Является «западными воротами» в Арктику.

Море Линкольна. Площадь: 38 тыс. км². Максимальная глубина: 592 м. Маленькое, холодное, вечно покрытое льдами. Самое северное море в мире, от него до полюса — рукой подать.

Гренландское море. Площадь: 1195 тыс. км². Максимальная глубина: 5527 м. Конкурент Норвежского моря (см. ниже) в борьбе за максимальную глубину. Если вы дрейфуете на льдине, то ваш путь, скорее всего, закончится здесь.

Белое море. Площадь: 90 тыс. км². Максимальная глубина: 343 м. Считается колыбелью русского флота — от поморских кочей до подводных атомоходов. Вход иностранцам возможен только с разрешения властей.

Норвежское море. Площадь: 1340 тыс. км². Максимальная глубина: 3970 м. Напарник Гренландского моря, самое южное море Северного Ледовитого океана. Является «проводником» теплого течения в Арктику.

Карское море. Площадь: 883 тыс. км². Максимальная глубина: 620 м. Здесь начинается Северный морской путь. Если надумаете плыть дальше, то только в компании с ледоколом или по навигационным рекомендациям.

Баренцево море. Площадь: 1424 тыс. км². Максимальная глубина: 600 м. Самое обширное, рыбная кладовая для Русского Севера. Имеет несметные запасы полезных ископаемых.

Однако среди морей были обнаружены два «самозванца». Мы говорим о морях, названием которых шведы и датчане попытались увековечить своих соотечественников: короля Густава VI Адольфа (море Густава-Адольфа) и полярника, гидрографа и вице-адмирала Карла Фредерика Ванделя (море Ванделя). Официальная картография эти моря не признает.

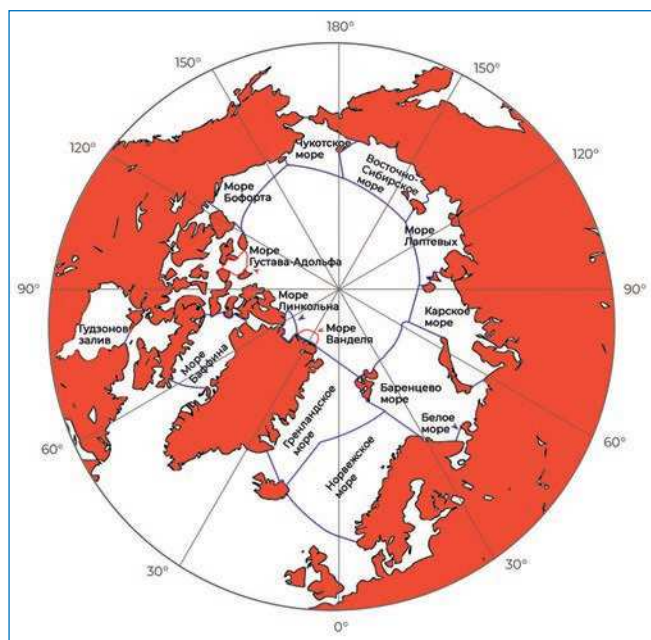
Также у морей Северного Ледовитого океана есть два северных соучастника.

Гудзонов залив. Площадь: 848 тыс. км². Максимальная глубина: 258 м. Несмотря на то, что его называют «заливом», размером он крупнее многих морей. И обладает большим запасом полезных ископаемых.

Из-за отличий в гидрографии и ледовом режиме юго-восточную часть Баренцева моря иногда выделяют в отдельное, Печорское море. Площадь: 81,3 тыс. км². Максимальная глубина: 258 м. Здесь расположена уникальная ледостойкая буровая платформа «Приразломная».

С.В. Кашин, В.Р. Ярыгина, А.Н. Усова (ААНИИ)

Схема морей Северного Ледовитого океана



ЭТНОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕВЕРНОЙ НАУЧНО-ПРОМЫСЛОВОЙ ЭКСПЕДИЦИИ – ИНСТИТУТА ИЗУЧЕНИЯ СЕВЕРА — ВСЕСОЮЗНОГО АРКТИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

При организации Северной научно-промысловой экспедиции (1920) перед ней ставились задачи проведения исследований по следующим пяти направлениям: 1) научно-промысловые работы; 2) горно-геологические; 3) почвенно-ботанические; 4) экономические и 5) этнографические. Работы по этнографии осуществлялись только в течение первых лет работы Севэкспедиции (СНПЭ). Тем не менее они стали яркой страницей первых лет истории будущего АНИИ.

Этнографический отряд (именно отрядами назывались подразделения СНПЭ) был организован после обсуждения доклада этногеографа и лингвиста В.Г. Богораза на заседании Ученого совета Севэкспедиции, которое состоялось 21 февраля 1921 года. Он, крупнейший специалист в своей области, представил план будущих этнографических исследований, которые могли бы осуществляться СНПЭ. Намечалось, что они будут продолжаться в течение ряда лет и это «только начало изысканий, устроенных по новому плану, по новому методу». Этнографам Севэкспедиции, прежде всего самому В.Г. Богоразу, предстояло продолжить работы Джесуповской Северо-Тихоокеанской экспедиции в области Берингова моря, которые осуществлялись с 1897 года. Об этом говорилось в специальном томе «Трудов» СНПЭ, озаглавленном «Новые задачи российской этнографии в полярных областях» (1921).

На лето 1921 года запланировали деятельность четырех исследователей в составе двух этнографических отрядов — Обско-Енисейского и Печорского. Так как было трудно организовать снабжение, то первый отряд сократился до одного участника — этнографа и художника Г.Н. Прокофьева, который выехал в Омск и прожил месяц в селении Ныда среди ненцев, выполнив около 70 акварельных и карандашных пейзажей и этнографических зарисовок. Не добравшись до устья Енисея (пароход, направлявшийся туда, не смог преодолеть льды), он вернулся в Мурманск. Когда в декабре 1921 года в Москве и в феврале 1922 года в Петрограде состоялись две большие отчетные выставки, посвященные работам



В.Г. Богораз
Фото из архива МАЭ РАН

всех отрядов Севэкспедиции, на них экспонировались акварели Г.Н. Прокофьева. Среди докладов о Русском Севере, прозвучавших для посетителей в ходе работы выставки в Петрограде, было выступление В.Г. Богораза «Народы Полярного края», сообщения Г.Н. Прокофьева «Среди самоедов» и «По Оби и во льдах Карского моря».

Отправке Печорского отряда предшествовала поездка В.Г. Богораза в Архангельск и Вологду, где он прочитал публичные лекции, стараясь «разъяснить довольно широкому кругу слушателей характер и значение новой этнографической работы, предпринятой СНПЭ». Успех лекционной деятельности привел к поддержке со стороны местной администрации. Она выражалась в предоставлении транспортных средств и жилья. В то же

время в газете «Красный Север» вышла заметка Д.Д. Травина, участника Печорского отряда (в его состав также входил его брат, Н.Д. Травин, впоследствии — сотрудник Музея Арктики). Он писал о задачах, стоявших перед этнографами-сотрудниками Севэкспедиции: «Человек является одним из главных деятелей в создании экономических условий. Изучение его как такового, особенно в настоящий момент хозяйственного кризиса,



Работа В.Г. Богораза, посвященная новым задачам российской полярной этнографии, опубликованная в «Трудах» Севэкспедиции. АНИИ

является важнейшим государственным вопросом. Особенную остроту принимает этот вопрос в северных областях Европейской и Азиатской России, где человек, как активный разумный деятель, является самой крупной ценностью. Этнографический отдел Северной научно-промысловой экспедиции Высшего Совета народного хозяйства в Петрограде с этой целью выделяет из своей среды отряд для изучения Печорского края».

Г.Н. Прокофьев «Новый Порт. Обская губа». 1921 год. РГМАА



Г.Н. Прокофьев.
Фото из архива СПбГУ





Анадырско-Чукотская экспедиция. Уголок ярмарки в Анадыре. Фото И.А. Склера. 1931–1932 годы. ЦГАНТД СПб

Этнографы Травины в ходе экспедиции изучали жизнь зырян и русских в среднем течении р. Печоры. Они собрали три ящика этнографических коллекций, начали составление словаря местного русского наречия и изучение духовной и общественной жизни местного населения, а также делали рисунки и фотографии местных жителей. В 1922 году, несмотря на отсутствие финансирования и фотографической техники, работы в устье р. Мезень продолжались. Этнографам удалось собрать материал по русскому фольклору.

В конце 1921 года началась работа третьей этнографической экспедиции. Исследователь Н.В. Валеро-Грачев выехал в Читу и далее в Монголию, имея только мандат и рекомендательные письма Севэкспедиции, то есть без средств. Благодаря документам, он встретил сочувствие среди администрации и местного населения, за 14 месяцев работ собрал ценные сведения по этнографии монголов и бурят, составил коллекции предметов, относящихся к их повседневной, культурной и религиозной жизни, а также сделал цикл фотографий.

Финансирование всех первых работ Севэкспедиции было крайне скудным, но все же выделялось. Ру-

ководителям отрядов вручались мандаты и необходимые документы, которые позволяли получать транспорт и снабжение. Но этнографам было хуже всего, так как в 1922 году средства им вообще не были выделены, ведь «этнография была причтена к наукам теоретическим и чистым». В.Г. Богораз и Л.Я. Штернберг формировали кадры отряда из преподавателей и студентов этнографического факультета Географического института и сотрудников Музея антропологии и этнографии РАН (МАЭ). Студенческая организация Географического института нашла возможность выдать студентам-участникам экспедиций причитающуюся им стипендию за летние месяцы вперед; недостающее было дополнено из собственного заработка. По этому примеру можно судить о степени энтузиазма и рвения молодых этнографов к ведению исследовательской работы.

В 1922 году на Канин полуостров направили также новую партию из двух человек (студенты В.Я. Вецкатын, В.В. Чарнолуцкий) для продолжения исследования жизненного уклада ненцев. Они собрали коллекции идолов и предметов быта, несколько раз пересекли полуостров

Анадырско-Чукотская экспедиция. Чукча Куттевин — собственник 6 тыс. оленей. Чуванец Айя. Фото Н.А. Меньшикова. 1933 год. ЦГАКФД СПб





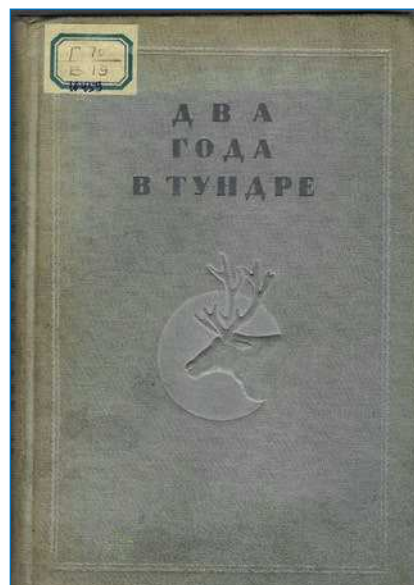
В.В. Чарнолусский.
Фото из архива Российского этнографического музея

с кочующими оленеводами, в результате чего выполнили ценные этнографические наблюдения.

В 1923–1924 годах работы Мезенско-Печорского этнографического отряда СНПЭ охватывали район низовьев рек Печора и Мезень, маршруты пролегали через Тиманскую и Большеземельскую тундры, где велось этнографическое обследование ненцев и русского населения. Для региона было характерно активное взаимовлияние ненцев и русских, а смешанное оседлое население занималось преимущественно рыболовством.

К середине 1920-х годов объем этнографических работ сократился. Направление работ Института по изучению Севера (ИИС), в который в 1925 году была преобразована Севэксспедиция, было связано преимущественно с изучением природных ресурсов Севера «для всестороннего и наилучшего их использования». В ИИС организовали шесть отделов, один из них — этнографический. Но в это время руководитель этнографических исследований СНПЭ В.Г. Богораз продолжал активно работать в МАЭ, участвовал в организации Комитета содействия народам северных окраин (Комитет Севера) при Президиуме ВЦИК (1924) и затем активно трудился в нем. Он также занимался созданием на базе отделения географического факультета Ленинградского государственного университета (ЛГУ) Северного рабфака (1925), который затем после ряда преобразований стал Институтом народов Севера (ИНС, 1929). Исследователи жизни и деятельности В.Г. Богораза называют ИНС «проектом Богораза». Он состоял в создании и развитии этнографического образования и подготовке специалистов, прежде всего из числа представителей северных народов. С уходом В.Г. Богораза из ИИС здесь фактически прекратились исследования по этнографии. На 1925–1926 бюджетный год планировалась этнографическая экспедиция в Лапландию, на 1926–1927 год — на р. Мезень (Архангельская губерния), на 1927–1928 год — на Ямал, все они не состоялись. В штатах ИИС этнографы не значились. При подготовке плана деятельности ИИС на пятилетку 1928/29–1932/33 годов в него не были включены этнографические экспедиции.

Тем не менее в проектах преобразования структуры ИИС (1928) их авторы (Р.Л. Самойлович, П.В. Виттенбург) указывали на необходимость сохранения в институте



«Два года в тундре» — книга об Анадырско-Чукотской экспедиции. ААНИИ

антрополого-этнографического отдела. В положении о Всесоюзном арктическом институте (ВАИ, 1930) указывалось, что учреждению предстоит проводить антрополого-этнографические исследования, но создание специального сектора/отдела для их осуществления уже не предусматривалось. Так получилось и на практике, хотя в начале 1930-х годов ряд сотрудников института занимались этнографическими работами в рамках комплексных экспедиций.

В конце 1931 года началась Анадырско-Чукотская экспедиция под руководством А.М. Миндалевича. В ее составе были геологический, астрономический, геоботанический, зоологический и экономо-этнографический отряды. Последний возглавлял непосредственно А.М. Миндалевич. Отряд занимался изучением этнографии и традиционной экономики народов Чукотско-Анадырского края, собрал обширную коллекцию этнографических материалов, в числе которых оказались иероглифические письмена, изобретенные чукчей Тыневилем. Эта находка вызвала большой резонанс как в этнографической литературе, так и в широкой печати. Сам А.М. Миндалевич опубликовал обстоятельную статью «Иероглифическая письменность чукчей» в журнале «Arctica» (1934). Участники экспедиции (В.Г. Васильев, М.Т. Кирюшина, Н.А. Меньшиков) подготовили книгу о ней. Она вышла в серии «Полярная библиотека» под названием «Два года в тундре» (1935). Хотя авторы не были этнографами, в своей работе они дали ценные описания жизни чукотского населения. В экспедиции также были сделаны фотографии коренного населения.

В 1933–1935 годах в промыслово-биологическом секторе ВАИ работал В.В. Чарнолусский, который принимал участие в экспедициях на Мурман, на Терский берег, организовал Обско-Тазовскую экспедицию для изучения промыслов русского и лопарского населения.

В последующие годы этнографические исследования в институте не проводились. Но те работы, которые осуществлялись в 1920 — начале 1930-х годов явились важной вехой в изучении этнографии народов Крайнего Севера.

М.А. Емелина (ААНИИ)

6 декабря 2021 г. ТАСС. Подведены итоги 10-летней программы комплексных научных исследований Арктики, осуществлявшихся «Арктическим научным центром» компании «Роснефть». За это время состоялось около 40 экспедиций, проведено изучение ледников и айсбергов, геологии морской и прибрежной зон, редких видов животных и птиц. Исследования носят прикладной характер. <https://tass.ru/novosti-partnerov/13129297>

8 декабря 2021 г. Nature Communications. Ученые установили, что мамонты и дикие лошади Юкона вымерли значительно позже, чем предполагалось ранее. Данные ДНК из образцов, сохранившихся в вечной мерзлоте Канады, показали, что шерстистый мамонт и североамериканская лошадь существовали еще 5000 лет назад. <https://www.nature.com/articles/s41467-021-27439-6>

8 декабря 2021 г. Telegram ААНИИ. Океанологи ААНИИ (руководитель научной группы П.Н. Головин, члены группы М.С. Молчанов, С.В. Кашин, И.А. Чистяков) получили грант Российского научного фонда на проведение исследований процессов формирования водных масс в зоне антарктического шельфа. Работы продлятся в течение двух лет. https://t.me/aari_official/303

10 декабря 2021 г. Пресс-центр ААНИИ. На станции Новолазаревская установлен памятник первооткрывателям Антарктиды Ф.Ф. Беллинсгаузену и М.П. Лазареву. Авторы памятника — заслуженный архитектор России Владимир Мухин и заслуженный художник России и скульптор Алексей Архипов. <https://www.aari.ru/press-center/news/rae/na-stantsii-novolazarevskaya-ustanovili-pamyatnik-pervootkryvateliam-antarktidy>

15 декабря 2021 г. ТАСС. Госкорпорация «Росатом» завершила разработку концепции и приступила к созданию Единой платформы цифровых сервисов на Севморпути (ЕПЦС СМП). Она интегрирует различные цифровые продукты и базы данных, созданных для обеспечения безопасности судоходства и диспетчеризации флота в акватории Севморпути. Пользователям будут предоставлены 27 цифровых сервисов, выделенных в девять блоков по направлениям. Полный запуск проекта намечен на второй квартал 2025 г. <https://tass.ru/ekonomika/13205909>

15 декабря 2021 г. Правительство ЯНАО. Ученые подвели итоги первого в России многолетнего мониторинга водоплавающих птиц с применением специально сконструированных легких гидросамолетов Стерх С-1 и Че-22. Было установлено, что рост температур в Арктике привел к смещению на север ареала присутствия водоплавающих. По сравнению с мониторингом 2014 г. птиц на территории округа стало больше. <https://www.yanao.ru/presscenter/news/87690/>

16 декабря 2021 г. Северо-Восточный федеральный университет. 13 декабря в Эвено-Бытантайском национальном улусе завершена научно-исследовательская экспедиция в рамках проекта СВФУ «Сохранение языкового и культурного многообразия и устойчивое развитие Арктики и Субарктики РФ». Собраны лингвистические материалы у представителей народов саха, эвенов и эвенков. https://www.s-vfu.ru/news/detail.php?SECTION_ID=&ELEMENT_ID=163477

16 декабря 2021 г. Live Science. Ученые обнаружили, что рост ледяного покрова и повышение уровня моря привели к массовому прибрежному наводнению, которое затопило поселки викингов в Гренландии и в конечном итоге вынудило их покинуть остров в XV в. <https://www.livescience.com/aqu-floods-drove-vikings-from-greenland>

20 декабря 2021 г. WWF. Всемирный фонд дикой природы (WWF) России в 2022 г. планирует запустить проект «Арктика: безопасный дом для каждого». Он направлен на сохранение популяции белых медведей и защите от них населенных пунктов. <https://wwf.ru/resources/news/bioraznoobrazie/medvezhiy-patrul-wwf-podvodit-itogi-ukhodyashchego-goda/>

23 декабря 2021 г. РГО. Под Выборгом 15 декабря открылся тематический парк для школьников «Наша Арктика» — интерактивный музей под открытым небом, который сочетает в себе экспозицию на основе выставочных модулей и площадки для интерактивного погружения в историю освоения Арктики, быта первопроходцев, мореплавателей, авиаторов и коренного населения. Проект парка выиграл грант РГО. <https://www.rgo.ru/ru/article/500-let-za-dva-chasa-pod-vyborgom-otkrylsya-arkticheskiy-muzej-ozhivayushchey-istorii>

24 декабря 2021 г. Пресс-служба АО «Балтийский завод». 24 декабря на Балтийском заводе состоялась церемония подписания акта приема-передачи первого серийного универсального атомного ледокола «Сибирь» проекта 22220. Церемония прошла на борту новейшего судна. 13 января «Сибирь» направилась в порт приписки Мурманск и в конце месяца вышла в свой первый рейс — в Обь-Енисейский район Карского моря. <https://www.bz.ru/press-office/news/baltiyskiy-zavod-peredal-zakaz/>

29 декабря 2021 г. Нацпарк «Русская Арктика». Подтверждено существование аборигенного новоземельского оленя. Ранее считалось, что вид исчез в результате массового промысла в 1920–1930-х гг., а последние особи ассимилировались с завезенными оленями с о. Колгуев и из Печорских тундр. <http://www.rus-arc.ru/ru/News/Details/bf15f994-070a-4dd6-8d99-65b3691a9f79>

30 декабря 2021 г. Пресс-центр ААНИИ. На станцию Восток пришел первый санно-гусеничный поход с грузами для строительства нового зимовочного комплекса. В январе по окончании работ по уплотнению снежного фундамента и сборки крана строители приступят к установке опор и платформы для размещения модулей нового зимовочного комплекса. <https://www.aari.ru/press-center/news/rae/na-stantsiyu-vostok-prishyol-pokhod-s-gruzami-dlya-stroitelstva-novogo-zimovochnogo-kompleksa>

5 января 2022 г. Telegram ААНИИ. На антарктической станции Восток получен первый в сезоне ледяной керн. Образец взят с глубины 3322 м, его возраст составляет около 425 тыс. лет. Этим возобновлены работы гляцио-бурового отряда ААНИИ и Горного университета на скважине 5Г-5. Цель работ — вновь получить интервал древнего льда, чтобы определить дополнительные климатические параметры далекого времени. Работы продлятся еще месяц. https://t.me/aari_official/316

11 января 2022 г. Пресс-центр АО «Адмиралтейские верфи». Верфь посетил министр природных ресурсов и экологии А.А. Козлов. Глава ведомства оценил ход строительства ЛСП «Северный полюс», осмотрел вспомогательное машинное отделение судна и помещение ЦПУ. Готовность судна превышает 90 %. <http://admship.ru/press/news/stepen-gotovnosti-lsp-severnny-polyus-bolee-90/>

13 января 2022 г. Наука ТАСС. Специалисты Московского авиационного института и Института физики атмосферы им. Обухова спроектировали БПЛА «Цимлянин» для метеорологических исследований и оперативного отслеживания и прогнозирования ледовой обстановки вдоль Северного морского пути и в акваториях северных портов России. Его летные испытания прошли успешно. <https://nauka.tass.ru/nauka/13421511>

13 января 2022 г. Current Biology. Немецкие ученые в ходе экспедиции по изучению океанских течений на л/к Polarstern обнаружили в море Уэдделла (Антарктика) крупную популяцию ледяных рыб (Neopagetopsis ionah). В экосистеме площадью размером с Мальту около 60 млн гнезд, т. е. здесь находится самая большая колония рыб. Для ее дальнейшего изучения на дне моря установлены несколько камер. [https://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822\(21\)01698-5](https://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822(21)01698-5)

19 января 2022 г. Журнал Environmental Research. Исследователи из Утрехтского университета обнаружили частицы нанопластика в ледяных ядрах Гренландии (отложения 50-летней давности) и в морском льду в проливе Мак-Мёрдо в Антарктиде. Нанопластиковое загрязнение было обнаружено в полярных регионах впервые. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935122000688>

20 января 2022 г. Nature. Ученые проанализировали современные данные о ледниках Шпицбергена и более 5500 аэрофотоснимков 1930-х гг. Это дало им возможность сравнить реконструированную ледяную поверхность с современными моделями рельефа и оценить скорость изменения массы ледников архипелага за последние 90 лет. По расчетам в будущем таяние ледников будет не столь быстрым, как прогнозируют другие эксперты. <https://www.nature.com/articles/d41586-022-00046-1>

20 января 2022 г. Портал Plos One. Эксперты смоделировали эволюцию Гренландского ледникового щита от последнего межледниковья (125 тыс. лет назад) до 2100 г. Результаты показали, что наблюдаемые изменения являются следствием как современной трансформации климата, так и влияния палеоклимата. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0259816>

26 января 2022 г. Экспертный центр «ПОРА». Начала работу цифровая платформа «Арктическая библиотека» <http://arctic-library.ru/> Здесь собрана максимально полная база данных по строительству и благоустройству в Арктике (в т. ч. архитектурные проекты для зон вечной мерзлоты и сведения о главных игроках рынка). <https://porarctic.ru/ru/events/otkrylas-arkicheskaya-biblioteka-onlayn-platforma-akkumuliruyushchaya-rossiyskiy-i-mezhdunarodnyy-o/>

28 января 2022 г. РГО. В декабре 2022 г. путешественник Федор Конюхов при поддержке РГО и Poseidon Expeditions планирует развернуть одиночную антарктическую станцию на о. Смоленск (Livingston), входящем в Южные Шетландские острова. В течение трех месяцев Федор Конюхов будет проводить научные исследования по программе Института океанологии РАН им. П.П. Ширшова, вести мониторинг жизненных показателей своего организма с целью изучения возможности длительной одиночной работы в условиях Антарктиды. <https://www.rgo.ru/ru/article/fyodor-konyuhov-otpravitsya-v-antarktidu-na-odinochnuyu-nauchnuyu-stanciyu>

31 января 2022 г. Telegram ААНИИ. На российской антарктической станции Восток появилась сотовая связь. Установка оборудования проводилась в рамках совместного проекта ПАО «МТС» и ААНИИ. Теперь доступ к голосовой связи и мобильному интернету работает во всех помещениях трех круглогодично действующих станций — Новолазаревская, Прогресс и Восток. https://t.me/aari_official/352

9 февраля 2022 г. Open Access Government. Ученые Цюрихского университета установили, что субтропики Восточной Азии становятся холоднее из-за более теплых арктических зим. <https://www.openaccessgovernment.org/warmer-arctic-winter/129313/>

14 февраля 2022 г. Портал «Научная Россия». На базе комплексного анализа геолого-геофизических данных сотрудники Западно-Сибирского филиала ИНГ СО РАН, ООО «ИНГЕОСЕРВИС» и ООО «Газпром недр» уточнили строение и структурно-тектонические особенности Южно-Карского бассейна. В дальнейшем выполненные исследования позволят определить наиболее перспективные точки для добычи углеводородов. <https://scientificrussia.ru/articles/tumenskie-specialisty-utocnili-stroenie-i-strukturno-tektonicheskie-osobennosti-uzno-karskogo-bassejna>

15 февраля 2022 г. Научный центр изучения Арктики в ЯНАО. Ученые из России, США, Канады, Швеции и Германии — участники проекта под эгидой Международной ассоциации мерзлотоведения — составили наиболее точную циркумполярную карту едомы — ледовых комплексов — осолобого типа мерзлых пород, широко распространенных на севере Сибири и на Аляске. ГИС-карты дополнены фотобиблитекой, выводы о состоянии едомы изложены в научной статье, что важно для промышленной эксплуатации местности. <https://arctic.yanao.ru/presscenter/news/92530/>

16 февраля 2022 г. Кремль. На создание вертолетной спасательной группировки в Арктике из бюджета страны планируют выделить более 18 млрд руб. Об этом заявил президент В.В. Путин на заседании расширенной коллегии МЧС, которое состоялось 16 февраля. <http://www.kremlin.ru/events/president/transcripts/copy/67790>

17 февраля 2022 г. GoArctic. Вблизи крупных добычных углеводородных проектов, реализуемых в Заполярье, будет построено 20 новых арктических комплексных аварийно-спасательных центров (АКАСЦ). На сегодняшний день функционируют шесть АКАСЦ, строительство еще десяти уже стартовало. <https://goarctic.ru/news/arktika-segodnya-mchs-postroit-v-zapolyare-dvadsat-spatatelnykh-tsentrov/>

17 февраля 2022 г. ПАО «НОВАТЭК». Сверхпоздний рейс по Севморпути завершило судно ледового класса Audax, доставив технологический модуль для проекта «Арктик СПГ 2». Данный рейс — уникальный с точки зрения перехода судна такого типоразмера по всей протяженности СМП в феврале в сложных ледовых условиях, что подтверждает возможность судоходства на трассе в круглогодичном режиме. https://www.novatek.ru/ru/press/releases/index.php?id_4=4885

22 февраля 2022 г. ФГУП «Атомфлот». Атомоходы «Арктика» и «Ямал» провели караван из трех судов малого ледового класса с востока на запад по Северному морскому пути за пределами навигационного сезона. В истории судоходства на заполярной магистрали подобная проводка совершена впервые. <http://www.rosatomflot.ru/press-centr/novosti-predpriyatiya/2022/02/22/11421-rosatomflot-obespechil-provodku-karavana-sudov-malogo-ledovogo-klassa-s-vostoka-na-zapad/>

24 февраля 2022 г. Phys.Org. Ученые из Университета Северной Аризоны установили, что изменение климата приводит к распространению бореальных деревьев и кустарников в арктической и альпийской тундре. <https://phys.org/news/2022-02-earth-coldest-forests-shifting-northward.amp>

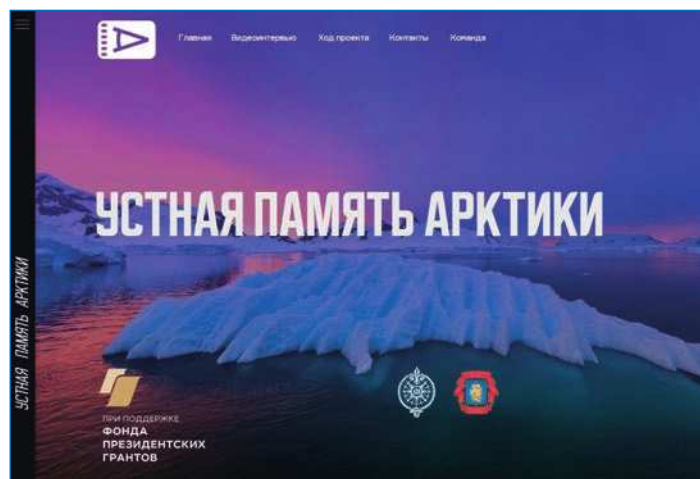
1 марта 2022 г. EurekAlert. Исследователи из России, Канады, Дании, Финляндии, Франции, Германии, Греции, Индии, Италии, Норвегии, Словении и США составили карту концентрации и происхождения черного углерода в разных арктических регионах в течение года. Благодаря данным, можно будет принимать меры для снижения уровня аэрозолей. <https://www.eurekalert.org/news-releases/944979>

4 марта 2022 г. РГО. Стартовала экспедиция «Легенды Арктики 2022», посвященная исследованию изменения климата Арктики и улучшению экологии. Ее участники на снегоходах пройдут 2,8 тыс. км от пос. Тазовский до о. Рыкачёва. <https://www.rgo.ru/ru/article/ekspediciya-rgo-otpravilas-na-snegohodah-k-polyarnym-meteostanciyam>

9 марта 2022 г. ТАСС Наука. В ходе исследовательской экспедиции (организатор — Фолклендский фонд морского наследия), стартовавшей 5 февраля 2022 г. на судне SA Agulhas II, на глубине около 3000 м были обнаружены обломки корабля Э. Шеклтона Endurance, затонувшего в 1915 г. Корпус судна имеет высокую степень сохранности. https://nauka.tass.ru/nauka/14008183?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop

Подготовила М.А. Емелина

УСТНАЯ ПАМЯТЬ АРКТИКИ



Ассоциация «Морское наследие: исследуем и сохраним» и Морской технический колледж имени адмирала Д.Н. Седякина при поддержке Фонда президентских грантов и непосредственном участии Арктического и антарктического научно-исследовательского института реализуют проект «Устная память Арктики».

Проект предполагает проведение видеоинтервью с наиболее известными людьми, принимавшими участие в арктических исследованиях, организации экспедиций в Арктику, а также в развитии мореплавания по трассе Северного морского пути, с целью сохранения исторической памяти и передачи уникального опыта молодому поколению. Команда исследователей (П.А. Филин, М.А. Емелина, М.А. Савинов, Арктический музейно-выставочный центр) и кинодокументалисты (студия MIRROR SPACE, Морской медиацентр) готовят и проводят интервью, затем видеозаписи и текстовые расшифровки, а также биографии героев видеосюжетов размещаются на специально созданном интернет-ресурсе «Устная память Арктики»: <https://arcticmemory.ru/>

К работам также привлекаются молодые специалисты профильных учебных учреждений, участвуя во всех работах проекта. Своеобразным итогом проекта стал одноименный документальный фильм, в котором представлены самые яркие фрагменты интервью. Его премьера состоялась 22 марта 2022 г. в Президентской библиотеке им. Б.Н. Ельцина.

В ходе проекта также осуществляется подготовка документального фильма, который объединит героев разных интервью. В нем прозвучат и воспоминания об экспедициях В.И. Боярского и С.А. Кесселя, В.В. Евсеева и В.С. Ипполитова, и рассказы о научных исследованиях Арктики О.А. Трошичева и Н.Ф. Благовещенской, М.В. Гаврило и В.В. Поважного. Наши герои делятся своим опытом в деле проводки судов через арктические льды (А.В. Скрыбин и Д.В. Лобусов), рассказывают о сложностях гидрометеорологического обеспечения навигации и организации арктических экспедиций (Н.М. Адамович и В.Т. Соколов), а также дают ценные советы молодым – всем тем, кто решил связать свою судьбу с Арктикой. Многие подготовленные интервью уже доступны на сайте проекта и видеохостинге YouTube: <https://www.youtube.com/channel/UCG8bu61E5LLrx1wC2oS0JAw/featured>

М.А. Емелина

