

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
**ГНЦ РФ АРКТИЧЕСКИЙ И АНТАРКТИЧЕСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ**

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ АРКТИКИ И АНТАРКТИКИ

Санкт Петербург
2–4 марта 2020 г.

Санкт-Петербург
2020

УДК [550.3+551.32+551.46+551.5+57+91](211)

Тезисы докладов международной научной конференции «Комплексные исследования природной среды Арктики и Антарктики». г. Санкт-Петербург, 2 – 4 марта 2020 г. СПб: ГНЦ РФ ААНИИ, 2020. 408 с.

ISBN 978-5-98364-095-5

В сборнике представлены тезисы докладов международной научной конференции «Комплексные исследования природной среды Арктики и Антарктики». Целью конференции является обсуждение результатов наиболее крупных и значимых современных комплексных исследований Арктики и Антарктики, а также перспективных направлений исследований полярных регионов Земли.

Международная научная конференция «Комплексные исследования природной среды Арктики и Антарктики», приуроченная к 100-летию образования Арктического и антарктического научно-исследовательского института, проводится при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках проекта №20-05-20029 Научные мероприятия 2020 и Банка «Санкт-Петербург»

Abstracts of International Scientific Conference “Comprehensive Research of the Natural Environment of the Arctic and Antarctic”. Saint Petersburg, March 2–4, 2020. SPb: SSC RF AARI, 2020. 408 с.

ISBN 978-5-98364-095-5

Book of abstracts contains presentation materials of the International Scientific Conference “Comprehensive Research of the Natural Environment of the Arctic and Antarctic”. The conference is aimed at discussing the scientific achievements of the most significant comprehensive studies of the Arctic and Antarctic as well as the prospects for the further development of polar research.

International Scientific Conference “Comprehensive Research of the Natural Environment of the Arctic and Antarctic”, dedicated to the 100th Anniversary of the Arctic and Antarctic Research Institute, is supported by the Russian Foundation for Basic Research (project №20-05-20029 Scientific Events) and by Bank “Saint-Petersburg”.

СОДЕРЖАНИЕ

УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

2 марта 2020 г. 9.45–12.00

<i>Г.Г. Матишов.</i> Мировые тенденции в исследовании Северного Ледовитого океана (климат, промысловая океанология, радиоактивность)	25
<i>И.И. Мохов, А. Ринке, В.М. Смоляницкий, К.Н. Кособокова, В.А. Семенов, М.Г. Акперов и участники проекта QUARCCS.</i> Быстрые климатические изменения в Арктике и их региональные и крупномасштабные последствия	28
<i>В.М. Катцов.</i> Изменения климата в Арктике: фундаментальные проблемы упреждающей адаптации	30
<i>Р.А. Ибраев.</i> Мезомасштабная изменчивость динамики Мирового океана	32
<i>Г.В. Алексеев.</i> 90 лет исследований климата в ААНИИ.....	33
<i>В.И. Пономарев, Е.В. Дмитриева, С.П. Шкорба.</i> Изменение планетарного климатического режима на рубеже XX–XXI веков и потепление в Арктике	36
<i>И.А. Мельников.</i> Сравнительный анализ биоты морских ледовых экосистем Арктики и Антарктики.....	38
<i>V. Ivanov, H. Kassens, I. Frolov, J. Hoelemann, S. Priamikov, J. Thiede, L. Timokhov, V. Povazhny.</i> Three decades of Russian-German cooperation in the Siberian Shelf Seas: research and education	39

2 марта 2020 г. 12.30–14.45

<i>Н.А. Дианский, И.И. Панасенкова, В.В. Фомин.</i> Исследование отклика верхнего слоя Баренцева моря на прохождение интенсивных полярных циклонов	42
<i>Н.Г. Яковлев, И.А. Чернов.</i> Регионализация климата Северного Ледовитого океана с помощью новой совместной модели океана и морского льда.....	44
<i>Л.П. Бобылев, О.М. Йоханнесен, С.И. Кузьмина, И.Л. Баимачников, М.М. Латонин.</i> Арктическое усиление по данным наблюдений и моделей.....	47
<i>Н.Ф. Благовещенская, Т.Д. Борисова, А.С. Калишин, И. Хагстром, Т.К. Йоман.</i> Явления в высокоширотной верхней ионосфере при воздействии мощных коротких радиоволн	50
<i>П.Н. Антохин, В.Ю. Аришинов, Б.Д. Белан, С.Б. Белан, Д.К. Давыдов, Г.А. Ивлев, А.В. Козлов, И.В. Пташник, Д.Е. Савкин, Д.В. Симоненков, Г.Н. Толмачев, А.В. Фофанов.</i> Комплексный эксперимент по исследованию состава тропосферы российского сектора Арктики	52
<i>М.Н. Григорьев, Д.Ю. Большиных, П.П. Овердуин, Ф. Гюнтер.</i> Эволюция многолетней мерзлоты в береговой зоне и на шельфе Восточной Сибири	55
<i>В.М. Смоляницкий, В.М. Хан</i> Арктический региональный климатический центр-сеть: климатическое обслуживание Арктики на сезонных масштабах	58

<i>S.V. Motyzhev, V.M. Smolyanitsky, V.T. Sokolov, E.G. Lunev, A.P. Tolstosheev, A.A. Bezgin, E.M. Bykov. International cooperation in area of current and perspective operational monitoring of the Polar Regions</i>	61
--	----

2 марта 2020 г. 16.00–18.15

<i>И.Е. Фролов, В.В. Иванов, К.В. Фильчук, Ю.В. Угрюмов, А.П. Махитас, В.Ю. Кустов, В.Ю. Махотин, Н.В. Лебедев, А.Д. Тарасенко, А.Б. Тюряков, М.Ю. Кулаков. «ТРАНСАРКТИКА-2019» — важный шаг к возобновлению мониторинга состояния арктических акваторий России</i>	64
<i>K. Dethloff and the MOSAiC team. Arctic Amplification Puzzle: Role of MOSAiC observations, weather forecast- and climate models</i>	66
<i>Д.Ю. Большиянов, А.С. Макаров, М.Н. Григорьев, Г. Гроссе, А. Моренштерн, Д.В. Мельниченко, Х.-В.Хуббертен. Итоги 28-летних (1993–2020) российско-германских исследований континентального и островного обрамления моря Лаптевых</i>	67
<i>A. Makshtas, V. Sokolov, Y. Ugrumov, V. Kustov, E. Asmi, M. Aurela, T. Laurila, C. Drüe, G. Heinemann, Y.J. Yoon, T.J. Choi, M. Koike, Y. Kondo, J. Inoue, M. Hori. International meteorological studies at the Arctic observatories of AARI</i>	70
<i>И.А. Репина, А.Ю. Артамонов, М.И. Варенцов, А.Д. Пашкин. Энерго- и газообмен в системе океан-атмосфера в полярных районах по данным экспериментов и дистанционного зондирования</i>	74
<i>Y. Aksekov, M. Luneva, S. Rynders, A.C. Coward, V. Ivanov, A.J.G. Nurser, E. Popova, A. Yool. High-resolution global coupled modelling of marine biogeochemistry, sea ice and ocean circulation for Arctic climate research and science applications</i>	76
<i>Э.П. Зазовская, А.В. Лупачев, Н.С. Мергелов, С.В. Горячкин, А.В. Долгих, Е.В. Абакумов, А.А. Абрамов, Д.Ю. Власов, А.И. Иващенко, Д.Е. Конюшков, Д.А. Никитин, Д.Г. Федоров-Давыдов, С.Ф. Хохлов, В.А. Шишков, И.Г. Шоркунов. Почвы и почвоподобные тела оазисов Антарктики: разнообразие, генезис, температурные режимы, возраст</i>	78
<i>И.П. Семилетов, Н.Е. Шахова, В.И. Сергиенко, Л.И. Лобковский, O. Gustafsson, O.B. Дударев, И.И. Пупко, С.П. Пугач, Д.А. Космач, Д.В. Черных, А.Н. Салюк, Р.А. Ананьев, А.В. Куриленко, Э.А. Спивак, Е.В. Панова, А.С. Рубан, А.К. Мазуров, Е.В. Якушев, А.В. Кошуриков, В.Е. Тумской, Е.В. Чувилин, Л.Н. Василевская. Деградация мерзлоты и нарушение баланса в цикле углерода в морях Восточной Арктики (потоки парниковых газов, экстремальная асидификация, геориски)</i>	81

3 марта 2020 г. 9.00–11.15

<i>А.В. Клепиков А.А. Быстрямович. О развитии российских антарктических исследований</i>	84
<i>О.А. Трошичев. Влияние солнечной активности на атмосферные процессы (по данным геофизических исследований в Антарктике)</i>	86

<i>В.Я. Липенков, Ф. Паррена.</i> Основные результаты работы российско-французской международной ассоциированной лаборатории «Ледниковые архивы данных о климате и окружающей среде».....	87
<i>В.Ф. Логинов.</i> Белорусские антарктические исследования.....	89
<i>В.С. Литвиненко, Н.И. Васильев, А.Н. Дмитриев, А.В. Большунов, С.А. Игнатьев.</i> Бурение глубоких скважин в антарктическом леднике	92
<i>А.И. Погорельский, В.Н. Масолов, Д.М. Воробьёв, М.С. Егоров, А.В. Киселёв.</i> Основные этапы отечественных геолого-геофизических исследований в Антарктике: достижения и перспективы.....	94
<i>С.А. Булат, М.В. Доронин, Е.С. Рудая, Д.А. Сумбатян, Д. Мари.</i> Микробиологические исследования льда керна Восток и проб воды подледникового Антарктического озера Восток.....	98
<i>S.D. Hur, S.-B. Hong, H. Hwang, K. Lee, Y. Han, J. Ahn, J.-W. Yang, Y. Jang, J. Lee, S. Kim.</i> High resolution climate change records from ice cores in Northern Victoria lands, Antarctica	101

3 марта 2020 г. 11.45–14.00

<i>В.П. Савиных, А.А. Медведев, С.К. Бесков.</i> Геоинформационное картографирование и мониторинг экологической ситуации арктических островов по материалам дистанционного зондирования.....	102
<i>А.А. Петрукович, Л.М. Зеленый, Е.А. Лупян, С.А. Барталев.</i> Современные информационные технологии для дистанционного мониторинга Арктического региона России	105
<i>В.Д. Каминский, В.А. Поселов, А.А. Черных, Е.А. Гусев, А.Н. Смирнов, Г.Л. Лейченко.</i> Основные результаты геологических исследований в Арктике и Антарктике за последнее десятилетие.....	106
<i>В.Ю. Бахмутов, А.В. Костенич, К.Г. Ставров.</i> Комплексные гидрографические исследования в Арктике для обоснования внешней границы континентального шельфа России	110
<i>В.С. Литвиненко, М.В. Двойников.</i> Разработка концептуальных решений обустройства шельфа Арктики.....	113
<i>Р.О. Степанов.</i> Комплексные анализ, оценка и прогнозирование геодинамических рисков и залежей углеводородов в Арктической зоне.....	116
<i>О.Я. Сочнев, Я.О. Ефимов, Ю.П. Гудошников, Е.У. Миронов, А.В. Нестеров.</i> Научное взаимодействие ПАО «НК «Роснефть» и ФГБУ «ААНИИ» в Арктике 2012–2019 гг.	119

3 марта 2020 г. 15.15–18.00

<i>М.Г. Опекунова, А.Ю. Опекунов, С.Ю. Кукушкин, С.А. Лисенков.</i> Результаты комплексных эколого-биогеохимических исследований ландшафтов в районах нефтегазодобычи Арктики	122
<i>A.D. Gvishiani.</i> Big, Open and FAIR DATA in Arctic Studies.....	125

<i>В.А. Лихоманов, К.Е. Сазонов.</i> Перспективы развития методов физического моделирования процессов взаимодействия льда с инженерными сооружениями.....	126
<i>А.А. Родионов, А.В. Зимин, Д.А. Романенков, В.А. Рябченко.</i> Гидрофизические и биогеохимические исследования Санкт-Петербургских академических океанологов в Арктике	128
<i>D.M. Ermakov, A.P. Chernushich, E.A. Sharkov, V.P. Savorskiy.</i> Large-scale atmospheric circulation in the 21st century according to satellite radiothermvision	131
<i>С.А. Добролюбов, В.С. Архипкин, С.А. Мысленков, М.Е. Куликов, И.П. Медведев.</i> Моделирование ветровых волн и нагонов в морях Российской Арктики.....	133
<i>Е.У. Миронов, А.Г. Егоров, Е.И. Макаров, С.В. Фролов, А.В. Юлин.</i> Пространственно-временная изменчивость ледовых условий в осенне-зимний период в морях Российской Арктики и учет состояния ледяного покрова при гидрометеорологическом обеспечении круглогодичного плавания судов в акватории Северного морского пути	137
<i>А.С. Астахов, А.А. Босин, Сюефа Ши, А.В. Дарьин, И.А. Калугин, К.И. Аксентов, А.Н. Колесник, М.А. Обрезкова, В.Б. Лобанов.</i> Осадкообразование и реконструкция ледовых условий морей Восточной Арктики	140
<i>Д.А. Онищенко.</i> Особенности вероятностного моделирования айсберговой угрозы для морских платформ.....	143
<i>Н.Б. Пыстина, К.В. Романов, К.Л. Унанян, Е.Е. Ильякова, Л.А. Томская.</i> Разработка комплексных технологий ликвидации углеводородных разливов в арктических условиях	145
<i>4 марта 2020 г. 9.00–11.15</i>	
<i>А.В. Неелов, И.С. Смирнов.</i> Становление мелководной фауны окраинных морей Антарктиды.....	146
<i>В.А. Снытко, О.С. Романова.</i> Виктор Борисович Сочава как исследователь субарктических пространств	149
<i>С.Г. Крицук, В.И. Горный, Т.А. Давидан, И.Ш. Латыпов, А.Б. Манвелова, П.И. Константинов, А.А. Тронин, М.И. Варенцов.</i> Спутниковое картирование температуры воздуха в условиях полярной ночи	152
<i>А.Н. Зайцев, В.Г. Петров, Т.Н. Бондарь, Н.Г. Птицына, С.Н. Соколов, А.А. Петрова, И.М. Демина.</i> Магнитное поле в Арктике и Антарктике: прошлое, настоящее, будущее	155
<i>Ю.П. Гудошников, И.В. Бузин, О.М. Адреев, А.В. Нестеров, К.Г. Смирнов, Р.А. Виноградов, А.К. Наумов, Е.А. Скутина.</i> Роль инженерных гидрометеорологических изысканий ААНИИ в обеспечении стабильного освоения шельфа российской Арктики	159

<i>В.Н. Смирнов, С.М. Ковалев, А.И. Шушлебин, Н.В. Колабутин, В.А. Бородкин.</i> Мониторинг физико-механического состояния морского льда в режиме реального времени и краткосрочное прогнозирование экстремальных ледовых явлений	163
<i>Г.В. Алексеев, И.П. Волошина, А.П. Макитас, Г.Г. Матишов, И.О. Сочнева, О.Я. Сочнев, В.И. Черноок.</i> Комплексные исследования Баренцева моря с использованием дистанционных методов в 80-х–90-х годах прошлого века.....	165
<i>Carlos Bunge.</i> The Argentina’s National Antarctic Program	166

4 марта 2020 г. 14.00–17.00

<i>J. Thiede, H. Kassens.</i> Russian-German Synergies in Polar Sciences: A Historic Perspective.....	167
<i>U. Nixdorf.</i> Many decades of AARI–AWI collaboration in the Arctic and Antarctic – highlights	168

ПОСТЕРНЫЕ ДОКЛАДЫ

<i>И.И. Алексеев, Е.В. Абакумов.</i> Орнитогенные почвы Маритимной Антарктики: генезис, химический состав, органическое вещество	170
<i>I.A. Alekhina, A.N. Veres, D.S. Karlov, K.B. Tchikachev, C. Larose.</i> Microbial content: a new approach to studying old Vostok ice samples	172
<i>К.В. Артамонова, И.А. Гангнус, Л.А. Духова, В.В. Масленников, Н.М. Зозуля, В.Л. Зубаревич, К.В. Кодрян, О.В. Котова, Н.А. Лавинен, О.Н. Лукьянова, Е.А. Серебrenникова, Н.И. Торзунова, Д.А. Широков.</i> Изменчивость положения основных фронтов Южного океана по поверхностному распределению гидрохимических показателей	174
<i>А.Н. Верес, А.А. Екайкин, В.Я. Липенков, А.В. Большунов, В.Н. Заровчатский, А.В. Козачек, Н.А. Тебенькова, А.В. Туркеев.</i> Предварительные результаты изучения климата центральной Антарктиды (станция Восток) за 2000 лет по данным снежно-фирновых кернов	176
<i>П.Н. Головин, Н.Н. Антипов, М.С. Молчанов.</i> Каскадинг шельфовых вод в области склонового фронта на антарктическом материковом склоне	177
<i>А.Н. Демидов, А.А. Федотова, Н.Н. Антипов.</i> Распространение вод шельфовых ледников в заливе Прюде	181
<i>А.В. Козачек, А.А. Екайкин, Х.К. Стеен-Ларсен, А. Ландэ.</i> Исследования изотопного состава воды и водяного пара в Южной полярной области	184
<i>В.М. Котляков, Н.И. Осокин, А.В. Сосновский.</i> Современная динамика многолетней мерзлоты на архипелаге Шпицберген и Антарктическом полуострове	185
<i>Т.И. Кухарчик, С.В. Какарека, М.А. Кудревич, Ю.Г. Гигиняк, Ю.Г. Кокوش.</i> Геохимический состав и свойства почв Холмов Тала, Восточная Антарктида	187

<i>Л.М. Митник, В.П. Кулеишов, М.Л. Митник.</i> Изменчивость микроволнового излучения Гренландии и Антарктиды по измерениям со спутников метеор-м № 2 и № 2-2 и gcom-w1	189
<i>С.В. Попов, Г.Л. Лейченко, В.Я. Липенков, В.Н. Масолов, В.В. Лукин, А.А. Екайкин.</i> Отечественные исследования района подледникового озера Восток, Восточная Антарктида	191
<i>А.В. Тертышников.</i> Эксперимент по радиопросвечиванию аврорального овала сигналами ГНСС при санно-гусеничном переходе по программе 60-й Российской Антарктической экспедиции.....	194
<i>К.Б. Чихачев, В.Я. Липенков, Ю.А. Шибяев, А.А. Екайкин, Е. Lefebvre.</i> Сезонные вариации температуры снежной толщи в Центральной Антарктиде по данным непрерывных измерений	197
<i>С.Н. Шаповалов, И.В. Иванов, Г.В. Юдин, А.В. Афанасьев.</i> Наблюдения солнечного УФ-излучения в 24-м цикле солнечной активности на ст. Новолазаревская (Антарктида).....	198
<i>E. Shevnina, E. Kourzeneva, M. Potes.</i> Evaporation over lakes of the Schirmacher oasis, East Antarctica.....	199
<i>N.R. Choi, K.A. Kim, J.Y. Lee, Y.G. Ahn, Y.P. Kim.</i> Quantification of saccharides during the Araon Antarctic cruise using a tandem mass spectrometer	199
<i>Y. Han, C. Han, J. Moon, C. Chang, S. Kim, S.B. Hong, S.J. Jun, S.D. Hur.</i> Exploring impacts of Antarctic volcanic eruptions on ice core chemistry	200
<i>H. Hwang, J.-H. Kang, S.-B. Hong, Y. Han, S. Lee, S.D. Hur.</i> Concentration of trace elements in snowpit samples from the Antarctic Plateau	201
<i>О.Ю. Антохина, П.Н. Антохин, В.Г. Аришинова, М.Ю. Аришинов, Б.Д. Белан, С.Б. Белан, Д.К. Давыдов, Г.А. Ивлев, А.В. Козлов, Ф. Неделэк, Ж.-Д. Париж, И.В. Пташник, Т.М. Рассказчикова, Д.Е. Савкин, Д.В. Симоненков, Т.К. Скляднева, Г.Н. Толмачев, А.В. Фофонов.</i> Вертикальное распределение газовых и аэрозольных примесей воздуха над Карским морем	202
<i>И.И. Василевич, А.В. Штанников.</i> Опыт и перспективы применения современных методов при работе со снежным покровом на арктических архипелагах	205
<i>В.М. Ивахов, Н.Н. Парамонова, Т. Лаурила, М.А. Лоскутова, В.И. Привалов, М. Аурела, А.П. Макитас, В.Ю. Кустов.</i> Сезонная и годовая изменчивость концентрации парниковых газов в Арктике	208
<i>M. Loskutova, A. Makshitas, T. Laurila, E. Asmi.</i> Carbon dioxide variability at research station "Ice base cape Baranova" during 2015–2019	210
<i>А.П. Макитас, Г.Н. Ильин, В.Ю. Быков, В.Ю. Кустов, Д.Д. Ризе, Е.А. Миллер, А.В. Троицкий.</i> Опыт применения аппаратуры температурно-влажностного зондирования атмосферы в условиях Арктики	211
<i>I.V. Radchenko, N.V. Gnatiuk, R. Davy, D.V. Pozdnyakov, L.P. Bobylev.</i> Validation and selection of CMIP5 climate models for main factors affecting <i>E. huxleyi</i> blooms in the Arctic	213

<i>С.А. Ситнов, И.И. Мохов.</i> Дальний атмосферный перенос в Арктику продуктов горения при массовых пожарах сибирских лесов	215
<i>Г.В. Суркова, В.А. Романенко.</i> Современная изменчивость энергообмена с атмосферой в Баренцевом море	217
<i>Young Jun Yoon, Ki-Tae Park, Jiyeon Park, Yeontae Gim, Jin Hee Choi, Hyo Jin Kang, Jaeseok Kim, Bang Yong Lee.</i> KOPRI'S aerosol research program — status and key findings	219
<i>K. Lee, C. Han, S.-D. Hur, S. Hong.</i> High-resolution isotopic evidence for a potential saharan provenance of Greenland glacial dust	222
<i>Mincheol Kim, Bang Yong Lee, Binu M. Tripathi, Ji Young Jung, Min Jung Kwon, Nu Ri Myeong, Sungjin Nam, Yoo Kyung Lee.</i> Tundra soil microbiome and its responses to permafrost thaw in the Arctic	222
<i>J.-H. Kang, H. Hwang, S.-B. Hong, S.D. Hur.</i> Tracing the dust sources and transport patterns using Pb isotopes in Greenland snow	223
<i>T. Laurila, J. Hatakka, M. Aurela, E. Asmi, V. Ivakhov, M. Loskutova, V. Kustov, A. Makshtas.</i> Tiksi, cape Baranova and Pallas observatories as monitoring sites for greenhouse gas concentrations in the Arctic atmosphere	224
<i>T Vihma, T Naakka, T Nygård.</i> Atmospheric role in the water cycle in the Arctic and Antarctic	225
<i>В.С. Архипкин, С.А. Мысленков.</i> О моделировании нагонов в Карском море с использованием неструктурной сетки	226
<i>П.В. Богородский, Н.Э. Демидов, А.В. Марченко, Е.Г. Морозов, А.Л. Никулина, А.В. Пнюшков, И.В. Рыжов, К.В. Фильчук.</i> Образование припая и его тепловое взаимодействие с донным грунтом в бухте Браганцаваген (о. Западный Шпицберген)	229
<i>А.А. Букатов.</i> Влияние ледовых условий на нелинейное взаимодействие прогрессивных поверхностных волн	230
<i>Г.Н. Войнов, А.А. Пискун.</i> Приливные и стонно-нагонные колебания уровня воды в южной части Обской губы	231
<i>В.А. Волков, Н.Ю. Захваткина, Д.М. Демчев, А.В. Терехов.</i> Применение автоматизированных технологий обработки спутниковой информации при подготовке оперативных навигационных карт ледовой обстановки	234
<i>Н.А. Вязигина, Л.А. Тимохов, В.В. Иванов.</i> Климатические колебания ледовитости и температуры поверхности океана в морях Северо-Европейского бассейна	238
<i>И.А. Гангнус, Е.Д. Добротина, Н.А. Вязигина, Е.А. Чернявская, К.В. Жеуров, Е.В. Анисимова, М.В. Онищук, К.Н. Ханина, М.В. Карпов, Ю.А. Татаренко.</i> Гидрохимические исследования арктических морей России в первом и четвертом этапах экспедиции «Трансарктика-2019»	240

<i>Н.В. Гнатюк, Т. Вихма, Ю.В. Радченко, Л.П. Бобылев.</i> Дальние корреляционные связи между температурой поверхности моря и глубиной перемешанного слоя в северной Атлантике и аномалиями температуры в Евразии.....	243
<i>П.А. Голубкин, Л.П. Бобылев, Д.М. Демчев, Ю.Е. Смирнова.</i> Влияние атмосферных процессов на ледяной покров Баренцева и Карского морей зимой 2016/2017 гг.....	245
<i>В.А. Горчаков, А.Ю. Дворников, В.А. Рябченко.</i> Межгодовые колебания температуры в Баренцевом и Карском морях по результатам математического моделирования.....	246
<i>Д.В. Дорофеева, И.В. Никулина, Е.В. Никонова.</i> Анализ изменения ледовитости Татарского пролива в период потепления	247
<i>А.В. Зимин, Е.И. Свезгун, А.А. Коник.</i> Интенсивные внутренние волны в шельфовых районах Арктических морей	250
<i>М.И. Каневский, О.В. Васильев, Н.А. Баранов.</i> Перспективные системы мониторинга ледовой обстановки на базе малогабаритных локаторов ХР-диапазона	253
<i>I.E. Kozlov, L.A. Petrenko, E.V. Plotnikov.</i> Eddies in Fram Strait from high-resolution spaceborne radar observations	256
<i>A.A. Konik, A.V. Zimin, A.P. Pedchenko.</i> Assessment of the variability of the frontal zones of the Kara sea in a changing climate	257
<i>П.В. Коробов, В.В. Алексеев, В.И. Дымов, Н.П. Яковлева, К.Г. Смирнов.</i> Верификация модельных расчетов волнения на акватории Обской губы по инструментальным данным измерений в 2015–2017 гг	259
<i>М.Е. Куликов, И.П. Медведев, А.Т. Кондрин.</i> Сезонная изменчивость приливов в арктических морях России.....	260
<i>М.А. Мардаровский.</i> Сравнительный анализ типизации ледовых условий для плавания в российских арктических морях.....	261
<i>И.П. Медведев, Е.А. Куликов, А.И. Иващенко, И.В. Файн, А.Ю. Медведева, О.И. Яковенко.</i> Цунами в Арктике.....	264
<i>С.С. Мухаметов.</i> Объемный T, S-анализ вод Баренцева моря	267
<i>С.А. Мысленков, В.С. Платонов.</i> Моделирование морского волнения в Карском море с использованием метеоданных модели высокого разрешения.....	269
<i>Е.В. Новоселова, Т.В. Белоненко.</i> Изучение изопикнических поверхностей в Лофотенской котловине	271
<i>М.А. Панфилова, А.П. Шиков, В.Ю. Караев.</i> Детектирования ледяного покрова на поверхности моря по радиолокационным измерениям в КУ-диапазоне при малых углах падения.....	273
<i>В.М. Пищальник, И.Г. Минервин, П.А. Трусков, Д.В. Дорофеева, В.А. Романюк.</i> Вариации объема льда Охотского моря в период с 2001 по 2019 гг.....	276

<i>Д.А. Романенков, В.А. Зинченко, А.А. Андросов.</i> Моделирование приливного перемешивания в Баренцевом и Белом морях	280
<i>В.Е. Соколова.</i> Результаты работ океанографических отрядов ВВЭ «Север»	283
<i>В.Т. Соколов, В.Е. Соколова, А.П. Макинас.</i> Российские дрейфующие научно-исследовательские станции «Северный полюс».....	286
<i>Е.В. Софьина, Б.А. Казан, А.А. Тимофеев.</i> Приливные изменения климатических характеристик Баренцева и Карского морей: результаты моделирования	289
<i>А.А. Сумкина, К.К. Кивва, В.В. Иванов.</i> Изменчивость дат полного очищения ото льда в Баренцевом море 1979-2018 гг.....	292
<i>Ю.А. Титченко, В.Ю. Караев, Е.М. Мешков, Р.В. Беляев, М.С. Рябкова.</i> Мониторинг процессов формирования и разрушения пресноводного ледяного покрова подводным акустическим волнографом	294
<i>А.П. Толстошеев, Ю.П. Гудошников, И.В. Бузин, А.В. Нестеров, К.Г. Смирнов, С.В. Мотыжев, Е.Г. Лунев, В.З. Дыкман, М.С. Воликов.</i> Применение автономных измерительных платформ со спутниковой связью для оперативного мониторинга арктических акваторий	296
<i>М.В. Третьяков, В.А. Брызгалов, Е.В. Румянцева.</i> Современное состояние абиотической составляющей экосистем устьевых участков рек Обско-Тазовской устьевой области	298
<i>В.Ю. Третьяков, В.Е. Федяков, С.В. Фролов.</i> Методика интегрального оценивания изменчивости ледовых условий плавания.....	302
<i>Ф.К. Тузов.</i> Каскадинг на центральной банке по результатам экспедиции «Трансарктика-2019»	305
<i>А.Б. Торяков, И.А. Ильющенко, Е.С. Егорова.</i> Гидрометеорологические условия появления двухлетнего льда в юго-восточной части Баренцева моря.....	306
<i>Е.А. Чернявская.</i> Долгопериодная изменчивость зимних характеристик поверхностного слоя Арктического бассейна	309
<i>Е.Н. Шестакова, Е.В. Румянцева, О.В. Муждаба.</i> Гидрологический режим рек севера Западной Сибири и его связь с климатическими процессами	311
<i>T. Krumpfen, K. Dethloff, C. Haas, J. Hoelemann, V. Ivanov, M. Janout, T. Kanzow, H. Kassens, A. Rinke, V. Smolyanitsky, V. Sokolov.</i> Changing marginal ice zones and implications for the transpolar drift system	313
<i>S. Rynders, L. Hošekova, Y. Aksenov.</i> Coupled simulation of waves, sea ice and ocean for science and applications	314
<i>Т.Д. Борисова, Н.Ф. Благовецкая, А.С. Калишин.</i> Модель распространения коротких радиоволн в условиях модификации высокоширотной ионосферы.....	316
<i>В.В. Вахнина, А.А. Кувшинов, В.Д. Селемир, В.И. Карелин.</i> Модуляция геоиндуцированными токами пропускной способности высокоширотных линий электропередачи.....	317

<i>Е.А. Гусев, В.А. Виноградов, Д.Е. Артемьева, П.В. Рекант. Результаты геологического картирования арктического шельфа России</i>	320
<i>А.С. Демешкин. Мониторинг загрязняющих веществ в Арктике</i>	322
<i>А.С. Демешкин. Оценка загрязнения природной среды архипелага Шпицберген</i>	324
<i>С.А. Долгачева, Л.Н. Макарова, Д.А. Сормаков, Д.Д. Рогов. Мониторинг авроральной ионосферы методом вертикального зондирования</i>	326
<i>Г.В. Калабин, Ю.П. Галченко. Использование криогеоресурса для повышения рационального недропользования в Арктике</i>	328
<i>В.Н. Конешов, Н.В. Дробышев, Л.К. Железняк, П.С. Михайлов, В.В. Погорелов, В.Н. Соловьев, А.А. Спесивцев. Аэрогравиметрические исследования в Арктике: современные возможности и актуальные направления</i>	331
<i>В.Н. Конешов, Л.К. Железняк, П.С. Михайлов, В.Н. Соловьев, Л.В. Афанасьева. Совершенствование технологий морских гравиметрических исследований в Арктике</i>	334
<i>Ю.Г. Кутинов, Т.Я. Беленович, З.Б. Чистова. Современная геодинамика арктического срединно-океанического хребта по сейсмологическим данным</i>	337
<i>Т.Ю. Медведева, А.Н. Смирнов, О.И. Супруненко, Е.Б. Суворова. Минерально-сырьевой потенциал континентального шельфа российской Арктики. Современное состояние</i>	340
<i>М.Ю. Милославский, А.Н. Сироткин. Отечественные региональные геолого-геофизические исследования на Шпицбергене: история, основные результаты и перспективы</i>	344
<i>А.В. Николаев, О.А. Троищев, С.А. Долгачёва, В.Д. Николаева, А.С. Калишин. Модель авроральных высыпаний частиц OVATION PRIME (PC)</i>	348
<i>В.Д. Николаева, Е.И. Гордеев, А.В. Николаев. Модель E-слоя авроральной ионосферы Auroral Ionospheric Model (E-AIM)</i>	349
<i>Е.В. Полякова, А.Л. Минеев. Применимость глобальной цифровой модели рельефа ArcticDEM для исследований северных территорий РФ</i>	351
<i>Д.Д. Рогов, В.М. Выставной, А.С. Калишин, С.В. Новиков. Арктическая сеть наклонного зондирования для исследования высокоширотной ионосферы</i>	353
<i>Н.А. Степанов, В.А. Сергеев, Д.А. Сормаков, С.В. Дубягин, А.В. Рунов. Зависимость потоков высокоэнергичных протонов и электронов в плазменном слое на границе внутренней магнитосферы от параметров солнечного ветра</i>	354
<i>А.А. Трунин, О.В. Муждаба. Геоинформационные образы гидрологических и геоморфологических характеристик территории России</i>	355
<i>В.В. Шарин. Отечественные геоморфологические исследования на архипелаге Шпицберген</i>	358

<i>Ю.А. Шмелев, Е.Е. Леоненко, А.С. Калишин.</i> Вариации полного электронного содержания во время активного воздействия нагревного комплекса	361
<i>G. Grosse, H.-W. Hubberten, J. Boike, D. Fritzsche, M. Melles, H. Meyer, A. Morgenstern, V. Rachold, L. Schirrmeister, W. Schneider, C. Siegert, D.Yu. Bolshiyarov, G. Fedorov, S. Verkulich, A. Makarov, I. Fedorova, E.-M. Pfeiffer, M. Grigoriev.</i> More than 20 years of terrestrial research cooperation between AARI and AWI Potsdam – Past, present, future.....	362
<i>S.S. Kholohd.</i> The formation of lichen-shrub tundra in the Arctic against the backdrop of the geographical events of the Neogene-Quaternary	366
<i>Y.K. Lee, Y.H. Choe, M. Kim.</i> What do rock microbes in the Arctic desert teach us?.....	369
<i>Л.Н. Бельдидман, И.Н. Урбанавичене, В.Э. Федосов, Е.Ю. Кузьмина.</i> Комплексное ботаническое изучение о-ва Шокальского (Гыданский заповедник)	370
<i>В.И. Гуменюк, В.В. Иванов, В.А. Янкина.</i> Ноксоологические аспекты комплексных исследований природной среды Арктики для обеспечения безопасности ее развития	373
<i>Г.А. Дворянкин, А.К. Козьмин, В.И. Тимофеев.</i> Видовой состав и структура промысловой ихтиофауны крупных озерных систем Ненецкого автономного округа	377
<i>М.Н. Катаева, А.И. Беляева, А.С. Евдокимов.</i> Выявление регионального фона концентраций тяжелых металлов в эпифитных лишайниках в старовозрастном лесном сообществе Кольского полуострова в природных условиях субарктики	380
<i>А.Г. Кочергина.</i> Классификация ивняков в подзоне типичных Тундр на западе Большеземельской Тундры	383
<i>Л.Е. Курбатова.</i> О распространении водного мха <i>Drepanocladus longifolius</i> на о. Кинг Джордж (Южные Шетландские о-ва, Антарктика).....	386
<i>О.В. Лавриненко, И.А. Лавриненко.</i> Стабильность состава и структуры тундровых сообществ в изменяющемся климате	387
<i>Н.В. Матвеева.</i> Масштабная трансформация водораздельных увалов в связи с деградацией жильных льдов в Арктике	392
<i>М.П. Погожева, Е.В. Якушев, П.Н. Терский, Д.М. Глазов, О.В. Шпак, Г. Ханке.</i> Мониторинг плавающего морского мусора в Баренцевом море.....	395
<i>И.Н. Поспелов, В.В. Петровский, Т.М. Королева, Е.Б. Поспелова, О.В. Хитун, С.В. Чиненко, А.А. Зверев.</i> Локальные флоры островов и побережий полярного бассейна как фитогеографические реперы.....	397
<i>Т.В. Сафронова, Р.М. Гогорев, С.В. Смирнова, А.Ф. Лукницкая, О.Я. Чаплыгина, В.М. Андреева.</i> Микроводоросли водных и наземных местообитаний из районов работ российской антарктической экспедиции	400
<i>А.В. Смирнов, И.С. Смирнов, С.А. Назарова, Е.А. Стратаненко.</i> Роль экспедиций арктического института в изучении иглокожих Северного Ледовитого океана	404

CONTENS

ORAL PRESENTATIONS

2 march 2020. 9.45–12.00

<i>G.G. Matishov</i> . World trends in the study of the Arctic Ocean (Climate, Commercial Oceanology, Radioactivity)	25
<i>I.I. Mokhov, A. Rinke, V.M. Smolyanitsky, K.N. Kosobokova, V.A. Semenov, M.G. Akperov, QUARCCS project participants</i> . Rapid climate change in the Arctic and its regional and large-scale impacts.....	28
<i>V.M. Kattsov</i> . Arctic climate change: fundamental problems of the proactive adaptation	30
<i>R.A. Ibraev</i> . Mesoscale variability of the World ocean dynamics	32
<i>G.V. Alekseev</i> . 90 years of climate research at AARI	33
<i>V.I. Ponomarev, E.V. Dmitrieva, S.P. Shkorba</i> . Global climate regime change at the turn of 20–21 centuries and warming in the Arctic.....	36
<i>I.A. Melnikov</i> . Comparative analysis of biota of sea ice ecosystems of the Arctic and Antarctic	38
<i>V. Ivanov, H. Kassens, I. Frolov, J. Hoelemann, S. Priamikov, J. Thiede, L. Timokhov, V. Povazhny</i> . Three decades of Russian-German cooperation in the Siberian Shelf Seas: research and education	39

2 march 2020. 12.30–14.45

<i>N.A. Diansky, I.I. Panasenokova, V.V. Fomin</i> . Investigation of the Barents Sea upper layer response to the passage of the extreme polar lows	42
<i>N.G. Iakovlev, I.A. Chernov</i> . The Arctic Ocean climate regionalisation by the new coupled ocean-sea ice model	44
<i>L.P. Bobylev, O.M. Iokhannessen, S.I. Kuz'mina, I.L. Bashmachnikov, M.M. Latonin</i> . Arctic gain from observations and models	47
<i>N.F. Blagoveshchenskaya, T.D. Borisova, A.S. Kalishin, T.K. Yeoman, I. Haggstrom</i> . Nonlinear phenomena in the high latitude ionosphere induced by powerful HF radio waves at EISCAT.....	50
<i>P.N. Antokhin, M.Yu. Arshinov, B.D. Belan, S.B. Belan, D.K. Davydov, G.A. Ivlev, A.V. Kozlov, I.V. Ptashnik, D.E. Savkin, D.V. Simonenkov, G.N. Tolmachev, A.V. Fofonov</i> . Complex Experiment on Investigation of the Arctic Troposphere Composition.....	52
<i>M.N. Grigoriev, D.Yu. Bolshiyarov, P.P. Overduin, F. Günter</i> . Permafrost evolution in the coastal zone and on the shelf of Eastern Siberia.....	55
<i>V.M. Smolyanitsky, V.M. Khan</i> . Arctic Regional Climate Centre network: seasonal climate services in the Arctic.....	58

S.V. Motyzhev, V.M. Smolyanitsky, V.T. Sokolov, E.G. Lunev, A.P. Tolstosheev, A.A. Bezgin, E.M. Bykov International cooperation in area of current and perspective operational monitoring of the Polar Regions61

2 march 2020. 16.00–18.15

I.E. Frolov, V.V. Ivanov, K.V. Filchuk, YU.V. Ugryumov, A.P. Makshtas, V.Yu. Kustov, M.S. Mahotin, N.V. Lebedev, A.D. Tarasenko, A.B. Turyakov, M.Yu. Kulakov (AARI). “TRANSARKTIKA-2019” — important step towards resuming monitoring of the Arctic aquatories of Russia64

K. Dethloff, the MOSAiC team. Arctic Amplification Puzzle: Role of MOSAiC observations, weather forecast- and climate models66

D.Yu. Bolshiyarov, A.S. Makarov, M.N. Grigoriev, G. Grosse, A. Morgenstern, D.V. Melnichenko, H-W. Hubberten. The results of 28-year-old (1993–2020) Russian-German studies of the continental and island framing of the Laptev Sea67

A.P. Makshtas, V.T. Sokolov, Yu.V. Ugryumov, V.Yu. Kustov, E. Asmi, M. Aurela, T. Laurila, C. Drüe, G. Heinemann, Y.J. Yoon, T.J. Choi, M. Koike, Y. Kondo, Y.J. Inoue, M. Hori. International meteorological studies at the Arctic observatories of AARI70

I.A. Repina, A.Yu. Artamonov, M.I. Varentsov, A.D. Pashkin. Energy and gas exchange in the ocean-atmosphere system in the polar regions according to experimental data and remote sensing74

Y. Aksenov, M. Luneva, S. Rynders, A.C. Coward, V. Ivanov, A.J.G. Nurser, E. Popova, A. Yool. High-resolution global coupled modelling of marine biogeochemistry, sea ice and ocean circulation for Arctic climate research and science applications76

E.P. Zazovskaya, A.V. Lupachev, N.S. Mergelov, S.V. Goryachkin, A.V. Dolgich, E.V. Abakumov, A.A. Abramov, D.Yu. Vlasov, A.I. Ivaschenko, D.E. Konushkov, D.A. Nikitin, D.G. Fedorov-Davidov, S.F. Khokhlov, V.A. Shishkov, I.G. Shorkunov. Soils and soil-like bodies of Antarctic oases: diversity, genesis, temperature conditions, age78

I.P. Semiletov, N.E. Shahova, V.I. Sergienko, L.I. Lobkovsky, O. Gustafsson, O.V. Dudarev, I.I. Pipko, S.P. Pugach, D.A. Kosmach, D.V. Chernykh, A.N. Saluk, R.A. Ananev, A.V. Kurilenko, E.A. Spivak, E.V. Panova, A.S. Ruban, A.K. Mazurov, E.V. Yakushev, A.V. Koshurnikov, V.E. Tumskey, E.V. Chuvilin, L.N. Vasilevskaya. Permafrost degradation and imbalance in the carbon cycle in the seas of the Eastern Arctic (greenhouse gas flows, extreme acidification, georiski)81

3 march 2020. 9.00–11.15

A.A. Bystramovich, A.V. Klepikov. On the development of the Russian Antarctic research84

O.A. Troshichev. Space weather and its effect on atmospheric processes (according to geophysical research in the Antarctic)86

<i>V.Ya. Lipenkov, F. Parrenin</i> . Russian-French International Associated Laboratory "Ice Archives": A review of key scientific outcomes.....	87
<i>V.F. Loginov</i> . Antarctic research of the Republic of Belarus.....	89
<i>V.S. Litvinenko, N.I. Vasilev, A.N. Dmitriev, A.V. Bolshunov, S.A. Ignatev</i> . Drilling deep boreholes in the Antarctic glacier	92
<i>A.I. Pogorelsky, V.N. Masolov, D.M. Vorob'ev, M.S. Egorov, A.V. Kiselev</i> . The main stages of Russian geological and geophysical research in Antarctica: main results and prospects	94
<i>S.A. Bulat, M.V. Doronin, E.S. Rudaya, D.A. Sumbatyan, D. Mari</i> . Microbiological studies of ice core and water samples of subglacial Antarctic Lake Vostok	98
<i>S.D. Hur, S.-B. Hong, H. Hwang, K. Lee, Y. Han, J. Ahn, J.-W. Yang, Y. Jang, J. Lee, S. Kim</i> . High resolution climate change records from ice cores in Northern Victoria lands, Antarctica	101

3 march 2020. 11.45–14.00

<i>V.P. Savinykh, A.A. Medvedev, S.K. Beskov</i> . GIS mapping and monitoring of ecological situation of the Arctic islands based on remote sensing	102
<i>A.A. Petrukovich, L.M. Zelenyi, E.A. Lupyan, S.A. Bartalev</i> . Modern information technologies for remote monitoring of the Arctic region of Russia.....	105
<i>V.D. Kaminsky, V.A. Poselov, A.A. Chernykh, E.A. Gusev, A.N. Smirnov, G.L. Leichenkov</i> . The main results of geological research in Arctic and Antarctic in the past decade	106
<i>V.Yu. Bakhmutov, A.V. Kostenich, K.G. Stavrov</i> . Comprehensive hydrographic research in the Arctic to justify the outer boundary of Russia's extended continental shelf.....	110
<i>V.S. Litvinenko, M.V. Dvoynikov</i> . Development of conceptual solutions arrangement of the Arctic shelf.....	113
<i>R.O. Stepanov</i> . Comprehensive analysis, assessment and forecasting geodynamic risks and hydrocarbon fields in the Arctic zone	116
<i>O.Ya. Sochnev, Ya.O. Efimov, Yu. P. Gudoshnikov, E.U. Mironov, A.V. Nesterov</i> . Scientific interaction of Rosneft Oil Company and AARI in the Arctic 2012–2019.....	119

3 march 2020. 15.15–18.00

<i>M.G. Opekunova, A.Yu. Opekunov, S.Yu. Kukushkin, S.A. Lisenkov</i> . Results of complex ecological and biogeochemical research of landscape in the Arctic oil and gas areas	122
<i>A.D. Gvishiani</i> Big, Open and FAIR DATA in Arctic Studies.....	125
<i>V.A. Likhomanov, K.E. Sazonov</i> . The perspectives for the development of methods of physical modeling of the processes of ice interaction with engineering structures.....	126

<i>A.A. Rodionov, A.V. Zimin, D.A. Romanenkov, V.A. Ryabchenko.</i> Hydrophysical and biogeochemical research of St. Petersburg Academic Oceanologists in the Arctic.....	128
<i>D.M. Ermakov, A.P. Chernushich, E.A. Sharkov, V.P. Savorskiy.</i> Large-scale atmospheric circulation in the 21st century according to satellite radiothermvision	131
<i>S.A. Dobrolyubov, V.S. Arkhipkin, S.A. Myslenkov, M.E. Kulikov, I.P. Medvedev.</i> Modeling of wind waves and surge in the seas of the Russian Arctic	133
<i>E.U. Mironov, A.G. Egorov, E.I. Makarov, S.V. Frolov, A.V. Yulin.</i> Spatial-temporal variability of ice conditions in the autumn-winter period in the seas of the Russian Arctic and accounting for the state of ice cover with hydrometeorological support for year-round navigation of vessels in the waters of the Northern Sea Route	137
<i>A.S. Astakhov, A.A. Bosin, Xue-fa SHI, A.V. Dar'in, I.A. Kalugin, K.I. Aksentov, A.N. Kolesnik, M.A. Obrezkova, V.B. Lobanov.</i> Sedimentation and reconstruction of the ice conditions of the seas of the Eastern Arctic	140
<i>D.A. Onishchenko.</i> Some features of probabilistic iceberg threat modeling for offshore platforms	143
<i>N.B. Pystina, K.V. Romanov, K.L. Ulanyan, E.E. Ilyakova, L.A. Tomskaya.</i> Development of integrated technologies for the elimination of hydrocarbon spills in the Arctic	145

4 march 2020. 9.00–11.15

<i>A.V. Neelov, I.S. Smirnov.</i> The coming of the shallow water coastal fauna of the near continental seas of the Antarctica.	146
<i>V.A. Snytko, O.S. Romanova.</i> Viktor Borisovich Sochava is a researcher of subarctic spaces	149
<i>S.G. Kritsuk, V.I. Gornyy, T.A. Davidan, I.Sh. Latypov, A.B. Manvelova, P.I. Konstantinov, A.A. Tronin, M.I. Varentsov.</i> Satellite air temperature mapping in conditions of polar night	152
<i>A.N. Zaytsev, V.G. Petrov, T.N. Bondar, N. Ptitsyna, S.N. Sokolov, A.A. Petrova, I.M. Demina.</i> The magnetic field in the Arctic and Antarctic: Past, Present, Future	155
<i>Yu.P. Gudoshnikov, I.V. Buzin, O.M. Adreev, A.V. Nesterov, K.G. Smirnov, R.A. Vinogradov, A.K. Naumov, E.A. Skutina.</i> Role of the engineer-hydrometeorological surveys of AARI for providing the stable development of the Russian Arctic Offshore.	159
<i>V.N. Smirnov, S.M. Kovalev, A.I. Shushlebin, N.V. Kolabutin, V.A. Borodkin.</i> Real-time monitoring of the physical and mechanical state of sea ice and short-term forecasting of extreme ice phenomena	163
<i>G.V. Alekseev, I.P. Voloshina, A.P. Makshtas, G.G. Matishov, I.O. Sochneva, O.Ya. Sochnev, V.I. Chernook.</i> Comprehensive studies of the Barents Sea using remote sensing in the 80s – 90s of the last century	165

<i>C. Bunge</i> . The Argentina's National Antarctic Program	166
--	-----

4 march 2020. 14.00–17.00

<i>J. Thiede, H. Kassens</i> . Russian-German Synergies in Polar Sciences: A Historic Perspective.....	167
<i>U. Nixdorf</i> . Many decades of AARI–AWI collaboration in the Arctic and Antarctic – highlights	168

POSTER PRESENTATIONS

<i>I.I. Alekseev, E.V. Abakumov</i> . Ornithogenic soils of the Antarctic Maritimo: genesis, chemical com-position, organic matter	170
<i>I.A. Alekhina, A.N. Veres, D.S. Karlov, K.B. Tchikachev, C. Larose</i> . Microbial content: a new approach to studying old Vostok ice samples	172
<i>K.V. Artamonova, I.A. Gangnus, L.A. Duhova, V.V. Maslennikov, N.M. Zozulya, V.L. Zubarevich, K.V. Kodryan, O.V. Kotova, N.A. Lavinen, O.N. Lukyanova, E.A. Serebrennikova, N.I. Torgunova, D.A. Shirokov</i> . Surface nutrient variability of the Southern Ocean fronts locations	174
<i>A.N. Veres, A.A. Ekaykin, V.Ya. Lipenkov, A.V. Bolshunov, V.N. Zarovchatsky, A.V. Kozachek, N.A. Tebenkova, A.V. Turkeev</i> . Preliminary results of studying the climate of central Antarctica (Vostok station) for 2000 years according to snow-firn core samples	176
<i>P.N. Golovin, N.N. Antipov, M.S. Molchanov</i> . Shelf waters cascading in the slope front area on the Antarctic continental slope.....	177
<i>A. Demidov, A.A. Fedotova, N.N. Antipov</i> . Proagation of the Ice Shelf Waters in the Prydz Bay.....	181
<i>A.V. Kozachek, A.A. Ekaykin, H.C. Steen-Larsen, A. Lande</i> . Study of water vapour isotopic composition in Antarctica for improvement of paleoclimatic reconstructions based on ice cores data interpretation	184
<i>V.M. Kotlyakov, N.I. Osokin, A.V. Sosnovsky</i> . Modern dynamics of permafrost on the Svalbard Archipelago and the Antarctic Peninsula.....	185
<i>T.I. Kukharchyk, S.V. Kakareka, M.A. Kudrevich, Yu.G. Giginyak, Yu.G. Kokosh</i> . Geochemical composition and soil properties of Tala Hills, East Antarctica.....	187
<i>L.M. Mitnik, V.P. Kuleshov, M.L. Mitni</i> . Spatial and temporal variability of microwave radiation from Greenland and Antarctica as measured by Meteor-M № 2 and GCOM-W1 satellites	189
<i>S.V. Popov, G.L. Leichenkov, V.Ya. Lipenkov, V.N. Masolov, V.V. Lukin, A.A. Ekaykin</i> . Russian investigations of the subglacial Lake Vostok area, East Antarctica	191
<i>A.V. Tertyshnikov</i> . Experiment on radio illumination of the auroral oval GNSS signals for sledging and crawling under the program 60 th Russian Antarctic expedition.....	194

<i>K.B. Tchikachev, V.Ya. Lipenkov, Yu. A. Shibaev, A.A. Ekaykin, E. Lefebvre.</i> Seasonal variations in the temperature of snow cover according central Antarctic continuous measurements	197
<i>S.N. Shapovalov, I.V. Ivanov, G.V. Yudin, A.V. Afanasev.</i> Observations of solar UV radiation in the 24th cycle of solar activity at the Novolazarevskaya station (Antarctica)	198
<i>E. Shevnina, E. Kourzeneva, M. Potes.</i> Evaporation over lakes in the Schirmacher Oasis, East Antarctica	199
<i>N.R. Choi, K.A. Kim, J.Y. Lee, Y.G. Ahn, Y.P. Kim.</i> Quantification of saccharides during the Araon Antarctic cruise using a tandem mass spectrometer	199
<i>Y. Han, C. Han, J. Moon, C. Chang, S. Kim, S.B. Hong, S.J. Jun, S.D. Hur.</i> Exploring impacts of Antarctic volcanic eruptions on ice core chemistry	200
<i>H. Hwang, J.-H. Kang, S.-B. Hong, Y. Han, S. Lee, S.D. Hur.</i> Concentration of trace elements in snowpit samples from the Antarctic Plateau	201
<i>O.Yu. Antokhina, P.N. Antokhin, V.G. Arshinova, M.Yu. Arshinov, B.D. Belan, S.B. Belan, D.K. Davydov, G.A. Ivlev, A.V. Kozlov, Ph. Nedelec, J.-D. Paris, I.V. Ptashnik, T.M. Rasskazchikova, D.E. Savkin, D.V. Simonenkov, T.K. Sklyadneva, G.N. Tolmachev, A.V. Fofonov.</i> Vertical distribution of gaseous and aerosol air composition over the Kara Sea.....	202
<i>I.I. Vasilevich, A.V. Shtannikov.</i> Experience and prospects of applying modern methods when working with snow cover in the Arctic archipelagos.....	205
<i>V.M. Ivakhov, N.N. Paramonova, T. Laurila, M.A. Loskutova, V.I. Privalov, M. Aurela, A.P. Makshtas, V.Yu. Kustov.</i> Seasonal and annual variability of greenhouse gas concentrations in the Arctic.....	208
<i>M. Loskutova, A. Makshtas, T. Laurila, E. Asmi.</i> Carbon dioxide variability at research station "Ice base cape Baranova" during 2015–2019	210
<i>A.P. Makshtas, G.N. Ilyin, V.Yu. Bykov, V.Yu. Kustov, D.D. Rize, E.A. Miller, A.V. Troitsky.</i> Field-based experience of the temperature stratification and water vapor sounding by using the remote sensing equipment in Arctic.....	211
<i>I.V. Radchenko, N.V. Gnatiuk, R. Davy, D.V. Pozdnyakov, L.P. Bobylev.</i> Validation and selection of CMIP5 climate models for main factors affecting <i>E. huxleyi</i> blooms in the Arctic.....	213
<i>S.A. Sitnov, I.I. Mokhov.</i> Long-range atmospheric transport of biomass burning products from wildfires in Siberia into the Arctic.....	215
<i>G.V. Surkova, V.A. Romanenko.</i> Current variability of energy exchange with the atmosphere in the Barents Sea	217
<i>Young Jun Yoon, Ki-Tae Park, Jiyeon Park, Yeontae Gim, Jin Hee Choi, Hyo Jin Kang, Jaeseok Kim, Bang Yong Lee.</i> KOPRI'S aerosol research program — status and key findings	219
<i>K. Lee, C. Han, S.-D. Hur, S. Hong.</i> High-resolution isotopic evidence for a potential saharan provenance of Greenland glacial dust.....	222

<i>Mincheol Kim, Bang Yong Lee, Binu M. Tripathi, Ji Young Jung, Min Jung Kwon, Nu Ri Myeong, Sungjin Nam, Yoo Kyung Lee. Tundra soil microbiome and its responses to permafrost thaw in the Arctic</i>	222
<i>J.-H. Kang, H. Hwang, S.-B. Hong, S.D. Hur/ Tracing the dust sources and transport patterns using Pb isotopes in Greenland snow</i>	223
<i>T. Laurila, J. Hatakka, M. Aurela, E. Asmi, V. Ivakhov, M. Loskutova, V. Kustov, A. Makshtas. Tiksi, cape Baranova and Pallas observatories as monitoring sites for greenhouse gas concentrations in the Arctic atmosphere</i>	224
<i>T Vihma, T Naakka, T Nygård. Atmospheric role in the water cycle in the Arctic and Antarctic</i>	225
<i>V.S. Arkhipkin, S.A. Myslenkov. On the storm surge modeling in the Kara Sea using an unstructured grid</i>	226
<i>P.V. Bogorodskii, N.E. Demidov, A.V. Marchenko, E.G. Morozov, A.L. Nikulina, A.V. Pnyushkov, I.V. Ryzhov, K.V. Filchuk. Growth of fast ice and its thermal interaction with bottom sediments in Braganzavågen Bay (West Spitsbergen)</i>	229
<i>A.A. Bukatov. Influence of ice conditions on the nonlinear interaction of progressive surface waves.</i>	230
<i>G.N. Voinov, A.A. Piskun. Tidal and wind-driven fluctuations in water level in the southern part of the Gulf of Ob</i>	231
<i>V.A. Volkov, N.Yu. Zakhvatkina, D.M. Demchev, A.V. Terekhov. Applying of automated technologies in the processing of satellite information for the preparation of operational navigation ice charts</i>	234
<i>N.A. Viazigina, L.A. Timokhov, V.V. Ivanov. Climatic fluctuations of surface water temperature and ice cover in the seas of the North European basin</i>	238
<i>I.A. Gangnus, E.D. Dobrotina, N.A. Vyazigina, E.A. Chernyavskaya, K.V. Zheurov, E.V. Anisimova, M.V. Onishshuk, K.N. Khanina, M.V. Karpov, Yu.A. Taranenko. Hydrochemical observations in Russian Arctic seas during the 1st and 4th legs of “TRANSARCTICA-2019” expedition</i>	240
<i>N.V. Gnatiuk, T. Vihma, I.V. Radchenko, L.P. Bobylev. Long-range correlations between sea surface temperature and mixed layer depth in the North Atlantic and temperature anomalies in Eurasia</i>	243
<i>P.A. Golubkin, L.P. Bobylev, D.M. Demchev, Yu.E. Smirnova. The influence of atmospheric processes on the ice cover of the Barents and Kara Seas in the winter of 2016/2017</i>	245
<i>V.A. Gorchakov, A.Yu. Dvornikov, V.A. Ryabchenko. Interannual temperature fluctuations in the Barents and Kara Seas: results of mathematical modeling</i>	246
<i>D.V. Dorofeeva, I.V. Nikulina, E.V. Nikonova. Analysis of changes in the ice cover of the Strait of Tartary during the warming period</i>	247
<i>A.V. Zimin, E.I. Svergun, A.A. Konik. Intensive internal waves on the Arctic seas shelf</i>	250

<i>M.I. Kanevsky, O.V. Vasilev, N.A. Baranov.</i> Promising ice-monitoring systems based on small XP-band radars.....	253
<i>I.E. Kozlov, L.A. Petrenko, E.V. Plotnikov.</i> Eddies in Fram Strait from high-resolution spaceborne radar observations	256
<i>A.A. Konik, A.V. Zimin, A.P. Pedchenko.</i> Assessment of the variability of the frontal zones of the Kara sea in a changing climate	257
<i>P.V. Korobov, V.I. Dymov, N.P. Jakovleva, K.G. Smirnov, V.V. Alekseev.</i> Verification of model calculations of waves in the Gulf of Ob on the basis of instrumental measurement data in 2015–2017	
<i>M.E. Kulikov, I.P. Medvedev, A.T. Kondrin.</i> Seasonal variability of tides in the Arctic seas of Russia	260
<i>M.A. Mardarovskii.</i> Comparative analysis of ice conditions classification for navigation in the Russian Arctic seas.....	261
<i>I.P. Medvedev, E.A. Kulikov, A.I. Ivashshenko, I.V. Fine, A.Yu. Medvedeva, O.I. Yakovenko.</i> Tsunami in the Arctic.....	264
<i>S.S. Mukhametov.</i> Volumetric T, S-analysis of the waters of the Barents Sea	267
<i>S.A. Myslenkov, V.S. Platonov.</i> Modeling sea waves in the Kara Sea using high resolution weather data	269
<i>E.V. Novoselova, T.V. Belonenko.</i> Research of isopycnic surfaces in the Lofoten Basin.....	271
<i>M.A. Panfilova, A.P. Shikov, V.Yu. Karaev.</i> Detection of ice cover on the sea surface by radar measurements in the Ku-range at small incidence angles.....	273
<i>V.M. Pishchalnik, I.G. Minervin, P.A. Truskov (Sakhalin Energy), D.V. Dorofeeva, V.A. Romanyuk.</i> Ice volume variations of the Sea of Okhotsk from 2001 to 2019	276
<i>D.A. Romanenkov, V.A. Zinchenko, A.A. Androsov.</i> Modelling the tidal mixing in the Barents and White Seas.....	280
<i>V.E. Sokolova.</i> The results of the oceanographic units work in the High latitude air expedition "North"	283
<i>V.T. Sokolov, V.E. Sokolova, A.P. Makhtas.</i> Russian drifting research stations "North pole"	286
<i>E.V. Sofina, B.A. Kagan, A.A. Timofeev.</i> Tidal Changes of Climatic Characteristics of the Barents and Kara Seas: Modeling Results.....	289
<i>A.A. Sumkina, K.K. Kivva, V.V. Ivanov.</i> Variability of sea ice retreat dates in the Barents Sea in 1979–2018	292
<i>Yu.A. Titchenko, V. Yu. Karaev, E.M. Meshkov, R.V. Belyaev, M.C. Ryabkova.</i> Monitoring the processes of freshwater ice cover formation and destruction by an underwater acoustic wave gauge.....	294
<i>A.P. Tolstosheev, Yu.P. Gudoshnikov, I.V. Buzin, A.V. Nesterov, K.G. Smirnov, S.V. Motyzhev, E.G. Lunev, V.Z. Dykmam, M.S. Volikov.</i> The use of autonomous measuring platforms with satellite communications for operational monitoring of the Arctic waters	296

<i>M.V. Tretiakov, V.A. Bryzgalov, E.V. Rummyanceva.</i> The current state of the abiotic component of river ecosystems in the Ob-Taz estuary region	298
<i>V.Yu. Tretikov, V.E. Fediakov, S.V. Frolov.</i> Methodology for Integral Assessment of the Variability of Ice Navigation Conditions on the Northern Sea Route	302
<i>F.K. Tuzov.</i> Cascading on the central bank based on the results of the expedition “Transarctic-2019”	305
<i>A.B. Tyuryakov, I.A. Il'yushchenkova, E.S. Egorova.</i> Hydrometeorological conditions of 2nd year ice appearance in the south-eastern Barents Sea.....	306
<i>E.A. Chernyavskaya.</i> The long-term variability winter characteristics of the surface layer of the Arctic basin	309
<i>E.N. Shestakova, E.V. Rummyanceva, O.V. Muzhdaba.</i> The hydrological regime of the rivers of the north of Western Siberia and its relationship with climatic processes	311
<i>T. Krumpfen, K. Dethloff, C. Haas, J. Hoelemann, V. Ivanov, M. Janout, T. Kanzow, H. Kassens, A. Rinke, V. Smolyanitsky, V. Sokolov.</i> Changing marginal ice zones and implications for the transpolar drift system	313
<i>S. Rynders, L. Hošekova, Y. Aksenov.</i> Coupled simulation of waves, sea ice and ocean for science and applications	314
<i>T.D. Borisova, N.F. Blagoveshchenskaya, A.S. Kalishin.</i> A model for the propagation of short radio waves at high latitudes under conditions of ionospheric modification	316
<i>V.V. Vakhmina, A.A. Kuvshinov, V.D. Selemir, V.I. Karelin.</i> The transmission capacity modulation of a high-latitude power line by the geomagnetically induced currents	317
<i>E.A. Gusev, V.A. Vinogradov, D.E. Artemeva, P.V. Rekant.</i> The results of geological mapping of the Arctic shelf of Russia.....	320
<i>A.S. Demeshkin.</i> Arctic Pollutant Monitoring.....	322
<i>A.S. Demeshkin.</i> Environmental Impact Assessment for Svalbard Archipelago	324
<i>S.A. Dolgacheva, L.N. Makarova, D.A. Sormakov, D.D. Rogov.</i> Monitoring of auroral ionosphere by means of vertical sounding	326
<i>G.V. Kalabin, U.P. Galchenko.</i> Using a new renewable energy source – cryogeoresource for sustainable development of the Arctic mining regions.....	328
<i>V.N. Koneshov, N.V. Drobyshchev, L.K. Zheleznyak, P.S. Mikhailov, V.V. Pogorelov, V.N. Soloviev, A.A. Spesivtsev.</i> Airborne gravity surveys in the Arctic: modern opportunities and actual trends	331
<i>V.N. Koneshov, L.K. Zheleznyak, P.S. Mikhailov, V.N. Soloviev, L.V. Afanaseva.</i> Improving the technology of marine gravimetric research in the Arctic	334
<i>Yu. G. Kutinov, T. Ya. Belenovich, Z.B. Chistova.</i> Modern geodynamics of the Arctic mid-ocean ridge according to seismological data.....	337
<i>T.Yu. Medvedeva, A.N. Smirnov, O.I. Suprunenko, E.B. Suvorova.</i> Mineral and hydrocarbon potential of Russian Arctic continental offshore. Current statement.	340

<i>M.Yu. Miloslavskiy, A.N. Sirotkin.</i> Russian regional geological and geophysical research in Spitsbergen: history, main result and prospects.....	344
<i>A.V. Nikolaev, O.A. Troshichev, S.A. Dolgacheva, V.D. Nikolaeva, A.S. Kalishin.</i> Auroral precipitation model OVATION Prime (PC)	348
<i>V.D. Nikolaeva, E.I. Gordeev, A.V. Nikolaev.</i> Auroral Ionospheric Model (E-AIM)	349
<i>E.V. Polyakova, A.L. Mineev.</i> Applicability of the ArcticDEM global digital elevation model for studies of the northern territories of the Russian Federation	351
<i>D.D. Rogov, V.M. Vystavnoy, A.S. Kalishin, S.V. Novikov.</i> Arctic oblique sounding network for the study of high latitude ionosphere.....	353
<i>N.A. Stepanov, V.A. Sergeev, D.A. Sormako, S.V. Dubyagin, A.V. Runov.</i> Dependence of the fluxes of high-energy protons and electrons in a plasma layer at the boundary of the inner magnetosphere on the solar wind parameters.....	354
<i>A.A. Trunin, O.V. Muzhdaba.</i> Hydrologic and Geomorphologic Layers in Russia using Geographic Information System Techniques	355
<i>V.V. Sharin.</i> Domestic geomorphological studies on the Spitsbergen archipelago	358
<i>Yu.A. Shmelev, E.E. Leonenko, A.S. Kalishin.</i> Variations of the total electronic content during the active exposure to the heating complex.....	361
<i>G. Grosse, H.-W. Hubberten, J. Boike, D. Fritzsche, M. Melles, H. Meyer, A. Morgenstern, V. Rachold, L. Schirrmeister, W. Schneider, C. Siegert, D.Yu. Bolshiyakov, G. Fedorov, S. Verkulich, A. Makarov, I. Fedorova, E.-M. Pfeiffer, M. Grigoriev.</i> More than 20 years of terrestrial research cooperation between AARI and AWI Potsdam – Past, present, future	362
<i>S.S. Kholohd.</i> The formation of lichen-shrub tundra in the Arctic against the backdrop of the geographical events of the Neogene-Quaternary	366
<i>Y.K. Lee, Y.H. Choe, M. Kim.</i> What do rock microbes in the Arctic desert teach us?.....	369
<i>L.N. Beldiman, I.N. Urbanavichene, V.E. Fedosov, E.Yu. Kuzmina.</i> Complex botanical study of Shokalsky island (Gydanskyi Reserve)	370
<i>V.I. Gumenuk, V.A. Iankina, V.V. Ivanov.</i> Noxological aspects of Natural environment complex research to ensure the Safety of Arctic development.....	373
<i>G.A. Dvoryankin, A.K. Kozmin, V.I. Timofeev.</i> The species composition and structure of the fishing ichthyofauna of large lake systems of the Nenets Autonomous Okrug.....	377
<i>M.N. Kataeva, A.I. Belyaeva, A.S. Evdokimov.</i> Identification of the regional background of heavy metal concentrations in epiphytic lichens in the old-growth forest community of the Kola Peninsula under the natural conditions of the Subarctic.....	380
<i>A.G. Kochergina.</i> Willow classification in the subzone of typical tundra in the west of the Bolshezemelskaya tundra	383
<i>L.E. Kurbatova.</i> Distribution of water moss <i>Drepanocladus longifolius</i> on King George Island (South Shetland Islands, Antarctica)	386

<i>O.V. Lavrinenko, I.A. Lavrinenko. Stability of the composition and structure of tundra communities in a changing climate</i>	387
<i>N.V. Matveyeva. Large-scale transformation of watersheds due to ice-wedge degradation in the Arctic</i>	391
<i>M.P. Pogozeva, E.V. Yakushev, P.N. Tersky, D.M. Glazov, O.V. Shpak, G. Khanke. Monitoring floating marine debris in the Barents Sea</i>	395
<i>I.N. Pospelov, V.V. Petrovsky, T.M. Koroleva, E.B. Pospelova, O.V. Khitun, S.V. Chinenko, A.A. Zverev. Local floras of Polar Basin Islands and coasts as phytogeographic reference points</i>	397
<i>T.V. Safronova, R.M. Gogorev, S.V. Smirnova, A.F. Luknitskaya, O.Ya. Chaplygina, V.M. Andreeva. Microalgae of aquatic and terrestrial habitats from the areas of the Russian Antarctic Expedition</i>	400
<i>A.V. Smirnov, I.S. Smirnov, S.A. Nazarova, E.A. Stratanenko. The role of the Arctic Institute expeditions in the echinoderm study of the Arctic Ocean</i>	404

УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

WORLD TRENDS IN THE STUDY OF THE ARCTIC OCEAN (CLIMATE, COMMERCIAL OCEANOLOGY, RADIOACTIVITY))

G.G. Matishov, Academician RAS (SSC RAS, MMBI KSC RAS)

МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ИССЛЕДОВАНИИ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА (КЛИМАТ, ПРОМЫСЛОВАЯ ОКЕАНОЛОГИЯ, РАДИОАКТИВНОСТЬ)

Г.Г. Матишов

*Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН,
г. Ростов-на-Дону, Россия*

*Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра
РАН, г. Мурманск, Россия*

matishov_ssc-ras@ssc-ras.ru

С 1965 г. в стенах ПИНРО в Мурманске я учился опыту у старших по профессии, оттачивал свои знания в походах в неизведанную тогда Северную Атлантику, западную часть Северного Ледовитого океана, на арктические архипелаги. То была эпоха освоения рыбопромысловым и атомным флотом Мирового океана. Новые знания были необходимы для подводного плавания, поиска рыбы и тралового лова в океане, для ориентации при бурении и сейсмопрофилировании шельфа. В 1960–1970-е гг. мной была подготовлена крупномасштабная (на 200 листах) батиметрическая карта океана от Азорских островов до Земли Франца-Иосифа. В своей работе я ушел от линейной экстраполяции эхолотирования дна к геоморфологическому дешифрованию реальных записей по системе, которую сам создал. В итоге, родилась оригинальная концепция оледенения морского шельфа в арктическом регионе. Так было открыто явление океанического перигляциала с системой абиссальных каналов. Основная идея концепции, что в результате таяния глыб материкового льда в 2–4 км толщиной зарождались мутьевые потоки, которые как современные горные реки густой сетью растекались по материковому склону и выходили на абиссальные равнины.

Айсберги — типичное явление Северного Ледовитого и Южного океана. Их дрейф слабо изучен. Уже более 100 лет обращает на себя внимание распространение айсбергов за пределами обычных своих границ.

С палеоклиматом ледниковых эпох связано происхождение глобальной циркуляции холодных вод на дне Мирового океана. О силе таких течений свидетельствуют абиссальные осадочные хребты высотой до 600 м, возникшие на глубинах 3–8 км. В океане и сейчас вокруг Антарктиды формируется глобальный поток холодных вод. Эта распресненная талая вода, растекающаяся по подводным каналам, и является индикатором океанического перигляциала. Отмечу, что моделей оледенения много, но суть одна — климат цикличен, глобальные потепления и похолодания повторяются. Это аксиома.

Качество прогнозов погоды и климата прямо зависит от трех составляющих: сеть первичных наблюдений, базы данных, математические модели. В любых случаях фундаментом оперативной океанологии должен быть анализ базы данных за 100–200 лет и более. Завершаться работа должна оценкой ранее сделанных прогнозов. Это оградит нас от безответственных выводов. Сегодня предсказать изменчивость окружающей среды нереально. Крайне малая сеть метеостанций за полярным кругом ведет к преобладанию умозрительных кабинетных расчетов и прогнозов. Но, экономике нужны ориентиры, климатические шаблоны и временные циклы. В настоящее время существует объединенная база гидрометеоданных NOAA, где собраны морские наблюдения, в том числе ММБИ и ЮНЦ. Надо ее пополнять и опираться при моделировании и прогнозах. Как правило, анализ баз данных опирается на компьютерные технологии и специальные программы. По большому счету это верно. Но суть процессов кроется в деталях, понять которые может только опытный океанолог. Много неизведанных явлений для подводного плавания и для военно-морской связи таят внутренние волны. Надо изучать предвестники плохой погоды и возможные индикаторы внутрисезонной аномальной погоды и климата.

Морской лед — один из важнейших индикаторов климата. В 1878 г. Норденшельд на судне «Вега» прошел за лето от Стокгольма до Берингова пролива. И Норденшельд, и челюскинцы, и многие другие проходили вдоль берегов Сибири в безледных условиях потепления. Сейчас стало ясно, что в Арктике три магистральных типа дрейфа морского льда. Это открытие специалисты ААНИИ сделали на базе 39-летнего ряда спутниковых наблюдений зимой 1978–2017 гг. Теперь важно реконструировать влияния разных перестроек полей дрейфа на межгодовые вариации ледовитости в Северном Ледовитом океане.

В начале XXI века, как в 30-е годы XX века в Арктике, наблюдалось потепление и масштабная деградация льда. В сентябре 2012 г. площадь льда в Северном Ледовитом океане сократилась до минимума за сто лет. Эта фаза обусловлена мощной адвекцией тепла из Атлантики. Этот факт породил пропаганду о скором таянии арктических льдов. Однако, в эти же годы экстремальные морозы и площади льда охватили

южные моря. В 2005–2008 гг., 2012–2013 гг. на Азове и Каспии возникли торосы и стамухи, типичные для Карского и Печерского морей. В 2012 г. впервые за 30 лет замерзли акватории порта в Махачкале, северная часть Черного моря, каналы Венеции. В Азовском море из-за торосов застряло во льдах сразу 100 судов. Мы не поймем климат Арктики, если наряду с Северной Атлантикой не будем анализировать глобальные процессы в Сибири, Канаде, Беринговом море, Европе и южных морях. Важно понять взаимодействие морозных антициклонов с океаном зимой. Современная океанология и климатология обязаны обратить внимание на приоритеты науки и техники в интересах мореплавания по Севморпути (от Ямала до Чукотки). На эти задачи нас нацеливают государственные «Стратегии» и нацпроекты.

Морская геология, как часть океанологии, становится фундаментальной наукой только тогда, когда ориентируется на глубоководное бурение. Более плодотворный метод решения задач современного климата заключается в анализе климатов прошлых геологических эпох, т.е. палеоклимата. Природные условия которые могли быть похожими на предполагаемую обстановку будущего. К сожалению, в нашем отечестве буровых судов нет, а сейсмопрофилирование дна дает неполную органическую картину.

Еще одна перспектива современной океанологии — поиск морских биоресурсов, как это делают: Япония, Норвегия, Польша в водах Южного океана у кромки льдов Антарктиды. Сегодня в мировом улове криль составляет 9 млн тонн, а потенциальные запасы — порядка 1 млрд тонн.

Важно и дальше проводить оценку радиоактивного состояния морских вод России. С конца 1980-х гг. целенаправленно работали в губах базирования атомного флота, на старом ядерном полигоне в губе Черной, в месте гибели АПЛ «Курск» и «Комсомолец», а также на Азовском море. В настоящее время, содержания цезия и стронция в водах российской Арктики находится на минимальном уровне. Но как только мы ослабим наши работы, нашей стране сразу выдвинут политические обвинения и финансовые претензии.

В современных геополитических реалиях Академии Наук в лице Секции океанологии РАН предстоит нацелить исследования на акваторию арктических льдов, зону дрейфа айсбергов, на снижение шумности АПЛ под водой, на Арктический и Азово-Черноморско-Средиземноморский морской театр вероятных и реальных военных действий.

Особенно подчеркну, что при мизерном финансировании Академии пришло время отказаться от очень дорогой модернизации океанических судов свыше 6 тыс. т. Целесообразно модернизировать или построить экономные, суда, полезные для науки и ВМФ, водоизмещением 1,5- 2,5 тыс. т. Как это принято во всем мире.

В августе 2017 г. в походе на атомном ледоколе «50 лет Победы» я лично убедился, что от Северного полюса на тысячи километров сплошные торосы. Необходимо читать классиков — тех, кто работал в Арктике, Антарктиде и южных морях. Важно не сбивать с толку простых людей и политиков неверными прогнозами и рекомендациями. А к Мировому океану следует подходить как к гидрокосмосу.

RAPID CLIMATE CHANGE IN THE ARCTIC AND REGIONAL AND LARGE-SCALE IMPACTS

I.I. Mokhov (OIAP RAS, MSU), A. Rinke (AWI), V.M. Smolyanitsky (AARI),
K.N. Kosobokova (IO RAS), V.A. Semenov (OIAP RAS),
M.G. Akperov (OIAP RAS), QUARCCS project participants.*

БЫСТРЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В АРКТИКЕ И ИХ РЕГИОНАЛЬНЫЕ И КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

И.И. Мохов^{1,2}, А. Ринке³, В.М. Смоляницкий⁴, К.Н. Кособокова⁵,
В.А. Семенов¹, М.Г. Акперов¹ и участники проекта QUARCCS*

¹ — Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия

² — Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
г. Москва, Россия

³ — Институт полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера,
г. Потсдам, Германия

⁴ — ГИЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский
институт, Санкт-Петербург, Россия

⁵ — Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия

** mokhov@ifaran.ru*

Оцениваются особенности современных быстрых климатических изменений в Арктике и их последствий с использованием результатов, полученных в 2017–2020 гг. в рамках российско-германского проекта QUARCCS (QUAntifying Rapid Climate Change in the Arctic: regional feedbackS and large-scale impacts). Наряду с данными долгопериодных и экспедиционных наблюдений анализировались различные данные ре-анализа, а также результаты численных расчетов с глобальными и региональными версиями климатических моделей при разных сценариях антропогенных воздействий для XXI века.

Потепление Арктики последних десятилетий, характеризующееся так называемым полярным усилением, со значительно более быстрым ростом приповерхностной температуры по сравнению с глобальными изменениями сопровождается быстрым уменьшением протяженности морских льдов

— их ледовитости. Согласно оценкам с использованием спутниковых данных и данных реанализа чувствительность ледовитости Арктики к изменению приповерхностной температуры Северного полушария на 1 К изменяется от $-1,0$ млн км² в феврале до $-2,5$ млн км² в сентябре.

На основе анализа многолетних данных получены оценки относительной роли естественных и антропогенных факторов в формировании климатических изменений в арктических широтах по сравнению с глобальными изменениями. Согласно полученным результатам вклад в тренд приповерхностной температуры в арктических широтах антропогенных факторов не более одной трети на временных интервалах до двух десятков лет, достигает двух пятых для 30-летнего периода, а на интервалах около полувека и более уже превышает половину. При этом, для других широтных зон и для Земли в целом соответствующие оценки роли антропогенных факторов получены более значимыми. Это связано с большой естественной климатической изменчивостью в арктических широтах. Получены оценки проявления в высоких широтах различных квазициклических процессов с характерными периодами от нескольких лет до нескольких десятилетий.

На фоне общих тенденций изменений климата в Арктике отмечаются особенности температурной, ледовой и циркуляционной изменчивости в разных регионах, в том числе в атлантическом секторе Арктики, в бассейнах Баренцева и Карского морей, на архипелаге Шпицберген, на полуострове Ямал, в районе пролива Вилькицкого. Следует отметить существенную роль изменения вертикальной температурной стратификации в тропосфере арктических широт (со значительным ослаблением статической устойчивости атмосферы при потеплении). От соответствующей климатической обратной связи зависит, в частности, проявление Арктического усиления и изменения циклонической и антициклонической активности в атмосфере.

В связи с быстрыми климатическими изменениями в Арктике актуальны оценки их последствий. С использованием результатов численных расчетов с глобальными и региональными версиями климатических моделей при разных сценариях антропогенных воздействий для XXI века получены, в частности, оценки изменений продолжительности навигационного периода на Северном морском пути, в том числе с использованием байесовских оценок. Согласно полученным результатам, современные модели климата характеризуются значительной неопределенностью оценок чувствительности режима арктических морских льдов к изменениям климата. На основе ансамблевых модельных расчетов при различных сценариях антропогенных воздействий получено, что ожидаемая продолжительность навигационного периода

на Северном морском пути оценивается около 2–3 месяцев к середине XXI века и 3–6 месяцев к его концу. При этом отмечены большие различия моделей в воспроизведении естественной межгодовой и более долгопериодной естественной климатической изменчивости, в частности изменчивости ледовитости морей на Северном морском пути.

С изменением ледовитости в Арктическом бассейне связаны изменения морского волнения. Естественно ожидать общего увеличения морского волнения в Арктическом бассейне при уменьшении морских льдов. При этом в модельных расчетах изменений для ближайших десятилетий были предсказаны пространственно-неоднородные изменения ветро-волнового режима в арктических акваториях с особенностями в морях атлантического сектора. Судя по результатам последующего анализа спутниковых данных и данных реанализ, региональные особенности, предсказанные по модельным расчетам, начали проявляться около десятилетия назад.

Климатические изменения в Арктике не могут не сказаться на биоте, на разнообразии всех групп организмов, населяющих морской лед, и на продуктивности планктонных сообществ в Арктическом бассейне. Имеющиеся данные свидетельствуют, в частности, что численность и структура популяции ключевого вида арктического зоопланктона *Calanus glacialis*, составляющего до 60 % всей биомассы зоопланктона, тесно связаны с режимом морских льдов в районе его обитания. В условиях сокращения и изменения структуры ледового покрова отмечены существенные изменения в популяции этого вида, наиболее значимая корреляция для которого отмечена с концентрацией морских льдов.

ARCTIC CLIMATE CHANGE: FUNDAMENTAL PROBLEMS OF THE PROACTIVE ADAPTATION

V.M. Kattsov (MGO)

ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В АРКТИКЕ: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ УПРЕЖДАЮЩЕЙ АДАПТАЦИИ

В.М. Катцов

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

director@main.mgo.rssi.ru

Арктика становится одним из важнейших объектов долгосрочных стратегий адаптации к происходящим и ожидаемым изменениям кли-

мата. Научное обоснование таких стратегий является ключевой задачей планирования на любом уровне и включает количественные оценки современных и будущих погодно-климатических рисков.

Планирование адаптации требует от нас ясного представления о перспективах глобального и региональных изменений климата, а значит — и о причинах наблюдаемых. Не понимая причин наблюдаемых изменений климата, мы не в состоянии прогнозировать, оценивать будущие, и, т.о. надлежащим образом заблаговременно адаптироваться. После впечатляющих и воодушевляющих успехов мировой климатической науки, подтвержденных очевидным успехом оценочных докладов МГЭИК, некоторые политические и общественные деятели поспешно заключили, что климатическая наука, в основном, выполнила свои задачи, так что остается лишь уточнить некоторые детали, уже не столь важные для процесса принятия решений.

На самом деле, профессиональное научное сообщество признает, что наше понимание механизмов климатических изменений еще страдает существенными пробелами, связанными с недостатком данных наблюдений и состоянием моделирования климата. Восполнение этих пробелов являются необходимым условием уточнения оценок будущих изменений климата, в частности, в Арктике. Кроме того, каков бы ни был прогресс в наблюдениях и моделировании, хаотическая природа климатической системы всегда будет вносить неопределенности в прогнозы, предопределяя таким образом их вероятностный характер.

В этих условиях необходимо научиться принимать наилучшие решения, касающиеся адаптации и смягчения негативных климатических воздействий. Научному сообществу предстоит большая работа по развитию возможностей, которые предоставляют современные высокие технологии, прежде всего, сложные физико-математические модели. Необходима интенсивная разработка методов, моделей и технологий, обеспечивающих адекватное использование результатов климатического моделирования. Развитие методов интерпретации модельных климатических данных для прикладных целей следует рассматривать как остро актуальную область исследований.

Некоторые из представленных результатов были получены в рамках проектов, поддержанных РФФ (грант 16-17-00063) и РФФИ (грант 18-00-00596).

MESOSCALE VARIABILITY OF THE WORLD OCEAN DYNAMICS

R.A. Ibrayev (INM RAS)

МЕЗОМАСШТАБНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ДИНАМИКИ МИРОВОГО ОКЕАНА

Р.А. Ибраев

*Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, г. Москва,
Россия*

ibrayev@mail.ru

В докладе представлены результаты исследований по созданию компьютерной Системы Оперативной Океанологии глобального океана. Система Оперативной Океанологии состоит из совместной модели динамики океана INMIO и модели морского льда CICE, параллельного алгоритма ансамблевой оптимальной интерполяции (DAS-EnOI). Вся система работает под управлением компактной вычислительной платформы для моделирования CMF. Рассматриваются особенности и основные характеристики составляющих системы INMIO-CICE, DAS-EnOI, CMF.

Приводится пример работы модели Мирового океана $1/10 \times 1/10 \times 49$ INMIO, ее верификации. На картах температуры поверхности океана и картах течений показано многообразие динамических структур Мирового океана воспроизводимых в модели, включая особенности экваториальной зоны (апвеллинг, захваченные волны), полярные фронты, Антарктическое циркумполярное течение, меандрирование пограничных течений (Гольфстрим, Куро시오, Агульское и др.) и вихреобразование. Анализируется меридиональный перенос тепла океаническими течениями — глобальной характеристики, имеющей определяющее значение для климата Земли, но трудно поддающейся натурным наблюдениям.

С применением DAS-EnOI рассматриваются результаты исследования по прогнозу состояния океана с усвоением профилей температуры и солености (ARGO) и аномалия уровня океана (AVISO) в модели Северной Атлантики, которая является частью модели Мирового океана $1/10 \times 1/10 \times 49$.

Представляются предварительные результаты макета глобальной Системы оперативной океанологии с пространственным разрешением 0,25 градуса, созданного на базе Морского гидрофизического института РАН (г. Севастополь). В макете Системы оперативной океанологии усваивается мультивариантный вектор данных, состоящий из профилей ARGO для температуры и солености, спутниковых наблюдений уровня океана и сплоченности морского льда. В рамках этой системы разработана принципиально новая технология совместного усвоения данных (strong

coupled data assimilation) в двух моделях — ИВМИО (океан) и CICE (морской лед), работающих параллельно под управлением CMF3.0.

90 YEARS OF CLIMATE RESEARCH AT AARI

G.V. Alekseev(AARI)

90 ЛЕТ ИССЛЕДОВАНИЙ КЛИМАТА В ААНИИ

*Г.В. Алексеев**

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

alexgv@aari.ru

Исследования современного климата Арктики в ААНИИ начались с приходом в 1928 году в институт известного полярного исследователя Владимира Юльевича Визе. Его первые исследования были связаны с морскими льдами и ледовыми прогнозами. В этот период развивается потепление Арктики и В.Ю. занялся изучением его причин. Он обратил внимание на усиление циркуляции атмосферы, рост притока атмосферного и океанического тепла из Атлантики и считал их основными причинами потепления. Результаты исследований были опубликованы в нескольких статьях и обобщены в работах В.Ю. Визе (Причины потепления Арктики // Сов. Арктика. 1937. № 1; Климат морей Советской Арктики. Л. М.: Изд. Главсевморпути. 1940. 124 с.)

В 1932-1934 годах в Российской Арктике осуществлялась массовая организация метеорологических станций. К 1951 г. работала уже 81 станция. Во время проведения Международного геофизического года (1957/58 гг.) исследования распространились на центральную область Северного Ледовитого океана, на прилегающие к Арктике обширные районы суши и океана. Результаты наблюдений были обобщены в работах: З.М. Прик (Климат советской Арктики (метеорологический режим)); Н.Т. Черниговского, М.С. Маршуновой (Климат советской Арктики (радиационный режим)), вышедших в 1965 г., и выдвинувших авторов в лидеры полярной климатологии. В 1948/49 гг. были организованы аэрологические наблюдения на дрейфующем льду, а с 1950 г. регулярные выпуски радиозондов проводились на всех дрейфующих станциях «Северный полюс». Собранные материалы были обобщены в монографии И.М. Долгина «Климат свободной атмосферы Советской Арктики».

По мере развития знаний о процессах в атмосфере, морских льдах и океане Арктики укреплялась идея о необходимости учета их взаимодей-

ствия в развитии методов долгосрочных прогнозов погоды и колебаний климата. В 1967 г. под руководством А.Ф. Трешникова в ААНИИ был разработан план «Натурного эксперимента по взаимодействию океана и атмосферы» (НЭВ), цель которого — исследование процессов взаимодействия океана и атмосферы на акватории Северо-Европейского бассейна и прилегающей Северной Атлантики. В 1971 году программа НЭВ была включена в международную Программу исследований глобальных атмосферных процессов (ПИГАП) как подпрограмма «Полярный эксперимент» (ПОЛЭКС). Задачи ПОЛЭКСа состояли в количественной оценке роли атмосферы и океана в формировании энергетического баланса полярных областей Земли и изучении механизмов, которые формируют крупномасштабные изменения гидрометеорологических процессов в Арктике и Антарктике.

В ходе реализации программы был организован крупнейший за всю предшествующую историю полярных исследований эксперимент «ПОЛЭКС-Север-76». В работах, развернутых на акватории Северного Ледовитого океана и Северной части Тихого океана, были получены обширные данные наблюдений в атмосфере и океане Северной полярной области. Оценки переносов тепла в океане и атмосфере в Северо-Европейском бассейне подтвердили определяющую роль океанического притока тепла в этот район для формирования климатических и погодных условий в Арктике.

Выдающийся вклад в изучение Северного Ледовитого океана и морских льдов внесли Высокоширотные воздушные экспедиции «Север», выполнявшиеся в 1937, 1941–1993 гг. и дрейфующие станции «Северный полюс» (1937–1991 гг.). Собранные данные наблюдений были использованы при подготовке атласа «Северный Ледовитый океан» (1980) и «Атласа Арктики» (1985). Позднее они вошли в цифровые сеточные массивы климатических океанографических и метеорологических данных для Северного Ледовитого океана.

Современный этап исследований климата Арктики характеризуется широким использованием методов математического моделирования, вершиной которого явилось создание глобальных моделей климата. С их помощью была установлено, что причина начавшегося в конце 1970-х годов глобального потепления климата связана с антропогенным ростом содержания в атмосфере углекислого газа. В то же время в понимании механизмов потепления остаются существенные пробелы, особенно для Арктики, где модели показывают наибольшие расхождения с данными наблюдений.

С целью более детального учета в моделях процессов в Арктической климатической системе возрождаются крупномасштабные натурные эксперименты, начатые в период Международного полярного года 2007/8 и продолженные комплексными натурными исследованиями в Год полярного прогнозирования (2018), комплексной экспедицией «Трансарктика-2019», Междисциплинарной дрейфующей обсерваторией по изучению климата Арктики (MOSAIC, 2019-2020).

Наши и многие другие исследования подтвердили положение об основной роли атмосферных переносов тепла и влаги из Северной Атлантики в зимнем потеплении Арктики. Летом основной вклад в потепление вносят радиационные притоки тепла к поверхности, в том числе, нисходящая длинноволновая радиация вследствие роста содержания водяного пара за счет внутренних источников. При этом водяной пар в нижней тропосфере выносятся из Арктики. Летнее сокращение площади льда ведет к росту содержания водяного пара и нисходящей длинноволновой радиации и дальнейшему сокращению площади морского льда.

Поступление теплой и соленой воды из Северной Атлантики в Баренцево и Гренландское моря также влияет на потепление и сокращение площади морских льдов в Арктике. В.Ф. Захаров в 1970-е годы установил, что южная граница распространения морского льда в приатлантической Арктике в конце зимы совпадает с границей между соленой и теплой водой и опресненной и холодной водой арктического происхождения. Увеличение притока воды из Атлантики в последние два десятилетия повлияло на состояние морского льда, на повышение температуры и увеличение объема воды атлантического происхождения в Арктическом бассейне.

Рост атмосферных переносов тепла в Арктику связан с изменениями циркуляции атмосферы в Северном полушарии под влиянием аномалий температуры поверхности океана (ТПО) в низких широтах, где запасается основная часть притока тепла от Солнца. Влияние аномалий ТПО на зимний атмосферный перенос тепла в Арктику, температуру воздуха и площадь льда в Северном Ледовитом океане в низких широтах океанов проявляется спустя 2–3 года. Аномалии ТПО формируются с участием инсоляции низких широт океана, которая растет под влиянием прецессии, нутации, изменений расстояния между Землей и Солнцем, солнечной активности. Межгодовые изменения инсоляции малы, но их эффект усиливается обратными связями между ТПО, содержанием водяного пара и нисходящей длинноволновой радиацией. При этом аномалии ТПО в низких широтах влияют и на протяженность морского льда в Антарктике, причем противоположным Арктике образом.

В докладе используются результаты грантов РФФИ 15-05-03512, 18-05-00334, 18-05-60107

**GLOBAL CLIMATE REGIME CHANGE AT THE TURN
OF 20–21 CENTURIES AND WARMING IN THE ARCTIC**

V.I. Ponomarev, E.V. Dmitrieva, Shkorba S.P.(POI FEB RAS)

**ИЗМЕНЕНИЕ ПЛАНЕТАРНОГО КЛИМАТИЧЕСКОГО РЕЖИМА
НА РУБЕЖЕ XX – XXI ВЕКОВ И ПОТЕПЛЕНИЕ В АРКТИКЕ**

В.И. Пономарев, Е.В. Дмитриева, С.П. Шкорба*

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения РАН, г. Владивосток, Россия

** pvi711@yandex.ru*

Быстрые изменения климатических характеристик системы океан-атмосфера в крупномасштабных районах Земли часто называют сдвигами климатического режима. На основе анализа данных метеорологических и океанографических наблюдений многими авторами определены характерные особенности сдвига климатического режима в атмосфере и океане как в середине 70-х годов XX века, так и на рубеже XX–XXI столетий. Отмеченные быстрые климатические изменения, как правило, имеют противоположную направленность во многих крупномасштабных районах океанов и континентов. Как показано в известных работах зарубежных исследователей эти изменения проявляется на планетарном масштабе глобального потепления. В последние два десятилетия XX-го века после сдвига климатического режима в середине 70-х лет наблюдался наибольший рост средней глобальной температуры воздуха на уровне моря, у поверхности Земли и в нижней тропосфере. В начале XXI столетия рост этих средних значений температуры воздуха значительно уменьшился и наблюдается выраженная межгодовая осцилляция этих величин. В первые 20 лет текущего столетия пауза в интенсивном глобальном потеплении (Trenberth, Fasullo, 2013; Yan, et al., 2016) наступила при условии по-прежнему значительного роста как содержания углекислого газа в атмосфере, так и содержания основного парникового газа – водяного пара.

При этом, как показано в работах В.И. Бышева с соавторами (ИО РАН) в энергоактивных зонах умеренных широт Тихого и Атлантического океанов северного полушария в последние двадцать пять лет XX-го века происходило существенное уменьшение теплосодержания деятельного слоя океана по отношению к предшествующему многолетнему периоду (1958–1974). С 2000 же года по настоящее время вновь происходит

увеличение теплосодержания деятельного слоя океана в этих энергоактивных районах.

В нашей работе отмеченные климатические режимы выделены с использованием методов фазовых траекторий, кластерного анализа и разложения совокупности временных рядов многих характеристик атмосферы и океана в различных энергоактивных районах и центрах действия атмосферы на эмпирические ортогональные функции. Исходными данными являлись средние месячные временные ряды температуры воздуха и атмосферного давления на уровне моря, осадков и содержания водяного пара в атмосфере, составляющих теплового баланса на поверхности океана и суши, составляющих скорости приземного ветра из метеорологического реанализа NCEP с горизонтальным разрешением одна четвертая градуса широтно-долготной сетки с 1948 по 2019 гг. Использовались также сеточные поля температуры поверхности океана из архива Рейнольдса за тот же многолетний период.

Исходные средние месячные сеточные поля усреднялись за гидрологические сезоны и за год, а также в районах центров действия атмосферы и энергоактивных районах Мирового океана, расположенных в различных широтных зонах нашей планеты. Многие районы Тихого, Индийского и Южного океанов выделены с учетом кластерного анализа временных рядов аномалий исследуемых характеристик и их статистических взаимосвязей с климатическим индексом Глобальной Атмосферной Циркуляции, предложенным В.И. Бышевым (ИО РАН). Временные ряды аномалий рассматриваемых величин, как правило, сглаживались трехлетним скользящим осреднением для фильтрации квазидвухлетних колебаний. Аналогичные оценки изменения климатических режимов, выполненные с использованием несглаженных рядов, не имеют принципиальных отличий.

В результате показано, что отмеченные климатические режимы хорошо выделяются при анализе фазовых траектории первых двух мод разложения множества временных рядов различных характеристик системы океан-атмосфера, включая результирующий и турбулентные потоки тепла на поверхности в различных районах Тихого, Индийского и Южного океанов. При изменении климатического режима в 70-е годы XX-го века и на рубеже XX–XXI веков во многих крупномасштабных районах этих океанов знак аномалии как результирующего, так и турбулентных потоков тепла на поверхности раздела океан-атмосфера изменялся на противоположный. Эти изменения соответствуют смене фаз мультидекадных колебаний, хорошо выраженных, как в тепловом балансе поверхности океанов, так и в индексе Глобальной атмосферной осцилляции.

В центральной части тропической зоны Атлантического океана и в восточной части тропического пояса Тихого океана в начале XXI века уменьшаются скрытый и явный турбулентные потоки тепла в атмосферу. Уменьшаются турбулентные потоки тепла в атмосферу в районах субарктической зоны Тихого и Атлантического океанов, а также в южных субантарктических районах Мирового океана. В тропической и субтропической зонах Индийского океана, западных районах этих зон в Тихом и Атлантическом океанах в начале XXI века значительно увеличиваются испарение, скрытый и явный турбулентные потоки тепла от поверхности океана в атмосферу.

В этих районах интенсифицируется тропический и внетропический циклогенез, увеличивается содержание водяного пара в атмосфере. Во многих границах с океаном окраинных районах Азии, в том числе в Приморском крае Дальнего Востока России увеличилась повторяемость наводнений при прохождении тайфунов и интенсивных внетропических циклонов. В северной части Тихого океана усилились меридиональные переносы тепла и водяного пара с атмосферными реками и циклонами в окраинные моря восточной Арктики, где в XXI веке наблюдается значительная отрицательная аномалия приземного атмосферного давления и уменьшение ледовитости.

Работа выполнена при финансовой поддержке Приоритетной программы ДВО РАН «Дальний Восток» грант 18-1-010, и основной госбюджетной Темы № 5 «Исследование основных процессов, определяющих состояние и изменчивость океанологических характеристик дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана», (0271- 2016- 0005), Регистрационный номер: АААА-А17-117030110042-2.

COMPARATIVE ANALYSIS OF BIOTA OF SEA ICE ECOSYSTEMS OF THE ARCTIC AND ANTARCTIC

I.A. Melnikov (IO RAS)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БИОТЫ МОРСКИХ ЛЕДОВЫХ ЭКОСИСТЕМ АРКТИКИ И АНТАРКТИКИ

И.А. Мельников

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия

migor39@yandex.ru

В основу анализа положены материалы, полученные на дрейфующих льдах в Северном и Южном океанах. Основными объектами анализа являются растительные сообщества, связанные с постоянным или временным обитанием в морской водно-ледовой среде. Примеры круговоротов

Бофорта в Арктическом бассейне и круговорота Уэдделла в Южном океане дают возможность для проведения сравнительного анализа. В период квазистационарного климата, в центральной части Северного Ледовитого океана морской многолетний ледовый покров на 80 % постоянный, а сезонные льды характерны только для Арктических морей. В Южном океане, напротив, сезонный характер проявляется более чем на 80 % его площади, и постоянный ледовый покров наблюдается лишь в отдельных районах, например, в западной части моря Уэдделла и в море Росса. На основе анализа видового состава ледовых водорослей, развивающихся в этих биполярных системах, выявлено структурное соответствие между растительными сообществами, когда в сходных условиях у противоположных полюсов из разного набора растительных форм формируются сообщества со сходными чертами. В современный период потепления в составе ледового покрова Северного и Южного океанов выявлены изменения, которые особенно явно проявляются в морской Арктике, где наблюдается смена доминирования многолетних льдов сезонными льдами. По данным многолетних наблюдений в районе Северного полюса установлено заметное изменение качественного и количественного состава водорослей морского льда, видовой состав которого проявляет черты, характерные для сезонных антарктических морских льдов. Поскольку растительная ледовая биота является основой трофической сети, и если такая тенденция сохранится, то со временем функционирование морской экосистемы Арктики будет сходной с функционированием морской экосистемы Антарктики.

THREE DECADES OF RUSSIAN-GERMAN COOPERATION IN THE SIBERIAN SHELF SEAS: RESEARCH AND EDUCATION

V.V. Ivanov^{1,2*}, H. Kassens³, I.E. Frolov², J. Hoemann⁴, S.M. Priamikov²,
J. Thiede⁵, L.A. Timokhov², V.V. Povazhny²

¹ — Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

² — State Scientific Center of the Russian Federation Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

³ — GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel, Kiel, Germany

⁴ — AWI Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel, Bremerhaven, Germany

⁵ — Köppen-Laboratory, Institute of Earth Sciences, Saint Peterburg State University, St. Petersburg, Russia

* vladimir.ivanov@aari.ru

For almost three decades, many Russian-German research groups have been carrying out joint research in the Siberian Shelf Seas — in particular the Laptev Sea — within the framework of the Agreement on Cooperation in the Field of Polar and Marine Research between Russia and Germany.

Various fields of interest have been tackled during this time such as the climate history since the last glacial, the pronounced changes in this region as a result of climate change as well as offshore permafrost in the Laptev Sea. A total of 25 TRANSDRIFT expeditions with icebreakers, research vessels and helicopters were carried out. More than 500 scientists, above all students and young scientists, participated in the expeditions.

In the 2010s, Russian-German cooperation in Arctic research moved to a qualitatively new level: the implementation of large multidisciplinary projects co-financed by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation and the Federal Ministry of Education and Research of Germany. An example of the success of this approach was the project “The Changing Arctic Transpolar System”, which started in 2017. The project organizer from the Russian side is AARI, and from the German side GEOMAR. The project focuses on the study of interconnected physical, chemical, biological and geological processes in the Arctic Transpolar System (ATS), which is defined as a multicomponent physical object, the state of which determines the role of the Arctic Ocean in earth climate.

The scientific significance of the results obtained within the framework of the project is determined by the need for continuous monitoring of the state of the Arctic environment under conditions of rapid climatic changes, characterized by a high degree of uncertainty. It has now been reliably established that climate change in the Arctic is much faster than in other areas due to the so-called “Arctic amplification” effect. According to the scenarios of the International Panel on Climate Change (IPCC), under increasing greenhouse gas emissions between 2010 and 2080 the average winter temperatures in the Arctic region will rise by 3–10 degrees C, and by the end of this century up to 20 degrees C. The warming in the Arctic has already had a direct impact on terrestrial, freshwater and marine ecosystems. The increased frequency of natural hazards, such as polar mesocyclones, extreme storms, ice rains, etc. are directly related to the ongoing warming.

A rapid increase in air temperature in the 1990s led to an “instant” (on a climatic time scale) change in the ice regime of the Arctic Ocean — a shift to a reduced area of ice cover at the peak of the seasonal minimum (in September) by an average of 22 ± 8 % of the average climatic norm for the available range of satellite observations (1979–2019). This transition has thermal effect on the water column as a result of the unbalanced heat input at the ocean-air interface. Due to the large inertia of the ocean, this effect began to appear not immediately, but after several years. Within the framework of the completed project, the basic patterns of changes in hydrometeorological and biological processes in the Laptev Sea and the adjacent deep-water part of the Arctic Basin that began in

the 2010s were revealed. It was established that in the 2010s, the inverse thermal effect of the ocean on the ice cover and the Arctic atmosphere increased. This effect is expressed: (1) in the strengthening of the heat flux directed to the surface of the ocean from the intermediate layer of waters of Atlantic origin — the so-called “atlantification”; (2) in an increase in the amount of heat accumulated in the upper layer of the ocean in the summer season and released to the atmosphere in the subsequent winter season. Very probably these changes have a number of far-reaching consequences for other components of the ATS. Under the conditions of reduced ice cover, the activation of a positive feedback in the ocean-ice-atmosphere system due to the albedo mechanism contributes to the formation of a seasonal “memory” in the system and further reduction of the Arctic sea ice cover with possible consequences for the climatic and weather conditions in the Arctic Ocean and adjacent continents. The delay in the onset of ice formation in the Laptev Sea has already noticeably affected the vertical structure of the water, which was established according to hydrological observations in the Shokalsky Strait, performed in the winter season of 2019. In these years, throughout October, the month of active ice formation and freezing of the active soil layer, the Severnaya Zemlya archipelago was surrounded by open water. This circumstance, along with the features of the atmospheric circulation, led to temperature and humidity conditions of both the surface layer of the atmosphere and the lower troposphere that were abnormal in comparison with the previous years and recorded at the AARI research station on Cape Baranova, Sebernaya Zemlya archipelago. The revealed change in the hydrochemical characteristics of the water masses indicates the above-mentioned increase in the influence of Atlantic waters on the hydrological and hydrochemical regime of the Laptev Sea. At the same time, increased volumes of mineralization of organic matter in the surface layer, an increase in the duration of the growing season due to a decrease in the area of sea ice, despite a slight weakening of the supply of nutrients from the bottom layer, might lead to an increase in primary production in the future.

An important component of Russian-German scientific cooperation is the education of a new generation of polar researchers. Since 1999 the Otto Schmidt Laboratory for Polar and Marine Research (OSL) has provided scientists, PhD students and students from more than forty German and Russian universities and research institutes with a platform for their joint research. Furthermore, the OSL fellowship program, with more than 200 funded projects, was successfully carried out. To introduce students to polar and marine sciences and include them in the joint research work from an early stage of studies, the Master Program for Polar and Marine Sciences (POMOR) was established. POMOR is accredited at the St. Petersburg State University and the University of Hamburg.

INVESTIGATION OF THE BARENTS SEA UPPER LAYER RESPONSE TO THE PASSAGE OF THE EXTREME POLAR LOWS

*N.A. Diansky** (SOI, MSU, INM RAS), *I.I. Panasenкова* (SOI),
V.V. Fomin (SOI, INM RAS).

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТКЛИКА ВЕРХНЕГО СЛОЯ БАРЕНЦЕВА МОРЯ НА ПРОХОЖДЕНИЕ ИНТЕНСИВНЫХ ПОЛЯРНЫХ ЦИКЛОНОВ

Н.А. Дианский^{1,2,3*}, *И.И. Панасенкова*¹, *В.В. Фомин*^{1,3}

¹ — Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова,
г. Москва, Россия

² — Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
г. Москва, Россия

³ — Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН,
г. Москва, Россия

* *nikolay.diansky@gmail.com*

В работе проведен анализ реакции верхнего слоя Баренцева моря на прохождение полярных циклонов. Полярный циклон (ПЦ) — это интенсивный мезомасштабный циклон, формирование которого обычно происходит к северу от полярного фронта, в результате проникновения холодных воздушных масс с покрытой льдом поверхности на относительно теплую морскую поверхность, свободную ото льда. Горизонтальный размер ПЦ не превышает 1000 км, а скорость ветра превосходит 15 м/с (Rasmussen and Turner, 2003). Средняя продолжительность существования ПЦ составляет около 10–18 ч, и как правило не превышает трех дней (Нестеров, 2018). ПЦ регулярно наблюдаются на акватории Баренцева моря, особенно в холодный период (с октября по апрель).

Арктические ПЦ являются более интенсивными по сравнению с антарктическими, учитывая большие потоки тепла и влаги с поверхности морей, которые служат основным источником их энергии (Анискина и др., 2016). ПЦ приводят к ухудшению погодных условий, возникновению штормовых ветров и экстремального волнения, к обледенению судов и сооружений, ухудшению видимости, что, в свою очередь, представляет опасность для проведения хозяйственных работ по освоению и добыче полезных ископаемых в шельфовой зоне арктических морей. Кроме того, глубокие ПЦ могут вызывать штормовые нагоны, особенно в Белом и Печорском морях (Нестеров, 2018).

Для изучения отклика верхнего слоя моря на прохождение ПЦ используется система оперативного диагноза и прогноза гидрометеорологических характеристик для западных морей российской части Арктики

(Баренцево, Белое, Печорское и Карское моря), реализованная в ФГБУ «ГОИИ». Эта система состоит из региональной негидростатической модели атмосферной циркуляции *WRF* (Weather Research and Forecast model) с пространственным разрешением 15 км для расчета метеорологических параметров и трехмерной σ -модели морской циркуляции *INMOM* (Institute of Numerical Mathematic Ocean Model) с пространственным разрешением 2,7 км для расчета гидрологических параметров и ледовых характеристик. Небольшие размеры ПЦ и короткое время их жизни сильно затрудняет их обнаружение и прогноз перемещения. Однако, модель *WRF* с используемым пространственным разрешением способна воспроизводить мезомасштабные атмосферные процессы.

Полярный циклон, который наблюдался над акваторией Баренцева моря в начале января 1975 г., является одним из наиболее интенсивных и продолжительных (время жизни ПЦ составило около 5 суток), начиная с 50-х гг. XX в. и до настоящего времени. В 1975 г. наблюдалось уменьшение температуры воздуха в Северном полушарии, что могло способствовать интенсификации этого ПЦ в связи с увеличением разности приповерхностной температуры воздуха и открытой воды в арктических морях. В работе (Дианский и др., 2019) проведен ретроспективный расчет морской циркуляции в период прохождения шторма. По результатам численного моделирования показано, что в результате действия сильных штормовых ветров в центральной и восточной частях Баренцева моря происходят значительные изменения скорости приповерхностных течений, которые могут превышать 2,5 м/с. Помимо этого формируются области с положительными аномалиями температуры поверхности моря, не характерные для циклонов средних и низких широт. Происходит повышение приповерхностной температуры до 1,5 °C у южных берегов Шпицбергена и ~1 °C в центральной части Баренцева моря и у западных берегов Новой Земли. Основными процессами, приводящими к положительной аномалии температуры поверхности моря, являются динамические процессы: вертикальное перемешивание и апвеллинг вод в западной и центральной частях Баренцева моря и экмановский дрейф и даунвеллинг вдоль побережья Новой Земли. В результате этих процессов при наличии инверсии температуры по глубине происходит поступление более теплых атлантических вод (с 50–100 м) в верхний перемешанный слой. Влияние теплообмена с атмосферой на формирование положительных аномалий температуры поверхности моря незначительно. В южной части Баренцева и в Печорском морях в результате прохождения полярного циклона происходит понижение поверхностной температуры на ~ 1,5 °C в результате атмосферного выхолаживания верхнего слоя моря за счет отрицательных тепловых потоков с поверхности моря и южных штормовых ветров, индуцируемых на периферии полярного циклона.

В связи с текущими изменениями климата и быстрым потеплением Арктики вопрос о частоте образования ПЦ остается открытым. В работе (Rinke et al., 2017) показано, что оно приводит к увеличению частоты образования мощных ПЦ. С другой стороны, в работе (Zahn et al., 2010), посвященной анализу будущих изменений климата в XXI в., прогнозируется существенное уменьшение появления ПЦ в результате сокращения площади морских льдов и постепенного смещения ледовой кромки в северном направлении, что является одним из условий для образования ПЦ. Для изучения влияния ПЦ на акваторию Баренцева моря в качестве современного периода был выбран холодный период 2013–2014 гг. (ноябрь–апрель). За рассматриваемый промежуток времени на акватории моря были обнаружены полярные циклоны, которые по сравнению с циклоном начала 1975 г. были не такие глубокие и интенсивные. Следует отметить, что 2013 и 2014 гг. входят в десять наиболее теплых лет за период с 1880 по 2019 гг. согласно данным климатического отчета NOAA за 2019 г. (<https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201913>). Хотя каждый ПЦ уникален по своим размерам, интенсивности, продолжительности и траектории перемещения, выявлено, что прохождение ПЦ и в период 2013–2014 гг. приводит к локальным изменениям температуры поверхности моря, а в случае наличия инверсии температуры по глубине совместно с динамическими процессами (вертикальным перемешиванием и адвекцией вод), индуцированными ПЦ, — к повышению температуры поверхности моря.

**THE ARCTIC OCEAN CLIMATE REGIONALISATION
BY THE NEW COUPLED OCEAN-SEA ICE MODEL**

N.G. Iakovlev (INM RAS, IBRAE RAS), I.A. Chernov (IAMR KarRC RAS)*

**РЕГИОНАЛИЗАЦИЯ КЛИМАТА СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО
ОКЕАНА С ПОМОЩЬЮ НОВОЙ СОВМЕСТНОЙ МОДЕЛИ
ОКЕАНА И МОРСКОГО ЛЬДА**

Н.Г. Яковлев^{1,2}, И.А. Чернов³*

¹ — *Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН,
г. Москва, Россия*

² — *Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН,
г. Москва, Россия*

³ — *Институт прикладных математических исследований
Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск, Россия*

** nick_yakovlev@mail.ru*

В докладе представлена специализированная региональная модель динамики вод и морского льда Северного Ледовитого океана FEMAO 2.0 (Finite-

Element Model of the Arctic Ocean версия 2.0), предназначенная для регионализации прогнозов изменения глобального климата в составе совместной модели океана и атмосферы PolarWRF-FEMAO. Регионализация результатов исторических и прогнозных декадных экспериментов модели Земной Системы ИВМ РАН INMCM5 будет проводиться стандартным образом с помощью использования внешних граничных условий в океане и атмосфере, задаваемых из данных соответствующих экспериментов с глобальной моделью. Будет проведено сравнение с результатами, полученными с глобальной моделью Земной Системы высокого разрешения INMCM5H (с пространственным разрешением в атмосферном блоке $0,5 \times 0,66^\circ$ и в океанском порядке $0,15^\circ$). Необходимость проведения регионализации вызвана тем, что глобальная модель Земной Системы высокого разрешения крайне дорога с вычислительной точки зрения, и, кроме того, океанский блок этой модели (модель океана и морского льда INMOM) демонстрирует значительные систематические ошибки даже при высоком пространственном разрешении.

Модель FEMAO 2.0 использует традиционные предположения крупномасштабной динамики океана. Динамическая модель дополнена блоком расчета коэффициентов вертикальной турбулентной диффузии/обмена, основанной на модели Меллора-Ямады уровня 2,5, и согласованной с блоком динамики океана с точки зрения закона сохранения энергии. В предыдущих версиях в модели эволюции вертикальной турбулентности Меллора-Ямады уровня 2,5 использовалась параметризация для описания дополнительного потока энергии турбулентных пульсаций, вызванного ветровыми волнами. В новой версии добавлен учет изменения масштаба длины перемешивания, связанный с ветровыми волнами. Сделанные модификации улучшают воспроизведение структуру верхнего слоя океана в свободном ото льда океане. Реализован физических параметризаций, важных для моделирования Северного Ледовитого океана даже при высоком пространственном разрешении: переносы скаляров мезо- и субмезомасштабными вихрями, склоновая конвекция и проникающая конвекция под неоднородным льдом.

Динамика льда рассчитывается в предположении эллиптической вязко-пластичной реологии. Функция распределения льда по толщине аппроксимируется большим числом (15) категорий. Численная схема интегрирования по времени аналогична модели FESIM (AWI- Bremerhaven). Прочность льда рассчитывается с учетом эволюции функции распределения толщины льда в процессе торошения по схеме, схожей с моделями CICE, LIM3. Термодинамики льда рассчитывается либо на основе многослойной схемы с учетом соляных карманов, либо с использованием оригинальной реализации простой 0-мерной модели в предположении нулевой теплоемкости льда и снега. Для учета эволюции снежиц в совместной модели циркуляции океана и морского льда FEMAO 2.0 реализована

подмодель их термодинамической эволюции и переноса (в предыдущей версии FEMAO 1.0 снежицы учитывались неявно как изменение альбедо поверхности снега или льда при достижении температуры -1 °C).

Принципиальное значение для моделирования полярного океана имеет использование монотонных схем переноса скаляров: температуры, солености, массы и сплоченности льда, массы снега, объема снежиц и т.п. Помимо монотонности, эти схемы должны иметь низкую вычислительную диффузию, так как фоновая турбулентность в Северном Ледовитом океане относительно мала. В версии 2.0 применяются двушаговые схемы Тейлора-Галеркина третьего порядка по времени с коррекцией потоков. Помимо более высокой точности, эти схемы вычислительно более устойчивы и позволяют использовать в несколько раз (до 8) большие шаги по времени.

Модельная область строится в повернутой сферической системе координат так, что Северный полюс модельной системы координат переносится на географический экватор в Тихий океан. Это позволяет устранить особенность на полюсе и оптимизировать отношение площади, покрытой океаном, к общей площади модельной области. Дополнительные требования, которые предъявлялись к модельной области, следующие: модельная область СЛО должна лежать внутри модельной области Арктического реанализа (AR) высокого разрешения (15 км); задание открытой границы в Северной Атлантике должно учитывать положение фронта, связанного с Североатлантическим течением и не включать в себя участки с сильными струйными течениями; модельная область должна включать в себя Гудзонов залив, Берингово и Белое моря. В идеале маска области океана должна совпадать с маской, используемой в мезомасштабной модели динамики атмосферы PolarWRF (<http://polarmet.osu.edu/PWRF/>). Это будет сделано при реализации совместной модели атмосферы и океана PolarWRF-FEMAO. Разрешение модели составляет $0,125^\circ$ в новой системе координат (что не хуже, чем 14 км), вертикальная z-сетка насчитывает 52 горизонта со сгущением до шага 2 м у поверхности.

Для дальнейшей работы код модели FEMAO, написанный в стандарте FORTRAN-77, был полностью переписан в формате Fortran 90/95. Проведены работы по запуску модели FEMAO на многопроцессорных вычислительных системах с распределенной памятью. При этом используется разработанный в ИВМ РАН оригинальный пакет параллельных обменов, в основе которого лежит разбиение расчетной области на небольшие блоки и последующее их распределение по процессорам с применением метода кривых Гильберта. Показана хорошая масштабируемость на многопроцессорной системе Межведомственного Суперкомпьютерного центра РАН, за сутки на 1000 ядрах считается 10–20 лет модельного времени (в зависимости от конфигурации), это позволяет говорить о возможности проведения ансамблевых расчетов.

В докладе представлены предварительные результаты расчетов и обсуждаются возможности применения совместной модели не только для прогнозов климата Арктики, но и для краткосрочных прогнозов состояния вод и морского льда.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ-18-05-60184-Арктика. Расчеты выполнялись на вычислительных системах Межведомственного Суперкомпьютерного центра РАН.

ARCTIC GAIN FROM OBSERVATIONS AND MODELS

L.P. Bobylev (Foundation "NANSEN-CENTRE"),
O.M. Johannessen (Nansen Science Society),
S.I. Kuzmina (Foundation "NANSEN-CENTRE"),
I.L. Bashmachnikov (Foundation "NANSEN-CENTRE"),
M.M. Latonin (Foundation "NANSEN-CENTRE", SPBU).*

АРКТИЧЕСКОЕ УСИЛЕНИЕ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ И МОДЕЛЕЙ

Л.П. Бобылев, О.М. Йоханнессен, С.И. Кузьмина, И.Л. Башмачников,
М.М. Латонин*

¹ — *Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена, Санкт-Петербург, Россия*

² — *Научное общество им. Нансена, Берген, Норвегия*

³ — *Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Россия*

** leonid.bobylev@niersc.spb.ru*

Глобальное потепление, начавшееся в начале 80-х годов прошлого столетия и продолжающееся в настоящее время, наиболее интенсивно выражено в Арктике, где оно приблизительно в два раза больше среднего по земному шару. Это явление ускоренного потепления в Арктике известно как Арктическое усиление (АУ). В общем, подобное ускорение глобальных температурных изменений присуще также и Антарктике, однако там в нынешних условиях оно проявляется весьма слабо. В любом случае мы имеем дело с более общим явлением — Полярным усилением. Говоря научным языком, Полярным усилением называется явление, при котором зонально-усредненные изменения приповерхностной температуры воздуха под воздействием внешнего радиационного форсинга являются большими в высоких широтах, чем средние глобальные. Концепция полярного усиления изменений температуры поверхности Земли под воздействием изменений концентрации парниковых

газов в атмосфере была предложена в 1896 г. шведским ученым Сванте Аррениусом.

Полярное усиление, особенно в Арктике, является устойчивой, или как говорят, робастной, особенностью глобальной климатической системы, проявляющейся и в климате давнего прошлого, и в современном климате, и в проекциях климата будущего при условии дальнейшего увеличения концентрации парниковых газов в атмосфере. Прошедшее десятилетие ознаменовалось определенными достижениями в исследовании и понимании Полярного усиления. Однако, его механизмы и их относительная роль до сих пор остаются достаточно неясными. В общем плане Полярное усиление является результатом взаимодействия различных обратных связей, действующих в полярных регионах, с одной стороны, и в тропиках и средних широтах, с другой, а также обмена энергией между этими частями земного шара. *В целом, климатические обратные связи являются менее стабилизирующими (т. е., параметры обратных связей являются менее отрицательными или более положительными) в полярных регионах, чем в тропиках и средних широтах. Это и объясняет большие изменения температуры в высоких широтах в ответ на возмущение.* Наиболее важными обратными климатическими связями для Арктического усиления являются обратные связи вертикального градиента температуры, Планка, альbedo-лед, водяного пара и облаков.

Для количественной оценки АУ с целью изучения его механизмов требуется детальный анализ изменчивости и трендов приповерхностной температуры воздуха (ППТВ) в Арктике и за ее пределами. Тренды ППТВ в Арктике за недавние десятилетия обсуждались в ряде работ. Однако величины трендов и их интерпретация весьма значительно зависели от авторов отдельных работ. Эта несовместимость различных результатов может быть объяснена недостаточным пространственным и временным покрытием Арктики имеющимися данными инструментальных наблюдений, различием в анализируемых периодах и использованных статистических методах анализа, личной точкой зрения конкретного автора на проблему антропогенного потепления. В настоящее время для количественной оценки Арктического усиления применяется ряд метрик. Нами предложена новая метрика, в соответствии с которой Индекс Арктического усиления (ИАУ) определяется как отношение абсолютных значений 30-летних линейных трендов аномалий приповерхностной температуры воздуха в Арктике и северном полушарии.

Нами выполнены расчеты и анализ изменчивости и трендов ППТВ в Арктике, средних широтах и северном полушарии в целом, а также Индекса Арктического усиления для периода 1900–2014 гг. В качестве

исходных данных по приповерхностной температуре воздуха для периода 1900–2008 гг. были использованы базы данных HadCRUTEM3 для широтной зоны 0–40° с.ш. и NansenSAT для средних широт 40–65° с.ш. и Арктики 65–90° с.ш. Для периода 2009–2014 гг. для всего северного полушария был использован реанализ ERA-Interim. По этим данным были рассчитаны и интерполированы на единую сетку 2,5°×2,5° среднемесячные значения ППТВ для всех рассматриваемых широтных зон и для всего периода 1900–2014 гг. Затем были рассчитаны аномалии ППТВ относительно периода 1961–1990 гг.

На временном ходе аномалий ППТВ за период 1900–2014 гг. для всех сезонов и трех широтных зон четко проявляются два периода потепления — раннее потепление XX-го века в 1920–1940-х гг. и современное потепление, начавшееся в начале 80-х годов прошлого века и продолжающееся в настоящее время, а также период похолодания между ними в 1960-х – 1970-х годах с наложенной большой межгодовой изменчивостью температуры. Для каждого из этих периодов абсолютные аномалии ППТВ являются наибольшими зимой и наименьшими летом. Для зимы, весны и осени абсолютные аномалии ППТВ наибольшие в Арктике, особенно зимой. Современное потепление проявляется сильнее во всех широтных зонах и во все сезоны, чем раннее потепление.

Что касается 30-летних линейных трендов ППТВ, то их абсолютные значения являются наибольшими зимой, весной и осенью в Арктике для обоих периодов потепления и периода похолодания. Наибольшие тренды по абсолютной величине наблюдаются в Арктике для раннего потепления и последующего похолодания зимой. В Арктике зимой тренд ППТВ для раннего потепления был больше, чем для современного потепления. Обратная ситуация наблюдается для весны и осени: тренды потепления в Арктике для современного потепления превышают тренды для раннего потепления. Среднегодовые тренды также являются наибольшими по абсолютной величине в Арктике для обоих потеплений и похолодания. Среднегодовой тренд потепления в Арктике для современного потепления больше, чем для раннего потепления.

Рассчитанный временной ход Индекса Арктического усиления показал следующее. Значительное усиление наблюдалось в раннем потеплении зимой, весной и осенью. Для зимы его величина была в диапазоне 3–6, для весны и осени — 1,5–3. Во время последующего похолодания усиление наблюдалось во все сезоны и его величина была даже выше, чем в раннее потепление: ИАУ варьировался от 2 до 9 с наибольшими значениями зимой и весной. Современное потепление характеризуется существенно меньшими значениями ИАУ, чем предыдущие потепление

и похолодание — ИАУ = 1–4. Усиления не наблюдается летом, зимой оно умеренное, весной же и осенью усиление более выражено. Однако, наблюдается тенденция к возрастанию Арктического усиления в конце рассматриваемого периода во все сезоны, особенно зимой.

Климатические модели предсказывают дальнейшее потепление климата Земли и его усиление в полярных регионах, особенно в Арктике (см. Collins et al., 2013). Даже при достижении целей Парижского соглашения, т. е. ограничения роста температуры в 1,5–2,0 градуса относительно пре-индустриального уровня к 2050-м годам, средняя температура в Арктике за счет Арктического усиления возрастет на 5–6 градусов (см. Graff et al., 2019).

NONLINEAR PHENOMENA IN THE HIGH LATITUDE IONOSPHERE INDUCED BY POWERFUL HF RADIO WAVES AT EISCAT

N.F. Blagoveshchenskaya (AARI), T.D. Borisova (AARI),
A.S. Kalishin (AARI), T.K. Yeoman (EISCAT),
I. Haggstrom (University of Leicester)*

ЯВЛЕНИЯ В ВЫСОКОШИРОТНОЙ ВЕРХНЕЙ ИОНОСФЕРЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ МОЩНЫХ КОРОТКИХ РАДИОВОЛН

Н.Ф. Благовецкая^{1}, Т.Д. Борисова¹, А.С. Калишин¹,
И. Хаггстром², Т.К. Йоман³*

¹ — ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

² — Европейская научная ассоциация EISCAT, Кируна, Швеция

³ — Университет Лёстера, Лестер, Великобритания

* nataly@aari.nw.ru

Изучение процессов взаимодействия мощных электромагнитных волн с ионосферной плазмой относится к числу активно развиваемых направлений исследований физики ионосферы. Особый интерес представляют исследования на высокоширотных КВ нагревных комплексах, где в силу особенностей поведения полярной ионосферы возможна генерация экстремально интенсивных явлений, принципиально невозможных в средних широтах.

Изучение явлений в высокоширотной верхней ионосфере (F -область), инициированных воздействием мощного электромагнитного излучения, представляет не только научный интерес, но имеет и сугубо практическое значение. Искусственные ионосферные возмущения, создаваемые

в прибрежной арктической зоне, оказывают критическое влияние на работу радиотехнических систем различного назначения, включая загоризонтную радиолокацию, системы связи (в том числе и спутниковые) и приводят к навигационным ошибкам при использовании ГЛОНАСС и GPS.

В данной работе выполнено обобщение, сравнение и анализ явлений, возникающих в высокоширотной F -области ионосферы при воздействии на нее мощных КВ радиоволн. Полученные результаты базируются на данных многочисленных экспериментов, выполненных специалистами ААНИИ на КВ нагревном комплексе EISCAT/Heating в 2011–2019 гг. в рамках Соглашения между Европейской научной Ассоциацией EISCAT и ААНИИ. КВ нагревной комплекс EISCAT/Heating (69,6° с.ш., 19,2° в.д.), расположенный в г. Тромсе, Норвегия, обеспечивает максимальную эффективную мощность излучения до 1200 МВт и не имеет аналогов в России как по своим техническим характеристикам, так и по географическому расположению.

Основной акцент при выполнении экспериментов на средствах EISCAT был сделан на комплексный анализ ионосферных эффектов воздействия мощных КВ радиоволн на основе использования как зарубежных высокоинформативных технических средств, так и собственных средств дистанционной диагностики. В качестве средств диагностики эффектов воздействия мощных КВ радиоволн использовались: EISCAT радар некогерентного рассеяния радиоволн (930 МГц) в Тромсе, когерентный КВ радар CUTLASS (SuperDARN) в Финляндии, а также средства дистанционной диагностики, установленные на НИС «Горьковская» вблизи С-Петербурга и на арктических станциях Росгидромета.

Суммируя результаты исследований на нагревном комплексе EISCAT/Heating, следует выделить следующее. Впервые обнаружено, что воздействие на высокоширотную F -область ионосферы мощных КВ радиоволн необыкновенной поляризации (X -мода), излучаемых с поверхности земли в направлении магнитного поля, приводит к генерации экстремально сильных искусственных ионосферных возмущений. Выполнено сравнение характеристик явлений, возбуждаемых воздействием мощных КВ радиоволн обыкновенной (O -мода) и необыкновенной (X -мода) поляризации. Детально рассмотрено поведение, условия генерации и характеристики мелкомасштабных искусственных ионосферных неоднородностей, параметров ионосферной плазмы (электронной концентрации и температуры), ленгмюровской и ионно-акустиче-

ской турбулентностей и спектральных характеристик узкополосного искусственного радиоизлучения ионосферы (в полосе ± 1 кГц относительно частоты нагрева) при О- и Х-нагреве.

Обнаружено, что только при Х-нагреве в направлении магнитного зенита происходит возбуждение разнообразных узкополосных спектральных компонент в спектре искусственного радиоизлучения ионосферы, которые регистрировались на значительном (более 1000 км) расстоянии от КВ нагревного комплекса. Впервые была создана и зарегистрирована искусственная аврора при нагреве высокоширотной *F*-области ионосферы мощной КВ радиоволной Х-поляризации. Искусственное оптическое излучение регистрировалось одновременно в двух линиях атомарного кислорода — красной (630 нм) и зеленой (557 нм), интенсивности которых достигали 1100 и 300 R соответственно. Обсуждаются возможные механизмы генерации искусственных ионосферных возмущений. Полученные результаты убедительно свидетельствуют о сильной модификации высокоширотной ионосферы и необходимости дальнейшего проведения работ в этой перспективной области исследования эффектов воздействия мощных КВ радиоволн на полярную ионосферу.

COMPLEX EXPERIMENT ON INVESTIGATION OF THE ARCTIC TROPOSPHERE COMPOSITION

P.N. Antokhin, M.Yu. Arshinov, B.D. Belan, S.B. Belan, D.K. Davydov, G.A. Ivlev, A.V. Kozlov, I.V. Ptashnik, D.E. Savkin, D.V. Simonenkov, G.N. Tolmachev, A.V. Fofonov (IAO SB RAS)*

КОМПЛЕКСНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ СОСТАВА ТРОПОСФЕРЫ РОССИЙСКОГО СЕКТОРА АРКТИКИ

П.Н. Антохин, В.Ю. Аршинов, Б.Д. Белан, С.Б. Белан, Д.К. Давыдов, Г.А. Ивлев, А.В. Козлов, И.В. Пташник*, Д.Е. Савкин, Д.В. Симоненков, Г.Н. Толмачев, А.В. Фофонов*

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирское отделение РАН, г. Томск, Россия

** bbd@iao.ru*

Ускоренное потепление в Арктике уже сказывается на изменении инфраструктуры, экономики и культуры людей живущих здесь. Оно проявляется во всех сферах окружающей среды: гидросфере, атмосфере, биосфере, таянии вечной мерзлоты и т.д. В связи с этим встают законо-

мерные вопросы: как потепление в Арктике влияет на состав воздуха и как соотносится с поступающими в регион примесями? Ответить на эти вопросы, также как и наметить план мероприятий по сохранению уязвимой природы Арктики, можно только на основании данных измерений и анализа прямых и обратных связей между потеплением климата и изменением состава воздуха.

На данный момент времени нет серийных средств для измерения вертикального распределения газовых и аэрозольных составляющих атмосферы. Исключение составляет лишь озон, для измерения которого созданы озонозонды. Решение проблемы мониторинга состава воздуха в Арктическом регионе, как и в других удаленных точках земного шара, связывали с развитием систем спутникового зондирования. Согласно обзора [Burrows J.P., Martin R. Satellite Observations of Tropospheric Trace Gases and Aerosols. Introduction // IGAC Newsletter. 2007, № 35, 2–7.], в 2007 году уже функционировало 15 типов космических аппаратов, измеряющих аэрозольный и газовый состав воздуха. Однако их эксплуатация показывает, что пока спутниковые данные не имеют необходимой для потребностей практики точности измерений [Tollefson J. Carbon-sensing satellite system faces high hurdles // Nature. 2016, v533, N7604, p. 446–447.]. Поэтому требуется совершенствование, как аппаратной, так и методической составляющих этого способа зондирования [Popkin G. Commercial space sensors go high-tech // Nature. 2017, v545, N7655, p. 397–398.; Costantino L., Cuesta J., Emili E., Coman A., Foret G., Dufour G., Eremenko M., Chailleux Y., Beekmann M., Flaud J.-M. Potential of multispectral synergism for observing ozone pollution by combining IASING and UVNS measurements from the EPS-SG satellite // Atmos. Meas. Tech., 2017, v.10, N4, p.1281–1298.].

Для восполнения недостающих данных зарубежные ученые широко используют для исследования вертикального распределения газовых и аэрозольных примесей над Арктическим регионом самолеты-лаборатории [Law K.S., Stohl A., Quinn P.K., Brock C.A., Burkhart J.F., Paris J.D., Ancellet G., Singh B., Roiger A., Schlager H. Arctic air pollution // BAMS. 2014, v.95, №12, p 1873–1895.; Roiger A., Thomas J.-L., Schlager H., Law K.S., Kim J., Schafner A., Weinzierl B., Dahlkotter F., Krisch I., Marelle L., Minikin A., Raut J.-C., Reiter A., Rose M., Scheibe M., Stock P., Baumann R., Clerbaux C., George M., Onishi T., Flemming J. Quantifying emerging local anthropogenic emissions in the Arctic region // BAMS. 2015, v.96, №3, p 441–460]. Самолетный метод исследования состава воздуха по вертикали сейчас признается эталонным [Wendisch M., Brenguier J.-L. (ed) Airborne Measurements for Environmental Research. Weinheim: Wiley-

VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2013. 655 p.], так как позволяет использовать прецизионные приборы и проводить измерения в контролируемых (им самим же) метеоусловиях, с хорошей привязкой в пространстве и времени. В силу административных границ иностранные самолеты-лаборатории не могут работать над российским сектором Арктики.

В Российском секторе Арктики исследование состава воздуха выполнялось только в приземном (приводном) слое воздуха на дрейфующих станциях или с борта научно-исследовательских судов. Авторами работы в последнее десятилетие удалось провести 2 небольшие летные кампании в Арктическом секторе России за счет финансирования зарубежными партнерами, которые вряд ли могут закрыть имеющийся пробел в данных. В результате складывается ситуация, когда в Арктике происходят необратимые процессы в окружающей среде, требующие немедленного реагирования, а информации об этом, в частности о состоянии атмосферы, даже оценочной, нет. В работе [Schmale J., Arnold S.R., Law K.S., Thorp T., Anenberg S., Simpson W.R., Mao J., Pratt K.A. Local Arctic air pollution: A neglected but serious problem // *Earth's Future*, 2018, N6. <https://doi.org/10.1029/2018EF000952>.] из-за отсутствия данных из российского сектора Арктики сделан мрачный вывод, что природоохранные и социально-экономические прогнозы для данного региона невозможны.

Для восполнения пробела в данных о вертикальном распределении газового и аэрозольного состава воздуха над Российским сектором Арктики предполагается выполнить в сжатые сроки (июль 2020 г.) на УНУ самолет-лаборатория Ту-134 «Оптик» зондирование атмосферы над акваториями всех морей Ледовитого океана: Баренцовым, Карским, Лаптевых, Восточно-Сибирским и Чукотским, предварительно его доработав. Помимо измерений состава атмосферы будет проведено зондирование верхнего слоя океана и регистрация спектральных характеристик подстилающей поверхности. Для измерения возможных выходов метана из газогидратов будет разработан и изготовлен лазерный локалатор (лидар), которых позволит провести измерения в приводном слое воздуха.

В ходе реализации проекта предполагается решить несколько задач:

- провести сравнение концентраций газовых и аэрозольных составляющих воздуха над акваторией разных морей российского сектора Арктики и по литературным данным над морями зарубежного сектора;
- определить различия в концентрациях между океаном и континентом;
- выполнить анализ вертикальных профилей с выделением основных стоков и источников, как над отдельными морями, так и над континентом;
- зафиксировать наличие или отсутствие выхода метана из газогидратов;

- оценить тенденции изменения концентраций путем сравнения с данными за предыдущие годы;
- произвести сопоставление самолетных и спутниковых данных для определения погрешности дистанционных измерений;
- поскольку в арктических регионах тропопауза опускается до 7–9 км, сделать анализ переноса озона из стратосферы через тропопаузу и, наоборот, аэрозоля из тропосферы в стратосферу;
- выполнить анализ синоптических процессов и обратных траекторий для оценки происхождения примесей в регионе;
- сопоставить спектральные характеристики подстилающей поверхности на границе океан–суша;
- сравнить данные зондирования лидаром хлорофилла со спектральными параметрами водной поверхности.

Целью данного сообщения является информирование научного сообщества и возможное согласование места и времени совместных работ с исследованиями, выполняемыми в регионе на научно-исследовательских судах.

Подготовка выполнена в рамках государственного задания по проекту П.10.3.2, регистрационный № АААА-А17-117021310142-5, сам проект будет выполняться при поддержке ФЦП соглашение № 05.619.21.0012, уникальный идентификатор соглашения RFMEFI61919X0012.

PERMAFROST EVOLUTION IN THE COASTAL ZONE AND ON THE SHELF OF EASTERN SIBERIA

M.N. Grigoriev (MPI SB RAS, IPGG SB RAS), D.Yu. Bolshiyarov (AARI),
P.P. Overduin (AWI), F. Günter (AWI)*

ЭВОЛЮЦИЯ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ И НА ШЕЛЬФЕ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

М.Н. Григорьев^{1,2}, Д.Ю. Большиаров³, П.П. Овердуин⁴, Ф. Гюнтер⁴*

¹ — *Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова
Сибирского отделения РАН, г. Якутск, Россия*

² — *Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука
Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск, Россия*

³ — *ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский
институт, Санкт-Петербург, Россия*

⁴ — *Гельгольц центр полярных и морских исследований
им.Альфреда Вегенера, Потсдам, Германия*

* *grigoriev@mpi.ysn.ru*

В пределах береговой зоны исследуемых морей активно протекают такие экзогенные процессы, как абразия, овражная эрозия, выветрива-

ние, эоловые, суффозия, склоновые процессы (солифлюкция, дефлюкция, десерпция, курумообразование, крип) и другие. Криогенные процессы (термоабразия, термоэрозия, термокарст, термоденудация и др.) придают рельефообразованию в этой зоне столь существенное ускорение и своеобразие, что о них можно говорить как о ведущем комплексе деструктивных береговых процессов. В ходе исследований последних лет была количественно обоснована роль криогенных процессов в разрушении морских берегов Восточной Сибири. Арктические берега морей Восточной Сибири теряют более 10 км² площади прибрежной суши в год. Наибольшая скорость отступления свойственна льдистым берегам. Их разрушение обусловлено процессами термической денудации, абразии и эрозии, термокарста, а также криогенными склоновыми процессами в сочетании с другими процессами морфогенеза. Для определения средней скорости береговой эрозии и массы берегового материала, поступающего на шельф, была разработана база данных, базирующаяся на детальном сегментировании побережий морей Лаптевых и Восточно-Сибирского. В силу высокой льдистости многолетнемерзлых пород береговой зоны морей Восточной Сибири, где протяженность берегов с ледовым комплексом (плейстоценовые отложения с объемным содержанием грунтового льда до 80 %) составляет более трети длины побережья, процессы криоморфогенеза играют ведущую роль в разрушении берегов. В последнее десятилетие заметное усиление береговых процессов отмечается на участках побережья центральной части моря Лаптевых. Средние скорости эрозии всех берегов моря Лаптевых, учитывая и стабильные береговые сегменты, составляют 0,7, а Восточно-Сибирского — 1 м/год, при этом темп разрушения льдистых берегов, соответственно, — 1,9 и 1,6 м/год. Максимальная скорость береговой эрозии, 25 м/год, инструментально зарегистрирована на о-ве Муостах в 2005 г. Было установлено, что за период с 1951 по 2019 гг., пик скоростей термоабразии и термоденудации берегов пришелся на 2007–2009 гг. Темпы отступления берегов в морях Восточной Сибири примерно соответствуют изменению сезонной климатической обстановки в регионе, в частности параметрам площади летних сплоченных льдов, влияющих на развитие штормовой активности. Исключением являются аномалии скоростей термоабразии и термоденудации в 2012–2013 гг. на ключевых участках, объясняемой локальными факторами. Анализ описания исторических событий и наблюдений первопроходцев на восточно-арктических островах России, позволяет предположить, что темпы разрушения льдистых берегов могли достигать 40–50 м/год. Выяснено, что эрозия морских берегов Восточной Сибири выносит на шельф более 150 млн.

тонн в год, в том числе около 4 млн. тонн органического углерода, больше половины всего потока берегового материала (и углерода), поступающего в весь Северный Ледовитый океан. При этом, арктический береговой вынос существенно превышает твердый сток рек.

Обширные области арктического шельфа заняты вечной мерзлотой В периоды прошлых морских регрессий большие площади мелководного шельфа арктических морей были осушены и промерзли на большую глубину. В настоящее время реликтовые континентальные ММП в значительном объеме сохранились в субаквальном состоянии. Динамика разрушения берегов определяет крутизну уклона реликтовой подводной мерзлоты на прилегающем мелководье, который имеет пологий характер при высоком темпе разрушения побережья и крутой при низкой скорости эрозии. Подводная мерзлота или субаквальные многолетнемерзлые породы (СММП) в арктических морях изучена крайне слабо. Неизвестны ни ее мощность, ни контуры распространения на относительно приглубом шельфе. Установлено активное преобразование льдистых многолетнемерзлых пород в мелководной зоне арктического шельфа. Данные, полученные по немногочисленным буровым профилям на прибрежном мелководье, показывают значительные вариации в уклонах кровли и темпах деградации мерзлоты сверху, при довольно «высоких» температурах ($-1, -1,5$ °C) в ее толщах на расстоянии уже в первых километрах от берега. Средний уклон (от берега) кровли подводной мерзлоты в прибрежно-шельфовой зоне морей Восточной Сибири составляет $0,011$ ($0,62^\circ$). Установлено, что скорость деградации верхних горизонтов реликтовых СММП составляет первые десятки сантиметров в верхней части подводного берегового склона, уменьшаясь до долей сантиметра в год в нижней его части. Эта скорость определяется динамическим режимом береговой зоны, составом, строением и мощностью залегающих на кровле мерзлоты осадков, температурой и соленостью придонного слоя воды, а также характером гидро-литодинамических процессов в прибрежной зоне шельфа. Возможное распространение подводной мерзлоты на шельфе предполагается до глубин около 100 м, но, в действительности, контуры ее площадей могут быть невероятно сложны. Выявлена сложная структура верхних горизонтов СММП, состояние которых на многих участках нестабильно в силу существования локальных геотермических, гидрогеологических и тектонических аномалий. Наземная (береговая) криогенная система и донная (верхние горизонты СММП на подводном береговом склоне) динамически тесно зависимы друг от друга. Особенности эволюции верхних горизонтов СММП зависят от ряда факторов: темпов отступления или выдвигения

берегов, температурного режима и солености придонной воды, уклонов подводного берегового профиля, морфологии береговой зоны и конфигурации береговой линии; степени открытости к морскому влиянию, характера осадков, слагающих берег и подводный береговой склон, льдистости субстрата, особенностей гидро-литодинамических параметров. Практическое значение исследований подводной мерзлоты связано с уточнением изменения батиметрии прибрежных фарватеров (просадки дна при деградации льдистых СММП), с выявлением инженерной основы для любых видов работ на шельфе, а также с поиском газоконденсатных месторождений на шельфе.

При проведении этих исследований были использованы средства по грантам РФФИ № 18-45-140057 и № 18-05-70091.

ARCTIC REGIONAL CLIMATE CENTRE NETWORK: SEASONAL CLIMATE SERVICES IN THE ARCTIC

V.M. Smolyanitsky (AARI), V.M. Khan (Hydrometcenter of Russia)*

АРКТИЧЕСКИЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ КЛИМАТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР-СЕТЬ: КЛИМАТИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ АРКТИКИ НА СЕЗОННЫХ МАСШТАБАХ

В.М. Смоляницкий¹, В.М. Хан²

¹ — ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

² — Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации, г. Москва, Россия

** vms@aari.aq*

Арктический региональный климатический центр-сеть (АркРКЦ-сеть) инициирован Всемирной метеорологической организацией (ВМО) для решения задач адаптации и принятия решений в Арктике в условиях изменений климата. АркРКЦ основан на концепции ВМО Региональных климатических центров (РКЦ), реализующих парадигму бесшовного климатического обслуживания на масштабах сезон — год, с активным вкладом всех стран — членов Арктического совета. Решение о создании Арктического РКЦ принято в 2016 году 68 Исполнительным Советом ВМО. Центр реализуется как сеть из 3-х узлов в региональных ассоциациях (РА) ВМО со следующим выполнением обязательных для РКЦ функций соответствующими метеослужбами: РА-II (Северо-Евразийский узел) — Российская Федерация (координатор узла), мониторинг климата; РА-IV (Северо-Американский узел) — Канада (ко-

ординатор узла) и США, долгосрочное прогнозирование (ДП); РА-VI (Нордический узел) — Норвегия (координатор узла и проекта в целом на 2017–2020 гг.), Дания, Исландия, Финляндия и Швеция, управление данными и поддержка веб-портала АркРКЦ ВМО (<https://arctic-rcc.org/>). Представление, согласование и региональная интерпретация обзоров и прогнозов, равно как их развитие на основе опросов пользователей выполняется посредством Арктических климатических форумов (АКФ), проводимых 2 раза в год (май, октябрь).

Концепция реализации Северо-Евразийского узла АркРКЦ предусматривает коллективное осуществление функций узла ААНИИ (координатор), Главной геофизической обсерваторией (ГГО), Всероссийским научно-исследовательским институтом гидрометеорологической информации — Мировым центром данных (ВНИИГМИ-МЦД) и Гидрометеорологическим научно-исследовательским центром (Гидрометцентр России), т.е. аналогично поддерживаемому Гидрометцентром России *Североевразийскому климатическому центру* (СЕАКЦ). Разделение функций внутри узла включает специализацию ААНИИ по месячному и сезонному мониторингу основных климатически-значимых переменных (ЕСV) Арктики, изучение механизмов внутри- и межгодовой изменчивости, физико-статистическое ДП, для Гидрометцентра России — численное ДП, исследования в области повышения качества ДП, обучение и координация с СЕАКЦ, для ГГО — атмосферная химия, интеграция с сверхдолгосрочным климатическим обслуживанием, оценка рисков и последствий, для ВНИИГМИ-МЦД — управление данными в рамках узла, интеграция с информационными системами (ЕСИМО, ИНТАРОС и т.д.) и разработка веб-портала узла.

Информационная поддержка работ по месячному и сезонному мониторингу выполняется Мировым центром данных по морскому льду (МЦД МЛ) ААНИИ и включает еженедельное обновление баз и массивов данных ледового картирования национальных ледовых служб мира и их публикацию на веб-сервере центра в форме индексируемых каталогов (<http://wdc.aari.ru>). Данные ледовых карт и ИСЗ, совмещаемые с информацией *численного анализа*, являются первичной информационной продукцией АркРКЦ, составляемой еженедельно в формате обзоров МЦД МЛ по морскому льду Арктики и Антарктики (<http://wdc.aari.ru/datasets/d0042/>).

Сезонный мониторинг выполняется по региональному набору ЕСV морской и наземной части Арктики на основе совмещения наземных станционных наблюдений (станции Глобальной системы телесвязи — ГСТ и других проектов ВМО) и *численных реанализов*. Формой представления материалов является представление ЕСV в форме *средних значений*, ано-

малый и *рангов* за прошедший полный сезон для согласования АКФ с месячной, сезонной или годовой дискретизацией/обобщением (где это применимо). Привлечение с 2019 года наиболее *современных реанализов* в рамках проекта Copernicus — ERA5, MERCATOR (в дополнение к ранее используемым NCEP/NCAR, HYCOM-CICE DMI, PIOMAS) позволяет качественно расширить список параметров мониторинга как морской, так и наземной составляющей полярных областей и повысить его оперативность. С 2020 года набор параметров сезонного мониторинга Арктики Северо-Евразийского узла включает: для атмосферы (источники данных ГСТ, NCEP/NCAR, ERA5) — поверхностную температуру воздуха, осадки, высоты геопотенциальных поверхностей, приземный ветер средний и максимальный в порывах; для морского льда (ледовые службы, HYCOM-CICE, PIOMAS) — ледовитость, ледовые условия, фазы ледовых явлений, максимальные толщины и объем льда; для наземного снежного покрова (проект SnowWatch, ERA5) — высота, площадь, водный эквивалент; для рек (проект ArcticGRO, ERA5) — объем стока в устьях, поверхностный сток; для океана (ERA5, MERCATOR NEMO) — высота ветрового волнения и зыби, температура поверхности воды, теплосодержание (20, 50, 100 м и т.д.); для вечной мерзлоты (проект CALM, ERA5) — толщина активного слоя, теплозапас почвы по слоям.

В интересах задач Северо-Евразийского узла АркРКЦ-сеть прогностическую информацию на месячных и сезонных интервалах времени по Арктическому региону выпускает Гидрометцентр России в рамках деятельности СЕАКЦ с использованием модели общей циркуляции атмосферы ПЛАВ Гидрометцентр России/ИВМ РАН и модели общей циркуляции атмосферы ГГО. Ежемесячная процедура составления прогнозов, интерпретация результатов и расчет оценок качества осуществляются в рамках специализированной технологической линии. На странице сайта СЕАКЦ (<http://neacc.meteoinfo.ru/>) прогнозы, включая Арктический регион, представлены в виде карт пространственного распределения средних по ансамблю аномалий (детерминированные прогнозы), а также вероятностей основных метеорологических величин, стратифицированных по трем основным градациям (ниже нормы, норма и выше нормы) с месячным и сезонным разрешением.

Экспериментальная технология составления *консенсусного сезонного прогноза* аномалий приземной температуры воздуха и осадков для наземной и морской частей Арктики выше 55° с.ш. с применением объективного подхода реализована в СЕАКЦ на основе результатов гидродинамического моделирования из ряда прогностических центров (модель CFSv2 центра прогнозирования климата CPC NOAA США, модель Гидрометцентра

России/ИВМ — ПЛАВ, модель CanSIPsv2 метеослужбы Канады ECCC/ MSC, модель Токийского климатического центра ТСС).

Аналогичный прогноз для параметров морского льда — общей сплоченности на моменты максимального (март) и минимального (сентябрь) развития морского ледяного покрова и аномалий дат замерзания и разрушения, выполняется на основе модели CanSIPS ледовой службы Канады. Для прогноза на настоящий момент предусмотрена детализация по 8 регионам Арктики (конгруэнтным регионам квартального обзора ААНИИ) и основным навигационным трассам.

Основными задачами, подлежащими решению, являются валидация, оценка погрешностей и повышение качества *численных реанализов*, определение областей применения (*спецификаций прикладных задач*) ECV для конкретного пользователя, автоматизация представления данных.

Важнейшим этапом становления Северо-Евразийского узла является 5-й АКФ, планируемый к проведению 12–15 мая в Санкт-Петербурге, ААНИИ. Состав приглашаемых участников — эксперты метеослужб, поддерживающих АркРКЦ и пользователи климатической информации (судоводители, нефтегазовый сектор, коренные народности Севера и т.д.). Темы совещания включают воздействие изменений климата на коренные народности, потребности региональных пользователей — судоводители, туризм, аквакультура, коренные народности и обучение, равно как обзор сезонных процессов в Арктике за зиму — весну 2019/2020 гг. и сезонный прогноз параметров атмосферы, морского льда и океана в Арктике на лето 2020 года.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-05-60048.

INTERNATIONAL COOPERATION IN AREA OF CURRENT AND PERSPECTIVE OPERATIONAL MONITORING OF THE POLAR REGIONS

S.V. Motyzhev^{1}, V.M. Smolyanitsky², V.T. Sokolov², E.G. Lunev¹,
A.P. Tolstosheev¹, A.A. Bezgin¹, E.M. Bykov¹*

¹ — *Marlin-Yug Ltd, Matveev Kurgan, Rostov region, Russia*

² — *State Scientific Center of the Russian Federation Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia*

* *motyzhev@marlin-yug.com*

In recent years, the international activity for study of the Arctic region has significantly grown. The requirements for the volume and formats of observations have significantly changed. The observation network should cover the entire Arctic water area without dividing it into economic zones and

state borders. It is necessary to increase the number of monitored parameters, as well as the spatio-temporal resolution of measurements. Obviously, the solution of this problem in full is possible on basis of wide international cooperation. At the same time, there should be the possibility for conducting of regional or national studies with limited access to measurement data, or with exception of access, for third-party users.

To solve this problem, the AARI together with Russian company Marlin-Yug Ltd has created the prototype of domestic measuring and information digital platform for monitoring the Arctic region. The Marlin-Yug's input for the platform has been the marine and ice buoys, produced by the company. The term "digital platform" means a combination of economic, technical, logistic, information and processing components that provide remote operational scientific monitoring of the physical processes, regardless of the relative positions of the research object and the observing subject in the World. The new technology has been fully used for the World Meteorological Organization (WMO) Year of Polar Prediction (YOPP) project, and partly for the international project MOSAiC (Multidisciplinary drifting Observatory for the Study of Arctic Climate) as a part of YOPP's observational component.

In recent years, in connection with development of remote observational methods in the Arctic, there has appeared a tendency when the market of information services gets prevailing use over the traditional market for measuring equipment. The digital platform provides end-to-end data transfer from the in-situ sensor to a user with the least amount of time, which makes it possible to evaluate the dynamics of processes in close to real time. The economic component of the digital platform is specified with the fact that a customer pays for the final information as a service, without getting the equipment in hand and not participating in the processes of delivery of buoys, their deployment, data transfer and data processing.

The technical component is understood to mean that the equipment should include different types of autonomous maintenance-free buoys intended for conducting contact measurements in the near-surface atmosphere, the thickness of the ice and the layer of water under the ice with a duration from several months to a year in the Arctic. The equipment must comply with WMO international standards regarding the nomenclature and quality of measuring channels, metrological support procedures, formats for disseminating of information via satellite systems, transportation safety, etc. The buoys produced by Marlin-Yug Ltd are fully consistent with these requirements. The company is a WMO-approved buoy manufacture and supplier for international programs and projects.

Logistic support of the digital platform included activities for the planning and deployment of equipment. To deploy the buoys for projects in the

Russian zone of responsibility, AANII ships and helicopters based on them were used. The very procedure for deployment on open water was facilitated by the fact that the buoys with underwater drogues used by the YOPP project had the ability to be automatically deployed after being dropped into the water from running ship. When placed on ice, the buoy also automatically deployed when it enters the water after the destruction of the ice. By January 2020, the AARI in support of the YOPP deployed 25 SVP-B/40H type drifting buoys (locations, air pressure, water temperature and, optionally, air temperature) and 6 iceST/20 type beacons (locations) within the Eurasian Arctic and the adjacent waters of the Arctic basin. In support of MOSAiC project, the foreign participants deployed 4 thermo-profiling buoys of the iceBTC60/40- 17T3P type (locations, air pressure, temperature profile up to 60 m), one thermo- profiling buoy of the iceTC2/30-10T0P type (location, temperature profile up to 2 m), 15 beacons of the iceST/30 and iceST/20 (locations) types. Marlin-Yug Ltd. produced all the buoys.

The movement of information flows from the buoy to users is based on the Argos and Iridium satellite communication systems. The systems provide data delivery efficiency at the level of tens of minutes, regardless of the location of the buoy. Data from Argos buoys is received and processed through Argos CLS representative office in Moscow. When using the Iridium equipment, information security is ensured by the gateway station located in Izhevsk and equipped with the SORM system (System of operational-search measures), and by use in the buoys of Iridium modems of the special modification , which have the authorization of the regulatory bodied of the Russian Federation. All buoys launched by AARI both on national and international projects are equipped with such modems.

An important point was the creation in AARI of a situational center for monitoring hydrometeorological and ice conditions in the Arctic, where data are processed and the measurement results are received in physical format. When working in national projects, data are available only to AARI and, if necessary, to other Russian participants. When working in international projects, AARI has the ability to enter data into the global telecommunication system (GTS) of WMO with further distribution between all the hydrometeorological centers. In addition, after passing through the satellite segment, information can be sent directly to foreign data processing centers with subsequent dissemination through the GTS system.

The creation and launch of a digital platform for the hydrometeorological and oceanographic control of the Arctic solves the problem of information security of the Russian Federation in the implementation of national projects and provides the opportunity for Russian participation in international polar projects at the

most modern level. The next stage in the development of the digital platform is associated with the transition from measuring networks operating according to a predefined program to networks capable of monitoring the variability of physical parameters and independently switching to another measurement mode for adaptive adjustment to the dynamics of their variability. A mathematical model to increase the spatio-temporal resolution of measurements, as well as to calibrate and validate itself, can also rebuild the operating modes of network.

**“TRANSARKTIKA-2019” — IMPORTANT STEP TOWARDS
RESUMING MONITORING OF THE ARCTIC AQUATORIES
OF RUSSIA**

I.E. Frolov, V.V. Ivanov, K.V. Filchuk, Yu.V. Ugryumov, A.P. Makshtas,
V.Yu. Kustov, M.S. Mahotin, N.V. Lebedev, A.D. Tarasenko, A.B. Turyakov,
M.Yu. Kulakov (AARI)*

**«ТРАНСАРКТИКА-2019»
— ВАЖНЫЙ ШАГ К ВОЗОБНОВЛЕНИЮ МОНИТОРИНГА
СОСТОЯНИЯ АРКТИЧЕСКИХ АКВАТОРИЙ РОССИИ**

И.Е. Фролов, В.В. Иванов, К.В. Фильчук,
Ю.В. Угрюмов, А.П. Макштас, В.Ю. Кустов, В.Ю. Махотин,
Н.В. Лебедев, А.Д. Тарасенко, А.Б. Тюряков, М.Ю. Кулаков
ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский
институт, Санкт-Петербург, Россия*

** frolov@aari.ru, kirill@aari.ru*

Глобальные изменения климатической системы нашей планеты являются одной из ключевых проблем, оказывающих существенное влияние практически на все сферы человеческой деятельности. Состояние полярных областей Земли и, в частности, Северного Ледовитого океана (СЛО) и арктических морей — важнейший индикатор этих изменений. Гидрометеорологические условия, складывающиеся на акваториях СЛО и его морей, естественным образом оказывают влияние практически на все стороны хозяйственной деятельности. Ввиду интенсификации освоения арктического региона в современный период организация и осуществление мониторинга системы «атмосфера – ледяной покров – океан» северной полярной области представляется важнейшей задачей, как в научном, так и в практическом аспектах. Экспедиционные морские исследования, в основе которых лежат контактные методы измерения, несмотря на развитие дистанционных методов, остаются важным источником информации о состоянии окружающей среды Арктики. Богатейший опыт таких экспедиций

накоплен в ААНИИ. В 1937–2013 гг. институт организовывал дрейфующие станции «Северный полюс», с 1941 по 1993 год — высокоширотные воздушные экспедиции «Север», результаты работы которых составили основу современных представлений о природе Арктики. Реализация масштабного научно-технического проекта «ТРАНСАРКТИКА-2019» может рассматриваться как важный шаг в направлении восстановления национальной системы мониторинга состояния природной среды арктического региона.

При подготовке научной программы комплексных исследований по проекту «ТРАНСАРКТИКА-2019» были учтены предложения научно-исследовательских организаций Росгидромета, МПР, РАН, Минобрнауки РФ. В рамках проекта была проведена комплексная морская экспедиция, выполненная четырьмя судами Росгидромета и включавшая четыре этапа, на каждом из которых проводились натурные мультидисциплинарные исследования природной среды Северного Ледовитого океана и прилегающих морей. Большой массив метеорологических, океанографических, ледовых данных, полученный в течение одного сезона, позволил оценить тенденции изменения ключевых факторов, определяющих состояние природной среды арктического региона (сокращение площади и толщины ледяного покрова, положительные температурные аномалии в водных массах).

Важным звеном в исследованиях регионов, покрытых большую часть года ледяным покровом, остается организация дрейфующих станций и ледовых лагерей. Деградация ледяного покрова, явившаяся следствием климатических изменений, происходивших в последние десятилетия, в том числе, привела к свертыванию программы работ дрейфующих станций в годовом цикле. Для продолжения и развития комплексных научных исследований в высоких широтах Северного Ледовитого океана в настоящее время реализуется инновационный проект по созданию плавучей ледостойкой самодвижущейся платформы (ЛСП), пригодной к использованию в качестве базы дрейфующих научно-исследовательских станций «Северный полюс». На первом этапе экспедиции «ТРАНСАРКТИКА-2019» наряду с выполнением комплекса скоординированных наблюдений за процессами, протекающими во всех компонентах природной среды: морская вода, лед, снег, морской грунт, атмосфера, ближний космос, была осуществлена экспериментальная отработка новых технологий получения данных о состоянии природных сред с использованием дрейфующей станции нового типа «судно – лед». Полученный опыт будет учтен при строительстве, оборудовании и эксплуатации ЛСП.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда фундаментальных исследований в рамках проектов 18-05-60048 и 18-05-60083.

ARCTIC AMPLIFICATION PUZZLE: ROLE OF MOSAIC OBSERVATIONS, WEATHER FORECAST-AND CLIMATE MODELS

K. Dethloff, the MOSAiC Team

*Alfred Wegener Institut, Helmholtz Centre for Polar- and Marine Research,
Potsdam, Germany*

Klaus.Dethloff@awi.de

The Arctic climate system is changing rapidly, but quantification of the driving atmospheric and oceanic processes within the Arctic amplification puzzle is limited, since weather and climate models perform not well in the Arctic. The low sea ice conditions inspire transport, aviation and economic activities, which requires improved weather- and sea ice forecasts and the assimilation of *in-situ* observations and satellite data into numerical weather prediction models (NWP).

The Multidisciplinary drifting Observatory for the Study of Arctic Climate (MOSAIC) is an international research project and the first year-around expedition into the central Arctic exploring the coupled climate system with a focus on atmosphere-ocean-sea ice-land-frozen ground-ecosystem and biogeochemical interactions. In-situ observations of climate- and weather processes that couple atmosphere, ocean, sea ice, land-soil, biogeochemistry and ecosystem from September 2019 to October 2020 are carried out. These and many other in-situ observations and process studies will be used for enhancing the understanding of the regional and hemispheric consequences of Arctic sea ice loss and improve numerical weather prediction models and climate models. The results are essential to advance the data assimilation for numerical weather prediction models, sea ice forecasts and climate models, ground truth for satellite remote sensing and reanalysis data. A unique hierarchy of local, regional and global models will be used, to interpret the MOSAiC measurements and to improve the very poor performance of weather forecast and climate models in the Arctic.

In this talk, results of Arctic regional climate model simulations with respect to boundary layer processes and cloud parameterisations, ensemble simulations with a coupled Arctic climate system model and the role of internally generated sea-ice variability will be discussed. Additional Arctic radiosondes in strong baroclinic regions can improve cyclone forecasts for some large-scale atmospheric flow patterns in NWP models. The impact of Arctic sea ice loss, stratospheric ozone chemistry and gravity wave drag parameterisations with respect to developing baroclinic systems, baroclinic-planetary wave interactions in the troposphere and tropo-stratospheric feedbacks will be analysed. Ideas for radiosonde observations in key Arctic regions and research directions with high priority are presented.

**THE RESULTS OF 28-YEAR-OLD (1993–2020) RUSSIAN-GERMAN
STUDIES OF THE CONTINENTAL AND ISLAND FRAMING
OF THE LAPTEV SEA**

*D.Yu. Bolshiyarov** (AARI), *A.S. Makarov* (AARI), *M.N. Grigoriev* (MPI SB RAS),
G. Grosse (AWI), *A. Morgenstern* (AWI),
D.V. Melnichenko (Tiksi Hydrographic Base), *H-W. Hubberten* (AWI)

**ИТОГИ 28-ЛЕТНИХ (1993–2020) РОССИЙСКО-ГЕРМАНСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО И ОСТРОВНОГО
ОБРАМЛЕНИЯ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ**

*Д.Ю. Большианов¹**, *А.С. Макаров¹*, *М.Н. Григорьев²*, *Г. Гроссе³*,
А. Моргенштерн³, *Д.В. Мельниченко⁴*, *Х.-В. Хуббертен³*

¹ — ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

² — Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова
Сибирского отделения РАН, г. Якутск, Россия

³ — Институт Альфреда Вегенера Центра полярных и морских исследований им. Гельмгольца, Бремерхафен, Германия

⁴ — Тиксинская гидрографическая база, республика Саха (Якутия),
пос. Тикси, Россия

* *bolshiyarov@aari.ru*

В апреле 2020 г. начинается 28-я (с 1993 г.) российско-германская экспедиция в дельту реки Лены и на побережье моря Лаптевых, которая продолжает быть частью специализированного Соглашения о сотрудничестве в области морских и полярных исследований, заключенного в 1995 г. между Министерством образования и науки Российской Федерации и Федеральным министерством образования и научных исследований Федеративной республики Германии. Начало совместной научной работы ААНИИ и АВИ (Институт Альфреда Вегенера Центра полярных и морских исследований им. Гельмгольца) положено в 1993 г, когда была проведена первая экспедиция на полуостров Таймыр. Вот уже более четверти века продолжается это уникальное научное сотрудничество с проведением ежегодных полевых исследований. Каковы же результаты этой огромной работы?

За прошедшие годы совместных работ регион моря Лаптевых стал одним из наиболее исследованных в российской Арктике. Исследованы острова архипелагов Северная Земля и Новосибирские острова, восточная часть полуострова Таймыр, дельта р. Лены, южное побережье моря Лаптевых, устьевые области, втекающих в него рек, долина реки Лены от устья до г. Якутска.

Определено, что озеро Таймыр, это активно развивающаяся тектоническая структура, подвигающаяся на запад с раскрытием поперечных тектонических трещин: меридионально ориентированных заливов, долины реки Таймыры, долины озера Левинсон-Лессинга. Подсчитан водный баланс бассейна озера Левинсон-Лессинга — типичного для гор Бырранга. Изучено снегонакопление на полуострове после проведения снегосъемки по разрезу Хатанга-Челюскин.

Охарактеризована степень загрязнения вод, донных озерных отложений искусственными радионуклидами, тяжелыми металлами фонового района Центрального Таймыра. Изучен твердый сток крупнейших рек бассейна моря Лаптевых (Лены, Хатанги, Яны), минералогический и геохимический состав наносов, которые транспортируются водой и льдом на шельф моря Лаптевых.

В условиях прекращения гидрологических наблюдений на сети гидрометеорологических станций в 90-е годы XX столетия, российско-германскими экспедициями продолжены реальные гидрометрические измерения, позволившие четко определить продолжающееся перераспределение стока воды и наносов в дельте реки Лены в сторону Быковской протоки.

Определены основные этапы развития природной среды региона моря Лаптевых, (климат, колебания уровня моря, развитие дельты, этапы оледенения) в течение последних столетий и тысячелетий) на основе изучения озерных отложений, геологического и геокриологического строения четвертичных отложений региона. Создана база палеоклиматических данных на основе изучения озер и их отложений. В регионе моря Лаптевых определено уникальное явление нарушения географической и климатической зональности 9–10 тысяч лет назад, что выразилось в потеплении северных территорий и островов в то время, когда южнее было значительно холоднее и существовали ледники. Нарушение зональности, вероятно, было вызвано прорывом теплых атлантических вод в Северный Ледовитый океан в начале голоцена и отеплением самых северных пределов суши и островов.

Определены основные этапы развития дельты реки Лены, которая возникла в голоцене в противоборстве эндогенных и экзогенных процессов. Тектонический перекоп поверхности на площади дельты с запада на восток вызывал и вызывает сток в восточном направлении. Но на первых этапах развития дельты восточные пути стока воды были перекрыты останцами пород Ледового комплекса (ЛК), которые разрушаясь в результате речного стока и колебаний уровня моря, постепенно открывал пути стока реки на север и восток. Основной сток постоянно

в течение последних 8 000 лет разворачивался с запада на восток — из Оленекской протоки в Быковскую. Самая полноводная Быковская протока открылась только в конце голоцена (1500 лет назад).

Породами ЛК были сложены многочисленные острова моря Лаптевых, которые в настоящее время продолжают исчезать. Сам ЛК образовался при промерзании осаждавшихся органо-минеральных отложений в заливах и закрытых бухтах имевших гидравлическую связь с морем в условиях повышенного по сравнению с современным уровнем моря в конце позднего неоплейстоцена. Колебания уровня моря, зафиксированные в террасах и сложении островов дельты подтверждают циклический ход колебаний уровня моря, установленный и на побережьях полуострова Таймыр и архипелага Северная Земля. Именно колебания уровня моря вызывали неоднократное образование земель в море Лаптевых и последующие их исчезновения.

Определено, что ни плато Путорана, ни полуостров Таймыр, ни Северная Земля не были заняты покровным оледенением в конце позднего неоплейстоцена. В разгар последнего ледникового максимума здесь, да и в дельте реки Лены были развиты местные малоактивные ледники. Даже в эпоху Малого ледникового периода всего 300–100 лет назад) ледники развивались в Верхоянских горах и в дельте реки Лены — на о. Арга-Муора-Сисе.

Налажен геокриологический мониторинг в районе дельты путем организации мерзлотных полигонов и термометрических наблюдений в скважинах, пройденных в толще многолетнемерзлых пород. К настоящему моменту существует ряд наблюдений длительностью в 19 лет за мощностью деятельного слоя грунта, который показывает, что мерзлотные условия в дельте стабильны, глубина протаивания грунта в конце лета циклично меняется от 42 до 58 см.

Бурение на акватории моря Лаптевых с удалением от берега на расстоянии до 11,5 км показало, что многолетнемерзлые породы распространены под дном моря в прибрежной зоне на расстоянии до 12–15 км от берегов.

На острове Самойловском в дельте реки Лены организованы многолетние наблюдения на полигонах за эмиссией парниковых газов из тундровых почв и водоемов; микробиологических процессов, ответственных за эмиссию; проводятся исследования круговорота углерода в системе «оттаивающая часть многолетнемерзлых пород – воздух – вода».

В водоемах дельты биологические исследования показали значительную изменчивость их населенности беспозвоночными организмами за период: конец XX столетия – два десятилетия XXI века.

Основной результат сотрудничества — создание интернационального коллектива исследователей (около 300 человек из более чем 10 зарубежных стран), в ядре которого сложились дружеские международные отношения, а экспедиция не имеет аналогов в научном мире по длительности и устойчивости существования и успешности в получении материалов о состоянии природной среды полярных регионов. Российские специалисты и институты благодаря российско-германскому сотрудничеству получили возможность в трудные годы конца XX столетия сохранить научные направления, успешно работать с предоставляемыми западными партнерами новыми технологическими возможностями, привлекать к исследованиям молодых специалистов. Немецкие коллеги приобрели неоценимый опыт работы в арктических условиях и переняли научные знания в области геофизиологии, которой ранее практически не занимались.

Исследования также поддержаны грантами РФФИ 18-05-70091 и 18-45-140057.

INTERNATIONAL METEOROLOGICAL STUDIES AT THE ARCTIC OBSERVATORIES OF AARI

A.P. Makshtas^{1}, V.T. Sokolov¹, Yu.V. Ugrumov¹, V. Yu. Kustov¹, E. Asmi²,
M. Aurela², T. Laurila², C. Drüe³, G. Heinemann³, Y.J. Yoon⁴, T.J. Choi⁴,
M. Koike⁵, Y. Kondo⁶, J. Inoue⁶, M. Hori⁶*

¹ — *State Scientific Center of the Russian Federation Arctic and Antarctic
Research Institute, St. Petersburg, Russia*

² — *Finnish Meteorological Institute (FMI), Helsinki, Finland*

³ — *Environmental Meteorology, University of Trier, Trier, Germany*

⁴ — *Korean Polar Research Institute, Incheon, Republic of Korea*

⁵ — *University of Tokyo, Tokyo, Japan*

⁶ — *National Institute of Polar Research, Tokyo, Japan*

** motyzhev@marlin-yug.com*

The main directions of investigations carried out at Hydrometeorological Observatory Tiksi, organized in 2010 in the framework of cooperation between Roshydromet, NOAA and FMI, and Research station "Ice Base Cape Baranova", opened in September 2013, are the execution of all-the-year-round standard and special meteorological observations and the implementation of integrated monitoring the state of environmental; including pollution and gas exchange studies in the atmosphere-ice-ocean and atmosphere-land systems.

Since 2010 in HMO Tiksi and since 2015 in RS "Ice base Cape Baranova" in framework of cooperation with FMI the concentration of carbon dioxide,

water vapor, methane, CO, SO₂, and aerosols in atmospheric surface layer, as well as components of air — surface turbulent energy — mass exchange are studied.

Within framework of the project "Changes of the Arctic Transport System" together with scientists from University of Trier in 2014–2015 in Tiksi and since October 2017 at the Cape Baranova, remote sensing measurements of air temperature profiles, wind speed and direction, and turbulence characteristics of atmospheric surface layer are carried out.

As part of the Agreement between AARI and Korean Polar Research Institute (KOPRI) since October 2017 observations under the program "The impact of climate change on permafrost and the ecosystem of the Polar regions" are executed. Year-round measurements of the main meteorological parameters of atmospheric surface layer; characteristics of radiation balance of various types of underlying surface; temperature, humidity and greenhouse gases and heat fluxes are organized.

As part of the Agreement between AARI and University of Tokyo in October 2017 measurements of black carbon using the COSMOS soot aerosol monitoring system had been began. In addition, during the Year of Polar Prediction (YOPP, 2018), together with National Institute for Polar Research of Japan, the frequent atmospheric soundings were performed and analyzed.

Some results of joint investigations are described below.

It is well known, that atmospheric greenhouse gas concentrations integrate the effect of all natural and anthropogenic sources and sinks. In the troposphere greenhouse gases are well-mixed on the time scale of months. On the time scale of days, observations at a specific site has stronger signal from source area extending to about 1000–2000 km upwind. The data from Pallas, Tiksi, and the Cape Baranova, collected in frame of AARI, MGO and FMI collaboration reflect emissions and sinks from different kind of geographical regions. Cape Baranova is the northern most site observing mostly marine air masses of the Arctic Ocean. To Tiksi air is commonly advected from the continental northern Siberia, and to Pallas — from Europe and the North Atlantic and the Arctic Ocean. The annual mean values of greenhouse gases in 2016 were: at the Cape Baranova — CO₂ – 405.55 ppm, CH₄ – 1940.1 ppb, CO – 112.6 ppb; at Tiksi — CO₂ – 405.87 ppm, CH₄ – 1945.8 ppb; Pallas: CO₂ – 405.83 ppm, CH₄ – 1947.8 ppb, CO 123.3 ppb. Our data shows that the shelf areas of the Arctic Ocean are a minor source of methane emissions compared to the wetlands and anthropogenic sources of mainland Siberia.

Eddy covariance turbulent flux system, measuring turbulent heat and CO₂ fluxes had been installed at RS "Ice Base Cape Baranova" in October 2017 through collaborative study between AARI and KOPRI. The flux system, consisting of a fast response three-dimensional sonic anemometer CSAT3 and a fast response open-path gas analyzer LI-7500 were mounted at 3 m high on a tripod. The system was installed southeast about 1 km away from RS "Ice Base Cape Baranova". Since the installation of the flux system, the data retrieval process experienced fragmental mechanical failure due to harsh weather conditions. Despite discontinuous and filtered data, we could analyze site-specific turbulence characteristics and to calculate turbulent heat and CO₂ fluxes. Based on windroses from meteorological data and flux footprint from turbulence statistics, the main area for flux measurement is situated in southwest direction. It means that the terrain conditions are representative for flux measurement. Turbulent sensible and latent heat fluxes were calculated for June and July 2018. During summer season sensible heat flux was in the range of $-45 - 220 \text{ Wm}^{-2}$ and latent heat flux ranged from $-10 - 100 \text{ Wm}^{-2}$. For CO₂ flux, it fluctuated around zero. Additional analysis will be made to characterize seasonal and annual changes in turbulent fluxes characteristics by using complementary data, vegetation and ground characteristics information.

The mass concentrations of BC particles (M_{BC}) smaller than $1 \mu\text{m}$ in near-surface ambient air were measured by using a continuous soot monitoring system COSMOS mounted at RS "Ice Base Cape Baranova". COSMOS measures light absorption by BC particles collected on filter. Non-refractory aerosol compounds are removed by heating an inlet at $300 \text{ }^\circ\text{C}$. This minimizes interference from non-BC aerosols. Simultaneous measurements of M_{BC} by SP2 and COSMOS in the Arctic and Asia, have shown that the accuracy of the M_{BC} data by COSMOS was about 10 %. BC mass concentrations at Baranova were generally highest in winter and spring. These values are higher than those at the other Arctic sites (Ny-Ålesund, Barrow, Alert, and Pallas). This suggests the effects of large BC sources in the northern Russia. In August, 2019, BC was significantly high, possibly due to the effects of biomass burning. The data sets thus far obtained are very useful in estimating the effect of BC on the climate of the Arctic. It is important to continue the measurements to better understand variations of BC in the northern Russia and other adjacent regions.

In the frame of the German/Russian joint projects TRANSDRIFT and CATS new data sets of in-situ observations of the atmospheric boundary layer (ABL) in the high Arctic have been collected. Measurements of the ABL

structure were performed for one year and more at two sites in the Laptev Sea area: at the Tiksi observatory (71.6° N, 128.9° E, Sept. 2014 – Aug. 2015) and at RS "Ice Base Cape Baranova" (79° 18' N, 101° 48' E, start Oct. 2017, ongoing). ABL measurements were made using a SODAR (Sound Detection And Ranging), a RASS (Radio Acoustic Sounding System) and large-aperture boundary layer scintillometer (BLS). The SODAR yields vertical profiles of the wind speed, wind direction and the turbulence characteristics with a vertical resolution of 10 m and a temporal resolution of 15–20 min. The RASS extension allows for the determination of the temperature profile with the same resolution. In addition, the BLS was used to measure line-averaged sensible heat fluxes. At Tiksi we found the occurrence of low-level jets (LLJs) as the dominating feature. For Cape Baranov only few strong LLJs were found, but a topographical channeling effect for the wind field can be seen in the lowest 100m with the highest frequency of strong winds (larger than 10 m/s). Data are used for the verification of regional climate models and process studies of the ABL.

Using radiosoundings, conducted during the special observing period (SOP) of YOPP, the investigations consistency of station-based upper-level observation and the assimilated data using the ERA5 reanalysis dataset had been done. The data from RS "Ice Base Cape Baranova", and also the data from the polar station "Cape Chelyuskin" in the northern tip of the Taymyr peninsula (77° 43' N, 104° 17') had been used for comparison. The observations of these two stations were compared with assimilated climate reanalysis ERA5 data in the nearest grid point in its 0,25° resolution dataset. While the distance between the stations is only 185 km, the two play a different role in the ERA5 dataset: Chelyuskin data is included in the assimilation, data from the Cape Baranova is not. We found that while the air temperature profiles of the Cape Baranova is mostly consistent during both the SOP1 (Jan. – Feb. 2018) and SOP2 (Jul. – Sep. 2018) periods, the Chelyuskin station shows a systematic difference near the tropopause. During SOP1, air temperature here is about 1–2 °C cooler than ERA5 in the level higher than 300 hPa. During SOP2, the difference is in the magnitude of 2–4 °C warmer below the tropopause at 300-400 hPa and 4–6 °C cooler above the tropopause at 200–300 hPa. A possible source of this discrepancy are the difference in sensors used in the observations and the method of assimilation used for the Chelyuskin station.

In conclusion some possibilities for future joint studies at the Russian Scientific Center at Spitsbergen and Hostir station in the Khatanga bay will be shown.

**ENERGY AND GAS EXCHANGE IN THE OCEAN-ATMOSPHERE
SYSTEM IN THE POLAR REGIONS ACCORDING
TO EXPERIMENTAL DATA AND REMOTE SENSING**

I.A. Repina (OIAP RAS, MSU), A.Yu. Artamonov (OIAP RAS),
M.I. Varentsov (MSU, OIAP RAS), A.D. Pashkin (OIAP RAS, MSU).*

**ЭНЕРГО- И ГАЗООБМЕН В СИСТЕМЕ ОКЕАН-АТМОСФЕРА
В ПОЛЯРНЫХ РАЙОНАХ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТОВ
И ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

И.А. Репина^{1,2}, А.Ю. Артамонов¹, М.И. Варенцов^{2,1}, А.Д. Пашкин^{1,2}*

¹ — *Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия*

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

** iar.ifaran@gmail.com*

Одним из основных вопросов проблемы взаимодействия океана и атмосферы является описание процессов энергомассобмена. В наиболее сложном виде эти процессы представлены в Арктическом бассейне, так как ледяной покров определяет изменение альbedo, потоки тепла и влаги, а также динамическое взаимодействие между океаном и атмосферой. В работе представлены результаты экспериментальных исследований турбулентного взаимодействия атмосферы и морской поверхности в летний и осенний период в центральных и шельфовых зонах Северного Ледовитого океана.

Для анализа используются данные экспериментальных наблюдений характеристик энерго- и газообмена в Арктике в период с 2000 по 2018 гг. В их процессе проводилось непрерывное измерение составляющих энергетического баланса в приводном слое атмосферы, а также анализ энергообмена атмосферы и подстилающей поверхности при различных метеоусловиях и условиях атмосферной стратификации с помощью инструментальных измерений потоков тепла, влаги, углекислого газа, импульса и радиационного обмена в приповерхностном слое атмосферы. В основном, измерения проводились в центральных районах Арктики на границах континентального шельфа.

Рассматриваются данные, полученные над открытой водой, тонким молодым льдом, при наличии разводий и снежниц и в прикромочных зонах. Установлено, что в осенне-зимний период влияние толщины и сплоченности льда на турбулентный энергообмен в атмосфере может быть значительным. Над участками открытой воды и тонкого молодого льда вклад турбулентного обмена в тепловой баланс превосходит

радиационный. Наблюдается положительный поток тепла над зонами разводей и отрицательный над многолетними льдами. Поток тепла оказывается зависим от наличия пространственных неоднородностей на поверхности льда – торосов, снежниц, разводей и пр. Усиление турбулентного энергообмена наблюдается в прикромочной зоне, что приводит к интенсификации атмосферных процессов в прикромочной зоне в осенний период.

Данные измерений сравниваются с данными основных реанализов (ERAInterim, NCEP/NCAR и ASR), результатами расчетов региональных моделей COSMO и WRF и результатами расчетов потоков по спутниковым данным, представленным в архивах HOAPS и AOFLUX. Модели наиболее адекватно представляют значения потоков тепла и влаги для арктического региона. В реанализах наблюдается недооценка потоков тепла, особенно в прикромочных зонах и в период ледообразования. Ошибки спутниковых архивов связаны с ошибками определения сплоченности льда и температуры подстилающей поверхности при неоднородном ледяном покрове.

Сравнение судовых наблюдений с данными реанализа и мезомасштабного моделирования показывает, что реанализы плохо воспроизводят турбулентные потоки в северной полярной области, особенно в осенний период. Это связано как с недостаточной разработанностью параметризаций для определения коэффициентов обмена в алгоритмах расчета турбулентных потоков, так и со сложностью определения температуры поверхности, покрытой льдом различной сплоченности.

Что касается газообмена, на большей части акватории океан поглощает CO_2 из атмосферы, что может быть следствием повышения абсорбционной емкости воды вызванного осенним охлаждением, и/или остаточной фотосинтетической активностью. Поток меняет знак в наличии следов речного стока, где отмечается значительное падение солености и увеличение поверхностной температуры, что свидетельствует о присутствии речных вод, которые как правило перенасыщены CO_2 относительно атмосферы. Этот факт подтверждают и спутниковые данные о температуре поверхности в регионе и концентрации хлорофилла, а также измерения солености, проведенные в то же время в дельте Лены, которые показывают язык пресных вод, уходящий в район измерений. Над льдом поток отрицателен и близок к $0 \text{ ммол}/(\text{м}^2 \text{ день})$. В прибрежной зоне поток положителен.

В докладе также представлен обзор и анализ современных методов определения характеристик энерго- и газообмена в системе океан-атмосфера по данным дистанционного зондирования.

**HIGH-RESOLUTION GLOBAL COUPLED MODELLING OF MARINE
BIOGEOCHEMISTRY, SEA ICE AND OCEAN CIRCULATION FOR
ARCTIC CLIMATE RESEARCH
AND SCIENCE APPLICATIONS**

Y. Aksenov^{1}, M. Luneva¹, S. Rynders¹, A.C. Coward¹, V. Ivanov^{2,3},
A.J.G. Nurser¹, E. Popova¹, A. Yool¹*

¹ — *National Oceanography Centre, Southampton, UK*

² — *State Scientific Center of Russian Federation Arctic and Antarctic Research
Institute, St. Petersburg, Russia*

³ — *Moscow State University, Moscow, Russia*

* *yka@noc.ac.uk*

The changes in the Arctic environment have become a prominent topic in climate news and discussions. Recent decades of summer sea ice records suggest that Arctic sea ice is on a long-term decline, with ice-free summers projected to occur by the 2030s (e.g. Assessment Reports for the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)). More evidence for changes is emerging from the observational record, including changes in ocean, atmosphere, cryosphere, land, ocean biology and ecosystems. The thinning of Arctic sea ice cover and the occurrence of more open water areas in the summer result in changes to the surface ocean dynamics and heat fluxes and to the generation of more surface waves.

We present an overview and key results of the modelling development carried out at the National Oceanography Centre UK (NOC). The development focuses on a high-resolution coupled sea ice-ocean system based on the European Ocean Modelling Framework NEMO (Nucleus for European Modelling of the Ocean). The model configuration is global and includes the recently developed sea ice model under the Sea Ice Modelling Integrated Initiative (SI3) which is designed to incorporate the best available advances in sea ice physics and mechanics. The Los Alamos sea ice model: CICE is also optionally available. Other components of the model setup simulate waves-ice-ocean interactions in forced or a fully coupled WaveWatch-III-CICE-NEMO system. This, combined with a novel granular ice rheology, allows us to model fragmented ice behaviour in the Marginal Ice Zones (MIZ) and impact of that on the upper ocean. To study impacts of the changes in the ocean and sea ice on the marine biogeochemistry we make use of MEDUSA — Model of Ecosystem Dynamics, nutrient Utilisation, Sequestration and Acidification, coupled to the ocean model.

The model runs at a variety of horizontal resolutions, from 1 degree to 1/12 degree globally (although not all options have been used at all resolutions). The high model resolution permits eddies and mesoscale structures in the global ocean and admits most of the eddy energetics in the high Arctic. To

resolve mesoscale dynamics on the Arctic shelves and cross-shelf interactions with the deep ocean we have developed Arctic and Southern Ocean regional model configurations at the kilometre-resolution, which include explicit modelling of the baroclinic tides, wave mixing and hybrid-coordinates to better resolve shelf water cascading.

We compared results with available observations of the ocean dynamics, sea ice and biogeochemistry to assess the model performance and to examine governing processes in high-latitude climate change. The key effects of the high ocean resolution are the more accurate simulations of the ocean circulation, boundary currents, eddy dynamics and of heat and fresh water transports in the Arctic and exchanges with the Atlantic and Pacific Oceans. Higher horizontal and vertical resolution of the current modelling system improve cascading and formation of the subsurface water masses in the models. Sea ice simulations benefit from the high resolution through improved ice rheology and modelling open water leads, polynyas and MIZ dynamics in the Arctic and Southern Ocean. Finally, the resolution affects advective fluxes of the nutrients from the North Atlantic, impacting Arctic primary production and ecosystems.

The high-resolution modelling approach has been applied in the forward climate simulations, creating a unique capability for the climate research and impact assessments. The high-resolutions coupled and forced model projections demonstrated linked response in the sea ice and ocean systems to the changes in the anthropogenic forcing, with a potentially large-scale regime shift in the ocean towards the end of this century. The principal effect - is the change in the Atlantic and Pacific inflows, with consequences for the Arctic environment, ecosystems and global carbon cycle.

The reduction of the Arctic sea ice cover in the last decades has led to the easing of conditions for summer navigation along the NSR and an episodic opening of the Northwest Passage Route (NWP). This is often interpreted as overall improvement of marine access in the Arctic. However, the combined changes in sea ice cover and the ocean may increase risks to marine operations in the future. The changes consequently require new approaches in monitoring and forecasting of the ocean and sea ice. New model developments are important for improving future projections and forecasting skills, ultimately making the Arctic safer for the environment and society.

We acknowledge funding support from the Natural Environment Research Council UK and the Department for Business, Energy and Industrial Strategy (BEIS) under the United Kingdom & Russia Arctic Bursaries Programme, from the project APEAR (NE/R012865/1) jointly funded by UKRI Natural Environment Research Council (NERC) with the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) and from the NERC ACSIS Programme (NE/N018044/1).

SOILS AND SOIL-LIKE BODIES OF ANTARCTIC OASES: DIVERSITY, GENESIS, TEMPERATURE CONDITIONS, AGE

E.P. Zazovskaya (IG RAS),*

*A.V. Lupachev (Inst Physicochem & Biol Problems Soil Sci),
N.S. Mergelov (IG RAS), S.V. Goryachkin (IG RAS), A.V. Dolgich (IG RAS),
E.V. Abakumov (SPBU), A.A. Abramov (Inst. Physicochem &
Biol Problems Soil Sci), D.Yu. Vlasov (SPBU), A.I. Ivaschenko (CEPF RAS),
D.E. Konushkov (Soil Science Institute), D.A. Nikitin (Soil Science Institute),
D.G. Fedorov-Davidov (Inst. Physicochem & Biol Problems Soil Sci),
S.F. Khokhlov (Soil Science Institute), V.A. Shishkov (IG RAS),
I.G. Shorkunov (IG RAS)*

ПОЧВЫ И ПОЧВОПОДОБНЫЕ ТЕЛА ОАЗИСОВ АНТАРКТИКИ: РАЗНООБРАЗИЕ, ГЕНЕЗИС, ТЕМПЕРАТУРНЫЕ РЕЖИМЫ, ВОЗРАСТ

*Э.П. Зазовская¹, А.В. Лупачев², Н.С. Мергелов¹, С.В. Горячкин¹,
А.В. Долгих¹, Е.В. Абакумов³, А.А. Абрамов², Д.Ю. Власов³,
А.И. Иващенко⁴, Д.Е. Конюшков⁵, Д.А. Никитин⁵,
Д.Г. Федоров-Давыдов², С.Ф. Хохлов⁵, В.А. Шишков¹, И.Г. Шоркунов¹*

¹ — Институт географии РАН, г. Москва, Россия

² — Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения
РАН, Московская область, г. Пушкино, Россия

³ — Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Россия

⁴ — Центр экологической продуктивности лесов РАН, г. Москва, Россия

⁵ — Почвенный институт имени В.В. Докучаева, г. Москва, Россия

* zaszovsk@gmail.com

Масштабное изучение наземных экосистем Антарктики началось в конце 1950-х годов, во время Международного геофизического года. М.А. Глазовская (1958), на основе коллекции образцов, собранных К.К. Марковым в рамках первых советских антарктических экспедиций, выполнила исследования почвообразования и первичного выветривания, которые стали классическими в мировой литературе. В следующие годы большая часть почвенно-генетических работ выполнялась иностранными коллегами в районе Сухих Долин, Трансантарктических гор и на Антарктическом полуострове и прилегающих к нему островах. В начале 2000-х годов российские почвоведы и мерзлотоведы возобновили свои исследования в районе российских станций в береговой части Восточной Антарктиды и на труднодоступных участках Западной Антарктики, во многом, благодаря усилиям Д.А. Гиличинского. Практически одновременно начали свою работу группы почвоведов и криолитологов из

Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН и Института географии РАН, а также из Санкт-Петербургского государственного университета под руководством Д.Ю. Власова.

Исследования новых объектов внесли существенные дополнения в понимание процессов выветривания и почвообразования в экстремальных условиях, что отражено во множестве публикаций в российских и международных изданиях и легло в основу нескольких глав в международной монографии по антарктическим почвам (The Soils of Antarctica, 2015).

По классификации WRB наиболее распространенными почвами с выраженным строением профилей в Антарктиде являются Лептосоли и Криосоли. Значительные площади занимают орнитогенные и техногенные почвы. В тоже время ряд пород и субстратов заселен эпи-, гипо- и эндолитными сообществами, которые демонстрируют разнообразный набор органо-минеральных взаимодействий и создают почвоподобные профили на микроуровне.

Предварительные исследования (для оазисов Холмы Ларсеманн и Ширмахера) показывают, что в некоторых случаях пул углерода в так называемых «безгумусных» (ahumic) почвоподобных телах без видимого растительного покрова сравним с пулом углерода в почвах с относительно хорошо развитым почвенным профилем под мохово-лишайниковым покровом. Эмиссия диоксида углерода в летнее время в исследуемых оазисах варьирует от 2 до 117 мг C–CO₂ м⁻² ч⁻¹. Самые высокие значения эмиссии были зафиксированы в почвах под моховым покровом в ветровых убежищах.

За последние годы была собрана обширная база по радиоуглеродному возрасту почв и почвоподобных тел для региона Восточной Антарктиды. На настоящий момент показано, что в экстремальных условиях Антарктики, где источником органического вещества являются не сосудистые растения, а лишь некоторые криптогамные организмы и микробные фотоавтотрофы, может формироваться устойчивый во времени пул органического вещества. По нашим данным возраст современного этапа педогенеза в оазисах Восточной Антарктиды не превышает 500–1000 лет. Отсутствие почв, возраст которых соответствовал бы времени последней дегляциации изученных территорий может быть объяснено специфическими климатическими и ландшафтными условиями почвообразования: сильными катабатическими ветрами; преимущественным формированием почв с выраженным органо-профилем в местах подверженных интенсивной водной эрозии; локальными катастрофическими явлениями, периодически уничтожающими почвенный покров. Однако возраст органического углерода может достигать и $n \cdot 1000$ лет, что чаще всего указывает на наличие унаследованного углерода. Полученные данные о радиоуглеродном возрасте и изотопном составе криоконитового материала (органо-минеральная смесь частиц, на-

капливающаяся на поверхности снежников и ледников), показывает, что высвобождающийся при таянии ледника материал, может служить дополнительным источником биогенных элементов для формирования почв в оазисах. Он является своего рода хранилищем древнего углерода в леднике. Среднее время пребывания углерода в материале криоконитов Антарктики составляет от 2000 до 2500 ^{14}C лет. Исследования показывают, что органико-минеральные взаимодействия, сходные с таковыми в почвах, происходят и на поверхности льда.

В географическом смысле основные изученные оазисы можно отнести к двум почвено-географическим экорегионам — низкоантарктическим влажным тундропустошам (о. Кинг-Джордж) и среднеантарктическим снежниковым криптогамным пустошам — ландшафтам с контрастным в мезорельефе гидрологическим режимом, где сильное переувлажнение, вызванное таянием снежников в одних местах, сочетается с засушливыми почвами в бесснежных местах. Почвенный покров крупнейшего оазиса Восточной Антарктиды — Холмы Бангера характеризуется переходным состоянием почвенных признаков между снежниковыми пустошами и холодными пустынями, включая засоление и аккумуляцию карбонатов. Главной особенностью географии почв Антарктики является отсутствие выраженной почвенной зональности. В Антарктиде есть т.н. «острова педосферы», окруженные ледниковым покровом. Эти «острова» относятся к различным экорегионам, указанным выше. Почвообразование здесь практически не зависит от широты и макроклимата, а, в основном, контролируется локальными факторами — рельефом, почвообразующими породами, направлением и силой ветров, наличием колоний птиц и т.п.

Результаты 10-летнего мониторинга средней глубины деятельного слоя в рамках международных программ CALM-S и GTN-P показывают относительно стабильный температурный режим почв без существенных признаков увеличения глубины сезонного протаивания. Однако временной период мониторинга все еще слишком мал для выявления явных тенденций.

Исследования антропогенно-измененных почв и собственно антарктических Техносолей показали, что значительная их часть может быть идентифицирована как «умеренно загрязненные» и «существенно загрязненные» по концентрации местных (нефтяные и полиароматические углеводороды, тяжелые металлы) и глобальных (пестициды и хлорорганические вещества) загрязнителей.

Авторы благодарят Российскую антарктическую экспедицию за многолетнюю возможность проведения полевых исследований. В разные годы аналитические исследования были поддержаны грантами РФФИ и РНФ.

**PERMAFROST DEGRADATION AND IMBALANCE
IN THE CARBON CYCLE IN THE SEAS
OF THE EASTERN ARCTIC (GREENHOUSE GAS FLOWS, EXTREME
ASCIDIFICATION, GEORISKI)**

I.P. Semiletov (POI FEB RAS, TPU), N.E. Shahova (TPU, MIPT),
V.I. Sergienko (FEB RAS), L.I. Lobkovsky (MIPT, IO RAS),
O. Gustafsson (Stockholm University), O.V. Dudarev (POI FEB RAS, TPU),
I.I. Pipko (POI FEB RAS), S.P. Pugach (POI FEB RAS),
D.A. Kosmach (POI FEB RAS), D.V. Chernykh (POI FEB RAS),
A.N. Saluk (POI FEB RAS), R.A. Ananov (IO RAS), A.V. Kurilenko (POI FEB RAS),
E.A. Spivak (POI FEB RAS), E.V. Panova (TPU), A.S. Ruban (TPU),
A.K. Mazurov (TPU), E.V. Yakushev (IO RAS, NIVA), A.V. Koshurnikov (MSU),
V.E. Tumskoy (MSU), E.V. Chuvilin (SkolTech), L.N. Vasilevskaya (FEFU)*

**ДЕГРАДАЦИЯ МЕРЗЛОТЫ И НАРУШЕНИЕ БАЛАНСА
В ЦИКЛЕ УГЛЕРОДА В МОРЯХ ВОСТОЧНОЙ АРКТИКИ (ПОТОКИ
ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ, ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ АСИДИФИКАЦИЯ,
ГЕОРИСКИ)**

И.П. Семилетов^{1,2}, Н.Е. Шахова^{2,3}, В.И. Сергиенко⁴,
Л.И. Лобковский^{3,5}, О. Gustafsson⁶, О.В. Дударев^{1,2}, И.И. Пипко¹,
С.П. Пугач¹, Д.А. Космач¹, Д.В. Черных¹, А.Н. Салук¹, Р.А. Ананьев⁵,
А.В. Куриленко¹, Э.А. Спивак¹, Е.В. Панова², А.С. Рубан², А.К. Мазуров²,
Е.В. Якушев^{5,7}, А.В. Кошурников⁸, В.Е. Тумской⁹,
Е.В. Чувилин¹⁰, Л.Н. Василевская¹¹*

¹ — Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева
Дальневосточного Отделения РАН, г. Владивосток, Россия

² — Национальный Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

³ — Московский физико-технический институт (национальный
исследовательский университет), г. Москва, г. Долгопрудный, Россия

⁴ — Президиум Дальневосточного Отделения РАН, г. Владивосток, Россия

⁵ — Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия

⁶ — Стокгольмский университет, Стокгольм, Швеция

⁷ — Норвежский институт водных исследований, Осло, Норвегия

⁸ — Московский государственный университет им. М. Ломоносова,
г. Москва, Россия

⁹ — МГУ-геофизика, г. Москва, Россия

¹⁰ — Сколковский институт науки и технологий, Московская область,
дер. Сколково, Россия

¹¹ — Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия

* igorsm@poi.dvo.ru, ipsemiletov@alaska.edu

В настоящее время и в ближайшие десятилетия Сибирский арктический шельф есть и будет одной из наиболее важных природных систем на на-

шей планете, потому что он не только оказывает влияние на климат опосредованно через изменяющийся цикл *пресной воды* (опосредованно через термохалинный конвейер) и *углеродный цикл* (опосредованно через региональный дисбаланс в цикле углерода и атмосферную эмиссию основных парниковых газов, двуокись углерода – CO_2 , и метан – CH_4), но и сам является наиболее чувствительной частью климатической системы.

Мониторинг арктической прибрежной зоны и восточно-сибирского шельфа критически важен для понимания и оценки характерных особенностей взаимодействия в арктической системе «суша-шельф-атмосфера» для понимания механизма арктического усиления (*understanding Arctic amplification*) в отношении отклика арктической морской экосистемы на современное потепление и прогрессирующую деградацию наземной и подводной мерзлоты, которые являются наиболее динамичными компонентами литосферы в Арктике.

Очевидно, что происходящие изменения влияют и на биогеохимические циклы, в первую очередь, на цикл углерода, биогенных элементов. Это в свою очередь, влечет увеличение потоков CO_2 и CH_4 , особенно в районах, подверженных влиянию речного стока, береговой эрозии. Изменения в морских экосистемах, связанные с мобилизацией древнего органического вещества (ОВ) и запасов природных углеводородов, прежде надежно законсервированные в многолетних мерзлых толщах, представляют собой новую и ранее неизвестную обратную связь опосредованно через эмиссию основных парниковых газов (CO_2 и CH_4), обусловленную деградацией наземной и подводной мерзлоты (ПМ), последствия которой трудно предсказать.

Эмиссия парниковых газов вследствие расконсервирования депозитов природных углеводородов, особенно CH_4 (запасы которых в форме гидратов и свободного газа в сотни раз превосходят общее количество CH_4 в современной атмосфере), может приобрести широкомасштабный характер и вызвать необратимые климатические изменения за счет включения в современный цикл. Поскольку обратные связи, определяющие центральную роль Арктики в климатической системе планеты, обусловлены в первую очередь, взаимодействием между гидрологическим циклом и циклом углерода, изучение динамики и взаимосвязи отдельных компонентов этих циклов между собой, является методологической основой данного исследования.

Происходящие на арктическом шельфе наземные процессы неразделимы, так как потоки Сорг континентальной мерзлоты и обширных водосборов Великих Сибирских рек рано или поздно достигают шельфа. Масштабы этого взаимодействия носят планетарный характер поскольку

ку площадь водосбора река Лена превышает площадь шельфа морей Восточной Арктики (МВА) — самого широкого и мелководного шельфа Мирового океана, а площадь водосборов трех Великих Сибирских рек (Енисей, Лена, Обь) превышает площадь всего арктического шельфа. Авторская группа является первой, которая еще в 1990-х годах осознала необходимость комплексного подхода к изучению неразрывных биогеохимических процессов, ответственных за миграцию компонентов цикла углерода в арктической системе «суша-море-атмосфера».

Это позволяет использовать единый методологический подход и аппаратное оформление для изучения пресноводных и морских экосистем Российской Арктики.

В докладе приводятся избранные результаты полученные в 45 все-сезонных экспедициях (включая 5-летний проект научного бурения на шельфе МВА), в организованных Лабораторией арктических исследований ТОИ ДВО РАН и выполненных в рамках сотрудничества с ТПУ и ИОРАН, а также партнеров из Швеции, Нидерландов, Великобритании, США и Италии.

Ниже приведены некоторые из результатов ведущие к пересмотру сложившихся парадигм:

1) береговая эрозия определяет биогеохимический и седиментационный режим на мелководном шельфе МВА. Выявлен механизм подкисления (асидификации) вод МВА за счет окисления эрозийного ОВ вещества и речного эффекта разбавления вод, а не за счет поглощения атмосферного избыточного CO_2 , как во всем Мировом океане. Экстремальная асидификация вод приводит к угнетению бентосных организмов и уже зашкаливает модельные предсказания, сделанные международными экспертами на конец XXI века;

2) величина пузырькового переноса из донных отложений МВА в водную толщу изменяется на пять порядков (от 10^{-3} до $10^2 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$) в зависимости от состояния ПМ. Консервативная оценка выброса CH_4 с акватории МВА составляет > 17 миллионов тонн/год, что в два раза выше величины, предложенной Межправительственной группой экспертов по изменению климата (IPCC) для всего Мирового океана. В данную оценку не входят массивные выбросы метана в районах мега-сипов/мегафакелов (в поперечнике больше 1000 метров);

3) в последние 30 лет скорости вертикальной деградации ПМ удвоились по сравнению с предыдущими столетиями и достигли величины 18 см в год, что на порядок выше ранее принятых IPCC оценок. В ходе экспедиций в ряде районов МВА было обнаружено заглубление кровли ПМ в зону стабильности гидратов, что пространственно коррелирует

с наличием массивов выбросов пузырькового метана. Доказано, что мелкозалегающий акустический рефлектор, широко распространенный в донных осадках арктических морей, объясняется существованием газового (метанового) фронта, а не является кровлей ПМ, как было принято считать ранее. Газовый фронт движется к поверхности осадков со скоростью до 5–7 метров в год, что приводит к массивовому выбросу пузырькового метана в воду;

4) на основе исследований полного изотопного состава CH_4 водной толщи и донных осадков МВА показан смешанный генезис CH_4 с преобладанием биогенной компоненты. Диапазон изменчивости стабильных изотопов и радиоуглеродного возраста CH_4 значительно выходит за ранее известные пределы.

Для повышения безопасности освоения ресурсов Арктики и эксплуатации Северного морского пути разработан комплекс методов для изучения механизма дестабилизации гидратов, дистанционного экспресс-обнаружения и количественной оценке пузырьковой разгрузки CH_4 , газовых фронтов в толще осадков, и других георисков связанных с деградацией ПМ.

ON THE DEVELOPMENT OF THE RUSSIAN ANTARCTIC RESEARCH

A.A. Bystramovich (Roshydromet) A.V. Klepikov (AARI)*

О РАЗВИТИИ РОССИЙСКИХ АНТАРКТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

A.A. Быстратович¹, A.B. Клепиков^{2}*

¹ — Росгидромет, г. Москва, Россия

² — ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

Росгидромет осуществляет организацию и проведение научных исследований в Антарктике, а также обеспечение деятельности российских антарктических станций и сезонных полевых баз в форме зимовочных и сезонных экспедиций.

Развитие комплексных научных исследований в Антарктике включает в себя:

- изучение роли Антарктики в текущих, прошлых и будущих изменениях планетарной климатической системы;
- исследования Южного океана и морского льда;
- исследования ледникового щита Антарктиды;
- исследования палеоклимата, в том числе поиск и изучение древнейшего льда Антарктиды;

- комплексное исследование подледникового озера Восток с отбором проб воды;
- исследование явлений и процессов, обусловленных естественными изменениями космической погоды, с целью минимизации влияния негативных эффектов экстремальных геофизических процессов на среду обитания человека;
- оценка состояния экосистем Антарктики и Южного океана и влияния на них климатических изменений;
- оценка морских биологических ресурсов Южного океана для обеспечения экономически эффективного рыбного промысла;
- геолого-геофизические исследования континентальных районов Антарктиды и антарктических морей;
- санитарно-эпидемиологические исследования;
- исторические исследования с целью сохранения наследия, связанного с ролью России в открытии Антарктиды и освоении Антарктики.

Повышение качества и расширение спектра научных исследований, обеспечение безопасности жизнедеятельности сотрудников Российской антарктической экспедиции невозможно без модернизации и реорганизации экспедиционной инфраструктуры. Развитие российской экспедиционной инфраструктуры в Антарктике предусматривает:

- строительство новых зимовочных комплексов на станциях Восток и Мирный;
- перевод сезонной полевой базы Русская в круглогодично действующую антарктическую станцию;
- реконструкцию топливной базы на станции Беллинсгаузен, модернизация баз горюче-смазочных материалов на антарктических станциях в соответствии с природоохранными требованиями;
- проектирование и строительство нового научно-экспедиционного судна взамен НЭС «Академик Федоров» для обеспечения деятельности Российской антарктической экспедиции;
- внедрение эффективных природоохранных технологий, уменьшающих негативную нагрузку на окружающую среду, принятие мер по утилизации и удалению отходов жизнедеятельности за пределы района действия Договора об Антарктике;
- внедрение современных транспортных, навигационных, коммуникационных и медицинских средств и технологий, обеспечивающих безопасность жизнедеятельности персонала и операций ежегодных Российских антарктических экспедиций;
- завершение установки объектов российской наземной инфраструктуры на круглогодично действующих антарктических станци-

ях и своевременная их модернизация для обеспечения устойчивой круглогодичной работы в Антарктике спутниковой навигационной системы ГЛОНАСС.

В настоящее время началось выполнение проекта по строительству нового зимовочного комплекса на станции Восток на основе частно-государственного партнерства. В ближайшие годы будет осуществлен перевод сезонной полевой базы Русская в тихоокеанском секторе Антарктиды в круглогодично действующую антарктическую станцию, а также будет завершена установка комплексов наземного сегмента обеспечения российской космической деятельности на большинстве круглогодично действующих антарктических станций.

**SPACE WEATHER AND ITS EFFECT ON ATMOSPHERIC
PROCESSES (ACCORDING TO GEOPHYSICAL RESEARCH
IN THE ANTARCTIC)**

O.A. Troshichev (AARI)

**ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА АТМОСФЕРНЫЕ
ПРОЦЕССЫ (ПО ДАННЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
В АНТАРКТИКЕ)**

*O.A. Трошичев**

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

** olegtro@aari.ru*

Представлены результаты исследований, выполнявшихся в ААНИИ по трем основным аспектам указанной проблемы.

Связь аномальных атмосферных процессов в Антарктике с космической погодой. Показано, что воздействие межпланетного электрического поля ЕКЛ на атмосферные процессы в Антарктике реализуется через изменения глобальной электрической цепи и сводится к двум процессам: (1) формирование облачного слоя над Центральной Антарктикой, которое приводит к отражению длинноволновой радиации, идущей от ледяного купола; и нагреванию атмосферы ниже облачного слоя (внезапные потепления на станции Восток, до 20° в пределах полусуток), (2) ускорение воздушных масс спускающихся из тропосферы, которое приводит к росту давления в приземном слое атмосферы над ледяным куполом и увеличению скорости стоковых ветров. Когда скорость стоковых ветров достигает критически больших значений, циркумполярный вихрь в береговой зоне Антарктики распадается и холодный антарктический воз-

дух вторгается в Южный океан. Если этот процесс продолжается долгое время, аномальные условия распространяются на значительную часть Южного океана, что обуславливает изменение крупномасштабной циркуляцией во всем Южном полушарии (ENSO).

Межгодовые изменения общего содержания озона (ОСО) в Антарктиде. Показано, что уровень весенней депрессии ОСО («озоновой дырь») определяется квазидвухлетней осцилляцией (КДО) в интенсивности переноса тропического озона в южную полярную область. Выявлены неизвестные ранее сезонные закономерности эволюции КДО, на основании которых разработана методика прогноза длительности циклов КДО и, соответственно, содержания озона на экваторе и в Антарктиде.

Изучение флуктуаций солнечного УФ излучения. На ст. Новолазаревская (Антарктика) проводились спектральные измерения солнечного УФ излучения в зените атмосферы в диапазоне 297–330 нм. УФ излучение в диапазоне NUV297-330 является основным источником образования тропосферного озона и фотодиссоциации в атмосфере и поэтому имеет фундаментальное значение в цепи механизма солнечно-атмосферных связей. Показано, что изменение энергии излучения в 11-летнем цикле солнечной активности не коррелирует с ходом солнечной активности, что может иметь прямое отношение к проблеме глобального изменения климата.

**RUSSIAN-FRENCH INTERNATIONAL ASSOCIATED LABORATORY
"ICE ARCHIVES":
A REVIEW OF KEY SCIENTIFIC OUTCOMES**

V.Ya. Lipenkov (AARI), F. Parrenin (University Grenoble Alpes)*

**ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ
РОССИЙСКО-ФРАНЦУЗСКОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ
АССОЦИИРОВАННОЙ ЛАБОРАТОРИИ «ЛЕДНИКОВЫЕ АРХИВЫ
ДАННЫХ О КЛИМАТЕ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ»**

В.Я. Липенков^{1}, Ф. Паррена²*

¹ — ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

² — Института наук об окружающей среде, г. Гренобль, Франция

** lipenkov@aari.ru*

Плодотворное сотрудничество между учеными ААНИИ Росгидромета и лабораториями Национального центра научных исследований (НЦНИ) Франции в области изучения ледяных антарктических кернов и палеоклимата продолжается уже почти четыре десятилетия. В 2012–2019 гг.

совместные работы ученых двух стран осуществлялись в рамках деятельности российско-французской международной ассоциированной лаборатории (МАЛ) «Ледниковые архивы данных о климате и окружающей среде». МАЛ объединяла 4 французских и 5 российских научно-исследовательских групп, которые входили в состав НИУ и университетов, принадлежащих различным министерствам и ведомствам Франции и России.

Новым фактором этого этапа российско-французского сотрудничества стало создание в ААНИИ специализированной аналитической лаборатории для исследования ледяных кернов, палеоклимата и подледниковых озер Антарктиды — Лаборатории изменений климата и окружающей среды (ЛИКОС). Участие ЛИКОС в научно-технической кооперации с французскими партнерами способствовало ее вовлечению в международные проекты и программы, связанные с изучением ледяных кернов и палеоклимата, создавало условия ускоренного внедрения новейших методов и технологий анализа льда, а также обеспечивало международный контроль за качеством измерений в ЛИКОС. Одновременно с этим российские специалисты продолжали сохранять доступ к приборной базе французских НИУ, входивших в международную ассоциированную лабораторию, которая стала своего рода международным центром коллективного пользования с весьма широким диапазоном аналитических возможностей.

Научная программа МАЛ включала четыре основных направления:

- 1) исследование глобальных климатических изменений, сопровождающих смену ледниковых и межледниковых эпох, и развитие методов датирования льда;
- 2) исследование климата последних столетий по данным мелких скважин и развитие метода изотопного палеотермометра;
- 3) поиск следов жизни в ледниковых средах;
- 4) теоретические и экспериментальные исследования процессов, связанных с бурением глубоких скважин во льду.

В докладе изложены наиболее значимые результаты деятельности МАЛ за весь период ее существования (2012–2019 гг.). К таким результатам, в частности, относятся: новые методы датирования ледникового льда, первые данные о содержании углекислого газа в атмосфере Земли более миллиона лет назад, полученные по керну древнего льда со станции Восток, развитие методов палеореконструкций с использованием данных по кислороду-17, результаты изучения ледяных кернов, добытых на г. Эльбрус, а также результаты исследования изотопного состава водяного пара в Южной полярной области.

Представлен перспективный план продолжения совместных исследований в рамках российско-французского международного исследова-

тельского проекта (IRP) «Ледниковые архивы» (2020–2024 гг.), подготовка которого завершается в настоящее время.

В докладе использованы результаты исследований, выполненных при поддержке РФФИ и НЦНИ, гранты 14-05-93105 НЦНИЛ_а, 14-05-93106 НЦНИЛ_а, 18-55-16002 НЦНИЛ_а, и 18-55-16001 НЦНИЛ_а.

ANTARCTIC RESEARCH OF THE REPUBLIC OF BELARUS

V.F. Loginov (Institute of Nature Management NAS, Belarus)

БЕЛОРУССКИЕ АНТАРКТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В.Ф. Логинов

*Государственное научное учреждение «Институт природопользования
Национальной академии наук Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь*

nature@ecology.basnet.by

Начало исследований в Антарктиде относится к 2006 г., когда была принята Государственная целевая программа «Мониторинг полярных районов Земли и обеспечение деятельности арктических и антарктических экспедиций» на 2007–2010 годы и на период до 2015 года. С тех пор Беларусь при логистической поддержке России провела 12 сезонных экспедиций. Ранее в период с 1955 по 1992 гг. в составе советских антарктических экспедиций работало 102 белорусских специалиста.

В рамках Государственной программы в районе Белорусской антарктической станции, расположенной на горе Вечерней (Земля Эндерби) на расстоянии около 25 км от Российской антарктической станции Молодежная, выполняются наземные лидарные и спектрометрические измерения атмосферы, скоординированные со спутниковым зондированием. Для выполнения измерений используются: спектральный альбедометр, солнечный многоволновой сканирующий радиометр, мобильный двухволновой и стационарный многоволновой поляризационный рамановский лидары. Результатами обработки комплексных наземных и спутниковых измерений являются высотные профили оптических характеристик аэрозоля и концентраций аэрозольных фракций, спектры диффузного отражения поверхности Земли, размеры снежных зерен, площади фракций снежного покрова и скальных образований. Получены данные об общем содержании озона в вертикальном столбе атмосферы. На основании обработки радиометрических данных получены усредненные по атмосферному слою параметры аэрозоля: аэрозольная оптическая толщина, показатель Ангстрема, распределение частиц аэрозоля по размерам, показатель преломления (его действительная и мни-

мая части) и индикатрисы рассеяния. Радиометр на станции включен в глобальную радиометрическую сеть AERONET. Данные радиометра MODIS в комплексе с результатами наземных измерений используются для получения пространственного распределения размеров снежных зерен и доли выходов скальных пород в пикселе. За время наблюдения с 2003 по 2018 годы не обнаружено сколь-либо заметных тенденций в изменениях характеристик снежного покрова в районе горы Вечерняя. Результаты наблюдений в районе побережья моря Росса приводят к аналогичному выводу.

По материалам полевых площадных измерений магнитного поля с помощью феррозондовых магнитометров Lemі — 8 на территории Вечернегорской площади были построены карты модуля T индукции магнитного поля и его вертикальной составляющей Z . Аномальное магнитное поле в прибрежной части района обусловлено глубинными магнитными неоднородностями элементов разломно-интрузивной тектоники. Подготовлен комплект карт, включая карту районирования магнитного поля по блокам однородности, разломов фундамента, вещественного состава фундамента и другие.

В соответствии с положениями Протокола по охране окружающей среды к Договору об Антарктике в районе оазиса Вечерний выполняется оценка воздействия на окружающую среду, что необходимо для прогнозирования его последствий и разработки мер по минимизации. Впервые получены оценки выбросов в атмосферу ряда загрязняющих веществ от дизель-генераторных установок, использующихся в настоящее время и эксплуатировавшихся ранее на полевой базе Советской антарктической экспедиции. С использованием модели AERMOD рассчитаны концентрации NO_2 , SO_2 , VЧ10 в атмосферном воздухе для различных периодов исследования. Предложенный подход будет использован для получения ретроспективных оценок воздействия на окружающую среду в других антарктических оазисах.

С целью слежения за состоянием компонентов природной среды в связи со строительством и функционированием Белорусской антарктической станции осуществляются эколого-геохимические исследования. Сеть мониторинга, заложенная в 2011/2012 гг., к настоящему времени расширилась и включает 20–25 точек наблюдения за снежным покровом, 15 — за состояние почв, 13 — за озерами и временными водоемами. На основании полученных данных впервые для оазиса Вечерний охарактеризован гидрохимический состав озер и временных водоемов, выявлены природные и антропогенные факторы, определяющие вариабельность гидрохимических показателей, выполнено обобщение данных о содержании микроэлементов.

Показано, что значительная вариабельность содержания микроэлементов в водоемах оазиса Вечерний, как и в других оазисах, может быть связана с различной интенсивностью геохимических процессов в пределах водосборов и выщелачиванием элементов из горных пород, интенсивностью таяния снежников и объемов поступления талых вод в водоемы, привнесом морских аэрозолей и другими факторами.

Выполнен анализ климатических изменений на Земле Эндерби с использованием спутниковых и модельных данных: рядов реанализа Национального центра прогноза окружающей среды США, исторических рядов, рядов Европейского центра среднесрочных прогнозов, данных Всемирного проекта по климатологии осадков и других. Выполненные исследования подтвердили, что, как и в других частях Восточной Антарктиды, на Земле Эндерби динамика климатических составляющих за инструментальный период не имеет четко выраженных трендов. По совокупности разнообразных рядов данных можно говорить только о некотором уменьшении среднегодового количества осадков, возрастании доли ветров юго-восточного направлений и скоростей ветра и незначительном росте среднегодовых температур приземного слоя воздуха.

В рамках биологических исследований проведена инвентаризация разнообразия практически всех крупных таксонов живых организмов. Выявлено около 70 видов водорослей, всесторонне описана криптогамная флора (30 видов лишайников). Получены новые данные по разнообразию Царства Животные: микробеспозвоночных, представителей макрозообентоса моря Космонавтов, ихтио- и паразитофауны. Для исследований морской биоты применяется комплексная схема, сочетающая традиционные методы (в т.ч. водолазные погружения) и телеуправляемые подводные аппараты. Проводятся дистанционное зондирование донных сообществ в градиенте глубин и дистанционный отбор проб. Продолжаются наблюдения за видами-индикаторами природных экосистем (морские птицы и млекопитающие). В последнее время акцент исследований сделан на использование молекулярно-генетических методов. В рамках Barcode Of Life Data System реализован проект по получению новых данных о генетическом разнообразии Восточной Антарктики (более 600 образцов организмов в широком таксономическом спектре).

В рамках исследования микробных сообществ создана коллекция микроорганизмов, содержащая более 300 чистых культур, выделенных из снежного покрова, воды и донных отложений пресноводных водоемов, эндолитовых и гиполитных сообществ, почв с высоким содержанием нефтепродуктов и останков животных. У выделенных микроорганизмов исследована способность продуцировать ферменты, которые могут

быть использованы в биотехнологии. Определена протеолитическая, амилолитическая, целлюлолитическая, ДНКазная и липолитическая активности, а также нуклеотидная последовательность генома одного штамма дрожжей и 7 штаммов бактерий.

Выполняются исследования особенностей метаболизма и адаптаций некоторых представителей антарктических эукариот, в частности лишайников. Установлено, что меланиновые пигменты исследованных видов находятся в комплексе с хитином, который является неотъемлемым компонентом микобионта. Исследовано содержание ряда тяжелых металлов в некоторых листоватых и кустистых лишайниках Восточной Антарктиды.

Рассмотрены вопросы строительства национальной станции, логистики и международного сотрудничества с Россией, Турцией, Болгарией, Финляндией и др.

DRILLING DEEP BOREHOLES IN THE ANTARCTIC GLACIER

V.S. Litvinenko, N.I. Vasilev, A.N. Dmitriev, A.V. Bolshunov,
S.A. Ignatev (SPMU)*

БУРЕНИЕ ГЛУБОКИХ СКВАЖИН В АНТАРКТИЧЕСКОМ ЛЕДНИКЕ

В.С. Литвиненко, Н.И. Васильев, А.Н. Дмитриев, А.В. Большунов,
С.А. Игнатъев*

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

**vasilev_ni@spmi.ru*

Важнейшим и наиболее эффективным способом изучения строения, структуры, вещественного состава и динамики ледовых отложений в полярных областях является бурение скважин с полным отбором керна, что дает возможность проводить кристалломорфологические исследования льда с больших глубин, геофизические наблюдения в скважинах, изучать химический состав льда, содержание изотопов кислорода и углерода, различных включений (земная и космическая пыль, вулканический пепел, бактерии, споры растений и др.).

Горный университет является лидирующей и в настоящее время единственной в России организацией, занимающейся разработкой технических средств и методов бурения глубоких скважин во льдах. Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в этом направлении ведутся в Горном университете, начиная с 1967 г. В результате были созданы основы теории теплового и механического разрушения льда, методики расчета технологических параметров бурения,

обоснован выбор рецептуры незамерзающей заливочной жидкости для предотвращения сужения ствола скважины под воздействием горного давления. Разработан ряд принципиально новых полуавтономных электротепловых и электромеханических буровых снарядов на грузонесущем кабеле (ТЭЛГА, ТБЗС, КЭМС и др.), комплексы стационарного и передвижного бурового оборудования, системы контроля и автоматизированного управления процессом бурения. Созданы и внедрены специальные методики и аппаратура комплекса геофизических исследований скважин в экстремальных условиях полярных ледников.

В ледниковом покрове Антарктиды сотрудниками Горного института пробурено в общей сложности около 20 тысяч метров с полным отбором ледяного керна.

Целью буровых работ было получение сплошного керна льда по всей толщине льда и керна подледниковых пород.

Бурение глубокой скважины 5Г было начато в 35-й САЭ (1990 г.) тепловым способом снарядами типа ТЭЛГА и ТБЗС. В 38 РАЭ (1993 г.) скважина достигла глубины 2755 м. В период 40-й РАЭ (1995 г.) бурение скважины 5Г-1 было продолжено с глубины 2755 м электромеханическим снарядом и без каких-либо серьезных осложнений доведено до глубины 3109 м. Затем, в сезонные периоды 41-й, 42-й и 43-й РАЭ (1995/96 гг., 1996/97 гг. и 1997/98 гг.), скважина 5Г-1 была пройдена в интервале глубин с 3109 до 3623 м. После сезонных работ в 1998 году бурение скважины было приостановлено на 8 лет и возобновлено лишь в сезоне 51-й РАЭ в январе 2005 года, когда скважина достигла глубины 3650 м. Несмотря на значительное время простоя, деформаций стенок скважины не было отмечено, благодаря практически полной компенсации горного давления льда давлением столба заливочной жидкости по всему стволу скважины.

В 1990-х годах было доказано существование под ледником в районе станции «Восток» огромного подледникового озера. Последняя скважина № 5Г должна была войти в озеро, а не в подледниковые породы.

Изменение конечной задачи буровых работ в связи с открытием озера Восток, в воду которого должна была войти скважина, а также значительные изменения физико-механических свойств льда на глубинах свыше 3000 м потребовали внесения серьезных изменений в технологию работ и планы их проведения.

Буровые работы были приостановлены, и ученые Горного университета совместно с учеными из Арктического и Антарктического НИИ приступили к разработке экологически безопасной технологии вскрытия подледникового озера.

При бурении глубоких скважин, как в Антарктиде, так и в Гренландии, исследователи всех стран столкнулись с серьезными осложнениями уже

на глубинах свыше 2500 м, а на глубинах более 3000 м осложнения становились столь значительными, что бурение практически прекращалось. Это явление даже получило название — «проблема бурения тепло-го льда», так как с увеличением глубины температура льда повышается.

При бурении скважины 5Г явное и неуклонное снижение рейсовой проходки началось с глубины 3100 м, а на глубине 3500 м (сезон 42-й РАЭ — январь 1997 г.) углубка скважины практически прекратилась.

На основе анализа результатов работ были выявлены основные причины осложнений и внесены значительные изменения в конструкцию бурового снаряда.

Благодаря проведенной модернизации бурового оборудования глубокая скважина № 5Г была успешно завершена. Первое вскрытие подледникового озера Восток было выполнено 05.02.2012 г. на глубине 3769,3 м.

После замерзания поднявшейся в скважину озерной воды было выполнено повторное бурение с глубины 3200 м, рейсовая проходка была близка к максимально возможной, что свидетельствует об эффективности модернизации бурового снаряда. Повторное вскрытие озера Восток было успешно выполнено 25 января 2015 г.

Авторы благодарят Российскую антарктическую экспедицию за логистическое обеспечение данных работ, которые выполнялись при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № НК 18-55-16003/18.

**THE MAIN STAGES OF RUSSIAN GEOLOGICAL
AND GEOPHYSICAL RESEARCH IN ANTARCTICA:
MAIN RESULTS AND PROSPECTS**

A.I. Pogorelsky, V.N. Masolov, D.M. Vorob'ev, M.S. Egorov,
A.V. Kiselev PMGE)*

**ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ
ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
В АНТАРКТИКЕ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

А.И. Погорельский, В.Н. Масолов, Д.М. Воробьев, М.С. Егоров,
А.В. Киселёв*

*АО «Полярная морская геолого-разведочная экспедиция», АО «Росгеология»,
Санкт-Петербург, Россия*

** oazis4315@yandex.ru*

Геолого-геофизические работы в Антарктиде и Южном океане на протяжении более полувека ежегодно проводятся Министерством при-

родных ресурсов и экологии Российской Федерации (ранее Мингео СССР и Роскомнедра) и представляют собой важнейшую составную часть отечественных научных исследований в Южной полярной области. Их главные задачи сформулированы в Морской доктрине Российской Федерации, как осуществление государственной политики, направленной на сохранение и закрепление позиций России в этом регионе.

В истории отечественных геолого-геофизических исследований в Антарктике выделяется три основных этапа. Первый, рекогносцировочный, длился до начала 1970-х годов и характеризовался отдельными геологическими наблюдениями на разрозненных участках докембрийского щита Восточной Антарктиды горных массивах Земель Королевы Мод, Королевы Мэри, Эндерби, Принцессы Елизаветы, а также на Антарктическом полуострове и Трансантарктических горах. В итоге была сформулирована отечественная концепция тектонического строения всего континента. Не лишенная противоречий, эта концепция явилась для своего времени наиболее продвинутой интерпретацией истории формирования земной коры Антарктиды, значительно превосходящей по детальности, начавшие появляться тогда на западе схематичные плитно-тектонические модели.

На втором этапе работы проходили на фоне резко возросшего интереса к минеральному сырью Антарктики, что было стимулировано нефтяным кризисом 1970-х годов и быстрым прогрессом технологий морской нефтедобычи. В системе Договора об Антарктике началась активная разработка Международного политико-правового режима по регулированию освоения минеральных ресурсов региона. Требовалось сформулировать позицию СССР в этих переговорах. Для этого требовалось провести ускоренное изучение обширных наиболее перспективных областей Антарктиды. Комплексные геолого-геофизические работы ПМГРЭ в составе САЭ и тематические исследования, выполненные в НИИГА (в последствие ВНИИОкеангеология) послужили основой для выхода в 1985 году постановления Совмина СССР «О резком расширении геолого-геофизических исследований в Антарктике и укреплению материально-технической базы работ». Выход этого правительственного документа ознаменовал пик активности Мингео СССР в Антарктике. В этот период полевыми работами была охвачена площадь около 5 млн. кв. км на всем континенте.

Многokrратно возросла роль авиации, которая служила мощнейшим инструментом площадных аэрогеофизических и авиадесантных съемок.

Они включали в себя авиадесантные гравиметрические работы, сопровождаемые сейсмическими зондированиями методом отраженных волн (МОВ), аэромагнитную съемку в комплексе с радиолокационными зондированиями, а также глубинное сейсмическое зондирование (ГСЗ), послужившее основой для интерпретации комплексных аэрогеофизических данных.

Важнейшим событием этого этапа было развертывание систематических морских исследований, положившие начало накоплению богатейших сейсмических и гравимагнитных данных по строению эволюции и перспективам нефтегазоносности континентальной окраины Антарктиды. Главным итогом этапа является создание единой системы представлений о строении и геодинамической эволюции земной коры Антарктики, и разработка на этой основе принципов мирогенического районирования Южной полярной области. Было изучено геологическое строение обширной территории района ледников Ламберта-Эймери в Восточной Антарктиде, а также ледников Фильхнера и Ронне, и их горного обрамления в Западной Антарктиде. Обнаружен целый ряд проявлений полезных ископаемых: железистые кварциты, каменные угли, ураноносные песчаники, золото-кварцевые проявления, потенциально алмазоносные породы и тела, расслоенные габброиды с повышенным содержанием цветных и благородных металлов.

Третий этап, соответствующий кризисному десятилетию 1990-х и началу 2000-х годов, был крайне тяжелым для всех видов российских антарктических исследований, особенно для геологии. Несмотря на это были сохранены сложившиеся направления отечественных работ в Антарктике, и необходимые для этого технические средства и кадровый состав. На текущий момент они включают изучение геологического строения обнаженных районов антарктической суши, коренного ложа и глубинного строения, перспектив нефтегазоносности осадочных бассейнов на континентальной окраине Антарктиды.

Необходимо отметить проведение ПМГРЭ совместно с РАЭ геофизических исследований в районе подледного озера Восток, изучению которого международное научное сообщество придает исключительное значение. В ходе этих работ определена его береговая линия и глубина, а также выявлены особенности рельефа дна озера, его бортов, и тектоническое строение.

Геологические работы последних лет сосредоточены на Землях Принцессы Елизаветы (острова Рёуэр, оазис Вестфолль) и Королевы Мэри (оазис Бангера). Их результатом стало составление геологических карт нового поколения масштаба 1: 50 000 и 1: 100 000. На основе полученных данных уточнен возраст образования геологических структур, открыт ряд ранее неизвестных рудопроявлений цветных и благородных металлов.

В последние годы аэрогеофизическими съемками покрыты обширные районы прибрежной части Восточной Антарктиды. В ходе работ изучен подледный рельеф и глубинное строение, определена мощность ледника, выявлена и закартирована обширная система каньонообразных долин протянувшаяся, в целом, в субмеридиональном направлении более чем на 250 км вплоть до морского побережья. Выявление подобного уникального для этого региона природного образования является важным географическим открытием последних лет. Первоочередными объектами для дальнейшей съемки являются Земля Вильгельма II и Земля Королевы Мэри. Эта область является крупнейшей, малоизученной частью Антарктиды и аэрогеофизическими исследованиями будет логично наращиваться съемки прошлых лет. Геологические работы при этом целесообразно продолжить на Земле Королевы Мэри и распространить их на Земли Эндерби и Королевы Мод, уникальные районы, изучение которых необходимо для полного понимания геологического строения Антарктиды. Кроме того, необходимо предусмотреть возможность геологических исследований в Западной Антарктиде на Земле Королевы Виктории и на Антарктическом полуострове.

Изучение глубинного строения и перспектив нефтегазоносности осадочных бассейнов на континентальной окраине Антарктиды начиная с 1991 г. выполнялись на специализированном научно-исследовательском судне НИС «Академик Александр Карпинский». Рекогносцировочными работами довольно подробно изучена приантарктическая часть Индийского океана (с расстоянием между профилями 80–100 км). В дальнейшем целесообразно продолжить работы в тех районах, которые являются по результатам предшествующих наблюдений ключевыми для понимания фундаментальных закономерностей эволюции литосферы, а также зависящих от них процессов нефтегазонакопления. В дальнейшем необходимо перейти к исследованиям в малоизученных районах тихоокеанского сектора Антарктики.

**MICROBIOLOGICAL STUDIES OF ICE CORE AND WATER
SAMPLES OF SUBGLACIAL ANTARCTIC LAKE VOSTOK**

S.A. Bulat (PNPI), M.V. Doronin (PNPI), E.S. Rudaya (PNPI),
D.A. Sumbatyan (PNPI), D. Mari (CNRS, France)*

**МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ЛЬДА КЕРНА ВОСТОК И ПРОБ ВОДЫ
ПОДЛЕДНИКОВОГО АНТАРКТИЧЕСКОГО ОЗЕРА ВОСТОК**

С.А. Булат¹, М.В. Доронин¹, Е.С. Рудая¹, Д.А. Сумбатян¹, Д. Мари²*

¹ — *Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»,
Ленинградская обл., г. Гатчина, Россия*

² — *Биологическая станция Французской академии наук (НЦНИ),
Роскофф, Франция*

** bulat_sa@pnpi.nrcki.ru*

Уникальное подледниковое озеро Восток, расположенное в центральной Восточной Антарктике под одноименной Советской/Российской Антарктической станцией Восток, заложенной в декабре 1957 г., было обнаружено радарным зондированием (альтиметром с ERS-1 спутника) в 1993 г. и окончательно подтверждено (наземные сейсмограммы А.П. Капицы и снимки из космоса – ERS-1) в 1996 г. Озеро огромное — размеры 270×70 км, площадь зеркала 15,8 тыс. км², объем воды 6,1 тыс. м³, средняя глубина 400 м, максимальная глубина 1,2 км. Располагаясь в полу-разломе (рифте) ниже уровня моря на 175 м под 4-км ледовым щитом и давлением около 400 атм. без доступа света имеет среднюю температуру –2,65 °С, не содержит органических соединений (ультра-олиготрофное), но супер-насыщено кислородом (по последним расчетным данным — 815 мг·л⁻¹), изолировано от поверхностной биоты как минимум 14 млн лет назад. Полагают, что озеро существовало до начала оледенения Антарктиды около 34 млн лет назад и содержало различные формы жизни. Его осадочные породы могут содержать архив этой прошлой жизни, и их изучение могло бы прояснить генезис озера — существование до оледенения Восточной Антарктиды или образование в результате плавления льда за счет потока геотермального тепла (45–55 мW·м⁻²).

Целью исследования был поиск микробной жизни в подледниковом Антарктическом озере Восток, анализируя поверхностный слой воды, вошедшей в глубокую ледовую скважину (толщина льда 3769 м) вследствие недокомпенсации «горного» давления и быстро в ней замерзшей

после трех вскрытий озера (5 февраля 2012 г., 25 января 2015 г. и 3 февраля 2015 г.) [Bulat S.A. Microbiology of the subglacial Lake Vostok: first results of borehole-frozen lake water analysis and prospects for searching for lake inhabitants. *Philosophical Transactions of The Royal Society A Mathematical Physical and Engineering Sciences*, 2016, vol. 374, 20140292, <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2014.0292>.]. Образцы включали озерную воду, намерзшую на буровую коронку, и замерзшую, а затем, разбуренную, в скважине. Запуск воды в скважину преследовал цель не загрязнить воды уникального озера.

Все образцы замершей воды оказались загрязнены в разной степени используемой нестерильной жидкостью для бурения – керосин с добавкой фреонов как «утяжелителей». Концентрации клеток, измеренные методом проточной цитофлуориметрии (SYBR Green агент, связывающийся с ДНК) варьировали от 167 (вода, замерзшая на буровой коронке) до 5,5 – 38 клеток/мл в различных образцах замершей в скважине воды. Тщательные ДНК анализы (амплификация и секвенирование бактериальных генов 16S рРНК), выполненные в условиях чистых помещений, выявили 53 фило типа. Из них только три фило типа бактерий прошли все контроли на контаминацию, включая сравнение с собственной библиотекой контаминантов [Bulat S.A., Alekhina I.A., Blot M., Petit J.-R., de Angelis M., Wagenbach D., Lipenkov V.Ya., Vasilyeva L.P., Wloch D.M., Raynaud D., Lukin V.V. DNA signature of thermophilic bacteria from the aged accretion ice of Lake Vostok, Antarctica: implications for searching for life in extreme icy environments. *International journal of Astrobiology*, 2004, vol. 3, pp. 1–12.] (контроли на экстракцию и амплификацию ДНК, ультрачистая вода для обмывки льда, жидкость для бурения, пыль в чистых помещениях и пр.), а также экологический критерий (“Everything is everywhere, but, the environment selects”).

Первые две находки были обнаружены после 1-го вскрытия озера [Bulat S.A. Microbiology of the subglacial Lake Vostok: first results of borehole-frozen lake water analysis and prospects for searching for lake inhabitants. *Philosophical Transactions of The Royal Society A Mathematical Physical and Engineering Sciences*, 2016, vol. 374, 20140292, <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2014.0292>.] — до сих пор не идентифицированный и неклассифицированный фило тип w123-10 (популяция клонов), показавший менее 86 % сходства с известными таксонами и, видимо, представляющий некультивируемые *Parcubacteria* из раздела *Candidatus Adlerbacteria* с необычной биологией, и фило тип 3429v3-4, показавший 93,5 % сходства с *Herminiimonas glaciei* из *Oxalobacteraceae* (*Beta-Proteobacteria*) — водной ультра-микробактерией, выделенной

из Гренландского керна льда GISP2 с глубины 3042 м. Первый фило-тип показал филогенетическое родство с ранее выделенной по ДНК также не идентифицированной и не классифицированной бактерией AF532061 [Bulat S.A., Alekhina I.A., Blot M., Petit J.-R., de Angelis M., Wagenbach D., Lipenkov V.Ya., Vasilyeva L.P., Wloch D.M., Raynaud D., Lukin V.V. DNA signature of thermophilic bacteria from the aged accretion ice of Lake Vostok, Antarctica: implications for searching for life in extreme icy environments. *International journal of Astrobiology*, 2004, vol. 3, pp. 1–12.] (92 % сходства с ближайшими родственниками в Genbank), но никакого родства с представителя известными разделов. Второй филотип, хотя и показал наибольшее сходство с представителем рода *Herminiimonas*, не показал с ним достоверного филогенетического родства, оставшись, таким образом, не идентифицированным, но классифицированным как *Oxalobacteraceae*.

Образцы замерзшей воды после второго вскрытия озера не дали ничего интересного — только контаминанты.

После 3-го вскрытия озера был обнаружен филотип 3698v46- 27 (популяция клонов), который по последовательности генов 16S рибРНК оказался конспецифичным сразу нескольким видам рода *Marinilactobacillus* из *Carnobacteriaceae* (*Firmicutes*), ибо последовательности 16S рибРНК у *Firmicutes* очень эволюционно консервативны. Среди них — *M. piezotolerans*, выделенный из морских осадков на глубине 4,15 м в глубоководной (4790,7 м) океанской впадине Nankai Trough.

Археи не были обнаружены ни в каких образцах льда озерной воды, хотя были использованы специальные археи-специфичные ПЦР прай-меры на две области 16S рибРНК генов.

Таким образом, три обнаруженных бактериальных филотипа могут представлять истинную микробиоту подледникового озера Восток, обитающую в поверхностном слое озерной воды или занесенную в скважину с некой глубины резким подъемом воды и/или течением. Из них один остался полностью неизвестным, второй классифицирован, но не идентифицирован, а третий отнесен к роду бацилл *Marinilactobacillus*.

Мы выражаем благодарность Российской Антарктической Экспедиции (РАЭ) ФГБУ «ААНИИ», Санкт-Петербург и научной программе НЦНИ-РФФИ LIA (Convention de Création du Laboratoire International Associé) “Climats et Environnements à partir des Archives Glaciaires” за предоставление образцов льда замерзшей воды озера Восток и поддержку данного исследования. Особую личную благодарность хотели выразить С.В. Попову (ПМГРЭ, Санкт-Петербург),

В.Я. Липенкову (ААНИИ, Санкт-Петербург) и Г.Л. Лейченко (ВНИИ геологии и минеральных ресурсов Мирового океана, Санкт Петербург) за предоставление бесценных данных по геофизике, газовому составу и геологии озера Восток, а также бывшему руководителю РАЭ В.В. Лукину на постоянный интерес и поддержку данных исследований. Исследование частично выполнено при финансовой поддержке РФФИ и ИЦНИ в рамках научного проекта № 18-55-16004.

HIGH RESOLUTION CLIMATE CHANGE RECORDS FROM ICE CORES IN NORTHERN VICTORIA LANDS, ANTARCTICA

S.D. Hur¹, S.-B. Hong¹, H. Hwang¹, K. Lee¹, Y. Han¹, J. Ahn², J.-W. Yang²,
Y. Jang², J. Lee³, S. Kim³*

¹ — *Korea Polar Research Institute, Incheon, Republic of Korea*

² — *Seoul National University, Seoul, Republic of Korea*

³ — *Ewha Womans University, Seoul, Republic of Korea*

* *sdhur@kopri.re.kr*

Korea Polar Research Institute is conducting high-resolution studies using four ice cores to study changes in past climate and air environment in the Northern Victoria Land of Antarctica, where the Korean second Antarctic Station, JangBogo Station is located. Northern Victoria Land is composed of the TransAntarctic Mountains, where topographical changes are complex and rapid glacial flow and many glaciers are formed along the steep slopes. Also, the atmospheric environment is an area where the atmosphere of the Pacific and Indian oceans mix, and restoring climate change is not easy under the influence of the Amundsen Sea Low, which influenced to the climate environment of Antarctica. To address this, ice cores in different regions should be considered together and a seasonal scale high-resolution study should be carried out.

For this research, four ice cores were drilled in North Victorialand: GV7, Styx Glacier, Hercules Neve and Tourmaline Plateau, and three ice cores are studying up to now. In this presentation, I will summarize the important points of our study so far.

In this study, we determined the age of three ice cores by analyzing high-resolution components, and reconstructed the past temperature by stable water isotope ratio and bore hole temperature. We analyzed the ion components indicating sea salt components of ice core to reconstruct the records of past sea ice changes and correlate them with climate change. Various trace elements analyzed to restore the atmospheric environment records changed by natural / anthropogenic factors.

We reconstruct the temperature changes since the 17th century by directly measuring the temperature at the bore hole of ice coring hole in the Styx Glacier, Antarctica. Plutonium (Pu) composition were analyzed with high resolution to identify the effects of the Antarctic snowfall following a widely conducted atmospheric nuclear test in the 1950s and 1980s. The age of the firn gas in the Styx glacier core of Victoria Land in Antarctica that is relatively older than other similar areas in Antarctica has revealed that it is caused by a layer of high density.

GIS MAPPING AND MONITORING OF ECOLOGICAL SITUATION OF THE ARCTIC ISLANDS BASED ON REMOTE SENSING

V.P. Savinykh (MIIGAiK), A.A. Medvedev (IG RAS), S.K. Beskov (MIIGAiK)*

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ И МОНИТОРИНГ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ АРКТИЧЕСКИХ ОСТРОВОВ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

В.П. Савиных^{1}, А.А. Медведев^{2**}, С.К. Бесков^{1***}*

¹ — *Московский государственный университет геодезии и картографии,
г. Москва, Россия*

² — *Институт географии РАН, Санкт-Петербург, Россия*

** vp@miigaik.ru*

*** a.a.medvedeff@gmail.com*

**** firacc@miigaik.ru*

Проект был реализован в соответствии с программой выполнения работ в рамках гранта РФФИ 15-29-06127 и направлен на решение фундаментальной задачи — разработки методики мониторинга пространственно-временной изменчивости экосистем и получение информации о современном состоянии островных территорий российского сектора Арктики на основе данных дистанционного зондирования.

Использование методов геоинформационного картографирования с использованием данных ДЗЗ — современный, оперативный и инновационный подход в исследовании негативного влияния антропогенного загрязнения на экосистемы Арктики.

В рамках достижения заявленных целей были поставлены следующие задачи:

- провести анализ и сбор информации об источниках антропогенного загрязнения островных территорий российского сектора Арктики;
- разработать структуру базы геоданных для объектов, нарушающих экологический баланс и негативно влияющих на состояние окружающей среды;

- осуществить поиск и обработку полученных разновременных космических снимков различных космических аппаратов (КА);
- разработать серию карт ландшафтных покровов и растительности на основании анализа динамики развития растительного покрова и фотосинтетической активности исследуемых поверхностей на основании распределения изменений значений нормализованного вегетационного индекса растительного покрова (NDVI).

Новаторский системный подход в реализации задач проекта позволили получить следующие результаты:

- разработаны и усовершенствованы методы дистанционного зондирования на основе использования разновременных космических снимков и данных с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) сверхвысокого пространственного разрешения;
- разработана методика создания экологических карт на основе вышеупомянутых данных;
- дана оценка использования геоданных, полученных в результате ДЗЗ для картографирования территории островных территорий Арктики различных масштабов и тематической направленности.

Анализ разновременных КФС позволил провести диагностику экологического состояния и оценить современную изученность ландшафтных параметров островных геосистем Арктики.

В рамках анализа данных ДЗЗ определены границы возможностей спутниковых систем для исследований различной тематики.

В качестве комплексного и перспективного направления при исследовании и картографировании территории Арктики в дополнение к спутниковым данным предложено использовать различные типы БПЛА (квадро- и гексакоптеры), которые могут применяться в локальных исследованиях островных экосистем, а также в тематическом картографировании по предметным областям.

Апробация использования данных ДЗЗ различного пространственного разрешения для решения задач тематического картографирования островных экосистем, включая данные с БПЛА, проходила на островных территориях Архангельской области (Соловецкие острова и другие острова Белого моря). В рамках проекта осуществлено 3 экспедиционных выезда для аэрофотосъемки с применением БПЛА и сбора эталонов дешифрирования.

В качестве исходных данных дистанционного зондирования использовались мультиспектральные космические снимки с аппаратов Landsat 5/7/8, Modis, Sentinel 1/2, Corona, Канопус-В, Ресурс-П, WorldView2, SPOT 5/6 в сочетании с цифровыми топографическими картами в диа-

пазоне масштабов 1:5000 – 1:1000000. Для получения данных сверхвысокого разрешения (АФС) применялись гексакоптеры RC 690S Tarot 2, квадрокоптер DJI Phantom 3/4 и DJI Inspire Pro.

В результате, получено и обработано 572 космических и 2791 аэрофотоснимок, на основе которых построены мозаики, осуществлена ортофототрансформация и проведена автоматизированная классификация изображений. На территории 9 крупных островов (Моржовец, Колгуев, Вайгач, Белый, Врангеля) и архипелагов (Новая Земля, Земля Франца-Иосифа, Северная Земля, Новосибирские острова) построены безоблачные мозаики снимков.

При выполнении обработки аэрофотоснимков тестировались и сравнивались две универсальные программы: Agisoft Photoscan и Pix4Dmapper. Процесс обработки АФС в данных программных продуктах полностью автоматизирован.

На основании полученных данных впервые составлены геоморфологические карты для обследованных участков (масштаб 1:25 000 – 1: 50 000), а также крупномасштабные геоморфологические карты небольших островов (масштаба 1:10000 – 1: 50 000).

В результате анализа одновременных данных составлена карта распределения классов ландшафтного покрова островных территорий российского сектора Арктики, и выявлены ареалы его изменений с 1992 по 2000 гг.; получены данные изменений фенологических характеристик и фотосинтетической активности растительного покрова с 1982 по 2013 гг.; сформулированы дешифровочные признаки зон высокой антропогенной нарушенности. Разработаны содержание и методика составления карт территориального зонирования, включающие информацию об условиях миграции и аккумуляции химических элементов.

Составлена карта распределения изменений значений нормализованного вегетационного индекса растительного покрова NDVI за период 1982–2012 гг., где можно проследить долговременную динамику фотосинтетической активности растительного покрова Арктики.

В процессе анализа и выявления источников антропогенного загрязнения окружающей среды, решена задача распознавания источников загрязнения на многозональных спутниковых и аэрофотоснимках среднего, высокого и сверхвысокого разрешения на основе многоуровневого дешифрирования с использованием разработанных алгоритмов классификации.

Для тематической обработки данных и моделирования были использованы средства и методы геоинформационных систем (ГИС) с функциями пространственного анализа, геоинформационного моделирования,

картографической визуализации данных, в том числе в сетевой среде Интернета и облачных средах.

Основные выводы следующие: в связи с развитием средств и методов дистанционного зондирования Земли, они были и остаются главным инструментом и лежат в основе изучения труднодоступных территорий. Несмотря на значительные трудности в получении некоторых материалов дистанционного зондирования, связанных с метеорологическими условиями и другими объективными ограничениями, получены достоверные результаты и разработаны методики для обеспечения научно-исследовательских и научно-практических работ не только в арктических, но и в других труднодоступных регионах.

Прикладные и научно-методические технологии, разработанные в результате выполнения настоящего проекта, могут быть использованы для решения проблем рационального природопользования и осуществлению мероприятий по сохранению и восстановлению нарушенных экосистем Арктики.

MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES FOR REMOTE MONITORING OF THE ARCTIC REGION OF RUSSIA

A.A. Petrukovich, L.M. Zelenyi, E.A. Lupyay, S.A. Bartalev (IKI RAS)*

СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА РОССИИ

A.A. Петрукович, Л.М. Зеленый, Е.А. Лупян, С.А. Барталев
Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия*

**a.petrukovich@cosmos.ru*

Эффективность освоения Арктического региона России в ближайшие годы будет во многом определяться наличием объективной информации о состоянии окружающей среды, природных и антропогенных объектов. В силу того, что большинство районов Арктики труднодоступны, получение оперативной, объективной информации фактически невозможно без использования дистанционных (в первую очередь, спутниковых) методов.

Следует отметить, что в последние годы произошел качественный скачок в развитии систем спутникового дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), к данным многих систем был открыт свободный, бесплатный доступ к данным. Это позволило расширить возможности по созданию и внедрению систем дистанционного мониторинга, которые во

многих случаях стали рентабельны. В то же время, рост возможностей спутниковых систем привел к фактически экспоненциальному росту объемов поступающей информации. Для эффективной работы с ними потребовалось создание принципиально новых автоматизированных технологий. Такие работы в последние годы активно ведутся как за рубежом, так и в России.

В настоящем докладе обсуждаются основные особенности и возможности технологий построения систем дистанционного мониторинга, опыт эксплуатации нескольких десятков различных специализированных информационных систем, созданных в ИКИ РАН. Эти технологии могут быть использованы при организации оперативного, объективного мониторинга разнообразных характеристик Арктического региона. Приведены примеры организации мониторинга наземных экосистем арктического региона и гелиогеофизической обстановки в авроральной зоне (системы Vega-Science (<http://sci-vega.ru/>) и Аврора-Арктика (<http://aurora.geosmis.ru/>)).

THE MAIN RESULTS OF GEOLOGICAL RESEARCH IN ARCTIC AND ANTARCTIC IN THE PAST DECADE

V.D. Kaminsky, V.A. Poselov, A.A. Chernykh, E.A. Gusev, A.N. Smirnov,
G.L. Leichenkov (VNIIOkeangeologia)*

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В АРКТИКЕ И АНТАРКТИКЕ ЗА ПОСЛЕДНЕЕ ДЕСЯТИЛЕТИЕ

В.Д. Каминский, В.А. Поселов, А.А. Черных, Е.А. Гусев, А.Н. Смирнов,
Г.Л. Лейченко*

*«Всероссийский научно-исследовательский институт геологии
и минеральных ресурсов Мирового океана
им. академика И. С. Грамберга», Санкт-Петербург, Россия*

** okeangeo@vniio.ru*

ВНИИОкеангеология — широкопрофильный российский государственный научно-исследовательский институт, занимающийся геологическим изучением континентального шельфа, Мирового океана, Арктики и Антарктики и архипелага Шпицберген. Институт более 20 лет проводит в Арктическом бассейне исследования, связанные с обоснованием расширенного континентального шельфа Российской Федерации в Северном Ледовитом океане (ВГКШ). Совокупность полученных современных данных, основанных на результатах интерпрета-

ции комплексных исследований МОГТ, ГСЗ, МПВ, данных потенциальных полей, результатов геологического опробования и батиметрических наблюдений — свидетельствует о том, что морфоструктуры комплекса Центрально-Арктических подводных поднятий (ЦАП) составляют единый блок континентальной коры сложного тектонического строения, являющийся естественным продолжением континентальной окраины Евразии. Сейсмостратиграфическая интерпретация данных МОВ-ОГТ в пределах комплекса ЦАП, позволяет утверждать, что в депоцентрах осадочных бассейнов прогиба Вилькицкого и Чукотской впадины присутствуют не только меловые комплексы, но и более древние.

Главным фактором, влиявшим на тектоническую эволюцию морфоструктур Центрально-Арктического бассейна, является рифтовое растяжение континентальной коры. На разрезах МОВ-ОГТ наиболее очевидные признаки рифтового растяжения фиксируются на хр. Ломоносова, поднятии Менделеева, Чукотском плато и на их склонах в осадочные бассейны прогиба Вилькицкого и Чукотской впадины. В то же время депоцентры этих осадочных бассейнов, выполненные доверхнеюрскими отложениями, характеризуются практически ненарушенным залеганием всех осадочных комплексов. Полученные результаты позволят обосновать юрисдикцию Российской Федерации на площадь акватории в Арктическом бассейне равной 1,19 млн кв. км.

Работы по методическому обеспечению и сопровождению региональных геолого-геофизических и геологосъемочных работ на континентальном шельфе охватывают полный инновационный цикл — от разработки проектов программ общегеологического и специального назначения до издания и внедрения конечной продукции — листов Государственной геологической карты российской Федерации. В частности, Институт занимается составлением листов Госгеолкарты-1000/3 по глубоководной части Северного Ледовитого океана, основу которых на акватории составляют подготавливаемые комплекты геофизических основ. За последние 10 лет были закартированы области сочленения хребтов Ломоносова, Гаккеля, поднятия Менделеева с евразийской континентальной окраиной, что позволило существенно пересмотреть представления о стратиграфическом объеме и мощности осадочного чехла и внутренней структуре осадочных бассейнов, а, следовательно — и представления о нефтегазовом потенциале последних. Результаты, положенные в основу геологических построений, главным образом были получены в совместных с ААНИИ экспедициях. Среди таковых — высокоширотные экспедиции на судах Росгидромета «Михаил Сомов»,

«Академик Федоров», «Академик Трешников». Последняя комплексная экспедиция, в которой получены новые сведения о геологии Баренцево-Карской континентальной окраины, проведена в рамках проекта «Трансактика-2019» (И.Е.Фролов и др., 2019).

Важнейшей задачей тематических работ ФГБУ «ВНИИОкеангеология» по углеводородному направлению является уточнение количественной оценки ресурсов нефти, газа и конденсата на континентальном шельфе России. В 2019 году была завершена количественная оценка ресурсов углеводородов по состоянию на 01.01.2017 г., оценены прогнозируемые, перспективные и локализованные ресурсы по всем тринадцати морям Российской Федерации, созданы структурированные массивы информации с использованием современных ГИС. С 2020 года оценка ресурсной базы континентального шельфа будет ежегодно актуализироваться с учетом проводимых геологоразведочных работ и результатов тематических исследований Института. Работы по количественной оценке периода 2017–2019 гг. выявили как ряд успехов отечественной геологоразведочной отрасли первых двух десятилетий XXI века, так и основные проблемы в изучении углеводородных ресурсов континентального шельфа в ближайшей перспективе.

С целью повышения достоверности оценки ресурсов углеводородного сырья и формирования стратегического плана морских геологоразведочных работ в последние годы Институт проводит тематические работы по следующим направлениям — создание электронных ресурсов по результатам комплексного изучения разрезов параметрических скважин на островах Западной Арктики и глубоких скважин морского бурения на шельфе Баренцева и Карского морей; оценка ресурсного потенциала слабоизученных шельфов восточного сектора Арктики на основе обобщения и анализа исследований разных лет по арктическим островам; актуализация моделей геологического строения северных областей Арктического шельфа с изучением по данным современных цифровых сейсмических материалов перспективных нефтегазоносных систем и 2D/3D моделированием эволюции осадочных бассейнов.

По направлению «Твердые полезные ископаемые Арктики» научная и научно-производственная деятельность постоянно ведется практически с момента создания нашего института (1948 г.) — и даже ранее, в рамках деятельности геологического отдела Главного управления «Севморпуть». В прошедшее десятилетие завершена фундаментальная тематическая работа по оценке перспектив освоения и развития минерально-сырьевого потенциала ТПИ Арктической

зоны РФ и прилегающих районов российского Севера, выполненная совместно с ФГБУ «ВИМС» (2014 г.). Итоги многолетнего изучения минерально-сырьевого потенциала арктической континентальной окраины России были обобщены в монографии «Твердые полезные ископаемые архипелагов и островов арктической континентальной окраины Евразии», изданной под редакцией В.Д.Каминского. Важное направление исследований, проводимых в Институте, — многоплановое и последовательное изучение рудогенеза ТПИ, в первую очередь россыпных полезных ископаемых в шельфовых областях окраинных и внутриматериковых морей России. Практическая сторона вопроса — установление закономерностей формирования и локализации россыпей и их типизации, прогнозирование месторождений, оценка запасов, ресурсов и потенциала с составлением общего баланса по главным видам минерального сырья россыпей (золото, олово, алмазы, титан и циркон, янтарь и др.). Результаты научных изысканий отражены в многочисленных публикациях и монографических изданиях.

ВНИИОкеангеология более 60 лет выполняет геологические и геофизические исследования в Антарктике. Основными направлениями исследований являются: изучение геологического строения обнаженных районах антарктической суши; изучение тектонической структуры, глубинного строения и геодинамической эволюции земной коры Антарктики; реконструкция обстановок осадконакопления в окраинных морях Антарктики; оценка перспектив полезных ископаемых в Антарктике. В течение последних 10 лет отделом геологии и минеральных ресурсов Антарктики составлены комплекты геологических и геофизических карт м-ба 1:1 000 000 для отдельных ключевых регионов Восточной Антарктиды общей площадью около 1 млн км². Успешно выполнены международные проекты Научного комитета по изучению Антарктики (СКАР), международной комиссии ЮНЕСКО по геологической карте Мира (КГКМ), Международного полярного года (МПГ). В результате реализации этих проектов созданы карты аномального магнитного поля Антарктики (Проект ADMAP); подледного рельефа Антарктики (Проект BEDMAP), тектонического строения Антарктики. Начиная с 2017 г. институт является ответственным исполнителем Государственных заданий Роснедр по геолого-геофизическому изучению и оценке минерально-сырьевого потенциала недр Антарктиды и ее окраинных морей в составе Российских антарктических экспедиций, привлекая в качестве соисполнителя АО «ПМГРЭ».

**COMPREHENSIVE HYDROGRAPHIC RESEARCH
IN THE ARCTIC TO JUSTIFY THE OUTER BOUNDARY
OF RUSSIA'S EXTENDED CONTINENTAL SHELF**

V.Yu. Bakhmutov, A.V. Kostenich, K.G. Stavrov (GNINGI)*

**КОМПЛЕКСНЫЕ ГИДРОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
В АРКТИКЕ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ВНЕШНЕЙ ГРАНИЦЫ
КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ШЕЛЬФА РОССИИ**

*В.Ю. Бахмутов, А.В. Костенич, К.Г. Ставров**

*АО «Государственный научно-исследовательский
навигационно-гидрографический институт», Санкт-Петербург, Россия*

** stavrov@gningi.ru*

АО «Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт» (АО «ГНИНГИ») постановлением Правительства Российской Федерации определено головной научно-исследовательской организацией, ответственной за обоснование и разработку технической политики в области навигации, гидрографии, морской картографии, океанографического обеспечения обороны и экономики страны.

Практически сразу после своего формирования в 1939 г., как научно-исследовательское учреждения Военно-Морского флота, Институт приступил к работам по навигационно-гидрографическому и гидрометеорологическому обеспечению (НГГМО) морских операций в Арктике. Эта работы включали как разработку новых технических средств и методов, так и проведение комплексных экспедиционных исследований.

В интересах обеспечения безопасности плавания подводных лодок в Арктике ежегодно с начала 60-х до 90-х годов XX века проводились Воздушные высокоширотные экспедиции (ВВЭ) «Север», научно-методическая основа которых была разработана учеными ГНИНГИ в сотрудничестве со специалистами ААНИИ и НИИГА (в н/вр. ВНИИОкеангеология). Основной задачей комплексных гидрографических и геофизических исследований ВВЭ «Север», выполнявшихся с дрейфующих льдов авиадесантным способом, было картирование рельефа дна Северного Ледовитого океана (СЛО) сейсмо-гидрографическими методами. Результаты этих экспедиций позволили создать в ГНИНГИ уникальный «СейсмоАрктикБанк».

После ратификации Российской Федерацией в 1996 г. Конвенции ООН по морскому праву (1982 г.) организациями Минприроды и Минобороны России были развернуты исследования по обоснованию внешних границ континентального шельфа государства в СЛО и

Охотском море. В соответствии с требованиями этой Конвенции (ст. 76) прибрежные государства, имеющие расширенный континентальный шельф, определяют зону своей юрисдикции внешней границей континентального шельфа (ВГКШ), если таковая расположена за пределами Искл. экон. зоны (ИЭЗ), ограниченной расстоянием 200 морских миль от исходных линий. Для определения ВГКШ введены соответствующие правила и ограничения. Положение ВГКШ за пределами ИЭЗ обосновывается прибрежным государством на основе гидрографических (батиметрических) данных о рельефе дна, которые являются определяющими для проведения основных отсчетных линий, и геолого-геофизических данных (сейсмических, профилографических, гравиметрических и др.), необходимых для подтверждения континентальной природы шельфа. Заявка с обоснованием ВГКШ рассматривается Комиссией по границам континентального шельфа при ООН.

Таким образом, сама постановка задачи обоснования ВГКШ требует проведения комплексных исследований на шельфе.

На начальном этапе подготовки Представления РФ в Комиссию (ООН) по границам континентального шельфа (2001 г.) «СейсмоАрктикБанк» стал одним из основных источников натурных данных, с помощью которых была показана возможность приращения площади континентального шельфа РФ в Арктике за пределами ИЭЗ на 1,2 млн кв. км, содержащих (по прогнозным оценкам) около 4,9 млрд т. усл. топлива.

В 2002–2019 гг. исследования по этой проблеме были продолжены ГНИНГИ совместно с научно-исследовательскими учреждениями



Рис. 1. Расположение оборудования на островных площадках МСО

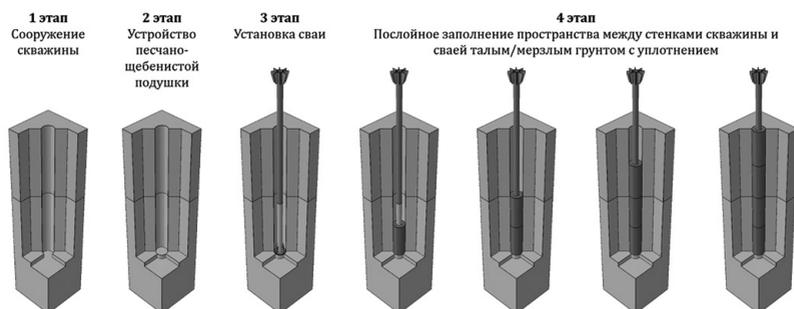


Рис. 2. Технологическая схема сооружения буропускной сваи.

Минприроды России (ААНИИ, ВНИИОкеангеология, ВСЕГЕИ, МАГЭ) и другими мореведческими организациями геологического и гидрографического профиля.

По заказу Минприроды и Минобороны России в 2009–2019 гг. АО «ГНИНГИ» организовало и провело в кооперации с государственными и коммерческими организациями ряд экспедиций в Северном Ледовитом океане и в Охотском море. Впервые в мировой практике в районах центральной Арктики, покрытых дрейфующим льдом, на надводном судне под проводкой атомного ледокола выполнены систематические батиметрические и геофизические исследования.

При проведении гидрографических работ по проблеме ВГКШ в СЛЮ основной надводной платформой стало научно-экспедиционное судно «Академик Федоров» (ААНИИ). Для проведения этих работ НЭС «Академик Федоров» прошел дооборудование на судовой верфи «Turku Repair Yard» (Финляндия). В 2010 году на судне был установлен навигационно-гидрографический комплекс на базе многолучевого эхолота (МЛЭ) EM-122 фирмы «Kongsberg Maritime AS» (Норвегия) с акустически прозрачной ледовой защитой и с точностными характеристиками, удовлетворяющими требованиям Комиссии ООН. В 2011 г. для проведения геофизических исследований использовался сейсморазведочный комплекс компании «ION-GXT» (США). Для исключения ледовых повреждений буксируемых устройств на судне было установлено специальное забортное защитное устройство «SKEG». Для сбора геофизических данных на НЭС «Академик Федоров» также использовались набортный и буксируемый акустические профилографы и набортные гравиметры.

В 2012 г. для обеспечения геолого-геофизических работ по проблеме ВГКШ привлекались также дизельные ледоколы и исследовательские подводные аппараты.

Специализированное гидрометеорологическое обеспечение экспедиций, проведенных в интересах обоснования ВГКШ РФ в СЛО, осуществлялось учеными ААНИИ.

Уникальные гидрографические и геофизические данные, полученные в результате этих экспедиций, включены в информационные ресурсы Росгеолфонда и Минобороны России и положены в основу пересмотренного Представления РФ в Комиссию ООН в отношении континентального шельфа России в СЛО (2015–2019 гг.).

В частности, обработка гидрографических данных (всего более 38 тыс. лин. км) проведена специалистами ГНИНГИ с использованием технологии и сертифицированного программного обеспечения, рекомендованных Комиссией ООН, а также оригинальных технологических приемов и компьютерных программ, защищенных свидетельствами Роспатента. Комплексная обработка материалов разнородных съемок в центральном Арктическом бассейне позволила дополнить фонды ГС ВМФ новыми высококачественными батиметрическими данными.

Разработанная в ГНИНГИ технология совмещения в единый массив разнородных данных о глубинах морского дна положена в основу отечественной цифровой модели рельефа дна СЛО (RuBCAO), а проведенный с ее помощью сравнительный анализ аналогичных отечественных и международных баз данных, позволил уточнить характеристики рельефа дна в отдельных районах СЛО.

Необходимо отметить, что материалы аналогичных гидрографических исследований, выполненных ГНИНГИ по проблеме ВГКШ в Тихом океане, стали определяющими при принятии в 2014 г. Комиссией ООН решения о международном признании юрисдикции Российской Федерации в отношении центральной части Охотского моря.

DEVELOPMENT OF CONCEPTUAL SOLUTIONS ARRANGEMENT OF THE ARCTIC SHELF

V.S. Litvinenko, M.V. Dvoynikov (SPMU)*

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ОБУСТРОЙСТВА ШЕЛЬФА АРКТИКИ

*В.С. Литвиненко, М.В. Двойников**

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

** dvoynik72@gmail.com*

Арктика является стратегической и уникальной минерально-сырьевой базой, в которой сосредоточены значительные запасы углеводород-

ного сырья, однако их добыча сложна и требует применения инновационных технико-технологических решений, адаптированных к конкретным условиям. Прибрежная территория характеризуется слабыми вечномерзлыми грунтами, низкими температурами и подвержена сезонному затоплению.

В докладе представлены концептуальные решения по сооружению модульных свайных оснований (МСО) в арктических условиях прибрежной зоны для размещения на них буровых установок и вспомогательного оборудования с целью последующего поисково-оценочного и разведочного бурения скважин.

Освоение нефтегазовых месторождений в Арктике обуславливает создание соответствующей инфраструктуры для проведения геолого-разведочных работ. Строительство островов для проведения разведочного бурения скважин в полярных условиях шельфа у побережий Канады и Аляски началось в 1972 г.

На сегодняшний день российские компании при планировании разведочного бурения в акваториях и заливах арктических морей России рассматривают создание искусственных насыпных или намывных островов. Недостатком описанных выше способов является необходимость доставки со значительных расстояний сыпучих строительных материалов, а также затраты времени на формирование и промораживание самого острова. Кроме того, при ликвидации неиспользуемых островов грунт, слагающий тело насыпного острова является отходом, запрещенным к захоронению на территории внутренних морских вод. Описанные недостатки приводят к значительным издержкам и проблемам, как при проектировании, так и при согласовании и строительстве насыпных островов.

С учетом требований по рекультивации песчаных искусственных островов применение комбинированных ледово-свайных оснований с термостабилизацией имеет неоспоримое преимущество, так как свайное основание может быть разобрано до свай и использовано повторно, а сваи обрезаны ниже уровня грунта и утилизированы. При этом верхний слой ледового основания может быть снят, растоплен и очищен от вредных примесей. Разработка концептуальных решений обустройства шельфа Арктики за счет использования в качестве площадок для размещения оборудования МСО позволит повысить эффективность поисково-оценочного бурения скважин. Перед возведением ледово-свайных оснований на арктическом шельфе целесообразно апробировать технологию в условиях прибрежных территорий, подверженных сезонному затоплению.

Разработанная концепция создания модульных свайных оснований, представленных трубами, предполагает оптимальное размещение и

круглогодичную эксплуатацию бурового и вспомогательного оборудования на выделенных технологических зонах. Для реализации данных решений могут применяться новые типы свай или традиционные фундаменты, нашедшие широкое распространение при ведении строительных работ в зонах многолетнемерзлых грунтов.

Предлагается использовать объединенные дорогами МСО, включающие комплекс объектов: буровую установку, жилой городок, котельную установку, дизель-генератор, электростанцию, склад горюче-смазочных материалов (ГСМ) и др.

Расположение оснований выполняется с учетом безопасности ведения работ и составляет: факельная линия для сжигания газа при освоении скважины — 100 м; буровая вышка — 63 м; склад ГСМ — не менее 40 м. Вертолетная площадка выполняется с возможностью захода на посадку воздушного судна минимум с двух сторон. Размеры площадки для размещения буровой вышки выполнены с учетом возможности обеспечения оптимального технологического процесса бурения скважины с доставкой и подачей необходимого оборудования, труб, материалов и реагентов, а также минимизации опасности распространения огня в случае пожара на одном из островов. Жилой городок располагается вдали от источников шума, выхлопа дизельных электростанций и вредных производственных воздействий.

Для проведения термодинамических и геомеханических расчетов в зонах многолетнемерзлых грунтов принимается специальная технологическая схема.

За основание принимаются термостабилизированные мерзлые грунты, залегающие ниже глубины сезонного протаивания, в связи с чем, при расчетах интервал сцепления свай с грунтом принимается от нижнего конца свай до максимальной глубины сезонного протаивания.

Анализ результатов исследования показал, что температура в зоне контакта свай с породой составляет в среднем от 1,75 до 1,5 °С. Максимальные напряжения в грунтовом изменяются от 4–5 кПа (в зоне контакта нижней части свай с породой) до 4,1 МПа (в зоне контакта верхней части свай с породой). При этом результирующие деформации горной породы изменяются от 1 до 6 мм. Полученные результаты напряжений и деформации горной породы не являются критичными и удовлетворяют условиям безопасного сооружения МСО в условиях Арктики.

На основании проведенных в Горном университете поисковых исследовательских и проектно-конструкторских работ, установлено, что стоимость строительства МСО в среднем на 50 % меньше стоимости обустройства и поддержания песчаных отсыпок.

Для верификации результатов моделирования планируется проведение натуральных испытаний несущей способности единичного модуля свайного основания с распределенной на нем нагрузкой в условия сезонно затопляемых мерзлых грунтов прибрежной зоны Карского моря. При этом предусматривается дистанционный круглогодичный мониторинг за изменением напряженно-деформированного состояния МСО.

COMPREHENSIVE ANALYSIS, ASSESSMENT AND FORECASTING GEODYNAMIC RISKS AND HYDROCARBON FIELDS IN THE ARCTIC ZONE

R. O. Stepanov (BMSTU)

КОМПЛЕКСНЫЕ АНАЛИЗ, ОЦЕНКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ РИСКОВ И ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ

Р.О. Степанов

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
г. Москва, Россия*

stepanovr@bmstu.ru

Количественные анализ, оценка и прогнозирование геодинамических рисков представляет собой актуальнейшую проблему для человечества, поскольку она напрямую определяет уровень защищенности современной цивилизации и созданных ею инфраструктур от проявления земных катастроф.

Обоснованию и разработке моделей анализа, оценки и прогнозирования геодинамических рисков посвящен настоящий доклад. Эти исследования вывели автора и на такой их важный прикладной аспект, как выявление потенциальных мест залежей углеводородов.

Созданные к настоящему времени модели оценки геодинамических рисков подразделяются на детерминированные, вероятностные и нечеткие.

Детерминированные модели применяются двух типов: двумерные и трехмерные. Наиболее эффективны при оценке геодинамических рисков трехмерные модели, базирующиеся на граничных условиях, учитывающих четыре условия: о наличии значительных сдвиговых горизонтальных напряжений на верхней границе модели (вблизи дневной поверхности Земли); о влиянии возмущений от распределенной нагрузки на нижней границе модели (границе Мохо); об отсутствии вертикальных сдвиговых напряжений на верхней границе модельного пространства; об отсутствии вертикальных сдвиговых напряжений на нижней границе модельного пространства.

Распределенная нагрузка аппроксимировалась данными по аномальному гравитационному полю, представленными в виде рядов Фурье.

Детерминированные модели ориентированы на оценку геодинамических рисков для достаточно протяженных территорий регионального масштаба. Однако они не всегда корректно «работают» на меньших по площади территориях вследствие отсутствия или разреженности данных о полях различных геодинамических аномалий.

Подобных недостатков лишены *вероятностные модели* оценки геодинамического риска.

Предполагалось, что последовательность геодинамических состояний геологической среды некоторой территории представляет собой простейший поток однородных событий, удовлетворяющий условиям независимости, однородности и ординарности.

В докладе, базируясь на дифференциальных уравнениях Колмогорова, описана динамика вероятностей трех состояний геологической среды — равновесное устойчивое, неравновесное неустойчивое, квазиравновесное.

При определении состояний предполагалось, что в каждый момент времени геологическая среда обладает некоторыми энергетическими параметрами, количественно характеризующими энергию протекающих в ней опасных геологических процессов.

Применительно к территориям, значительно неоднородным в тектоническом отношении, применение и детерминированных, и вероятностных моделей также не всегда оправдано по причине неопределенности данных. Поэтому применяются модели, основанные на математическом аппарате нечетких множеств.

При формировании базы правил системы нечеткого вывода в качестве входных переменных используются характеристики техногенного воздействия, технического состояния здания и сооружения, геоэлектрического и акустического поля, характеристики гидрогеологической сети, климатические показатели. Также используются данные, полученные на основании анализа макросейсмических характеристик землетрясений и информации о напряжениях и смещениях, рассчитанных с помощью детерминированных и вероятностных математических моделей. Кластеризация территорий производилась на основе методов нечеткой блочной риск-классификации с помощью алгоритма нечетких *c*-средних (FCM-алгоритм).

В рамках исследований по анализу, оценке и прогнозированию геодинамических рисков в Арктической зоне построена *глобальная модель* их оценки, на основе которой во всем объеме литосферы Земли восстановлены поля напряжений и смещений с учетом пространственной

вариации упругих модулей. Таким образом, построена цифровая модель литосферы Земли, отражающая ее физические характеристики в глобальном масштабе. Это позволило выявить многие геодинамические особенности литосферы. В частности, показано, что эпицентры сейсмических событий на Земном шаре концентрируются в областях наибольших значений модуля ротора полного вектора смещений в геологической среде. Указанный дифференциальный оператор использован в качестве *математического индикатора геодинамического риска*.

Проведены расчеты вероятностного геодинамического риска в глобальном масштабе на всех глубинах литосферы Земли. Результаты расчетов хорошо согласуются с распределением эпицентров землетрясений, произошедших за последние 100 лет, что свидетельствует об адекватности предложенного подхода к количественной оценке геодинамического риска.

Другой важный прикладной аспект модельных исследований заключался в поиске *геодинамических индикаторов залежей углеводородов*. Используя цифровую модель литосферы Земли, такой индикатор был найден. Проведена его успешная апробация применительно ко многим известным нефтегазоносным бассейнам на территории Земного шара, включая Арктическую зону Российской Федерации. Выполняя оценки геодинамического риска для указанной территории на суше и прилегающих к ней шельфовой зоне и акватории, установлено, что нефтегазоносные бассейны территориально размещаются на границах левовращающейся вихревой структуры, образованной физическими характеристиками литосферы, связанными со скоростями ее деформации.

В докладе делаются следующие основные выводы:

1. Разработан и практически реализован комплекс математических моделей, алгоритмов, вычислительных процедур и программных средств оценки геодинамического риска на различных по своему геологическому строению территориях.

2. Новая глобальная математическая модель оценки геодинамических напряжений, смещений и деформаций в литосфере отличается от существующих учетом значительных горизонтальных сдвиговых напряжений в верхних слоях литосферы Земли.

3. Оценка геодинамического риска основана на использовании математического индикатора, представляющего собой пространственное распределение значений ротора полного вектора смещений в геологической среде.

4. Формализованное представление геодинамических рисков, основанное на нечетких отношениях, позволяет проранжировать природные, техногенные и антропогенные процессы по степени их воздействия на объекты, а также оценить интегральные риски для территорий.

5. Блочная риск-классификация, базирующаяся на нечеткой кластеризации объектов, расположенных на территориях Арктической зоны, имеет большое значение при выработке стратегии управления территориальными системами, с целью их дальнейшего развития.

6. Предложенные математические модели, численные методы и алгоритмы открывают новые перспективы для проведения научных исследований как в области управления сложными распределенными территориальными системами, так и при решении прикладных практических задач оценки геодинамических рисков и поиска залежей углеводородов.

Таким образом, в докладе описывается принципиально новая, не имеющая аналогов в практике геофизических исследований, цифровая модель литосферы Земли, представляющая собой компьютерную базу данных (БД) характеристик литосферных геодинамических процессов. Для исследования указанных характеристик разработана специализированная программа DMGRLE (Digital Model Geodynamic Risk Litosphere of the Earth), которая позволяет не только формировать самые разнообразные запросы к БД, но и на более детальном и качественном уровне реализовывать различные модели оценки геодинамического риска, а также обосновывать геодинамические индикаторы мест расположения залежей углеводородов.

SCIENTIFIC INTERACTION OF ROSNEFT OIL COMPANY AND AARI IN THE ARCTIC 2012–2019

O.Ya. Sochnev (Rosneft Oil Company), Ya.O. Efimov (Arctic Science Centre),
Yu. P. Gudoshnikov (AARI), E.U. Mironov (AARI), A.V. Nesterov (AARI)*

НАУЧНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПАО «НК «РОСНЕФТЬ» И ФГБУ «ААНИИ» В АРКТИКЕ 2012–2019 ГГ.

О.Я. Сочнев^{1}, Я.О. Ефимов^{2*}, Ю.П. Гудошников³, Е.У. Миронов³,
А.В. Нестеров³*

¹ — ПАО «НК «Роснефть», г. Москва, Россия

² — ООО «Арктический Научный Центр», г. Москва, Россия

³ — ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

* Y_Efimov@arcticresearch.ru

Целью проведенных работ являлось определение характерных и экстремальных значений параметров ледяных образований морей Российской Арктики, необходимых для обоснованного проектирования морских нефтегазопромысловых сооружений круглогодичной эксплуатации, а также разработка отечественной технологии предотвращения

столкновения айсбергов с буровыми платформами при работе на арктическом шельфе.

В рамках 20 целевых научных экспедиционных работ существенно расширены представления о природно-климатических условиях арктических морей России, впервые проведен комплекс работ по изучению морского льда и ледяных образований на акватории всей Российской Арктики от Баренцева до Чукотского моря. Комплексные экспедиции «Кара-Зима-2015» и «Кара-Лето-2016» по географическому охвату, задействованным специалистам и привлеченной технике, продолжительности, выполненным задачам и полученным результатам стали самыми крупными в мировом масштабе арктическими исследованиями в новейшей истории России. Для изучения ледяных образований использовались научно-исследовательские суда и атомные ледоколы, вертолеты и беспилотные летательные аппараты.

Гряды торосов являются наиболее распространенными в арктических морях крупными ледяными образованиями. Опасными также являются крупные стамухи, которые образуются на мелководьях и прочно связаны с дном, но в период очищения акватории всплывают и начинают дрейфовать со значительной скоростью, сравнимой со скоростью дрейфа айсбергов. И торосы, и стамухи состоят из морского льда, деформированного в результате столкновения ледяных полей. Айсберги в основном состоят из льда материкового происхождения.

В результате экспедиционных работ и последующего анализа, и систематизации информации о 155 торосистых образованиях были предложены принципы единой классификации, объединяющей торосы и стамухи, выявлена зависимость основного показателя их прочности (толщины консолидированного слоя) от температурных условий зимнего периода, а также определены характеристики дрейфа. Разработаны временные локальные технические условия, необходимые для формирования технических требований к инженерным сооружениям для работы на арктическом шельфе. Данные временные локальные технические условия являются самым полным существующим описанием ледовых и гидрометеорологических условий морей Карского и Лаптевых.

Концепция разработанной технологии обеспечения устойчивой работы морских нефтегазовых сооружений заключается в комплексном подходе к обеспечению айсберговой безопасности, основанном на исследовании айсбергов с момента их образования у выводных ледников до отклонения от сооружения посредством специализированного судна. При этом возможность выполнения морских операций, входящих в состав айсберговой защиты, подтверждена на практике в широком диапазоне условий окружающей среды.

Основными результатами работ являются:

- разработка и внедрение отечественной импортозамещающей технологии по обеспечению айсберговой безопасности при работах на российском арктическом шельфе;
- обеспечение данными о ледовых и гидрометеорологических условиях проектирования судов и специальной техники для освоения арктического шельфа России;
- развертывание системы круглогодичного мониторинга условий окружающей среды на арктическом шельфе;
- построение первой в мире карты распространения айсбергов на акватории Северного морского пути;
- разработка и тестирование технических решений для буксировки айсбергов, характерных для Баренцева и Карского морей;
- изучение условий айсбергопродуцирования ледников на архипелагах Новая Земля, Земля Франца-Иосифа, Северная Земля, общий сброс которых составляет 70 % от сброса всех ледников российской Арктики; прогнозирование образования айсбергов на ближайшие 50 лет;
- разработка единой классификация торосистых образований российской Арктики, в основу которой положена форма подводной части тороса или стамухи;
- изучение более 1,5 тысяч айсбергов, что позволило определить их характерные типы и размеры для морей российской Арктики; определение зависимости между максимальным размером айсберга, его массой и формой;
- открытие нескольких подледных географических объектов, в том числе, будущих островов в Карском море и море Лаптевых;
- построение диаграммы зависимости коэффициента сопротивления айсберга от числа Рейнольдса для айсбергов различных размеров, которая показывает снижение коэффициента сопротивления при росте числа Рейнольдса, приводящее к отклонению от квадратичного закона роста буксировочного усилия при линейном законе роста скорости буксировки;
- предложены упрощенные формулы для расчета потребного усилия буксировки айсбергов различных размеров, определен КПД буксировки айсбергов в различных условиях;
- подтверждена практическая возможность буксировки айсбергов длиной до 50 метров в блинчатом (несмерзшемся) льду толщиной до 15 см; при этом доказано, что коэффициент сопротивления по сравнению со случаем буксировки в открытой воде увеличивается незначительно (в пределах 10–25 %);

– продемонстрирована возможность длительной буксировки айсбергов в условиях раннего ледообразования; при этом пройденная за сутки дистанция составила 50 морских миль — в том числе, с пересечением полей раннего льда различных видов;

– построены 3D-модели изученных ледников российской Арктики, а также определены скорости движения их поверхности; выявлены основные зоны образования айсбергов, в том числе, специально выделены зоны интенсивного образования крупных столообразных айсбергов.

С 2012 г. по материалам проведенных исследований опубликовано более 50 научных работ.

Полученные результаты существенно расширили представления о ледовых условиях российской Арктики, обеспечили информацией перспективные нефтегазовые проекты на арктическом шельфе, а также позволили снизить риски негативного воздействия опасных ледяных образований на морские нефтегазовые сооружения.

RESULTS OF COMPLEX ECOLOGICAL AND BIOGEOCHEMICAL RESEARCH OF LANDSCAPE IN THE ARCTIC OIL AND GAS AREAS

M.G. Opekunova, A.YU. Opekunov, S.Yu. Kukushkin, S.A.Lisenkov (SPBU)*

РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНЫХ ЭКОЛОГО-БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЛАНДШАФТОВ В РАЙОНАХ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧИ АРКТИКИ

М.Г. Опекунова, А.Ю. Опекунов, С.Ю. Кукушкин, С.А. Лисенков
Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,
Россия*

**m.opekunova@mail.ru*

На основе результатов многолетних исследований (1993–2019 гг.) дана оценка загрязнения окружающей среды при освоении нефтегазоконденсатных месторождений (НГКМ) севера Западной Сибири. Многочисленные публикации свидетельствуют о значительном загрязнении окружающей среды нефтяных месторождений. Однако, как показали проведенные исследования, охватившие территорию 40 лицензионных участков Надым-Пур-Тазовского региона, на НГКМ значимое загрязнение окружающей среды носит локальный характер и наблюдается, главным образом, на стадии проведения буровых работ, а уровень химического загрязнения компонентов окружающей среды существенно ниже, чем в пределах нефтяных месторождений. На этапе добычи газа отмечается постепенное самоочищение ландшафтов. Вместе с тем

эксплуатация месторождений приводит к малозаметным изменениям окружающей среды, плохо фиксируемым используемыми физико-химическими методами анализа, без учета региональных особенностей и различия природно-территориальных комплексов (ПТК). В то же время при слабо проявленных изменениях окружающей среды хорошо зарекомендовали себя биологические методы исследований.

Проведенные исследования показали, что основными факторами, определяющими химический состав компонентов природной среды региона, служат почвообразующие породы и зонально-азональная ландшафтно-геохимическая дифференциация, выражающаяся в интенсивности торфонакопления. Для оценки техногенного загрязнения рассчитаны региональные кларки химических элементов (Cu, Zn, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, Pb, Hg, Cd, Ba, Sr, Sc) в донных отложениях, почвах и растениях. Анализ проб проведен методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) на приборе «ELAN-6100 DRC» в Центральной лаборатории ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского. Определение хлоридов, сульфатов, фосфатов и нитратов проводилось флуориметрическим методом в лаборатории Геоэкологического мониторинга СПбГУ. Минерализация воды определялась кондуктометрическим способом, кислотно-щелочной показатель — рН-метром фирмы «Horiba».

Низкий уровень содержания химических элементов в озерно-аллювиальных, аллювиальных и ледниковых отложениях сочетается с высокой концентрацией сидерофильных (V, Cr, Co, Ni) и халькофильных элементов (Zn, Cu, Pb) в глинах аллювиально-морских отложений третьей и четвертой морских террас, что определяет дифференциацию химического состава всех компонентов ландшафтов.

Природные воды севера Западной Сибири имеют гидрокарбонатно-кальциевый и гидрокарбонатно-натриевый состав. Техногенное воздействие сопровождается трансформацией анионно-катионного состава и загрязнением небольших озер. Вблизи техногенных объектов на освоенных НГКМ отмечается повышение в природных водах концентрации Ba, Cu и V. Химический состав водотоков и крупных водоемов остается стабильным.

Рассчитаны фоновые содержания микроэлементов в трех типах донных осадков: илах (торфянистых илах), илистых песках (алеюритах) и в мелкозернистых песках. Среднее содержание в илах Fe и Mn в 11 раз, Ni — в 8,5, Co — в 6,5, Zn, Cu, Cr, V — в 5 раз выше, чем в мелкозернистых песках. Региональным показателем загрязнения служат нефтяные углеводороды, а также полициклические ароматические углеводороды, в составе индивидуальных веществ которых доминирует нафталин (от 50 до 80–95 %).

Почвы севера Западной Сибири отличаются сравнительно низкими природными концентрациями химических элементов. Математически обоснована необходимость использования регионального геохимического фона почв для органогенных горизонтов, двух минеральных (иллювиальных) горизонтов легкого и тяжелого гранулометрического составов, а также торфяников. Максимальные значения большинства микроэлементов отмечаются в глинистых и суглинистых иллювиальных горизонтах почв; концентрация их в 2–8 раз выше, чем в торфяниках. Исключение составляют Hg и Cd, уровень которых в торфяниках в 3–4 раза выше, чем в иллювиальных горизонтах.

Под влиянием объектов инфраструктуры нефтегазовых промыслов наблюдается локальное загрязнение поверхностных горизонтов почв. Выявлены геохимические особенности загрязнения почв от разных источников воздействия: сброса бурового шлама, пластовых вод, аэротехногенного переноса, автотранспорта. При сбросе бурового шлама отмечен высокий уровень концентрации хлоридов, фосфатов, общего азота, нефтяных углеводородов, Na, Sr, Ba и V; пластовые воды являются источником поступления также ПАУ, фенолов, хлоридов, Na⁺ и Ba²⁺. Воздействие автотранспорта проявляется в увеличении содержания большинства изученных химических элементов. Доля техногенности (*Tg*) Ba в почвах в импактной зоне составляет до 44%, Cu — до 57 %, Ni — до 68 %, Co — до 62 %, Fe — до 60 %, Sr — до 67 %, Mn — до 89 %. Для металлов велика доля подвижных форм, что обусловлено антропогенным загрязнением почв: Mn — 68 %, Zn — 19 %, Ba — 17 %, Co — 23 %, Cd — 30 %, Sr — 38 %, Na — 20 %, Cu — 25 %.

Показана роль в самоочищении почв радиальной и латеральной миграции загрязняющих веществ. Геохимические барьеры, формирующиеся в почвенном профиле и связанные с мощностью сезонно-талого слоя, близостью многолетнемерзлых пород, выраженностью глеевых процессом и торфонакопления, создают контрастные условия аккумуляции металлов в почвенно-геохимической катене и нивелируют влияние техногенных факторов в перераспределении микроэлементов.

На лицензионных участках нефтегазодобычи в условиях обширной пологоволнистой равнины Надым-Пур-Тазовского междуречья пятна загрязнений локализованы в радиусе 100—150 м от локальных источников воздействия. В целом на долю загрязненных почв приходится порядка 7—10 % от общей площади.

Для оценки изменения экологического состояния природной среды Севера применены методы биоиндикации и биотестирования, включающие определение химического состава растений, биотестирова-

ние водных вытяжек почв с использованием тест-объектов *Chlorella vulgaris* L. и *Daphnia magna* Straus. Результаты биотестирования с применением тест-объектов *C. vulgaris* и *D. magna* показали высокую степень сходимости: коэффициент парной корреляции между процентом гибели *D. magna* и снижением оптической плотности *C. vulgaris* составил 0,96 (критическое значение — 0,36 при $p = 0,05$). Корреляционный анализ токсического действия на изученные биотесты с валовым содержанием ТМ в почвах выявил только воздействие Cd и Hg. Кроме того, слабая связь реакции *D. magna* наблюдается с концентрацией подвижных форм Cd и Cu. Токсичность изученных образцов обусловлена, главным образом, засолением почв хлоридами, сульфатами и фосфатами при загрязнении окружающей среды пластовыми водами и отходами бурения.

Растения севера Западной Сибири отличаются низким содержанием химических элементов, концентрация большинства металлов ниже кларка по В.В. Добровольскому (2003). Исключение составляют Ba, Sr, Pb, Cd и Ni, уровень которых близок или немного выше кларка. Сравнительный анализ химического состава 16 видов растений, широко распространенных на территории исследований, показал, что химизм растений определяется биологическими особенностями растений (систематическим положением видов, фенологической фазой, возрастом и т.д.) и условиями окружающей среды (химизмом почв, степенью доступности химических элементов растениям, уровнем техногенного загрязнения и др.) Выявлены индикаторы изменения экосистем под влиянием антропогенной нагрузки, к которым отнесены увеличение концентрации Sr, Fe, Mn, Cr, Pb, Ba в багульнике *Ledum decumbens* (Ait.) Lodd. ex Steud. и лишайнике *Cladonia stellaris* (Opiz) Pouzar & Vezda. Показана роль методов биоиндикации при фиксации малозаметных изменений состояния окружающей среды.

BIG, OPEN AND FAIR DATA IN ARCTIC STUDIES

A.D. Gvishiani

Geophysical Center of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia

a.gvishiani@gcras.ru

In our present and forthcoming scientific world of the 21 century science is being globally transformed by new digital technologies. To investigate an important scientific problem one should aggregate and study in the most holistic way vast volumes of heterogeneous data from multiple sources. At

the same time, the research problems themselves are becoming more and more interdisciplinary.

Big Data, FAIR Data and Open Data are three paradigms in the Data Science that applied to extremely diverse Arctic data. An attempt is made to give formal definitions of these three types of data along with their mutual rapport. Following this line, System Analysis becomes the mathematics for studying Big Data as the mainstream of the 21 century.

In the 20 century, the challenge in Earth Sciences was to construct accurate mathematical models for magnetic, electric, gravity, and seismotectonic fields of the Earth. Today the challenge is to create holistic electromagnetic and gravity Earth's model. Systems Analysis — mathematics of the 21 century — will serve as appropriate platform to do it.

Arctic region is a perfect source of Big Data. The three Vs — Volume, Velocity and Variety are apparently in place. The project of multidisciplinary and multifunctional Systems Analysis studies of the Arctic has important prospective.

**THE PERSPECTIVES FOR THE DEVELOPMENT OF METHODS
OF PHYSICAL MODELING OF THE PROCESSES
OF ICE INTERACTION WITH ENGINEERING STRUCTURES.**

V.A. Likhomanov (AARI), K.E. Sazonov (KSRC)*

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ ФИЗИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЛЬДА
С ИНЖЕНЕРНЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ**

В.А. Лихоманов, К.Е. Сазонов*

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

**likh@aari.ru*

Необходимым условием развития любой новой инженерной науки является разработка собственной экспериментальной методологии. Для морской ледотехники эта сложнейшая задача была решена благодаря усилиям многих специалистов, в первую очередь, сотрудников Арктического института. Именно в Арктическом институте в 1955 г. был создан первый в мире ледовый бассейн, разработаны методы физического моделирования ледяного покрова и способы пересчета модельных данных на натурные условия. Создание ледового бассейна открыло возможности для развития морской ледотехники в различных направлениях, т.к. стало возможным не только наблюдать процессы вза-

имодействия различных технических устройств со льдом, но и измерять действующие при этом силы.

В начале развития морской ледотехники основным объектом изучения служили ледоколы и суда ледового плавания, при этом наибольшее внимание уделялось разработке методов определения ледового сопротивления. Это направление является одним из важнейших до сих пор. Благодаря использованию технологий физического моделирования процессов взаимодействия льда и корпуса судна в ледовых бассейнах были достигнуты значительные успехи в теоретическом описании ледового сопротивления, оптимизации формы корпуса ледоколов и судов ледового плавания, а также их движительного комплекса. Ледовый модельный эксперимент позволил решить целый ряд практических задач, возникающих при проектировании и эксплуатации судов во льдах.

Новой вехой в развитии морской ледотехники стало промышленное освоение шельфовой зоны замерзающих морей. С этого времени ледостойкие инженерные сооружения стали важнейшим объектом экспериментальных исследований. Дело в том, что для подавляющего большинства ледостойких платформ измерение действующей на них ледовой нагрузки возможно только в ледовых бассейнах. Добавление объекта исследования потребовало от специалистов, работающих в ледовых бассейнах, существенного изменения и доработки сложившихся технологий проведения экспериментов, их адаптации под новые условия. Можно констатировать, что к настоящему времени ледовые бассейны готовы к выполнению широкого спектра исследований в обеспечение проектирования и эксплуатации сложных ледостойких инженерных сооружений.

Анализ современного состояния морской ледотехники и прогноз на будущее показывает, что физическое моделирование процессов взаимодействия технических объектов со льдом имеет хорошие перспективы дальнейшего развития, несмотря на широкое внедрение численных технологий в различные аспекты современной жизни. Востребованность модельного эксперимента во многом определяется все ускоряющимся развитием морской арктической техники. С начала нового века в Арктике появился ряд новых судов, которые ранее никогда не эксплуатировались в ледовых условиях, что повлекло за собой необходимость в разработке новых методик проведения ледового эксперимента. Морские ледостойкие инженерные сооружения принципиально являются уникальными объектами, т.к. специально проектируются под конкретные условия эксплуатации, характерные для данного месторождения. Создание математических моделей их эксплуатации должно основываться на описании

реальных физико-механических процессов, происходящих при их взаимодействии со льдом. Получить какую-либо информацию о таких процессах можно только в модельном эксперименте.

Необходимо отметить, что условием успешного развития метода физического моделирования является выполнение постоянных исследований, направленных на его совершенствование и модернизацию в соответствии с запросами практики.

**HYDROPHYSICAL AND BIOGEOCHEMICAL RESEARCH
OF ST. PETERSBURG ACADEMIC OCEANOLOGISTS
IN THE ARCTIC.**

A.A. Rodionov, A.V. Zimin, D.A. Romanenkov, V.A. Ryabchenko (IO RAS)*

**ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ И БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИХ АКАДЕМИЧЕСКИХ
ОКЕАНОЛОГОВ В АРКТИКЕ**

A.A. Родионов, A.B. Зимин, Д.А. Романенков, В.А. Рябченко
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия*

** spbfo@ioras.nw.ru*

В докладе представлены актуальные для освоения Арктики результаты фундаментальных и поисковых исследований в области: моделирования внутренних приливных волн, диапикнической диффузии и приливных изменений климата; разработки эко-гидродинамических моделей и выполнения сценарных климатических расчетов; натурных экспериментальных исследований субмезомасштабной изменчивости гидрофизических полей; решения задач обеспечения безопасности страны с морских направлений.

1. На основе трехмерной конечно-элементной гидростатической модели QUODDI-4 выполнено высокоразрешающее моделирование внутреннего полусуточного прилива (или внутренних приливных волн, ВПВ) и составляющих бюджета бароклинной приливной энергии, а также выявлены очаги генерации ВПВ в Баренцевом и Карском морях. Предсказанное поле амплитуд ВПВ в Баренцевом море на глубине пикноклина (50 м) показывает, что экстремальные амплитуды обнаруживаются к югу от арх. Шпицберген, где они достигают 20 м. Максимальные амплитуды ВПВ предсказываются также в южной части Баренцева моря (4–10 м). В остальных частях моря их значения близки к 1 м. Данные спутниковых радиолокационных измерений и наши результаты моделирования свидетельствуют о том, что очаги генерации ВПВ располага-

ются вблизи арх. Земля Франца-Иосифа, а также в пределах Воронки Белого моря, Шпицбергенской банки, в районах к северу и югу от о-вов Новая Земля и к северу от м. Нордкап.

Как следует из анализа поля амплитуд ВПВ в Карском море в основании пикноклина (40 м), максимальные амплитуды (до 5 м) обнаруживаются к юго-востоку от м. Желания (о-ва Новая Земля) и в отдельных пятнах на периферии Центрального Карского плато и Новоземельной впадины. В юго- и северо-западных частях моря предсказанные амплитуды ВПВ не превышает 2 м, а в северо-восточной части ВПВ в принципе невозможны. Проведенная оценка амплитуд ВПВ неплохо согласуется с данными *in situ* измерений полусуточных колебаний температуры морской воды в южной части моря. Выявлены следующие возможные очаги генерации ВПВ: северная часть Центрального Карского плато, западный и восточный склоны Новоземельной впадины, прол. Карские Ворота (точнее, район к востоку от него) и район к юго-востоку от м. Желания. В последних двух районах действительно обнаружены очаги генерации короткопериодных внутренних волн, возникающие, как известно, при разрушении ВПВ из-за невозможности их распространения как свободных волн выше критической широты.

Установлено, что индуцируемая ВПВ диапикническая диффузия меньше вертикальной турбулентной диффузии только на порядок и поэтому пренебрежение вкладом индуцируемой ВПВ диапикнической диффузии в формирование климата Баренцева и Карского морей вряд ли можно считать оправданным. Прямое численное моделирование подтвердило, что приливные изменения климата являются, если не главными, то весьма значимыми, а также что косвенный способ их учета путем коррекции коэффициента вертикальной турбулентности вязкости коэффициентом диапикнического перемещения адекватен явному.

2. Разработана региональная совместная эко-гидродинамическая модель Баренцева, Карского и Белого морей. На ее основе выполнены сценарные расчеты для прошлого (1975–2005 гг.) и будущего (2035–2065 гг.) климата. Согласно результатам, для периода 1975–2005 гг. при уменьшении площади ледяного покрова первичная продукция фитопланктона (ПП) в регионе значительно возрастает. Однако в 1999–2000 гг. произошел «сбой» указанной взаимосвязи. Возможные причины: 1) произошло увеличение облачности и соответствующее уменьшение падающей коротковолновой радиации (КВР) и ее части — фотосинтетически активной радиации (ФАР); 2) усилилась плотностная устойчивость верхнего слоя, что затруднило поступление биогенов из нижележащих сло-

ев моря. Анализ показал, что значительного изменения плотностной устойчивости в результатах не было. Таким образом установлено, что причиной падения ПП в 1999–2000 гг. является падение КВР и ФАР в верхнем слое. По результатам расчета 1975–2005 гг. рассчитана множественная линейная регрессия (МЛР) для суммарной за год ПП в зависимости от среднегодовой площади льда и среднегодовой интегральной по области падающей КВР. Противофазность во временном ходе суммарных ПП и площади льда выражена четко: годам с малой ледовитостью свойственна высокая ПП и наоборот. Полученная для периода 1975–2005 модель МЛР показала хорошие результаты на независимой выборке 2035–2065 гг. Корреляция между исходным рядом интегральной ПП и ПП, вычисленной по модели МЛР, для периода 2035–2065 гг. оказалась даже выше (0,95), чем для периода 1975–2005 гг. (0,87). Это оправдывает использование полученной статистической модели для оценочных расчетов ПП по площади льда и падающей КВР.

3. Современные средства измерения позволили обнаружить значительную изменчивость термохалинных полей в субмезомасштабном интервале в морях Северного ледовитого океана. Она обусловлена такими явлениями и процессами, как малые вихревые структуры, локальная динамика фронтальных разделов и короткопериодные внутренние волны. В силу несовершенства теоретического описания и трудностей наблюдений данные явления оказались недостаточно изученными, особенно, в морях российской Арктики. Систематические судовые и спутниковые наблюдения, ведущиеся в последние десятилетия, позволили частично заполнить данный пробел. Были обобщены результаты наблюдений поверхностных проявлений субмезомасштабных вихрей в Баренцевом, Карском и Белом морях на основе анализа около 3,5 тысяч спутниковых радиолокационных изображений за 2007–2012 гг. Для выявления общих черт субмезомасштабной вихревой активности на фоне процессов большего масштаба использовались данные по температуре поверхности моря, по которым оценивалось положение фронтальных зон, и сведения о приливных процессах за тот же период. На акваториях исследуемых морей было зарегистрировано около 4,5 тысяч структур. Показано, что субмезомасштабные вихри — распространенное явление в теплый сезон на акватории описываемых морей. Чаще всего встречаются вихри диаметром от 2 до 4 км. Установлено, что во всех морях преобладает циклонический тип вращения. Размер антициклонических структур в среднем всегда больше. Повышенное число вихрей наблюдается в начальный период формирования сезонного приповерхностного

пикноклина, внутри областей изменчивости фронтальных зон и в районах со значительными неровностями дна. В районах подводных возвышенностей максимальное количество вихревых структур фиксировалось в период сизигийного прилива.

Обобщены результаты многолетних наблюдений за высотами короткопериодных внутренних волн в Баренцевом и Белом морях в летние сезоны 2010–2017 гг. Установлено, что наибольшую повторяемость имеют волны высотой 1–3 м. Интенсивные внутренние волны (высотой более 10 м) наблюдаются регулярно каждый приливной цикл в отдельных районах Белого моря (западная Соловецкая Салма и Двинский залив) и Баренцева моря (около острова Харлов).

4. Известно, что Арктика является регионом военного противостояния. Это обуславливает необходимость решения проблем обеспечения безопасности страны с морских направлений. Особую значимость в современных условиях приобретают задачи освещения подводной обстановки и обеспечения боевой устойчивости отечественных подводных сил. С целью решения этих задач в СПбФ ИО РАН проводится моделирование полей и процессов, вызванных локальными источниками; проводятся натурные экспериментальные работы по верификации разработанных моделей.

5. Выполненные в СПбФ ИО РАН фундаментальные и поисковые исследования могут являться базисом для дальнейших исследований и освоения Арктики. Полученные результаты целесообразно проанализировать совместно с прикладными НИИ с целью их внедрения при решении хозяйственных, оборонных и экологических задач.

LARGE-SCALE ATMOSPHERIC CIRCULATION IN THE 21ST CENTURY ACCORDING TO SATELLITE RADIOTHERMOVISION

D.M. Ermakov^{1,2}, A.P. Chernushich¹, E.A. Sharkov², V.P. Savorskiy¹*

¹ — *Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics of the Russian Academy of Sciences, Fryazino Department, Fryazino, Moscow region, Russia*

² — *Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

** dima@ire.rssi.ru*

It's known, that the contribution of the atmosphere to the meridional transport of heat from the tropics to high latitudes is comparable to or even exceeds the contribution of the ocean. The atmosphere transfers a significant part of the heat in the latent form, i.e. the potential energy of condensation of atmospheric water vapor. Since water vapor is an almost conservative tracer of atmospheric motion, the dynamics and large-scale spatial structure of its

transitions reflect the features of large-scale atmospheric circulation. In turn, changes in atmospheric circulation parameters, as a response to climatic variations, cause further changes in the structure and power of atmospheric latent heat fluxes.

In recent decades, in a number of studies on atmospheric dynamics, a trend has been noted, which has received the generalized name of "expansion of the tropics." The essence of it, according to the authors of the works, is that the boundaries of large-scale circulation cells (primarily the boundaries of Hadley cells) are gradually shifted towards the poles in both hemispheres. Estimation of the latitudinal velocity of this displacement varies in a wide range from 0.5 to 3 geographical degrees per decade, depending on the criterion for locating cell boundaries.

Of course, such changes in the general circulation of the atmosphere, if they take place over long time intervals, should significantly affect the modes of meridional transfer of latent heat and its contribution to planetary energy and moisture exchange. In particular, authoritative researchers of tropical cyclogenesis, according to K. Emanuel, have already identified a statistically significant trend of a shift in the average latitude of the maximum intensification of tropical cyclones to the poles in recent years of observation. The possible transformation of the "fine structure" of latent heat circulation associated with the phenomenon of the so-called "atmospheric rivers" attracts attention.

The report presents a tool for studying the dynamics of atmospheric circulation based on remote data of satellite radiometry of the Earth and an overview of some of the results of such a study performed for the observation interval from 2003 to 2019 (inclusive). The approach, called satellite radiothermography of atmospheric processes, is based on expanding the classical inverse problem of remote sensing of the atmosphere and underlying surface of the Earth with a simple kinematic model of motion. As a result, within the framework of certain simplifying assumptions, it is possible to simultaneously retrieve the total precipitable water fields and the velocity of water vapor advection over the ocean on a regular geographic grid with a step of 0.25 degrees and time sampling of units of hours. In turn, this provides the possibility of calculating latent heat fluxes through arbitrarily set boundaries and closed contours.

An analysis of the available satellite data showed that the proposed approach allows successfully restoring the main characteristic parameters of atmospheric circulation — the positions of the boundaries of the circulation cells and their annual oscillations, the directions and rates of zonal transport within each cell, the position of the thermal equator, seasonal variations in fluxes, etc.

Along with this, the approach opens up prospects for a detailed analysis of geophysical fields at regional scales. The calculation of the dynamics of these fields with high time sampling allows advancing from averaged parameters, usually known a priori, to the analysis of deviations from the average and identification of possible long-term trends. Of course, the significance of this approach will increase with the accumulation and processing of an ever longer series of high-quality satellite observations. The presented report discusses preliminary results and further prospects for the use of satellite radiothermvision in studies of climate and weather anomalies in the Arctic and Antarctic regions.

A number of processing products according to the developed method for the entire covered observation interval (2003–2019) are presented in open access on the geoportal of satellite radiothermvision (<https://fireras.su/tpw/>). The work is partly supported by RFBR grant # 20-07-00680 A.

MODELING OF WIND WAVES AND SURGE IN THE SEAS OF THE RUSSIAN ARCTIC

S.A. Dobrolyubov (MSU), V.S. Arkhipkin (MSU), S.A. Myslenkov (MSU, IO RAS),
M.E. Kulikov (IO RAS), I.P. Medvedev (IO RAS)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕТРОВЫХ ВОЛН И НАГОНОВ В МОРЯХ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

С.А. Добролюбов^{1}, В.С. Архипкин¹, С.А. Мысленков^{1,2},
М.Е. Куликов², И.П. Медведев²*

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

² — *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия*

** stasocean@gmail.com*

К природным опасностям, связанные с морской средой, относятся штормовое волнение и нагонные явления. Эти экстремальные события влияют на эффективность и безопасность морских операций, надежность систем в открытом море. Понимание механизмов таких явлений, оценка и минимизация связанных с ними рисков в ключевых областях становятся одной из актуальнейших задач оперативной океанографии. Одним из научных направлений географического факультета МГУ является исследование механизмов формирования экстремальных природных событий, связанных с воздействием океана в береговых зонах. В данной работе приводятся результаты исследования ветрового волнения и нагонов в море Лаптевых, Белом, Баренцевом и Карском морях.

В настоящее время из-за недостатка данных наблюдений для исследования ветрового волнения и нагонов и для их статистической оценки используются численные модели, а граничные условия задаются данными реанализов. Данные спутниковых и прямых наблюдений обеспечивают верификацию и калибровку моделей.

Для расчетов параметров ветрового волнения применялась спектральная модель ветрового волнения третьего поколения WAVEWATCH III версии 5.16. В модели реализуются генерация волн за счет ветровой энергии, эволюция волн в пространстве-времени, нелинейное взаимодействие между волнами, диссипация энергии за счет образования пены и брызг, обрушения волн, трения о дно. Численные эксперименты проводились на суперкомпьютере МГУ «Ломоносов» в параллельном режиме. В качестве вынуждающей силы в диагностической версии модели (для получения статистических характеристик волн за последние десятилетия) использовались данные о ветре и концентрации льда из реанализа NCEP/CFRSR (CFRSv2) с шагом $\sim 0,2-0,3^\circ$. Этот реанализ охватывает период с 1979 г. по настоящее время и имеет временное разрешение (1 ч). На основе данных о рельефе дна для каждого моря были созданы оригинальные неструктурные (триангуляционная сетка с изменяющимся шагом) вычислительные сетки. При этом большая часть моря задана с грубым шагом по пространству (10–15 км), а в некоторых выбранных прибрежных районах шаг сетки составляет до 20–100 м и постепенно увеличивается с удалением от берега.

Такой подход позволяет проследить развитие ветрового волнения как в открытом море, так и при выходе волн на мелководье, где активизируются процессы рефракции, дифракции, обрушения, трения о дно. В отличие от расчетов на прямоугольных сетках, число узлов при таком подходе существенно меньше, что обеспечивает более эффективное использование вычислительных мощностей. Данный подход описан в работах [Myslenkov, S., Medvedeva, A., Arkhipkin, V. et al. Long-term statistics of storms in the Baltic, Barents and White Seas and their future climate projections. GEOGRAPHY, ENVIRONMENT, SUSTAINABILITY 11, 1 (2018), 93–112., 2; Кораблина А. Д., Кондрин А. Т., Архипкин В. С. Моделирование нагонов в Белом и Баренцевом морях за период 1979–2015 гг // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2017. № 364. С. 144–158.].

Штормовыми нагонами называются повышения уровня поверхности моря, вызванные метеорологическими причинами, относительно уровня, в котором отсутствуют приливные и низкочастотные колебания.

Штормовые нагоны встречаются во всех морях, омывающих Россию. Основным методом исследования физических механизмов формирования штормовых нагонов и их изменчивости в морях является численное моделирование. В качестве исходной численной модели для расчета колебаний уровня поверхности моря и циркуляции вод была выбрана модель ADCIRC (Advanced circulation model for oceanic, coastal and estuarine waters). Эта модель так же, как и волновая использует неструктурную расчетную сетку с изменяющимся шагом и позволяет сохранить мелкие особенности береговой линии, протоки в дельтовых областях рек, небольшие острова и мелководные банки. Модель учитывает практически все факторы, влияющие на формирование и высоту нагонов, в том числе и ветровое волнение (волновая модель SWAN, интегрированная в ADCIRC). Модель нестационарная и нелинейная. Учитывает силу Кориолиса, градиенты атмосферного давления, приливной потенциал, ветровое напряжение и придонное трение. Модель также учитывает речной сток, затопление и осушение прилегающей суши. В работе использовалась двумерная версия модели. Шаг расчетной сетки в исследуемых морях меняется от 50 м до 5 км. Входными данными для модели послужили поля ветра и атмосферного давления также из реанализа NCEP/CFR/CFSv2. На открытых границах задавались приливные колебания уровня моря, рассчитанные по гармонически постоянным, взятым из глобальной базы приливов FES2004 (<https://www.avisio.altimetry.fr>). Всего используются восемь гармонических постоянных — M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1. Верификация результатов моделирования волнения производилась на основе данных заякоренных станций, установленных в сентябре-октябре 2012 года в Карском море. Данные этих измерений опубликованы в Атласе гидрометеорологических и ледовых условий морей российской Арктики. Коэффициент корреляции при сравнении данных моделирования с данными измерений составил 0,93, а среднеквадратическая ошибка 0,3 м. При сопоставлении результатов моделирования с данными спутниковых измерений в Баренцевом море коэффициент корреляции составил 0,9, а среднеквадратическая ошибка 0,4 м.

Для верификации модели уровня и течений результаты численных расчетов сравнивались с натурными данными измерений уровня на гидрометеорологических постах. Сравнение показало хорошее качество воспроизведения уровня моря моделью ADCIRC. Коэффициент корреляции между данными по уровню и модельными в районе устья Хатанги и бухты Тикси составил 0,85–0,95, а среднеквадратическое отклонение находится в пределах 0,06–0,1 м.

По результатам моделирования волнения установлено, что максимальные высоты волн наблюдаются на западной границе Баренцева моря и при 13 % обеспеченности составляют 15–16 м. В центральной части Баренцева моря максимальная высота значительных волн достигает 12–14 м. В Карском море максимальная высота волн 13 % обеспеченности составляет 9,5 м.

В Баренцевом море шторма с высотой волн более 4 м наблюдаются в среднем 70–80 раз в год, более 5 м — 40–60 раз в год. Для штормов с высотой более 6 м максимальные значения повторяемости наблюдаются в 1990–93 годах. За весь период с 1979 по 2010 гг. тенденций на однозначное увеличение количества штормовых ситуаций не отмечается. Межгодовая изменчивость повторяемости штормов очень велика. Количество штормов в Белом море, превышающих высоту 2 м, составляет около 20 случаев в год. В Карском море шторма с высотой волн более 3 м встречаются до 12–14 раз в месяц, а с высотой более 5 м до 6–7 м.

В исследуемых морях проведена количественная оценка штормовых нагонов за продолжительный период времени, в которые были включены все экстремальные колебания уровня моря, вызванные метеорологическими причинами с периодами более суток и величиной более 50 см (при учете количества нагонов и сгонов). Учет приливов дал возможность провести статистический анализ и для суммарного уровня моря, а также оценить долю приливных колебаний в общей дисперсии уровня моря с расчетами амплитуд для основных приливных волн и основных негармонических характеристик прилива. Установлено, что в Белом море вероятность появления нагонов высотой 0,9–1,2 м составляет 1 % от всего их количества за 37 лет. В Баренцевом море нагоны высотой более 1,2 м составляют 3 % от общего количества за тот же промежуток времени, нагоны высотой 0,9–1,2 м — 6 %. Наибольшее количество нагонов образуется в Хайпудырской губе. В обоих морях наименьшее количество нагонов образуется в июле–августе, наибольшее — в октябре [Кораблина А.Д., Кондрин А.Т., Архипкин В.С. Моделирование нагонов в Белом и Баренцевом морях за период 1979–2015 гг // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2017. № 364. С. 144–158.]. В районе Печорского моря нагон может иметь высоту до 4 м.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60083.

**SPATIAL-TEMPORAL VARIABILITY OF ICE CONDITIONS
IN THE AUTUMN-WINTER PERIOD IN THE SEAS OF THE RUSSIAN
ARCTIC AND ACCOUNTING FOR THE STATE OF ICE COVER
WITH HYDROMETEOROLOGICAL SUPPORT FOR YEAR-ROUND
NAVIGATION OF VESSELS IN THE WATERS
OF THE NORTHERN SEA ROUTE**

E.U. Mironov, A.G. Egorov, E.I. Makarov, S.V. Frolov, A.V. Yulin (AARI)*

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЛЕДОВЫХ
УСЛОВИЙ В ОСЕННЕ-ЗИМНИЙ ПЕРИОД
В МОРЯХ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ И УЧЕТ СОСТОЯНИЯ
ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА ПРИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОМ
ОБЕСПЕЧЕНИИ КРУГЛОГОДИЧНОГО ПЛАВАНИЯ СУДОВ
В АКВАТОРИИ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ**

Е.У. Миронов, А.Г. Егоров, Е.И. Макаров, С.В. Фролов, А.В. Юлин
ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский
институт, Санкт-Петербург, Россия*

** mir@aari.ru*

В связи с поставленной задачей увеличения грузопотока в акватории Северного морского пути (СМП) в несколько раз, планируется организация круглогодичной навигации в восточном секторе Арктики. Ввод в эксплуатацию судов нового поколения (газовозов и танкеров усиленного ледового класса) позволит увеличить продолжительность безледокольного плавания, а использование новых атомных ледоколов и модернизированного гидрометеорологического обеспечения начать плавание в зимний период в восточном секторе СМП. В зимнюю навигацию большое значение приобретают системы нарушений сплошности ледяного покрова (разрывы), активно используемые судами и ледоколами. Кроме того, при определенных ситуациях, конфигурация систем разрывов позволяет делать выводы о напряженно-деформационных характеристиках ледяного покрова, т.е. распределении торосистости и наличии зон сжатий, и возможных изменениях ледовых условий плавания на период до трех суток.

Ледообразование в арктических морях начинается на их северных границах среди сплоченных льдов, и затем распространяется на юг, в сторону сибирского прибрежного мелководья, на зоны разреженных и редких льдов, а после — и на зоны чистой воды. При среднемноголетних условиях (ряд наблюдений 1942–2018 гг.) ледообразование начинается в первой декаде сентября, а завершается во второй декаде ноября, т.е. продолжается 8 осенних декад. В первые 4 декады процесс развивается очень активно, изохроны ледообразования быстро достигают азиатского побережья в срединной ча-

сти сибирского шельфа, так что к первой декаде октября осенними льдами покрыто уже около 70 % акватории. В следующие 4 декады процесс замедляется: замерзают оставшиеся 30 % акватории, на западе в Карском море и на востоке в Чукотском море. Для учета всего разнообразия количественных и пространственных особенностей образования осенних льдов, режимных и прогностических оценок, для каждого моря выполнена типизация сроков начала устойчивого ледообразования, результатом которой являются 5 типов (очень раннего, раннего, среднего, позднего и очень позднего) ледообразования и соответствующие карты последовательного перемещения изохрон по пространству моря. Многолетняя изменчивость показывает чередование длительных временных промежутков относительно раннего и позднего ледообразования. Начиная с 2003 г. формируется текущий период устойчиво очень поздних сроков ледообразования, когда каждый год наблюдаются только положительные аномалии сроков устойчивого ледообразования. Для суммарной акватории арктических морей сроки устойчивого ледообразования в течение 2003–2018 гг. по сравнению с периодом 1942–2002 гг. стали формироваться в среднем на 22 суток позже. Процесс ледообразования стал растягиваться во времени, а интенсивность его развития по пространству арктических морей уменьшилась примерно вдвое. Начало позднего ледообразования сформировалось в Чукотском море в 2003 г., затем оно распространилось на акваторию морей Карского и Восточно-Сибирского в 2005 г., и, наконец, достигло моря Лаптевых в 2009 г.

С началом эпохи спутниковых наблюдений существенно изменились возможности в получении данных о распределении льдов в зимний период. Получение площадных детальных съемок ледяного покрова с дискретностью не менее 1 раза в неделю, а при необходимости и чаще, существенно расширили возможности изучения зимнего ледового режима. Оцифровка ледовых карт и их обработка с помощью ГИС-технологий дало возможность рассчитывать площадь льдов различного возраста в период зимнего нарастания. В настоящее время подготовлен архив данных по возрастному составу ледяного покрова в зимний период за период 1997–2019 гг. для всех арктических морей. Во всех морях преобладают однолетние льды, а старые льды в виде отрогов океанических ледяных массивов чаще всего наблюдаются в Восточно-Сибирском море, на севере морей Лаптевых и Карского. Площади, занимаемые этими льдами, в течение осенне-зимнего времени постепенно уменьшаются, что вызвано преобладанием выносного дрейфа. Максимальное их количество, около 20–25 %, может наблюдаться в северной части Восточно-Сибирского моря. Изменения возрастного состава льдов в арктических морях имеют хорошо выраженный сезонный

ход. В окраинных российских арктических морях процессы нарастания льда идут медленнее, чем в центральных арктических морях. В течение октября-ноября во всех районах арктических морей преобладают молодые льды. В ноябре появляются однолетние тонкие льды. До декабря включительно однолетние тонкие льды являются преобладающими в морях. В феврале в арктических морях представлены все возрастные виды льда. В большинстве районов преобладают однолетние средние льды, занимающие от 40 % до 50 % их акваторий. Количество однолетних толстых льдов также начинает нарастать, и в феврале их количество на акватории морей может достигать 20–30 %. Исключением являются юго-западные части Карского и Чукотского морей, в которых преобладают однолетние тонкие и средние льды. В конце периода нарастания льда, в мае, в арктических морях (кроме юго-западной части Карского и Чукотского морей) преобладают однолетние толстые льды. Они занимают от 45 % до 60 % площадей районов арктических морей. До 20–30 % акватории морей занимают однолетние средние льды. Таким образом, современные ГИС-технологии подготовки и обработки ледовых карт позволяют получать точные оценки возраста ледяного покрова.

Основополагающая роль в реализации грандиозных планов по увеличению грузопотока в акватории СМП лежит на современном крупнотоннажном флоте, предназначенном для транзитных перевозок в круглогодичном режиме. В Арктике начали интенсивно эксплуатироваться суда, размеры которых намного превышают показатели для всех судов, ранее используемых в этом регионе. В соответствии с этим, появляются проблемы информационного обеспечения крупнотоннажных судов, нацеленного на самостоятельное ледовое плавание в акватории СМП, особенно в зимний период.

Серьезные проблемы возникают и при обеспечении ледовой управляемости крупнотоннажных судов. Результаты теоретических и модельных исследований, а также данные еще пока немногочисленных натуральных испытаний убедительно показывают, что радиус перемещения при циркуляции таких судов во льдах составляет 10 и более миль. В этих условиях ставится под вопрос применимость традиционной тактики проводки судов во льдах, одним из основных положений которой является выбор на каждом коротком участке трассы оптимального маршрута с использованием небольших разводий, трещин, с обходом торосистых образований. Установлено, что совокупность трещин, гряд торосов и других нарушений сплошности льда является иерархической самоорганизующейся системой. Масштабная фрагментация структуры льдов обусловлена циклическими процессами во льду, которые в силу их регулярности поддерживают постоянные состояния разрушения по большому пространственным и временным масштабам.

Одним из основных факторов, через которые эти процессы реализуются, являются периодические горизонтальные подвижки льда, особенно проявляющиеся через автоколебательные процессы.

Особенностью структуры ледяного покрова в зимний период является наличие зон нарушений сплошности льда и напряженно-деформированного состояния льда. Эти обстоятельства вызывают необходимость учета структурных и деформационных параметров ледяного покрова при идентификации типа ледовых условий и оценки безопасности плавания по СМП. Кроме того, это обуславливает дополнительные требования к пространственно-временной дискретности спутниковой информации, ее картированию, поступлению регулярной метеорологической и ледовой информации со всех судов, находящихся в акватории СМП, и оперативности поставки продукции потребителю. Опыт информационного обеспечения первых рейсов современных газовозов и танкеров показал, что применение инновационных технологий мониторинга и прогнозирования ледовой обстановки позволит расширить период безледокольного плавания современных судов.

SEDIMENTATION AND RECONSTRUCTION OF THE ICE CONDITIONS OF THE SEAS OF THE EASTERN ARCTIC

A.S. Astakhov (POI FEB RAS), A.A. Bosin (POI FEB RAS), Xue-fa SHI (FIO, China), A.V. Dar'in (IGM SB RAS), I.A. Kalugin (IGM SB RAS), K.I. Aksentov (POI FEB RAS), A.N. Kolesnik (POI FEB RAS), M.A. Obrezkova (POI FEB RAS), V.B. Lobanov (POI FEB RAS)*

ОСАДКООБРАЗОВАНИЕ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ МОРЕЙ ВОСТОЧНОЙ АРКТИКИ

*А.С. Астахов¹, А.А. Босин¹, Сюефа Ши², А.В. Дарьин³, И.А. Калугин³,
К.И. Аксентов¹, А.Н. Колесник¹, М.А. Обрезкова¹, В.Б. Лобанов^{1*}*

¹ — Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева
Дальневосточного Отделения РАН, г. Владивосток, Россия

² — Первый институт океанографии Министерства природных ресурсов
КНР, Циндао, Китай

³ — Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева
Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск, Россия

* *lobanov@poi.dvo.ru*

ТОИ ДВО РАН проводит комплексные исследования морей тихоокеанского сектора Арктики (восточно-арктических морей России) как в рамках национальных программ, так и крупных международных проек-

тов. В настоящем докладе обобщены результаты седиментологических и палеоклиматических исследований, выполнявшихся в рамках российско-американского проекта RUSALCA (2004–2012), и российско-китайского проекта Arctic Silk Way (2016–2019). Оба этих проекта направлены на комплексное изучение природной среды восточно-арктических морей и ее изменений путем натуральных наблюдений и палеореконструкций. Причиной постановки таких исследований стало выявление резких изменений климата этих районов после 1980 г, в том числе максимальные для Арктики темпы деградации ледяного покрова в северной части Чукотского и Восточно-Сибирского морей. Скорость этих процессов значительно превосходит прогнозные модели, основанные на учете увеличения содержания парниковых газов в атмосфере вследствие деятельности человека. Поэтому возникла необходимость разработки моделей, учитывающих цикличность природных процессов или полностью основанных на ней.

При выполнении седиментологической и палеоклиматической части проектов особое внимание уделялось изучению связей состава накапливающихся донных осадков и условий внешней среды, включая динамику водной толщи, биопродуктивность, состав и вариации твердого стока с побережья. В ходе выполнения проектов собрана большая коллекция проб донных осадков, полученных бокс-корером, мультикорером, трубками различной конструкции. При их изучении использован комплекс современных методов включая изотопное датирование ($AMS^{14}C$, ^{210}Pb , ^{137}Cs), микропалеонтологические исследования (диатомей, силикофлагелляты, диноцисты, споро-пыльцевые комплексы), субмиллиметровое рентгенофлуоресцентное сканирование на синхротронном излучении и др.

Данные по видовому составу диатомей и силикофлагеллат восточно-арктических морей РФ обобщены в Атласе диатомовых водорослей и силикофлагеллат голоценовых осадков морей Восточной Арктики России. В изученных осадках установлено 425 видовых и внутривидовых таксонов диатомей, принадлежащих 125 родам, и 4 вида силикофлагеллат. Морские и пресноводные диатомей представлены равным количеством таксонов (по 171 виду), солоноватоводные — 45 видами. Заметное количество (38 таксонов) составляют вымершие в палеогене и неогене виды. 190 видов диатомей и 4 вида силикофлагеллат проиллюстрированы цветными микрофотографиями.

При изучении химического состава и танатоценозов диатомей донных осадков Чукотского и Восточно-Сибирского морей установлена зона влияния теплых и более соленых тихоокеанских вод, проникаю-

щих через Берингов пролив. Показано, что наиболее показательными индикаторами являются диатомеи *Paralia sulcate* и *Thalassiosira nordenskioldii*, характерные для отдельных ветвей тихоокеанских вод, а также содержание кальция (Ca/Al) и биогенных элементов продуцируемых фитопланктоном (хлорин, биогенный кремнезем).

При обобщении данных по химическому и гранулометрическому составу осадков выделены провинции (кластеры) с различным типом осадконакопления. Изучено распределение редкоземельных элементов (РЗЭ) в поверхностных осадках и голоценовых отложениях Чукотского и Восточно-Сибирского морей с целью определения источников поступления осадочного вещества. Общая концентрация РЗЭ в поверхностных осадках Восточно-Сибирского моря намного больше (123–200 мг/кг) чем в Чукотском (62–169 мг/кг), а нормализованные распределения характеризуются резким преобладанием легких лантаноидов. Они также отличаются ассоциацией РЗЭ с элементами (Zr, Nb, Hf, Th, Ti), содержащимися в тяжелых устойчивых терригенных минералах и накоплением их в песчаных и алевритовых фракциях осадков. Анализ распределения РЗЭ в голоценовых отложениях выявил, что основным источником РЗЭ в западной части Восточно-Сибирского моря являются эродлируемые на побережье и Новосибирских островах позднплейстоценовые отложения ледового комплекса (едомная толща).

При выполнении палеоклиматических реконструкций использовался метод трансферных функций основанный на сопоставлении результатов инструментальных измерений (температура воздуха, ледовитость...) и химического состава донных осадков, накопившихся за период наблюдений (обычно 60–100 лет). Полученные методами множественной регрессии переводные формулы использовались для количественной реконструкции палеоклиматических параметров для временных интервалов сотен и тысяч лет. Необходимая детальность и точность определения химического состава осадков достигалась использованием установки рентгенофлуоресцентного анализа на синхротронном излучении при ускорителе ВЭПП-3 в Институте ядерной физики СО РАН.

С использованием метода трансферных функций выполнена реконструкция продолжительности безледного периода и вариаций среднегодовой температуры воздуха за последние 400 лет на ряде станций в морях Чукотском, Восточно-Сибирском и Лаптевых. Выполненные реконструкции продолжительности безледного периода для последних 5–6 тыс. лет в Чукотском и Восточно-Сибирском морях выявили цикличность изменений с периодичностью 1,5–1,8 тыс. лет, близких по длительности 1800-летним циклами лунных приливов и 1500-лет-

ним климатическим циклам Бонда, выделенным в Северной Атлантике по вариациям состава материала айсбергового разноса в осадках. Наиболее наглядно циклы прослеживаются по минимумам продолжительности безледного периода на юго-западе Восточно-Сибирского моря, когда устанавливался круглогодичный ледяной покров (0,3–0,5, 1,8–2,2, 3,8– 4,1 тыс. лет назад). В южной части Чукотского моря в вариациях ледовитости климатические циклы почти не прослеживаются. Длительность безледного периода здесь в большей мере зависит от интенсивности поставки теплых тихоокеанских вод через Берингов пролив и перераспределения этих потоков в пределах Чукотского моря.

Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания ТОИ ДВО РАН, международных проектов RUSALCA и Arctic Silk Way, при финансовой поддержке РФФ (проекты 16-17-10109, 17- 77- 10043, 18-77-10017) и РФФИ (проект 18-05-60104-Арктика).

SOME FEATURES OF PROBABILISTIC ICEBERG THREAT MODELING FOR OFFSHORE PLATFORMS

D.A. Onishchenko (Gazprom VNIIGAZ LLC)

ОСОБЕННОСТИ ВЕРОЯТНОСТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ АЙСБЕРГОВОЙ УГРОЗЫ ДЛЯ МОРСКИХ ПЛАТФОРМ

Д.А. Онищенко

ООО «Газпром ВНИИГАЗ», г. Москва, Россия

D_Onishchenko@vniigaz.gazprom.ru

При проектировании обустройства месторождений, расположенных на акваториях морей, где возможно появления айсбергов, в случае применения морских платформ необходим учет нагрузок от потенциально возможного воздействия айсбергов. С точки зрения методологии проектирования сооружений, воздействие айсберга при столкновении с платформой (скорее, следует говорить о навале айсберга — вследствие относительно небольших скоростей дрейфа айсбергов по сравнению со скоростью судов) должно трактоваться как особая нагрузка. Вероятность подобных событий в типичных ситуациях мала (порядка 0,001 в течение года и ниже), а значение нагрузки весьма неопределенно. Последнее имеет место по той причине, что глобальная (на сооружение в целом) нагрузка от навала айсберга зависит не только от характеристик, которые хотя бы в какой-то мере поддаются прямым или косвенным измерениям и последующей статистической обработке (например, размеры, масса, скорость дрейфа, локальная прочность льда айсберга),

но и от практически непредсказуемых параметров геометрии зоны контакта айсберга с платформой, меняющейся в процессе взаимодействия. Поэтому рациональным при оценке айсберговой угрозы представляется не столько расчет нагрузки заданной обеспеченности, сколько оценка характеристик следующего вида: вероятность столкновения айсберга с платформой в течение года; вероятность столкновения с платформой айсберга, имеющего кинетическую энергию не ниже заданной, хотя бы раз в течение всего срока эксплуатации, и т.п.

В силу крайне ограниченного объема наблюдений, соответствующие оценки могут быть получены только в рамках математических вероятностных моделей. В докладе описывается одна из подобных моделей, в которой в качестве входной информации выступает случайный поток (рассматривается пуассоновский процесс) приходящих в заданную область айсбергов, имеющих известные распределения основных параметров: эффективный диаметр, масса (как альтернатива — осадка и коэффициент полноты формы), скорость. Рассматриваются типовые схемы траекторий айсбергов в пределах заданной области, на основе которых удастся рассчитать вероятность столкновения пришедшего айсберга с сооружением заданного диаметра.

Поток событий (в данном случае, появление айсберга в заданном районе), описываемый случайным пуассоновским процессом, имеет очень полезное в прикладных задачах свойство: модифицированный поток, получаемый фильтрацией из исходного путем наложения требования о реализации некоторого случайного события (например, столкновение с сооружением), в свою очередь оказывается пуассоновским, но с измененной интенсивностью. При этом интенсивность модифицированного потока равна произведению исходной интенсивности и вероятности наступления фильтрующего события. В докладе показано, как используя указанное «правило фильтра» можно найти — при известных вероятностных распределениях определяющих параметров приходящих айсбергов — значения интенсивности, например, таких модифицированных потоков: а) поток айсбергов, сталкивающихся с сооружением; б) поток айсбергов, имеющих при столкновении с сооружением диаметр не больше заданного; в) поток айсбергов, имеющих при столкновении с сооружением кинетическую энергию не меньше заданной и др. Кроме того, в рамках предложенного подхода становится возможным рассчитывать модифицированные вероятностные распределения параметров айсбергов (скорость, диаметр и др.), составляющих поток айсбергов, «отфильтрованный» по событию столкновения с сооружением. Разработанная модель может служить инструментом для тести-

рования/ проверки различных гипотез, используемых в проблематике оценки айсберговых угроз.

В заключение представлены комментарии к материалу по соответствующей тематике, включенному в последнюю редакцию международного стандарта ISO 19906 Arctic Offshore Structures.

DEVELOPMENT OF INTEGRATED TECHNOLOGIES FOR THE ELIMINATION OF HYDROCARBON SPILLS IN THE ARCTIC

N.B. Pystina (Gazprom VNIIGAZ LLC), K.V. Romanov (Gazprom),
K.L. Ulanyan (Gazprom VNIIGAZ LLC), E.E. Ilyakova (Gazprom VNIIGAZ LLC),
L.A. Tomskaya (Gazprom VNIIGAZ LLC)*

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ЛИКВИДАЦИИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ РАЗЛИВОВ В АРКТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Н.Б. Пыстина¹, К.В. Романов², К.Л. Унанян¹, Е.Е. Ильякова¹,
Л.А. Томская¹*

¹ — ООО «Газпром ВНИИГАЗ», г. Москва, Россия

² — ПАО «Газпром», Санкт-Петербург, Россия

* *N_Pystina@vniigaz.gazprom.ru*

В связи с освоением северных и шельфовых месторождений УВ возрастает актуальность разработки новых высокоэффективных комплексных технологий ликвидации углеводородных разливов. В ООО «Газпром ВНИИГАЗ» разработаны комплексные технологии очистки водной поверхности от углеводородных загрязнений, включающие применение углеводородсобирающего поверхностно-активного препарата «СОБИРАТЕЛЬ» или биосорбента и дистанционного лазерного сжигания. Технологии позволяют обеспечить оперативные и эффективные меры и защиту окружающей среды при ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов. Применение поверхностно-активного препарата позволит локализовать углеводородное загрязнение, существенно уменьшить площадь пятна и сдерживать от распространения углеводородное загрязнение. Биосорбент обеспечивает не только максимальный сбор УВ загрязнения, но и выступает фитилем при горении, снижает время и пороговую интенсивность поджога лазерным излучением в 2–3 раза и увеличивает степень очистки по сравнению с обычным сжиганием на 10 %. В свою очередь, лазер позволяет поджечь углеводородное пятно с безопасного расстояния и большой точностью и осуществить дожигание остатков путем площадного сканирования

оставшихся участков загрязнения. При этом эффективность очистки составляет 96 % от первоначального загрязнения. Остаточные загрязнения возможно нейтрализовать с использованием биопрепарата БИОРОС для микробиологической деструкции, путем внесения его суспензии в количестве 1 % от остаточного количества углеводов. Лабораторные и натурные испытания показали, что комплексные технологии очистки водной поверхности от углеводородных загрязнений, разработанные в ООО «Газпром ВНИИГАЗ», способны полностью очистить акваторию морских и пресноводных водоемов от возможных УВ загрязнений.

THE COMING OF THE SHALLOW WATER COASTAL FAUNA OF THE NEAR CONTINENTAL SEAS OF THE ANTARCTICA

A.V. Neelov, I.S. Smirnov (ZIN RAS)*

СТАНОВЛЕНИЕ МЕЛКОВОДНОЙ ФАУНЫ ОКРАИННЫХ МОРЕЙ АНТАРКТИДЫ

А.В. Неелов, И.С. Смирнов*

Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

**smiris@zin.ru*

Одновременно с первыми водолазными исследованиями мелководной фауны прибрежных районов Шестого континента отечественными гидробиологами стало очевидно, что особенности видового состава шельфовой фауны — биоразнообразие сублиторали приконтинентальных морей Антарктиды невозможно понять без привлечения данных по истории формирования самого антарктического шельфа и его орографических особенностей. Исследования прибрежной донной биоты приконтинентальных морей Восточной Антарктиды, представители которой имеют очень широкий диапазон вертикального распределения по глубине, от верхней сублиторали шельфа до нижней батииали склона континентальной ступени, позволили Евгению Николаевичу Грузову (1933–2010 гг.) в цикле работ обосновать концепцию происхождения шельфовой фауны Восточной Антарктиды из сохранившихся на континентальном склоне представителей фауны после максимального оледенения. Базовой основой этой концепции и ее дальнейшего развития послужила работа П.С. Воронова 1960 г., заключающейся в том, что во время максимального оледенения Антарктиды лежащий на грунте материковый ледяной щит распространялся на север до самого края шельфа, не теряя контакта с дном. В этом случае на шельфе материковой ступени просто не оставалось условий пригодных для жизни морской донной фауны. При этом все верх-

ние отделы шельфов в результате регрессии — общего снижения уровня Мирового океана, согласно теории Г.У. Линдберга о трансгрессиях и регрессиях уровня океана, оказывались осушенными на значительных площадях морского дна; аналогичные процессы происходили и в Антарктике. Именно это, как полагал Грузов, привело к гибели наиболее стенобионтных представителей фауны и оттеснения эврибатных ее форм в батиналь, на склон континентальной ступени. Здесь на верхних отделах склона сформировалась фауна бентоса, весьма близкая к современной, которая после отступления края ледника дала начало современной шельфовой фауне Антарктиды. Это означает, что более сорока лет назад Е.Н. Грузов впервые выдвинул концепцию сохранения (переживания) мелководной донной шельфовой фауны на батинальных глубинах континентального склона во время максимального оледенения Антарктиды и затем отсюда вторичного заселения уже «переуглубленного шельфа» с максимальными глубинами на бровке 500–600 м с внутришельфовыми депрессиями выше 1000 м, пережившей «ледниковый период» батинальной фауной.

Данная концепция была основана на анализе особенностей современного вертикального распределения на шельфе и склоне континентальной ступени приконтинентальных морей Южного океана одной из групп иглокожих — морских звезд, что было им хорошо документировано в серии работ и затем проиллюстрировано в Атласе Антарктики в 2005 г. Суть гипотезы Е.Н. Грузова заключалась также и в том, что все возрастающее похолодание и развитие мощного покровного оледенения на материке Антарктиды после образования Антарктического циркумполярного течения, обуславливающего эти процессы, вызывало, естественно, возрастающее охлаждение воды до минусовых значений, развитие и продвижение ледника на шельф и далее к его бровке с толщиной здесь до 1000 м, а в результате эвстатического давления при возрастающей толщине ледника, т.е. его массы, континентальный шельф все более и более углублялся, что, как отмечено выше, впервые было выдвинуто и обосновано П.С. Вороновым еще в 1960 г., т.е. спустя всего четыре года после начала отечественных исследований в Антарктике. В дальнейшем эта идея была еще более развита другими отечественными авторами. Такое оледенение Антарктиды одновременно неизбежно приводило к тому, что шельфовый ледник, как и гигантские айсберги, становился орудием полного истирания верхней поверхности шельфа и почти полному уничтожению донной фауны на самом шельфе.

Единственной возможностью существования биоты в такой ситуации были уход на глубины склона — в батиналь и выработка приспособлений — адаптаций к жизни при отрицательных температурах. Как теперь

очевидно, именно эти две адаптивные особенности подавляющего большинства представителей антарктической биоты – эврибатность и стенотермность с выработкой холодаадаптации и были реализованы вновь развивающейся антарктической шельфовой биотой, а затем выжившими ее представителями практически всех групп донных беспозвоночных животных и рыб на батимальных глубинах склона в период оледенений. Большинство видов морских звезд, офиур и донных рыб имеют широкий или очень широкий диапазон вертикального распределения по глубине как на самом шельфе — в сублиторали вплоть до его бровки и во внутришельфовых депрессиях, так и с переходом на глубины склона — в батималь часто до подножия континентальной ступени. При этом только из самой верхней зоны сублиторали — на мелководье морей Содружества и Дейвиса ныне известно очень небольшое число видов офиур — 12 и 14 соответственно из числа всех встреченных здесь на шельфе видов, большинство из которых известны также и на батимальных глубинах склона, вплоть до его подножия. При водолазных гидробиологических работах в нескольких сезонах 52-й – 63-й РАЭ в бухте Нелла и прилегающих акваториях залива Прюдс моря Содружества у станции Прогресс на глубинах от 2–5 до 45 м было обнаружено, как отмечено выше, всего лишь 12 видов офиур четырех семейств из 44 видов офиур 21 рода этих же семейств, выявленных в море Содружества. Из этих 12 видов офиур мелководья залива Прюдс только один вид — *Ophiura flexibilis* с глубины 17–20 м является истинно мелководным и представляет группу чисто сублиторальных антарктических видов, нижний известный предел глубины обитания которого 400 м (т.е. известный диапазон вида 17–400 м). Все остальные 11 видов мелководья залива Прюдс представлены сублиторально-батимальными видами, нижний предел их обитания приходится на глубины от 752 м до 3900 м, т.е. от верхней батииали склона вплоть до нижней батииали подножия континентальной ступени. Подобное же сходство в максимуме видового разнообразия именно в диапазоне глубин 400–600 м у берегов Восточной Антарктиды наблюдается и в других группах донных беспозвоночных животных, с очень небольшим числом видов, известных из самых малых глубин — 10–30 м прибрежного мелководья этой области Антарктиды, например, изопод и танаидаций, амфипод, пикногонид, морских ежей, что еще более наглядно представлено в распределении по глубинам у рыб. Среди рыб мелководный чисто сублиторальный вид на шельфе Восточной Антарктиды только один — *Trematomus newnesi*, а населяющие здесь прибрежное мелководье морей Дейвиса, Моусона и Содружества немногие другие виды рыб имеют сублиторально-батимальный тип распределения по глубине, это: тре-

маты рода *Pseudotrematomus*, плугарь — *Gymnodraco acuticeps* (сем. Bathydraconidae), белокровные рыбы (сем. Channichthyidae) или принадлежащий к криопелагическому сообществу — большой широколобик — *Pagothenia borchgrewinki*, и который является самым обычным видом при ловле полярниками рыбы на удочку. Молодь самой крупной рыбы из вод приконтинентальных морей Антарктиды – антарктического клыкча *Dissostichus mawsoni*, нередко встречается на небольших глубинах 20–40 м, где нередко попадает при учебном лове из-под льда рыбакам-полярникам (коллекция ЗИН). Среди видов уникального семейства белокровных рыб в прибрежных водах Восточной Антарктиды также известен всего лишь один вид — *Pagethopsis macropterus* с минимальной глубины 5 м и с диапазоном глубинного распределения 5–752 м, который в море Росса в районе Мак-Мёрдо был встречен дайверами на глубине 30 и 40 м, сфотографирован и даже пойман руками.

Таким образом, особенности видового состава и вертикального распределения прибрежной шельфовой мелководной сублиторальной фауны приконтинентальных морей Антарктиды позволяют решить не только причину ее обедненного биоразнообразия, но и проблему становления и орографических особенностей самого антарктического шельфа.

Работа была выполнена как часть исследования по государственной теме № АААА-А19-119020690072-9, частично поддержана программой фундаментальных исследований Президиума Российской академии наук «Биоразнообразие природных систем и биологические ресурсы России» (Подпрограмма «Биологическое разнообразие», проект: «Таксономический и эколого-фаунистический аспекты изучения разнообразия животного мира России»).

VIKTOR BORISOVICH SOCHAVA IS A RESEARCHER OF SUBARCTIC SPACES

V.A. Snytko, O.S. Romanova (IHST RAS)*

ВИКТОР БОРИСОВИЧ СОЧАВА КАК ИССЛЕДОВАТЕЛЬ СУБАРКТИЧЕСКИХ ПРОСТРАНСТВ

В.А. Снытко, О.С. Романова*

*Институт истории естествознания и техники им. С.И.Вавилова РАН,
г. Москва, Россия*

** vsnytko@yandex.ru*

В научном наследии академика Виктора Борисовича Сочавы (1905–1978 гг.) значительное место принадлежит региональным

исследованиям. Это подмечено первыми биографами В.Б. Сочавы. Тематику научных исследований В.Б. Сочавы Н.А. Гвоздецкий и А.Г. Чикишев сгруппировали в следующие основные разделы: 1 — проблемы Севера; 2 — ботаническая география лесных провинций; 3 — общие закономерности географии растительного покрова и формирования ландшафтов; 4 — вопросы истории растительности и палеогеографии; 5 — принципы классификации растительности; 6 — теоретические вопросы ландшафтоведения; 7 — принципы и методы геоботанического и комплексного картографирования; 8 — основные принципы природного районирования; 9 — географические аспекты освоения тайги; 10 — вопросы истории геоботаники и географии; 11 — принципы комплексности при организации географических исследований. Как видно, среди научных направлений, которыми многие годы занимался ученый, выделены исследования Севера — субарктических районов.

Научно-исследовательская деятельность В.Б. Сочавы началась еще в студенческие годы обучения в Ленинградском сельскохозяйственном институте. В дальнейшем его научные замыслы реализовались в процессе проведения обширных экспедиционных исследований в самых разнообразных районах нашей страны.

В 1926–1928 гг. Виктор Борисович принимал участие в работах Северо-Уральской экспедиции АН СССР и Уралплана под руководством Б.Н. Городкова. Эта экспедиция исследовала самую высокую часть Уральского хребта и открыла его главную вершину — гору Народную. В обязанности В.Б. Сочавы входило изучение лесов Приполярного и соседней части Северного Урала. В то время об этих лесах не существовало почти никаких данных. Молодой исследователь опубликовал серию статей, в которых рассмотрена растительность изучаемой территории, вопросы фитоценологии уральской тайги, установлены верхний предел древесной растительности, его динамика и зависимость от физико-географических условий, а также отмечена северная граница кедра на Урале.

В 1929 г. В.Б. Сочава был командирован Полярной комиссией АН СССР в Анадырский край, где изучал растительный покров тундрового ландшафта как кормовую базу оленеводства. В 1930 г. Эти исследования продолжены им в бассейне р. Пенжина, где им была открыта наивысшая вершина Каменного хребта, названная горой Стадухина.

В 1931–1938 гг. В.Б. Сочава вел работу по оценке тундровых пастбищ в качестве начальника полевых партий и руководителя сектора геоботаники и кормов Института оленеводства (с 1935 г. он — началь-

ник отдела оленеводства Арктического института, куда присоединен Институт оленеводства).

В 1932 г. В.Б. Сочава изучал анабарские тундры. На основании экспедиционных исследований тундр бассейна Анабара он разработал классификацию растительных ассоциаций и группировку их в фитоценологические ряды, обусловленную режимом влажности тундровых почвогрунтов. Изучив подгольцовые редколесья и кустарниковые горные тундры, он создал представление об инкубации (налегании) ярусов растительных сообществ, принятое многими исследователями.

В 1930-е гг. в его работах прослеживается интерес к выяснению истории флоры Дальнего Востока. Об эволюции западных тундр Якутии В.Б. Сочава докладывал на Первом Всесоюзном географическом съезде. Результаты исследований этого периода выдвинули В.Б. Сочаву в число крупнейших тундроведов и определили одно из важных направлений в его научной и организационной деятельности. Помимо огромной работы по инвентаризации тундровых пастбищ и обоснованию научных основ развития оленеводства, В.Б. Сочава внес вклад в разработку теоретических проблем тундроведения: четвертичная история и динамика тундровых ландшафтов, генезис пятнистых тундр, причины безлесья тундр, классификация и фитоценологические ряды тундровых ассоциаций. Он создал первое руководство по геоботаническим исследованиям в тундре. В 1933–1938 гг. В.Б. Сочава редактировал начатую по его инициативе серию выпусков «Советское оленеводство» (вышло в свет 11 выпусков), которая содержала статьи, положившие начало научной разработке многих вопросов тундрового оленеводства.

1940-е гг. отмечены публикациями В.Б. Сочавы о четвертичной истории растительности Дальнего Востока, истории флоры и растительности Арктики. Выводы сделаны на основе многолетних экспедиционных исследований и сопоставления взаимосвязей компонентов ландшафта. В эти годы В. Б. Сочава руководил комиссией по истории флоры и растительности Всесоюзного ботанического общества.

Исследования растительности тундр были обобщены В.Б. Сочавой вместе с Б.Н. Городковым. В этой работе им составлены: Общий обзор и разделы: Горные тундры, Моховые и лишайниковые тундры, Кустарничковые тундры, Тундровые ивняки, Ерниковые тундры.

В 1960–1970-е годы отмечен также интерес В.Б. Сочавы к проблемам Арктики и Субарктики. Особо рассматривались вопросы физико-географического районирования территории и использования ее природного потенциала.

SATELLITE AIR TEMPERATURE MAPPING IN CONDITIONS OF POLAR NIGHT

S.G. Kritsuk (SRCES RAS), V.I. Gornyy (SRCES RAS),
T.A. Davidan (SRCES RAS), I.Sh. Latypov (SRCES RAS),
A.B. Manvelova (SRCES RAS), P.I. Konstantinov (MSU),
A.A. Tronin (SRCES RAS), M.I. Varentsov (MSU)*

СПУТНИКОВОЕ КАРТИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В УСЛОВИЯХ ПОЛЯРНОЙ НОЧИ

С.Г. Крицук¹, В.И. Горный^{1}, Т.А. Давидан¹, И.Ш. Латыпов¹,
А.Б. Манвелова¹, П.И. Константинов², А.А. Тронин¹, М.И. Варенцов²*

¹ — Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр
экологической безопасности РАН, Санкт-Петербург, Россия

² — Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова»,
г. Москва, Россия

* *v.i.gornyy@mail.ru*

Важным показателем экологической безопасности населения городов является биоклиматический комфорт, в значительной степени определяющийся температурой воздуха. При этом, пространственное распределение температуры воздуха в городах не является равномерным из-за эффекта «каньона», экранирования испарения дорожным покрытием, «затенения» ветра, различий в тепловой инерции поверхности городской среды. В результате формируются микроклиматические условия находящиеся за пределами состояния биологического комфорта. Это явление наиболее изучено в теплый период года на примере мегаполисов, в связи с проблемой «тепловых островов». Вместе с тем, зимний микроклиматический режим городов, расположенных в арктической зоне к настоящему времени изучен недостаточно, особенно в период полярной ночи. В качестве немногих примеров могут быть приведены исследования в арктических городах Аляски (США), Кольского полуострова и Западной Сибири (Россия).

В настоящее время детальное картирование температуры воздуха в городах выполняется с помощью математического моделирования и ГИС-технологий. Такие работы для крупных городов являются трудоемкими. С экономической точки зрения для этого целесообразно использовать материалы регулярных тепловых спутниковых съемок. Поэтому нами была сделана попытка спутникового картирования в зимний период температуры воздуха в заполярном городе Апатиты (Кольский полуостров).

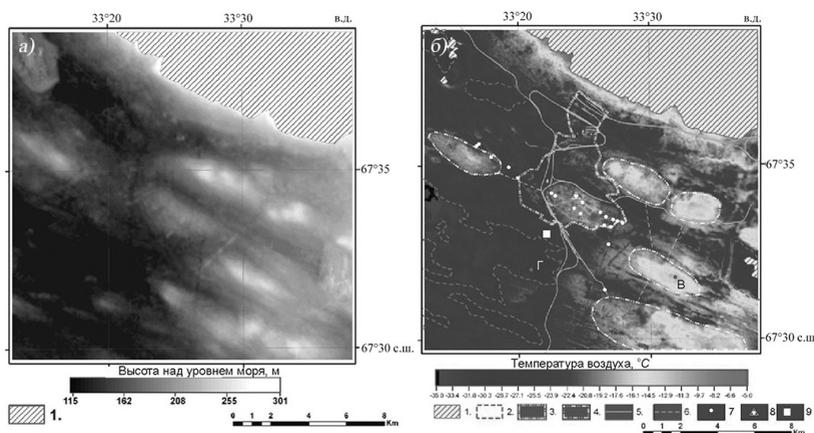


Рис. Цифровая модель рельефа (а): 1 — маска горной части территории. Температура воздуха на высоте 2 м над дневной поверхностью по данным спутникового картирования (б): 1 — маска горной части территории; 2 — береговая линия; 3 — граница города; 4 — границы территорий на возвышенностях, перспективные для застройки; 5 — транспортные магистрали существующие; 6 — дороги в низинах для соединения перспективных районов; 7 — логгеры; 8 — портативная метеостанция Davis Vantage Pro 2.; 9 — городская метеостанция ID WMO 22213

Для реализации этого подхода была использована сеть наблюдений (рисунок) за температурой воздуха в г. Апатиты, включавшая автоматическую метеостанцию Davis Vantage Pro 2 и 20 температурных логгеров (iButton), установленных на высоте 2 м. Использовались и данные городской метеостанции ID WMO 22213 расположенной недалеко от города на берегу озера Имандра. Температура воздуха записывалась сетью ежечасно в период с 25.12.2017 по 02.04.2018. Из архивов на период с 22.10.2014 г. по 03.03.2019 г. было отобрано 14 инфракрасных-тепловых сцен спутников Landsat (разрешение ~100 м) Для анализа связи между высотой поверхности и температурой земной поверхности была использована, цифровая модель рельефа ASTER с пространственным разрешением 30 м (рис. а).

На первом этапе теоретически была обоснована методика спутникового картирования температуры воздуха, опирающаяся на нахождение для каждого пикселя карты корреляционных связей между спутниковыми измерениями температуры земной поверхности и температурами воздуха, измеренными наблюдательной сетью. Для условий безоблачной и безветренной погоды были получены коэффициенты корреляции достигающие 0,94. Столь сильная статистическая связь позволила по-

строить прогнозную карту температуры воздуха на дату, когда спутниковая съемка не выполнялась (рис. б). Верификация этой карты наземными измерениями показала, что среднеквадратическая ошибка составила $-1,36$ °С, а систематическая $-0,1$ °С.

Сравнение полученной карты (рис. б) с цифровой моделью рельефа (рис. а) показывает, что возвышенности характеризуются более высокими значениями АТ, чем низины. Физические механизмы такого явления были исследованы в Полярном геофизическом институте. Было показано, что одной из причин может быть, так называемый «рельефный эффект», когда холодный (тяжелый) воздух с возвышенностей скатывается в понижения рельефа земной поверхности. Кроме этого, при безоблачном небе и отсутствии ветра наблюдается сильное радиационное выхолаживание.

Полученная карта позволяет оценить биоклиматический комфорт населения в различных частях исследуемой территории. Так, в 00:00 по Гринвичу 01.02.2018 температура воздуха менялась от -12 °С на вершине холма в юго-восточном углу испытательного полигона (В на рис. б) до -30 °С на льду озера Имандра (Г на рис. б). Таким образом, понижение температуры достигает -18 °С на расстоянии всего 5 километров. Такое падение температуры может негативно повлиять на биоклиматическое ощущение населения. Более того, существует сильная зависимость между снижением температуры воздуха и количеством энергии, расходуемой на отопление домов. Таким образом, из соображений охраны здоровья населения Арктики, а также из экономических соображений эффективнее планировать новые города на холмах. Например, для г. Апатиты на рис. б приведены возможные места новых районов (см. 4 на рис. б), соединенных дорогами (см. 6 на рис. б). Каждый из таких районов должен быть спланирован как «полузакрытый», чтобы минимизировать время пересечения жителями холодных низменностей между районами.

Основным качественным признаком мегаполисов является внутренняя структура этих агломераций, сформированных сросшимися первичными поселениями, ранее связанных транспортной сетью. Если при дальнейшем освоении Арктики города будут располагаться на возвышенностях, как несколько локальных районов, соединенных транспортной сетью, проложенной в низинах, то такие поселения можно назвать арктическими «мегаполисами» из-за специфической для мегаполисов внутренней структуры. Но в случае арктических «мегаполисов» эта структура будет результатом климатической специфики полярных территорий, а не историческим сращиванием отдельных поселений.

**THE MAGNETIC FIELD
IN THE ARCTIC AND ANTARCTIC:
PAST, PRESENT, FUTURE**

A.N. Zaytsev, V.G. Petrov, T.N. Bondar (IZMIRAN, Moscow),
N. Ptitsyna, S.N. Sokolov, A.A. Petrova, I.M. Demina (IZMIRAN, SPb)*

**МАГНИТНОЕ ПОЛЕ В АРКТИКЕ И АНТАРКТИКЕ:
ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ**

А.Н. Зайцев^{1}, В.Г. Петров¹, Т.Н. Бондарь¹, Н.Г. Птицына²,
С.Н. Соколов², А.А. Петрова², И.М. Демина²*

¹ — *Институт Земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, г. Москва, Россия*

² — *Санкт-Петербургский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Санкт-Петербург, Россия*

** Alex.zaitsev1940@mail.ru*

200 лет тому назад российские моряки достигли Антарктиды. При этом главным средством навигации было магнитное поле Земли (МПЗ). Экспедиция в Антарктиду Ф. Беллинсгаузена и М. Лазарев в 1819–1821 гг. подтвердила сходство явлений северного и южного полушарий, а художник экспедиции П.Н. Михайлов сделал многочисленные зарисовки полярных сияний над Антарктидой. Корабельный компас служил основой при прокладке курса судна в неизведанных полярных морях. Значения склонения МПЗ уже были нанесены на карты с конца XIV века, когда мореходы стали собирать сведения о магнитном поле Земли при дальних плаваниях. По мере развития физики изучение земного магнетизма расширялось и наблюдения за поведением магнитной стрелки компаса во время магнитных бурь привели к выводам о существовании токов в верхней атмосфере Земли. Проведение Первого международного полярного года 1882–1883 гг. дало толчок к исследованию полярных геомагнитных возмущений [Андреев К.П., Экспедиция Императорского Русского географического общества. Труды русской полярной станции на Новой Земле. СПб., 1891.]. Экспедиции в Арктику и Антарктику продолжались с целью изучения свойств возмущений магнитного поля в высоких широтах. После опытов К.Биркеланда [Birkeland, K.: The Norwegian Aurora Polaris Expedition 1902–1903, Aschehoug, Christiania, Norway, Vol. I, 1–316, 1908, Vol. II, 317–801, 1913.] физики согласились, что возмущения МПЗ представляет собой результат воздействия солнечного корпускулярного излучения.

Самым ярким признаком наличия полярных магнитных возмущений стали полярные сияния, изучение свойств которых также способствовало пониманию процессов в околоземном космическом пространстве. Второй МПГ 1932–1933 г. существенно расширил базу знаний о полярных геомагнитных явлениях, заложил основу системы магнитно-ионосферных прогнозов. Важным шагом стало проведение магнитной съемки территории СССР в 1930–1940 гг., издание первого учебника «Земной магнетизм и магнитная разведка» [Розе Н.В., Трубяччинский Н.Н., Яновский Б.М. Земной магнетизм и магнитная разведка. Л.;М.: Гостехтеориздат, 351 с. 1934.], создание НИИЗМ — ИЗМИРАН. В эти же годы за рубежом была проведена мировая магнитная съемка. В СССР с 1952 г. начались кругосветные рейсы немагнитной шхуны «Заря», благодаря которым измерения МПЗ на морях и океанах позволили создать карту МПЗ и модель МПЗ высокого качества. Поворот в изучении земного магнетизма произошел после начала космической эры. В 1957–1958 гг. был проведен Международный геофизический год который открыл соревнование между СССР и США по освоению космического пространства. В ИЗМИРАН был сделан и запущен 15 мая 1958 г. первый магнитометр в космос [Пушков Н.В., Долгинов Ш.Ш. Исследование магнитного поля Земли на искусственных спутниках и ракетах. УФН, 63, вып. 4, 645, 1957]. Дальнейшее развитие космической физики основывалось на детальных измерениях свойств магнитосферы целой флотилией спутников, в результате оформилось практическое применение новых знаний в виде полярной гелиогеофизики и прогноза космической погоды. После 1980-х годов система глобальной навигации на основе магнитного поля Земли была дополнена космической системой навигации на основе точной спутниковой геодезии — системой ГЛОНАСС.

Период с 1975 по 1995 гг. можно охарактеризовать как перестройку в организации научных исследований по земному магнетизму, в том числе в Арктике и Антарктике. В ИЗМИРАН были реализованы проекты «Геофизический полигон в Антарктиде» и «Геомагнитный меридиан 145». Был начат переход на компьютерные технологии, создание баз данных, родственные институты заявили о себе как самостоятельные организации. ИЗМИРАН передал магнитно-ионосферную службу в ИПГ, СиБИЗМИРАН выбрал главное направление — солнечно-земная физика на базе уникальных больших инструментов и сменил название на ИСЗФ СО РАН. В ИЗМИРАН сократили разработку и производство новых магнитометров, СКБ было передано ИОФАН. После 1991 г. наступил период бифуркации в исследованиях земного магнетизма. Была

прекращена регулярная наземная съемка МПЗ на сети пунктов векового хода. Высокий уровень фундаментальных исследований удалось сохранить благодаря созданию новых карт МПЗ на основе аэромагнитных и морских съемок [Корутенко Y.A., Chernouss S., Petrova A.A., Filatov M.V., Petrishchev M S. The Study of Auroral Oval Position Changes in Terms of Moving of the Earth Magnetic Pole // Problems of Geocosmos—2018. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. 2019. С. 289–297. https://doi.org/10.1007/978-3-030-21788-4_25]. На основе зарубежных спутниковых баз данных по спутникам ЭРСТЕД, ЧАМП, группе спутников РОЙ (SWARM) были продолжены работы по моделированию МПЗ. Модель магнитного поля Земли GRF-2020 была подготовлена в кооперации с зарубежными учеными в конце 2019 года. Архив наблюдений магнитных обсерваторий России, начиная с 1841 г., и архив научных данных за прошлые века удалось перевести на компьютеры и сохранить для будущих поколений [Птицына Н.Г., С.Н. Соколов, В.А. Солдатов, М.И. Тясто, База исторических данных о геомагнитной и авроральной активности, ориентированная на изучение солнечно-земных связей // ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И БИОСФЕРА. 2017. Т. 16, № 4. С. 67/80. DOI 10.21455/GRV2017.4-6; Птицына Н.Г., Тясто М.И., Храпов Б.А., Очень большие геомагнитные бури в 1841–1870 гг. по данным сети Российских геомагнитных обсерваторий // Геомагнетизм и аэрономия. 2009. Т. 52, № 5. С. 649–659.]. Прогресс в области космических технологий позволил создать сети магнитных наблюдений в космосе — АМПЕР, ТЕМИС, РОЙ, СМС и объединить магнитометры по отдельным спутникам. Появились «карманные» спутники формата КубСат, ежегодное число запусков которых с магнитометрами составляет сотни штук. Востребованность космических данных и в том числе прямых измерений магнитометрами на спутниках в околоземном пространстве заметно возросла после 2000 года по мере их прикладного назначения — геофизическая разведка, мониторинг состояния МПЗ, прогноз космической погоды. В планах на ближайшие десятилетия до 2030 года намечено освоение Луны и первая научная задача — составление точной магнитной карты Луны. Всех беспокоит быстрое движение магнитных полюсов по поверхности Земли [Корутенко Y.A., Chernouss S., Petrova A.A., Filatov M.V., Petrishchev M S. The Study of Auroral Oval Position Changes in Terms of Moving of the Earth Magnetic Pole // Problems of Geocosmos—2018. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. 2019. С. 289–297. https://doi.org/10.1007/978-3-030-21788-4_25]. Прогноз движения полюсов пока не катастрофический — в следующие 100 лет полюса пройдут еще несколько сотен км,

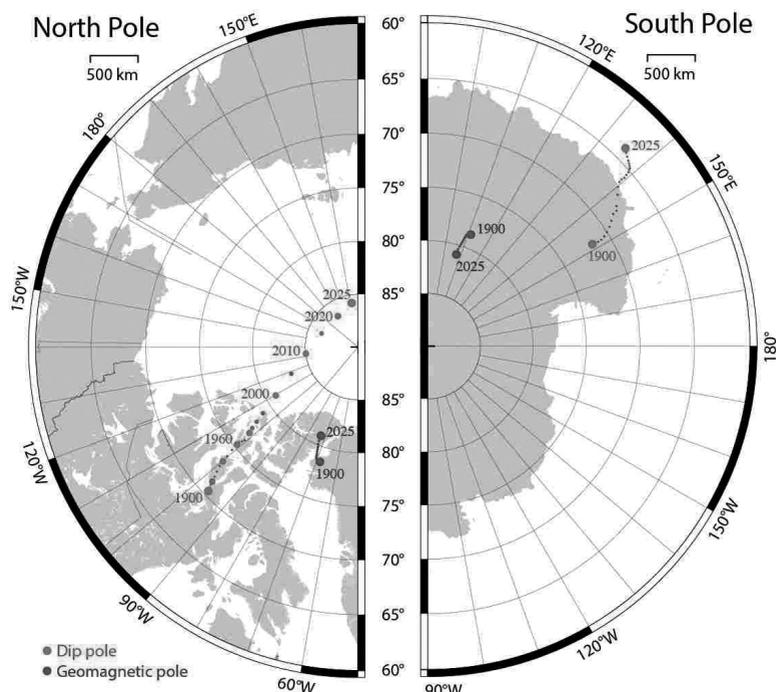


Рис. Схема поясняющая положение полюсов с 1900 по 2025 гг.
по данным Британской геологической службы
<https://geomag.bgs.ac.uk/research/modelling/IGRF.html>.

но главное магнитное поле сохранит основные свои параметры. Отсюда задача тщательных измерений МПЗ в Арктике и Антарктике. Заявлена работа по расширению сети магнитных обсерваторий в Арктике вдоль зоны полярных сияний, где формируются сильные токовые системы на высотах ионосферы. В проблемах изменения климата обнаружена составляющая от МПЗ, отсюда новая задача для магнитологов — обнаружить и описать связь «климат – МПЗ». Намечена реновация проекта «Геомангнитный меридиан 145» на основе широкой кооперации в России и с привлечением Казахстана и Индии. Поддержан план ИЗМИРАН на строительства немагнитного судна для морской магнитной съемки. Ведущие университеты страны сохранили подготовку специалистов, что позволяет надеяться на приток молодых исследователей в эту востребованную часть физики, овеянную великими именами российских ученых — от М.В. Ломоносова, А.Н. Крылова, Н.В. Розе, Н.В. Пушкина до сотрудников сегодняшнего ИЗМИРАНа.

**ROLE OF THE ENGINEER-HYDROMETEOROLOGICAL SURVEYS
OF AARI FOR PROVIDING THE STABLE DEVELOPMENT
OF THE RUSSIAN ARCTIC OFFSHORE.**

Yu.P. Gudoshnikov, I.V. Buzin, O.M. Adreev, A.V. Nesterov, K.G. Smirnov,
R.A. Vinogradov, A.K. Naumov, E.A. Skutina (AARI)*

**РОЛЬ ИНЖЕНЕРНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ
ИЗЫСКАНИЙ ААНИИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ СТАБИЛЬНОГО
ОСВОЕНИЯ ШЕЛЬФА РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ**

Ю.П. Гудошников, И.В. Бузин, О.М. Адреев, А.В. Нестеров,
К.Г. Смирнов, Р.А. Виноградов, А.К. Наумов, Е.А. Скутина
ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский
институт, Санкт-Петербург, Россия*

**buzin@aari.ru*

Инженерные гидрометеорологические изыскания (ИГМИ) относятся к научно-техническому направлению деятельности ФГБУ «ААНИИ». ИГМИ включают широкий спектр работ, направленных на получение информации о параметрах природной среды, учет которых необходим для проектирования и строительства объектов хозяйственной деятельности как в Арктической зоне РФ, так и в целом на акватории замерзающих морей России.

В прибрежной материковой части и на шельфе морей Арктической зоны РФ сосредоточены огромные запасы полезных ископаемых. В последние два десятка лет продолжается разведка и активное освоение части из них, относящейся к углеводородному сырью (УВ). Хорошо известны проекты по освоению таких крупных УВ месторождений как: Штокмановское, Приразломное и Варандейское в Баренцевом море, а также Новопортовское, Южно-Тамбейское и Салмановское (Утреннее) в Обской губе Карского моря. Существуют планы по освоению месторождений редкоземельных и цветных металлов, угля и т.д. на шельфе и побережье большинства арктических морей РФ. Многочисленные Сахалинские проекты, а также месторождения им. В. Филановского и им. Ю. Корчагина в Каспийском море хотя и не относятся к арктическим, но расположены на шельфе замерзающих морей и также требуют учета негативного воздействия низких температур и ледяного покрова.

Хозяйственное освоение любых территорий всегда связано со строительством новой и развитием имеющейся инфраструктуры, что подразумевает доставку больших объемов материалов и техники, строительство жилья для размещения персонала. Началу любого масштабного

освоения удаленных территорий всегда предшествуют комплексные инженерные изыскания по различным направлениям, одним из которых являются ИГМИ. Изыскания проводятся в строгом соответствии с государственными стандартами, уровень которых все время повышается. Так, в конце 1990-х годов были приняты Своды Правил (СП) по всем основным видам инженерных изысканий в строительстве (в том числе и СП 11-103-97 «Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства»), а для районов шельфа отдельные ведомственные нормы (ВСН 51.2-84 и т.п.) были заменены на общие СП 11-114-2004 «Инженерные изыскания на континентальном шельфе для строительства морских нефтегазопромысловых сооружений». Обновляются и другие нормативные документы, находящиеся на стыке изысканий и проектирования (например: СП 20, СП 38 и др.). Наряду с национальными нормативами разрабатывались и международные стандарты, касающиеся объектов на шельфе (серия ISO 19900 и др.). В настоящее время процесс приведения нормативов в соответствие с требованиями времени продолжается, и специалисты ФГБУ «ААНИИ» принимают активное участие в обсуждении и разработке этих документов.

Пионером развития направления ИГМИ в рамках ФГБУ «ААНИИ» является основанная в 1991 г. д-р. геогр. наук Г.К. Зубакиным лаборатория «Арктик-шельф» (ЛАШ). Во всем мире и в нашей стране этот период был отмечен все возрастающим интересом добывающей промышленности к шельфовым и арктическим проектам, подкрепленным развитием новых технологий добычи и уровнем проектирования гидротехнических сооружений. ЛАШ создавалась как подразделение, деятельность которого направлена на обеспечение шельфовых проектов специализированной информацией о гидрометеорологическом и ледовом режиме на всех этапах их освоения (разведка, проектирование, строительство, эксплуатация, окончание добычи). Первые шаги нового подразделения ограничивались теоретическими исследованиями, систематизацией и обработкой архивов, методическими вопросами. Однако уже через 5 лет начались полевые работы по профилю ИГМИ. Первыми объектами, под которые проводились инженерные изыскания, были морская ледостойкая стационарная платформа (МЛСП), проектируемая для освоения Приразломного месторождения в Печорском море (ЮВ часть Баренцева моря) и Варандейский терминал. Характер объектов и экстремальность природных условий, в которых им предстояло функционировать (планировалась круглогодичная работа с учетом тяжелых ледовых условий) сразу задали высочайший уровень ответственности при проведении гидрометеорологических изысканий. В целом, следует отметить, что для

обеспечения высокого уровня ИГМИ по различным проектам лаборатории «Арктик-шельф» привлекала к полевым и аналитическим работам широкий круг специалистов из профильных отделов ААНИИ (ОЛРиП, ОЛКС, ЦЛГМИ, ОГУиВР и др.). Для выполнения комплексных изыскательских работ приглашались специалисты из других научных организаций (ВНИИОкеангеология, ИГРАН, МГУ, КГНЦ и др.), что позволило выполнять литодинамические исследования, гляциологические исследования на ледниках Российской Арктики и т.д.

В настоящее время потенциал лаборатории «Арктик-шельф» позволяет выполнять ИГМИ полного цикла (полевые изыскания — камеральная обработка собранных данных — расчеты характеристик гидрометеорологических элементов, необходимые для проектирования). Результатом такого подхода является создание Временных Локальных Технических Условий (ВЛТУ) — т.е. технических норм, содержащих (применительно к конкретному объекту капитального строительства) данные гидрометеорологических условий, расчетных параметров по ветру, течению, волнению, ледовому режиму, уровню моря и другим гидрометеорологическим характеристикам, необходимым для принятия проектных решений. Такие трудоемкие и чрезвычайно важные документы были созданы для ряда месторождений морей Баренцева, Карского и Лаптевых.

Освоение удаленных территорий Арктики невозможно без сопутствующего развития транспортной инфраструктуры. Часть хозяйственных объектов (МЛСП «Приразломная», отгрузочные терминалы типа Варандейского или Каменномысского) вполне самостоятельны во взаимодействии с морскими грузовыми судами, но для ряда объектов по добыче и переработке сырья, расположенных на суше, необходима портовая инфраструктура. В первую очередь здесь имеются в виду наиболее масштабные проекты освоения Ямала (Бованенковское, Харасавейское, Южно-Тамбейское и др. месторождения). Завоз материалов для строительства портов в условиях отсутствия дорожной сети возможен только морским способом, возможно с выгрузкой на припай у неподготовленного берега. Обеспечение операций такого рода, лежащих на стыке инженерных изысканий и специального гидрометеорологического обеспечения, и было вновь (после долгого перерыва) начато специалистами ЛАШ в 2005 г. Вывоз готовой продукции (нефть, газоконденсат) с месторождений, в большинстве случаев, возможен только морским путем через круглогодично действующие порты. Наиболее ярким примером такого порта является построенный в результате реализации проекта Ямал-СПГ (компания «Новатэк») порт Сабетта. При проектировании

и строительстве этого важнейшего объекта инфраструктуры специалистами ААНИИ был пройден весь цикл изысканий, начиная от анализа архивных материалов для выбора площадки под строительство до определения конкретных величин гидрометеорологических параметров при разработке проекта порта. Благодаря работе специалистов ААНИИ (в первую очередь — ЛАШ) была определена конфигурация порта, обязательно включающая ледозащитные ограждающие сооружения. В первоначальный проект был внесен и ряд других изменений, позволивший существенно повысить безопасность и эффективность круглогодичной работы этого сложного инженерного объекта. Функционирование и развитие порта Сабетта потребовало проведение дополнительных ИГМИ на севере Обской губы. За последние годы были проведены изыскания под удаленный терминал «Утренний» (Гыданский берег), а также исследования, обособывающие проект модернизации Морского канала (бар Обской губы). Отметим, что этот канал является основным для судов по вывозу СПГ и газоконденсата с месторождений «Новатэка». Обеспечение бесперебойного функционирования системы вывоза УВ морским путем обусловило необходимость решения ряда нетривиальных аналитических задач, связанных, например, с эволюцией ледовых каналов в припае, обеспечении контроля над ростом «ледовой каши» на акватории порта, определении литодинамической заносимости подходного и морского каналов. Эти аналитические задачи решались и решаются сотрудниками ЛАШ и привлекаемыми специалистами других организаций.

Говоря об инженерно-гидрометеорологических изысканиях, необходимо отметить работы по проектам трубопроводов Россия/Европа по дну Балтийского моря. В ИГМИ под обе ветки трубопровода «Северный поток» активное участие принимали специалисты ААНИИ. Хотя эти проекты и не относятся к арктическому шельфу (как и Сахалинские или Каспийские проекты), но отражают высокий уровень доверия к знаниям и уровню работ, выполняемых специалистами института.

В заключение перечислим наиболее значимые действующие на шельфе Российской Арктики объекты: МЛСП «Приразломная» (ООО «Газпром нефть шельф»), Варандейский нефтяной терминал (ПАО «Лукойл»), терминал «Ворота Арктики» (ООО «Газпромнефть-Ямал»), международный морской порт Сабетта (включая терминал «Утренний»), обслуживающий суда проектов Ямал СПГ и Арктик СПГ 2 (международные проекты ПАО «Новатэк»). Создание и стабильная работа этих и других объектов была бы невозможна без качественно проведенных инженерных гидрометеорологических изысканий. ФГБУ «ААНИИ»

являлся основным организатором работ и полностью отвечал за полученные результаты, в том числе 1 при прохождении государственных экспертиз. Накопленный с начала 1990-х годов опыт, качество проводимых полевых и аналитических работ, профессионализм и знания специалистов позволяет говорить о высокой компетенции АНИИ в области инженерно-гидрометеорологических изысканий и имеющихся перспективах для дальнейших работ в этой области.

REAL-TIME MONITORING OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL STATE OF SEA ICE AND SHORT-TERM FORECASTING OF EXTREME ICE PHENOMENA

V.N. Smirnov, S.M. Kovalev, A.I. Shushlebin, N.V. Kolabutin,
V.A. Borodkin (AARI)*

МОНИТОРИНГ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МОРСКОГО ЛЬДА В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ И КРАТКОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЛЕДОВЫХ ЯВЛЕНИЙ

В.Н. Смирнов, С.М. Ковалев, А.И. Шушлебин,
Н.В. Колабутин, В.А. Бородкин*

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

** skovalev@aari.ru*

Инструментальный мониторинг динамики и механики морского льда создает подходы к разработке метода прогнозирования состояния ледяного покрова в инженерных и климатических задачах. Задача краткосрочного прогнозирования процессов сжатия и разрушения арктического льда различного масштаба основана на мониторинге действующих внешних и внутренних сил, знании крупномасштабных прочностных характеристик льда и вероятных ранних признаков ожидаемого события в исследуемой системе «атмосфера – лед – вода». В связи с этим развитие методологии исследования морского льда проводится по следующим основным направлениям:

– разработка методов получения данных по характеристикам полномасштабной прочности морского льда как одного из основных параметров, учитываемых при создании математических моделей и решении научных и прикладных задач;

– совершенствование возможностей мониторинга физико-механического состояния морских льдов и выявления прогностических признаков явлений сжатия и торошения.

В рамках первого направления в лаборатории физики льда ААНИИ создан инструментальный комплекс для определения физико-механических свойств припайных и дрейфующих льдов. Разработаны методы определения характеристик прочности льда на сжатие и изгиб в натуральных условиях и на образцах. Методом скважинного зонд-индентора осуществляется съемка локальной прочности как по площади, так и по толщине ровного льда, консолидированного слоя в торосах и стамухах. Получены данные по локальной прочности в зависимости от температуры и солености, скорости внедрения индентора и анизотропии льда.

В рамках второго направления внедрен в практику и успешно используется дистанционный метод мониторинга динамического состояния льдов, который позволяет получать масштабные характеристики механики волновых процессов в ледяном покрове. В полярных экспедициях традиционно проводится мониторинг с регистрацией колебательных и волновых процессов в припайных и дрейфующих льдах, обусловленных океанской зыбью, термическими, ветровыми и приливными сжатиями и торошениями. Накоплен большой материал об этих явлениях, которые являются причиной как локальных, так и крупномасштабных подвижек и разломов в ледяном покрове. Одним из примеров рассматривается явление релаксационных автоколебаний, возникающих на протяженных разрывах в сплошном дрейфующем льду: при сжатии льдов создаются периодические горизонтальные подвижки и упругие волны со строгой периодичностью следования. Для разработки соответствующей крупномасштабной модели привлекаются новые данные мониторинга динамики льда, полученные в экспедициях «Трансарктика-2019» и «МОЗАИКА», в которых впервые применена пространственная расстановка приборов на дрейфующем льду с передачей данных по радиоканалу.

Обратная задача мониторинга льда может состоять в том, чтобы по физико-механическим изменениям во льду и динамической реакции льда на внешние воздействия можно было оценить силы, вызывающие эти изменения, и возможность прогнозирования опасных ледовых явлений. С этих позиций исследуется физика колебательных и волновых процессов, связанных с напряжениями в ледяном покрове и механикой его деформирования и разрушения. Наиболее характерным динамическим процессом являются вертикальные и горизонтальные подвижки льда. Подвижки и разрушение льда происходят непрерывно, обуславливая структуру ледяного покрова с появлением обширных разводий, влияющих на теплообмен между океаном и атмосферой.

В настоящее время физико-механические характеристики волновых явлений в ледяном покрове используются для разработки алгоритма

автоматической обработки данных, соответствующего программного обеспечения и прогнозирования сжатия и торошения морских льдов в режиме реального времени.

**COMPREHENSIVE STUDIES OF THE BARENTS SEA USING
REMOTE SENSING IN THE 80s – 90s OF THE LAST CENTURY**

*G.V. Alekseev (AARI), I.P. Voloshina, A.P. Makshtas (AARI),
G.G. Matishov (MMBI KSC RAS), I.O. Sochneva (MGIMO University),
O.Ya. Sochnev* (Rosneft Oil Company), V.I. Chernook (PINRO)*

**КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БАРЕНЦЕВА МОРЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ
В 80-х – 90-х ГОДАХ ПРОШЛОГО ВЕКА**

*Г.В. Алексеев¹, И.П. Волошина, А.П. Макштас¹, Г.Г. Матишов²,
И.О. Сочнева³, О.Я. Сочнев^{4*}, В.И. Черноок⁵*

¹ — ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

² — Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН, г. Мурманск, Россия

³ — Московский государственный институт международных отношений (университет) МИД РФ, г. Москва, Россия

⁴ — ПАО «НК «Роснефть», г. Москва, Россия

⁵ — Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича, г. Мурманск, Россия

* *Y_Efimov@arcticresearch.ru*

В середине 80-х — начале 90-х годов прошлого века в акватории Баренцева моря были выполнены комплексные эксперименты с использованием дистанционных методов зондирования Земли. Эксперименты были посвящены изучению прикромочной зоны морских дрейфующих льдов, гидрологических фронтов, экологической ситуации.

В экспериментах приняли участие специалисты ААНИИ, Северного филиала акустического института (АКИН), ПИНРО, ММБИ КНЦ РАН, Института океанологии РАН, Мурманского УГМС, Севрыбпоиска. Работы проводились синхронно с борта научно-исследовательских судов, в том числе, научно-исследовательского ледокола «Отто Шмидт», и самолетов-лабораторий (ИЛ-18). В работах активно использовалась информация, получаемая с искусственных спутников Земли.

Данные эксперименты стали самыми масштабными комплексными исследованиями в акватории Баренцева моря за всю предшествующую историю океанографических наблюдений.

В результате экспериментов были изучены распределения гидрофизических полей в прикромочной зоне и районах гидрологических фронтов Баренцева моря. Впервые изучены грибовидные течения.

Впервые была выдвинута и решена задача создания региональной системы контроля экологической обстановки в Баренцевом море на базе аэрокосмических комплексов дистанционного зондирования.

Полученные результаты активно использовались при создании моделей распределения водных масс в Баренцевом море, создании моделей дрейфа льдов, оценки его ледовитости, учитывались в прогнозировании перспектив рыбного промысла и анализе текущей антропогенной нагрузки.

В дальнейшем, материалы комплексных экспериментов вошли составной частью в банки гидрологических данных по Баренцеву морю, а также использовались при создании океанографических атласов, в том числе международных.

Созданная и опробованная на практике технология легла в основу проводки туристических рейсов атомных ледоколов к Северному полюсу.

Существенную роль полученная информация сыграла в реализации крупных проектов освоения нефтегазовых ресурсов Баренцева моря — проектах обустройства Штокмановского газоконденсатного и Приразломного нефтяного месторождений.

С ее использованием были выполнены расчеты необходимые для проектирования основных объектов обустройства, созданы прогностические модели развития и ликвидации последствий аварий на нефтегазовых объектах, в частности, модели дрейфа аварийных разливов нефти в ледовых условиях.

Полученные данные об экологической обстановке на арктических островах и, в частности, на архипелаге Земля Франца-Иосифа, послужили основой для реализации крупной государственной программы по ликвидации накопленного экологического ущерба на арктических территориях.

Оценивая в целом результаты проведенных исследований 80-х–90-х годов прошлого века, следует отметить, что они стали существенным шагом в изучение Арктики.

THE ARGENTINA'S NATIONAL ANTARCTIC PROGRAM

C. Bunge (Embassy of Argentina in Moscow)

The Argentine activity in Antarctica began in the early XIXth Century and consolidated in the early 1900s with Argentine participation in the Swedish Antarctic Expedition of Dr. Otto Nordenskjöld, and its ulterior rescue in 1903 by the Argentine corvette “Uruguay”. In 1904, the Argentine Republic took possession of the Meteorological Observatory in the South Orkney Islands

-ceded to it by Scotsman William S. Bruce- and thus established the permanent presence of Argentina in Antarctica, the oldest uninterrupted presence. Since then, scientific activity of Argentina in Antarctica has been continuous.

In 1951, the Argentine Antarctic Institute (IAA) was created, becoming the first scientific institution in the world devoted exclusively to research in Antarctica. Nowadays, the broad spectrum of scientific research fields includes the connections between Antarctica and the Argentinean South American territory, the effects of climate change, the conservation of the living resources of the southern seas and those linked to the possible biotechnological applications derived from the study of Antarctic organisms (including microorganisms).

In 1969, the National Antarctic Directorate (DNA) was established as the institution in charge of the planning, coordination and oversight of Argentina's Antarctic activity, with the Argentine Antarctic Institute (IAA) as its scientific arm. In 2003, the National Antarctic Directorate (DNA) was integrated into the Ministry of Foreign Affairs.

Thus, the Argentine National Antarctic Program is comprised by several actors of the Federal Government. Logistic support for science is provided by the Armed Forces, under the Argentine Defense Ministry in coordination with the Ministry of Foreign Affairs. Logistics responsibilities include the operation of thirteen Antarctic stations, of which six 6 are permanent and seven are temporary, transportation of personnel, cargo and equipment, and other specialized activities (i.e. scientific diving). All other activities, such as the planning of the Argentine Antarctic activity, the environmental management, Scientific research and the Antarctic foreign policy are respectively conducted by the National Antarctic Directorate (DNA), the Argentine Antarctic Institute (IAA), and the National Directorate of Antarctic Foreign Policy (DNPEA), all under the Secretariat of Malvinas, Antarctica and the South Atlantic of the Ministry of Foreign Affairs

RUSSIAN-GERMAN SYNERGIES IN POLAR SCIENCES: A HISTORIC PERSPECTIVE

J. Thiede¹, H. Kassens²*

¹ — *Köppen-Laboratory, Institute of Earth Sciences, Saint Peterburg State University, St. Petersburg, Russia*

² — *Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel (GEOMAR), Kiel, Germany*

** jthiede@geomar.de*

The Russian Empire during the 18th and 19th century became keenly aware that the exploration of Siberia and of its adjacent Arctic shelf seas

was an urgent necessity of the country. Early polar and marine research in Eastern Siberia and the adjacent Arctic Ocean, though highly successful, was marred by tragic fates of some of the explorers involved, for example during the “Great Nordic Expedition” (1733–1743). So, when the early ideas of meteorologists with their desire to construct synoptic weather charts arose, it became quickly clear that this required an international effort with stations in the polar regions. The international Polar Commission, chaired by Heinrich Wild (1833–1902) from St. Petersburg, met in 1881 and together with his German colleague Georg Neumayer (1826–1909) he succeeded to convince 11 nations to man scientific observatories (twelve in the Arctic, two close to Antarctica) for a whole year to conduct meteorologic and magnetic measurements.

The first International Polar Year (IPY) was conducted 1882/83, thus well before the founding of the AARI. The probably most important Russian station was located on the island of Sagastyr in the Lena Delta which has been recognized as an outstanding feature, and which with the new Samoilov Station even today hosts a modern all-year research facility. In the context of this topic, Otto Julewitsch Schmidt (1891–1956) has to be mentioned. He came from a family of German origin, but then for several generations naturalized citizens of Russia. He was leading 1930–1932 the Arctic Institute, from 1932–1939 the main Northern Sea Route Administration, hence in a position to initiate major research enterprises in Arctic Ocean. After the 2nd world war it took some time to reestablish joint ventures in polar and marine research. During the late 50ies DDR polar researchers had been invited to Soviet expeditions to Antarktika, an activity which culminated in the establishment (1976) of the DDR Antarctic Georg-Forster Station. During and after perestroika the first contacts between Russian and German research institutions were established already in 1989.

The responsible ministries both in the Russian Federation as well as in the “Bundesrepublik Deutschland” developed formal agreements to define the rules of this cooperation. A rich portfolio of terrestrial and marine projects was developed, with emphasis on the regions around the Laptev Sea, the Lena Delta, the impact of the Siberian rivers on the Arctic Ocean and with funding provided by both countries. If summarized, investigations with paleoenvironmental emphasis on all time scales represented probably most of the efforts. Presently, the MOSAiC Expedition has been organized by the AWI with the aim to collect a wide range of environmental, biological, glaciological data from its research icebreaker POLARSTERN which is

positioned in the central Arctic Ocean, attached to large ice floes, for a full year (2019–2020).

MANY DECADES OF AARI–AWI COLLABORATION IN THE ARCTIC AND ANTARCTIC – HIGHLIGHTS

U. Nixdorf (AWI)

The talk will briefly reflect the long history of AARI–AWI collaboration that started shortly after polar scientists from Germany started research in these areas after the end of second world war.

Our collaboration developed over time in the frame of a cooperation between the respective Academies of Sciences and initially with East German scientists joining the Soviet Antarctic Expeditions (SAE). One highlight was certainly the establishment of the East German base Georg Forster in the vicinity of Novolazarevskaya.

After the AWI had been founded in 1980, the collaboration was further enhanced with joint efforts and participation of AARI scientists e.g. in Polarstern expeditions to the Antarctic — for instance in the Weddell Sea area. From the very beginning of DROMLAN (Dronning Maud Land Airway Network) Germany was part of this collaboration that at first was set in place using Russian infrastructure.

With the political changes in then Russia and reunified Germany after 1991 the established collaboration based on mutual trust led to a number of joint projects like the demolition of the Antarctic base Georg Forster accompanied by a collective clean-up of the Schirmacher-Oasis. After the establishment of the AWI research unit Potsdam in 1992 joint expeditions were organized to the Siberian Arctic. The drilling of a 724 m long ice core at the Akademii Nauk ice cap (1999–2001) revealed important findings for paleoclimate reconstruction. Since 1998, the Russian-German Expedition Lena has been organized yearly by AARI and AWI with their partners to the Lena River Delta and other Siberian regions, using the Samoylov Research Station as its scientific and logistical base.

The joint Otto Schmidt Laboratory for Polar and Marine Research was founded in 1999 to support the Russian-German scientific cooperation and to support young talents in polar and marine research.

Today we can look back on more than 100 joint publications, we are proud of the joint MOSAiC expedition and the international visibility of our scientific cooperation, which is also embedded into international networks.

ПОСТЕРНЫЕ ДОКЛАДЫ

POSTER 1.1

ПОСТЕР 1.1

ORNITHOGENIC SOILS OF THE ANTARCTIC MARITIMO: GENESIS, CHEMICAL COMPOSITION, ORGANIC MATTER

I.I. Alekseev, E.V. Abakumov (SPBU)*

ОРНИТОГЕННЫЕ ПОЧВЫ МАРИТИМНОЙ АНТАРКТИКИ: ГЕНЕЗИС, ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ, ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО

И.И. Алексеев, Е.В. Абакумов*

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,
Россия*

** alekseevivan95@gmail.com*

Согласно Бокхейму (Bockheim and Hall, 2002), в плане параметров, важных для почвообразования, в Антарктике выделяются три климатические зоны: субантарктическая (в том числе Южно-Шетландские острова), антарктическая береговая и антарктическая континентальная. В целом Шестой континент слабо подчиняется общегеографическому закону широтной зональности. Отдаленные и изолированные друг от друга оазисы, не имеющие между собой биологического, а зачастую и климатического сопряжения, скорее напоминают острова в океане.

Почвообразование в Западной Антарктиде лимитируется преимущественно климатическим фактором, локализуясь в наиболее прогреваемых элементах рельефа. Данный регион в целом отличается достаточным для интенсивного почвообразования количеством жидких осадков. Это объясняет большее таксономическое и морфологическое разнообразие описанных почв по сравнению с оазисами Восточной Антарктиды.

Орнитогенные почвы — специфический вариант почвообразования, характерный прежде всего для экосистем южного полушария (Абакумов 2010). Разными авторами ранее была установлена специфика организации и функционирования орнитогенных почв Антарктики (Абакумов 2010, 2014а,б; Абакумов, 2018, Pereira et al.2013, Парникоза и др. 2015).

Было отмечено, что высокий уровень накопления биофильных элементов вместе в орнитогенным переносом семян и целых растений является причиной формирования тундровых сообществ в маритимной зоне Антарктики, что коренным образом отличает эту зону от остальных частей региона (Абакумов, 2018). В суровых климатических условиях Антарктиды птицы играют важную роль в переносе органического вещества в прибрежные ландшафты.

Настоящее исследование посвящено изучению роли орнитогенного фактора в процессах почвообразования полуострова Файлдс (острова Кинг-Джордж) и острова Ардли.

В ходе полевых работ в рамках 63-й Российской Антарктической экспедиции (декабрь 2017 – апрель 2018 года) были изучены почвы, подверженные явно выраженному орнитогенному влиянию – локалитеты у крупных скоплений пингвинов, у гнезд поморников, а также локалитеты, находящиеся в геохимически подчиненных позициях (также нередко посещаются птицами) и накапливающие элементы питания в результате перераспределения в рельефе. Исследования проводились на острове Кинг-Джордж (полуостров Файлдс) и особо охраняемой природной территории острове Ардли (Южные Шетландские острова).

В результате данного исследования были сделаны выводы о роли орнитогенного фактора в формировании кислотно-основных свойств и мезоморфологической организации почвенных горизонтов орнитогенных и посторнитогенных почв полуострова Файлдс (острова Кинг-Джордж) и острова Ардли. Анализ значений pH показал преимущественно кислую (от слабокислой до сильнокислой) реакцию среды в верхних органических горизонтах почв. Срединные горизонты почв отличаются слабокислой и близкой к нейтральной реакцией среды. Наибольшие величины обменной кислотности отмечены в срединных горизонтах, гидролитической — в верхних горизонтах. Мезоморфологический анализ почвенных горизонтов позволил сделать вывод о различной степени ассоциации остатков гуано с минеральной частью в гумусовых горизонтах, что связано как с разным количеством самого мелкозема, так и со степенью разложения гуано.

Наша работа показала, что перераспределение компонентов гуано оказывает существенное влияние на скорость пространственного развития почвенного покрова и образование новых полипедонов почв. ¹³C-ЯМР-спектроскопия была выполнена для анализа органического вещества почвы как орнитогенных почв, так и криоземных почв, не под-

верженных воздействию гуано. Мы обнаружили, что гуминовые кислоты (ГК) в криотурбированных погребенных горизонтах почв содержат меньшее количество алкилароматических и протонизированных ароматических соединений. Напротив, ГК из поверхностных слоев содержат меньше алкил-углеродных компонентов. Наши данные показали, что доля ароматических соединений немного выше в почвах под материалами, переносимыми птицами, по сравнению с почвами под моно видами сообществ мохообразных или лишайников. Вероятно, это связано с тем, что птицы используют в основном остатки *Deschampsia antarctica* (который содержит увеличенную долю фенилпропановых органических предшественников) для строительства гнезд. Содержание свободных радикалов было выше в поверхностных слоях, чем в погребенных горизонтах из-за присутствия свежих органических остатков в поверхностных образцах почвы. Измерения удельного электросопротивления слоев почвы и вечной мерзлоты проводились с помощью портативного прибора LandMapper методом вертикального зондирования электросопротивления (ВЭЗ). Глубина залегания многолетнемерзлых грунтов в исследованных почвах колебалась от 89 до 100 см. Криотурбационный процесс и накопление влаги в многолетнемерзлых породах, которые широко распространены в изучаемых почвах, приводят к криогенному массообмену, неоднородности массы почвы и усложнению профиля распределения значений электросопротивления.

POSTER 1.2

ПОСТЕР 1.2

MICROBIAL CONTENT:

A NEW APPROACH TO STUDYING OLD VOSTOK ICE SAMPLES

I.A. Alekhina^{1*}, A.N. Veres¹, D.S. Karlov², K.B. Tchikachev¹, C. Larose³

¹ — State Scientific Center of Russian Federation Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

² — All-Russia Research Institute of Agricultural Microbiology, St. Petersburg, Russia

³ — Environmental Microbial Genomics, Laboratoire Ampère, Ecole Centrale de Lyon, Université de Lyon, Ecully, France

*alekhina@aari.ru

Based on a collaboration initiated through the Franco-Russian partnership on ice cores, we propose to combine our expertise on microbiology and ecology to explore community function and diversity in samples collected from Vostok, Antarctica. The main project fundamental goals are: 1) to

establish the dispersal capability and viability of microorganisms in Central Antarctica; 2) to characterize changes in microbial functional diversity across habitat types (snow, ice, lake water accretion ice) and link these to selective pressures; 3) to understand ecosystem stability and resilience over time in a climate change scenario; 4) to evaluate the potential of microorganisms to alter the geochemical signatures of trace gases and molecules in ice. The scientific novelty of the project is determined by the uniqueness of research samples (ice cores from the deep Vostok borehole) and the proposed methods and approaches.

The relevance of the study is due to many factors including: the high interest in the study of past climate changes from samples of ice cores; the rapid development of the technology of new generation sequencing methods (NGS methods) the speed and cheapness of which, previously inaccessible, made it possible to make previously technically unfeasible experiments; an acute lack of data on the microbial content of precipitation in central Antarctica and the functioning of microbial communities in ice.

We believe that new methods like NGS will give us greater chance to understand better microbial life in Central Antarctica. Four samples representing different type of ice- the firn-ice interface, the old ice from the base of the glacier and the lake ice were studied. They are the ice cores from depths of 99 (BH7 borehole), 3404, 3413 and 3617 m. The samples were treated and decontaminated in the IGE (Institut des Géosciences de l'Environnement, Univ Grenoble Alpes, CNRS, IRD, Grenoble INP, Grenoble, France) cold room, then processed in IGGE clean room for further decontamination, melting and concentration. The concentration factor ranged from 800 to 4600 depending on the sample. The final volume of the samples was about 400 ml which was shared equally between two parties for further analysis. The corresponding control probes for DNA extraction were performed simultaneously. Two different methods of DNA extraction and the methods of High-Throughput Sequencing which are widely used now for recovering microbiome from different environments were applied. Parallel to that the chemical analysis of these samples was performed. Bacterial DNA signatures were obtained using MiSeq Illumina amplicon sequencing of the bacterial V3-V4 region of the 16S rRNA gene.

We will present tentative results because they still need more careful and thorough interpretation due to contamination whose contribution effect is great because of low biomass in these samples. The reported study is funded by RFBR and CNRS, project number 20-55-15006.

**SURFACE NUTRIENT VARIABILITY OF THE SOUTHERN OCEAN
FRONTS LOCATIONS**

*K.V. Artamonova** (VNIRO), *I.A. Gangnus* (MSU), *L.A. Duhova* (VNIRO),
V.V. Maslennikov (VNIRO), *N.M. Zozulya* (VNIRO), *V.L. Zubarevich* (VNIRO),
K.V. Kodryan (VNIRO), *O.V. Kotova* (VNIRO), *N.A. Lavinen* (AARI),
O.N. Lukyanova (VNIRO), *E.A. Serebrennikova* (VNIRO),
N.I. Torgunova (VNIRO), *D.A. Shirokov* (VNIRO)

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОЛОЖЕНИЯ ОСНОВНЫХ ФРОНТОВ
ЮЖНОГО ОКЕАНА ПО ПОВЕРХНОСТНОМУ РАСПРЕДЕЛЕНИЮ
ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ**

К.В. Артамонова^{1*}, *И.А. Гангнус*², *Л.А. Духова*¹, *В.В. Масленников*¹,
*Н.М. Зозуля*¹, *В.Л. Зубаревич*¹, *К.В. Кодряна*¹, *О.В. Котова*¹,
*Н.А. Лавинен*³, *О.Н. Лукьянова*¹, *Е.А. Серебренникова*¹,
*Н.И. Торгунова*¹, *Д.А. Широков*¹

¹ — *Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства
и океанографии, г. Москва, Россия*

² — *Московский государственный университет им. Ломоносова,
г. Москва, Россия*

³ — *ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский
институт, Санкт-Петербург, Россия*

** ksusha.vniro@gmail.com*

В Южном океане можно выделить две основные климатические зоны — субантарктическую и антарктическую, разделенные Южной Полярной Фронтальной зоной (ЮПФЗ), северной границей которой служит Субантарктический фронт (САФ), а южной — Южный Полярный фронт (ЮПФ). Южнее ЮПФ в антарктической зоне выделяется менее контрастный фронт — Южный фронт Антарктического Циркумполярного течения (ЮФ АЦТ) или Вторичная Фронтальная зона Антарктики (ВФЗА). Этот фронт формируется между двумя структурными модификациями одного и того же антарктического структурного типа вод, которые образуются в разных динамических системах. В данном исследовании на основе большого массива гидрохимических данных, полученного коллективом авторов в ходе многолетней работы в составе Российской антарктической экспедиции (РАЭ) на НЭС «Академик Федоров» и НЭС «Академик Трешников», а также двух рейсов НИС «Академик Сергей Вавилов», были выявлены гидрохимические показатели пространственного положения САФ, ЮПФ и

ЮФ АЦТ, а также проанализирована их межгодовая изменчивость в атлантическом и индоокеанском секторах Антарктики. В работе использовались данные по поверхностному распределению температуры воды, растворенного кислорода, растворенного кремния, минерального фосфора и нитратного азота в водах Южного океана, полученные с ноября по март 2008–2019 гг.

Анализ массива гидрохимических данных позволил выявить, что в районе САФ наблюдался хорошо выраженный градиент в поверхностном распределении растворенного кислорода, нитратов и фосфатов — их содержание в поверхностном слое резко увеличивалось с севера на юг (по нитратом — от 10–13 до 20 μM , по фосфатам — от 1,0 до 1,57 μM). ЮПФ определялся по резкому градиенту кремния в поверхностном слое, концентрации кремния увеличивались от 5–7 до 20 μM также с севера на юг. Перечисленные особенности распределения гидрохимических показателей характерны как для участков узкой ЮПФЗ (атлантический сектор), так и для участков, где ЮПФЗ достаточно широкая (индоокеанский сектор). При этом, чем уже ЮПФЗ, тем труднее выделить показатели, которые определяют положения отдельно САФ и ЮПФ. В самой ЮПФЗ происходило либо постепенное увеличение концентраций всех гидрохимических показателей от САФ к ЮПФ, либо их колебания то в сторону увеличения, то в сторону уменьшения, вызванные вихрями разного знака, несущими воды субантарктической или антарктической природы. ЮФ АЦТ на поверхности, как правило, ни по температуре, ни по солености уверенно не идентифицировался. При этом его положение хорошо определялось по поверхностному градиенту кремния — резкому увеличению его содержания (от 40 до 60 μM) при движении с севера на юг.

Многолетняя изменчивость положения основных фронтов (САФ, ЮПФ и ЮФ АЦТ) была исследована на повторяющихся разрезах в атлантическом (разрез A12 по программе WOCE в районе нулевого меридиана) и индоокеанском (вдоль 20° в.д.) секторах Южного океана. В результате было выявлено, что наибольшая пространственная изменчивость была характерна для САФ в атлантическом секторе, где его положение на разрезе изменялось от 44,1° ю.ш. (самое северное — в 2005 г.) до 50° ю.ш. (самое южное — в 2008 г.). В индоокеанском секторе положение САФ по нашим данным варьировало от 46 до 48,9° ю.ш. Для ЮПФ и ЮФАЦТ была выявлена меньшая многолетняя динамика их пространственного положения: ЮПФ — от 50,3 до 51,8° ю.ш. в атлантическом секторе и от 48,6 до 50,6° ю.ш. — в индоокеанском; положение ЮФАЦТ изменялось от 52,4 до 55,8° ю.ш. в атлантическом секторе и от 50,6 до 53,5° ю.ш. — в индоокеанском.

**PRELIMINARY RESULTS OF STUDYING THE CLIMATE
OF CENTRAL ANTARCTICA (VOSTOK STATION)
FOR 2000 YEARS ACCORDING TO SNOW-FIRN CORE SAMPLES**

A.N. Veres (AARI, SPBU), A.A. Ekaykin (AARI, SPBU), V.Ya. Lipenkov (AARI),
A.V. Bolshunov (SPMI), V.N. Za-rovchatsky (RAE), A.V. Kozachek (AARI),
N.A. Tebenkova (AARI, SPBU), A.V. Turkeev (AARI)*

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ КЛИМАТА
ЦЕНТРАЛЬНОЙ АНТАРКТИДЫ (СТАНЦИЯ ВОСТОК)
ЗА 2000 ЛЕТ ПО ДАННЫМ СНЕЖНО-ФИРНОВЫХ КЕРНОВ**

А.Н. Верес^{1,2}, А.А. Екайкин^{1,2}, В.Я. Липенков¹, А.В. Большунов³,
В.Н. Заровчатский⁴, А.В. Козачек¹, Н.А. Тебенькова^{1,2}, А.В. Туркеев¹*

¹ — ГИЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

² — Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

³ — Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

⁴ — ГИЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Российская антарктическая экспедиция, Санкт-Петербург, Россия

**veres@aari.ru*

Поздний голоцен — период относительно стабильного климата нашей планеты — служит фоном для современных антропогенных изменений климата, начавшихся в середине XIX века. Ледяные керны, пробуренные в полярных ледниковых щитах — надежные источники палеоклиматической информации. Центральная часть Восточной Антарктиды характеризуется недостаточным количеством данных, охватывающих последние 2000 лет, что затрудняет надежную реконструкцию климата этого континента в указанном временном масштабе.

В докладе представлен проект Vos2k, который предусматривает бурение скважин глубиной до 70 м в районе станции Восток с целью надежной реконструкции локального климата за последние 2000 лет по результатам изучения полученных снежно-фирновых кернов. В период сезонных работ с 2016 по 2019 гг. пробурены скважины VK16, VK18 и VK19 до глубины 72 м, 55 м и 65 м, соответственно. По снежно-фирновым кернам выполнено измерение электропроводности, которая позволила выявить слои снега, содержащие продукты известных вулканических извержений, и датировать их. Возраст кернов из скважин

VK16, VK18, VK19 достигает 2240, 1640 и 2055 лет, соответственно. Датировка керн в сочетании с данными о его плотности позволила реконструировать скорость накопления, которая менялась достаточно существенно за последние 2000 лет. Наибольшая скорость прироста массы зафиксирована в последние 200 лет и достигает $2,1 \text{ г см}^{-2}\text{год}^{-1}$. Во всех кернах измерен изотопный состав (δD , $\delta^{18}\text{O}$), который характеризует изменчивость приземной температуры воздуха в окрестностях станции Восток. В целом климатические условия за последние 2000 лет существенно не менялись, однако в последнее тысячелетие есть тенденция к незначительному похолоданию.

Хотим выразить благодарность участникам РАЭ за помощь в полевых работах. Все работы проводились в рамках ЦНТП 1.5.6.2 Росгидромета.

POSTER 1.5

ПОСТЕР 1.5

**SHELF WATERS CASCADING IN THE SLOPE FRONT AREA
ON THE ANTARCTIC CONTINENTAL SLOPE**

P.N. Golovin, N.N. Antipov, M.S. Molchanov (AARI)*

**КАСКАДИНГ ШЕЛЬФОВЫХ ВОД
В ОБЛАСТИ СКЛОНОВОГО ФРОНТА
НА АНТАРКТИЧЕСКОМ МАТЕРИКОВОМ СКЛОНЕ**

*П.Н. Головин, Н.Н. Антипов, М.С. Молчанов**

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

** mms@aari.ru*

Задача исследовать процессы образования плотных антарктических шельфовых вод (АШВ) и последующего их стока по шельфу и склону решалась с помощью методов математического моделирования. Материалы используемых современных натуральных наблюдений позволили описать субмезомасштабную, а иногда даже мелкомасштабную термохалинную и плотностную структуру в области шельфа и склона, в частности в море Содружества. Представленные базовые возможности модели Fluidity-ICOM позволяют моделировать различные природные сценарии формирования плотных вод на шельфе и последующего распространения их по шельфу и склону. А самое главное — позволяют наиболее корректную в настоящее время верификацию результатов вычислительных экспериментов на основе современных наиболее достоверных данных натуральных наблюдений.

Для исследования возможностей модели Fluidity-ICOM и начальных именно 3-D численных расчетов была выбрана геометрическая конфигурация для ряда численных экспериментов близкая к реальным условиям области шельф-склон в заливе Прюдс в море Содружества. Расчетный домен представлял собой трехмерный прямоугольный ящик, $2 \times 6 \times 12$ км (общая глубина – ширина шельфа-склона – длина шельфа) с фактически наблюдаемым уклоном на материковом склоне $s = 0,1$ и глубиной шельфа 500 м. Масштаб расчетного домена выбирался исходя из оценок локального бароклинного радиуса деформации Россби — $Rd \approx 2-3$ км, полученного для антарктического склонового фронта на основе данных натуральных наблюдений. Расчетная область в 3–4 раза превышает Rd . Заданные для расчета начальные значения температуры и солёности на бровке шельфа (верхняя часть домена) соответствуют фактически наблюдаемым θ и S в придонном слое на бровке в море Содружества. Воспроизводимая ситуация, когда холодные шельфовые воды заполняют весь шельф практически до поверхности моря, также соответствует действительности, особенно в конце холодного периода года. Начало соответствует реализации метода коллапса применяемого в лабораторном моделировании для изучения стока более плотных вод по наклонному дну, когда резко убирается граница – перегородка между более и менее плотными (как правило — солёными) водами и плотные воды под действием силы тяжести начинают стекать по склону. В какой-то степени этот метод соответствует представлениям о процессе стока плотных вод через бровку шельфа на склон, полученных из анализа данных натуральных наблюдений. Так в результате неустойчивости фронта шельфовых вод на бровке шельфа последующий склоновый каскадинг имеет спорадический (внезапный) — событийный характер.

При анализе результатов первых 3-D численных экспериментов, когда используются гомогенные поля температуры и солёности на шельфе и склоне, была получена картина распространения плотных вод по склону, возможная в реальных зимних условиях в заливе Прюдс. В результате зимнего накопления на шельфе плотные воды шельфового происхождения переливаясь через бровку шельфа, опускаются по склону до соответствующих глубин и распространяются в северном направлении, отклоняясь на запад по действием силы Кориолиса. И если плотные шельфовые воды подходят к бровке шельфа в виде непрерывного фронта (вполне реально в натуральных условиях), то по склону они уже опускаются в виде дискретных фронтальных меандров или плюмов.

Подтверждается дискретный характер склонового каскадинга. В плане верификации результатов численного моделирования, продемонстрирована способность численной модели правильно воспроизводить распространение плотных вод в придонном слое с образованием вихрей, благодаря более тонкому локальному применению повышенной дискретности в динамической сетке (уменьшения локальной дискретности расчетов). Попутно исследовалось влияние твердых и свободных границ на распространение придонных плотностных потоков в условиях действия силы Кориолиса. Показана существенная разница в развитии склонового каскадинга.

Применение метода коллапса в фактических условиях океана очень ограничено. Так как в его основе лежит близкое по форме, но все-таки идеализированное представление о возможных ситуациях в пространственном распределении термохалинных и плотностных характеристик в области шельф-склон. Более подходит к натурным условиям «потоковое» представление о формировании плотных вод на шельфе, распространении их по шельфу, подхода к бровке шельфа и последующему стока по склону. Тогда можно получить представление о наиболее реальной форме шельфовых вод при подходе к материковому склону. Поэтому следующие 3-D численные эксперименты были направлены на моделирование образования плотных шельфовых вод при вскрытии под действием ветра заприпайной (или приборьерной) полыньи и распространение их по шельфу, а затем по склону. Это связано с тем, что в Антарктике основным источником образования плотных АШВ в зимний период являются именно приборьерные и прибрежные полыньи.

Для этих экспериментов были несколько изменены геометрические характеристики вычислительного домена. Длину шельфа сократили до 6 км, но ширину увеличили — до 5 км, склон остался 4 км. Для увеличения скорости вычислений (особенно в начальный период) глубину шельфа сократили до 200 м. Для исследования влияния топографии дна на динамику придонных плотностных потоков задавался наблюдаемый (средний — пока без локальных деталей) уклон шельфа — $s = 0,007$ и уклон материкового склона $s = 0,1$. Ширину шельфа увеличили, что бы встроить в нее полынью. Ширина полыньи задавалась равной 1 км и она располагалась по середине шельфа (вдоль него), что бы избежать влияния твердой границы у начала шельфа. Таким образом, геометрически моделировалась или заприпайная полынья или приборьерная полынья,

которая образуется на некотором удалении от шельфового ледника в антарктических морях, имеющего небольшой припай.

В начале был проведен эксперимент с конвекцией охлаждения (на поверхности моря задавался поток тепла) и с твердой стенкой, которая могла соответствовать шельфовому леднику. Таким образом, предполагалось моделировать осенние условия охлаждения вод на шельфе. Но даже при отсутствии стратификации вод (что не соответствует осенним условиям) результаты показались не убедительными, с точки зрения влияния твердой границы. Поэтому в следующем численном эксперименте сразу перешли к наиболее реалистичным зимним условиям вскрытия заприпайной (прибарьерной) полыньи, когда отсутствие стратификации на шельфе наблюдается в действительности и обусловлено конвективным перемешиванием при интенсивном ледообразовании в результате периодического вскрытия квазистационарной полыньи. Конвекция осолонения обусловленная выделением рассола в воду при ледообразовании — в результате достигает дна. Моделировалось зимнее вскрытие полыньи при ветре $W = 16$ м/с и температуре воздуха $T_a = -16$ °С (средние метеорологические условия), когда поток тепла в атмосферу на поверхности полыньи составляет $Q \approx 1000$ Вт/м². Однако вниз - в полынью задавался поток соли, обусловленный внутриводным — динамическим ледообразованием в верхнем слое вынужденной конвекции (турбулентный слой, создаваемый динамическим воздействием ветра — ветровые волны, дрейфовое течение, циркуляция Ленгмюра) соответствующий этому потоку тепла с открытой водной поверхностью полыньи.

По результатам расчетов хорошо прослеживается мелкомасштабная конвективная структура в полынье и распространение плотных вод по дну за пределы полыньи. Показано влияние уклона шельфа. В направлении уклона дна на шельфе плотные воды распространяются значительно быстрее, чем против уклона. Получены предварительные оценки масштаба бароклинного радиуса деформации Россби $\approx 2-3$ км фронта плотных вод на границе полыньи. Он совпадают с подобными оценками, полученные на основе данных натурных наблюдений.

На данный момент вычисления продолжаются. Продолжается анализ уже полученных результатов расчетов и сравнение их с результатами анализа данных натурных наблюдений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №17-05-00037

PROGATION OF THE ICE SHELF WATERS IN THE PRYDZ BAY*A. Demidov* (MSU), A.A. Fedotova (MSU, MHI RAS), N.N. Antipov (AARI)***РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВОД ШЕЛЬФОВЫХ ЛЕДНИКОВ
В ЗАЛИВЕ ПРЮДС***А.Н. Демидов¹*, А.А. Федотова^{1,2}, Н.Н. Антипов³*

¹ — *Московский государственный университет им. Ломоносова, географический факультет, г. Москва, Россия*

² — *ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН», г. Севастополь, Россия*

³ — *ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия*

** alik1@mail.ru*

Антарктика, являясь важной частью климатической системы, относится к особо чувствительным районам к происходящим климатическим изменениям. Однако, если в Арктике существует определенный тренд на сокращение площади морского льда, то следствия климатических изменений в Антарктике имеют разнонаправленный характер и существенные пространственные различия.

Залив Прюдс располагается в Индоокеанском секторе Южного океана. В его акватории расположен третий по площади в Антарктике шельфовый ледник Эймери. Дистанционное исследование китайских ученых показали, что за период 2004–2012 гг. барьер шельфового ледника Эймери выдвинулся на 8 км, на фоне устойчивого тренда на сокращение площади крупных шельфовых ледников Западной Антарктиды.

Залив Прюдс — один из значимых источников Антарктических донных вод. По оценкам в заливе Прюдс образуется до 30 % Антарктических донных вод моря Уэдделла. Антарктические донные воды образуются в результате смешения образованных на шельфе вод с Циркумполярными глубинными водами на склоне.

На шельфе залива Прюдс образуются Антарктические шельфовые воды (ААШВ) и Воды шельфовых ледников (ВШЛ). По современным представлениям ААШВ являются результатом смешения вод разного происхождения на шельфе. В холодный период результирующая смесь охлаждается и осолоняется за счет выхолаживания и интенсивного льдообразования в полыньях и в результате конвекции опускается в придонный слой котловины Эймери. ВШЛ образуются, главным об-

разом, вследствие захода ААШВ под шельфовый ледник Эймери. При этом образуются переохлажденные воды с экстремально низкой температурой от $-1,9$ до $-2,2$ °С, что ниже температуры замерзания этих вод на поверхности. Соленость этих вод $34,3$ – $34,5$ епс. Минимальная потенциальная температура ВШЛ $-2,5$ °С в заливе Прюдс зафиксирована на глубинах 600 м при бурении шельфового ледника Эймери. Сверхнизкие температуры ВШЛ обусловлены условиями формирования: образуются эти воды на глубине под шельфовым ледником за счет охлаждения при контакте с подошвой ледника, распреснения при таянии подошвы и давления толщи ледника. Также возможен вариант осолонения вод при образовании морского льда на подошве в центральной части шельфового ледника Эймери.

В результате анализа данных, полученных в ходе Австралийской программы по изучению шельфового ледника Эймери AMISOR (2001–2002 гг.) и 43, 57, 60-й РАЭ (1998, 2012, 2015 гг.), в акватории у барьера шельфового ледника Эймери определены концентрации кислорода в ВШЛ — $7,1$ – $7,3$ мл/л. Что согласуется с вышеописанным механизмом образования ВШЛ из ААШВ.

На первых этапах исследований в заливе Прюдс ВШЛ в толще выделялись по $T_{in situ} < T_f$ на поверхности. Таким образом выполнялось условие, что Воды шельфовых ледников образуются на глубине под воздействием давления. Однако, в ходе анализа T , S -диаграмм, полей распределения плотности и гидрохимических характеристик выявлена трансформация ядра ВШЛ при отдалении от барьера Эймери. Трансформация ядра ВШЛ происходит за счет смешения с ААШВ в западном секторе залива Прюдс в районе банки Фрама и проявляется в увеличении температуры и солености. Таким образом, в результате изучения распространения ВШЛ на шельфе залива Прюдс в теплый период диапазон потенциальной температуры ВШЛ, введенный предыдущими исследователями, был изменен с -2 до $-1,9$ °С для вод с соленостью $34,3$ – $34,5$ епс. ВШЛ с $\theta = -1,9 \dots -1,95$ °С, $S = 34,4$ – $34,45$ епс и значениями $\gamma^n \leq 28,05$ зафиксированы только в западном секторе залива Прюдс.

Нужно отметить, что в акватории у барьера шельфового ледника Эймери (центральный сектор) зафиксированы плотные модификации ВШЛ ($\gamma^n < 28,4$) на глубинах более 400 м со значениями $\theta = -2 \dots -2,1$ °С и $S = 34,43$ – $34,5$ епс, которые образовались по всей видимости за счет осолонения при льдообразовании на подошве в центральной части шельфового ледника Эймери.

До сих пор роль ВШЛ на шельфе залива Прюдс, в образовании Антарктических донных вод носит дискуссионный характер. Поэтому

исследование распространения ВШЛ и их пространственно-временной изменчивости является важной задачей в понимании происходящих процессов.

Результаты исследования распространения вод шельфовых ледников (ВШЛ) в заливе Прюдс получены, прежде всего, на основе анализа T, S-диаграмм и картирования положения ядра водной массы. Были рассчитаны значения нейтральной плотности (γ^n) и температура замерзания. В работе использовалась объединенная база данных, состоящая из STD-данных, полученных в ходе как зарубежных (WOD18), так и отечественных экспедиционных исследований (Российская Антарктическая Экспедиция, 1997–2016 гг.), и программы исследования полярных районов Мирового океана с использованием морских млекопитающих (МЕОР).

На основе анализа данных, полученных в ходе отечественных экспедиционных исследований в теплый период (декабрь–март) с 1997 по 2007 гг. был сделан вывод, что в заливе Прюдс распространение ВШЛ, образованных под шельфовым ледником Эймери, на север происходит в основном вдоль западного края котловины Эймери, с дальнейшим выходом в район внешней бровки шельфа и смещением к западу, где они участвуют в процессах перемешивания с окружающими Антарктическими шельфовыми и Циркумполярными глубинными водами как на шельфе, так и на склоне. Образованная смесь сползает по материковому склону до глубин более двух километров.

Так как в холодный период экспедиционные исследования с судов практически не проводились, привлечение данных МЕОР позволило определить особенности распространения ВШЛ в период с мая по ноябрь. Граница предельного распространения ВШЛ в холодный период в отличие от теплого периода проходит в западном секторе залива Прюдс только по 68° ю. ш. На юге бухты Маккензи ВШЛ не выявлены. Практически все профили вертикального распределения температуры и солености имеют прямую конфигурацию кривой, что предполагает наличие конвекции.

В ходе анализа объединенной базы данных впервые определено, что выход Вод шельфовых ледников как в чистом виде, так и смеси с Антарктическими шельфовыми водами на бровку шельфа в западном секторе залива Прюдс происходит с января по апрель. Также определены годы, когда Воды шельфовых ледников наблюдались вблизи и на бровке шельфа в западной части залива Прюдс: 1967, 1979, 1981, 1987, 1991, 1992, 1997, 2006, 2011, 2012, 2013, 2015 гг., что составляет $\sim 80\%$ из всех наблюдаемых случаев. Данный результат позволяет сделать

предположение о регулярности распространения ВШЛ в западном секторе залива Прюдс с последующим выходом на бровку в районе банки Фрама и что данный процесс является неотъемлемой частью гидрологического режима залива Прюдс.

Таким образом, сезонная изменчивость распространения ВШЛ в заливе Прюдс проявляется в изменении границ зон распространения ВШЛ. В теплый период наблюдается предельное распространение вод шельфовых ледников, которое проявляется в выходе ВШЛ на бровку шельфа в западном секторе залива Прюдс, в то время как в холодный период воды шельфовых ледников наблюдаются только в западной части акватории у барьера шельфового ледника Эймери, за исключением южной части бухты Маккензи. Можно сделать предположение, что выходу ВШЛ из-под шельфового ледника Эймери препятствует развитие конвекции в холодный период в полынье Маккензи.

POSTER 1.7

POSTER 1.7

**STUDY OF WATER VAPOUR ISOTOPIC COMPOSITION
IN ANTARCTICA FOR IMPROVEMENT
OF PALEOCLIMATIC RECONSTRUCTIONS BASED
ON ICE CORES DATA INTERPRETATION**

A.V. Kozachek (AARI), A.A. Ekaykin (AARI, SPBU),
H.C. Steen-Larsen (University of Copenhagen), A. Lande (CEA-CNRS)*

**ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА ВОДЫ
И ВОДЯНОГО ПАРА В ЮЖНОЙ ПОЛЯРНОЙ ОБЛАСТИ**

A.B. Козачек^{1}, A.A. Екайкин^{1,2}, X.K. Стеен-Ларсен³, A. Ланде⁴*

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

² — *Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

³ — *Центр льда и климата, Университет Копенгагена, Копенгаген, Дания*

⁴ — *Лаборатория наук о климате и окружающей среде, Сакле, Франция*

** kozachek@aari.ru*

В докладе представлен анализ результатов непрерывных измерений изотопного состава водяного пара над поверхностью Южного океана во время Антарктической кругосветной экспедиции ACE (2016/17 гг).

Дана сравнительная характеристика нескольких типов оборудования для измерения изотопного состава водяного пара. Во время экспедиции

было использовано три типа приборов одновременно, что позволило получить более достоверные данные

В результате анализа полученных данных были выявлены закономерности формирования изотопного состава водяного пара в зависимости от температуры поверхности океана и влажности воздуха.

Полученные данные включены в модель формирования изотопного состава ледяных кернов и модели циркуляции атмосферы, что позволило уточнить количественные реконструкции изменения температуры воздуха в Антарктиде.

Полевые работы выполнялись при финансовой поддержке Федеральной политехнической школы Лозанны, компании Ferring Pharmaceuticals и фонда ACE. Анализ данных выполняется при финансовой поддержке РФФИ (грант 18-05-16001 НЦНИЛ_а).

POSTER 1.8

ПОСТЕР 1.8

**MODERN DYNAMICS OF PERMAFROST ON THE SVALBARD
ARCHIPELAGO AND THE ANTARCTIC PENINSULA**

V.M. Kotlyakov, N.I. Osokin, A.V. Sosnovsky (IG RAS)*

**СОВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ
НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН И АНТАРКТИЧЕСКОМ
ПОЛУОСТРОВЕ**

*В.М. Котляков, Н.И. Осокин, А.В. Сосновский**

Институт географии РАН, г. Москва, Россия

** alexandr_sosnovskiy@mail.ru*

Для природы архипелага Шпицберген и Антарктического полуострова характерна многолетняя мерзлота. Ее деградация в условиях современного климата может привести к отрицательным последствиям и для природной среды, и для инженерных сооружений и коммуникаций из-за потери прочности оснований сооружений и активизации склоновых процессов. Потеря термической устойчивости многолетней мерзлоты вызывается образованием несливающейся мерзлоты, переходящей в талик. Это происходит при неполном промерзании сезонно-талого слоя с ростом температуры воздуха и толщины снежного покрова. Потепление вызывает увеличение мощности сезонно-талого слоя.

На Западном Шпицбергене за период 1968–2000 гг. средние суточные летние и зимние температуры воздуха составили 3,74 и –9,90 °С, а в период 2001–2018 гг. эти значения были существенно выше: 4,83 и –7,12 °С. С 2001 по 2018 г. рост летней температуры воздуха на метеостанции Баренцбург составил около 0,05 град/год, а зимней – 0,21 град/год.

Прогнозируемый рост температуры воздуха на западе архипелага Шпицберген за период 2071–2100 г. относительно 1961–1990 гг., согласно региональным моделям изменения климата, составит 0,046 град/год для летней и 0,08 град/год для зимней средней суточной температуры воздуха. Эти значения меньше, чем тренды температуры воздуха по метеостанции Баренцбург за период 2001–2018 гг.

На Антарктическом полуострове средние суточные летние и зимние температуры воздуха были равны 1,03 и $-4,05$ °C (1968–2000 гг.) и 0,83 и $-3,60$ °C (2001–2018 гг.). Для метеостанции Беллинсгаузен в летний период наблюдается небольшое похолодание.

Для оценки термической устойчивости многолетнемерзлых пород использована математическая модель. Она позволяет учесть реальную изменчивость температуры воздуха, динамику снегонакопления и теплофизических характеристик снега. Распределение температуры в мерзлом слое горной породы рассчитывали с учетом зависимости ее теплоемкости и теплопроводности от температуры и фазового состава (влажность/льдистость). Движение границ мерзлого и талого грунта определяли из условия Стефана. Деформацию грунта и миграцию влаги не учитывали. На верхней границе грунта (снежного покрова) задавалось условие теплообмена с атмосферой. Начальная температура мерзлой толщи задавалась по результатам предварительных калибровочных расчетов. Внутригодовой ход температуры воздуха принимался по синусоидальным зависимостям для периодов с положительной и отрицательной температурой воздуха. Основные расчеты проведены для супеси плотностью 1400 кг/м³. Расчеты проводили как при постоянных значениях метеорологических параметров, так и с использованием их трендов.

Сравнение результатов расчетов максимальной мощности сезонно-талого слоя с данными измерений за девятилетний период показало их 10-процентное совпадение. Проведенные расчеты выявили неустойчивое состояние многолетней мерзлоты в районе станции Беллинсгаузен. В «теплые» годы (с температурой воздуха выше средних многолетних значений) может происходить формирование несливающейся мерзлоты, которая может промерзнуть в годы с более низкой температурой воздуха и меньшей толщиной снежного покрова. Снежный покров на Антарктическом полуострове оказывает значительное влияние на термический режим многолетней мерзлоты. Небольшое увеличение толщины снега относительно среднемноголетнего (2002–2018 гг.) значения 0,72 м приводит к формированию несливающейся мерзлоты. Расчеты, учитывающие возможную динамику температуры воздуха, показали, что несливающаяся мерзлота, возникающая при толщине снежного покрова 0,9 м, со временем промерзнет. Таким образом, изменчивость метеорологических условий и небольшое понижение летней температуры воздуха, способствуют устойчивости многолетнемерзлых пород.

Расчеты для условий Западного Шпицбергена свидетельствуют, что при толщине снежного покрова более 1,5 м на участках грунта влажностью свыше 25 % и в отсутствии мохового покрова уже в настоящее время возможно неполное промерзание сезонно-талого слоя и формирование несливающейся мерзлоты. Согласно расчетам с привлечением региональной модели изменения климата, при влажности грунта 18 % (соответствует измеренным значениям влажности) и толщине снежного покрова 1,5 м несливающаяся мерзлота сформируется примерно через 12 лет, а при толщине 1 м — через 24 года.

В настоящее время деградации многолетнемерзлых пород на Западном Шпицбергене препятствует широкое распространения мохового покрова, который служит важным фактором сохранения мерзлоты при современном климате.

Математическое моделирование проводилось в рамках темы Государственного задания № 0148-2019-0004; обработка и анализ архивных материалов по проекту РФФИ 17-55-80107 БРИКС_а; численные эксперименты и их анализ при поддержке гранта РФФИ № 18-05-60067; экспедиционные исследования на архипелаге Шпицберген выполнялась при финансовой поддержке госзадания и логистической помощи Российского научного центра на Шпицбергене (РНЦШ).

POSTER 1.9

ПОСТЕР 1.9

**GEOCHEMICAL COMPOSITION AND SOIL PROPERTIES
OF TALA HILLS, EAST ANTARCTICA**

T.I. Kukharchyk, S.V. Kakareka, M.A. Kudrevich
(Institute of Nature Management NAS, Belarus),
Yu.G. Giginyak (SPC NAS of Belarus for Bioresources),
Yu.G. Kokosh (Institute of Nature Management NAS, Belarus),*

**ГЕОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И СВОЙСТВА ПОЧВ
ХОЛМОВ ТАЛА, ВОСТОЧНАЯ АНТАРКТИДА**

Т.И. Кухарчик¹, С.В. Какарека¹, М.А. Кудревич¹,
Ю.Г. Гигиняк², Ю.Г. Кокос¹*

¹ — Государственное научное учреждение Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь

² — Республиканский научно-практический центр по биоресурсам Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь

* *tkukharchyk@gmail.com*

Важнейшими природными условиями, определяющими особенности почвенного покрова и свойств почв Антарктики, являются изо-

лированность оазисов от других свободных ото льда участков суши, преобладающие низкие температуры, а также отсутствие жидких осадков и высшей растительности. За прошедшие десятилетия знания о почвах Антарктических оазисов существенно дополнились, хотя сохраняется дисбаланс в отношении изученности Восточной и Западной Антарктиды. Актуальность исследований почв в оазисах Холмов Тала определяется не только слабой их изученностью, но и необходимостью получения данных для последующей оценки устойчивости и уязвимости почв к изменениям климата и антропогенным воздействиям в связи со строительством Белорусской антарктической станции.

В докладе представлены результаты исследований почв и рыхлых отложений оазиса Вечерний, Земля Эндерби, полученные в ходе выполнения сезонных экспедиций 4–5 и 7–10-й Белорусских антарктических экспедиций в период с 2012 по 2018 гг. и химико-аналитических исследований проб. К настоящему времени насчитывается 15 пунктов наблюдений, которые заложены с учетом природных особенностей местности и возможных источников антропогенного воздействия. Приведены методические подходы к отбору проб почв и методики химико-аналитических исследований. Показаны пространственные особенности распространения рыхлых отложений, площадь которых варьирует от нескольких до сотен квадратных метров. Максимальная вскрытая глубина почвенного профиля, заложенного в пределах аллювиально-флювиогляциальных отложений, составила 70 см, моренных — 75 см. Выявлено отсутствие выраженной почвенной структуры, а также практически одинаковое распределение частиц менее 1 мм с глубиной.

По предварительным данным, в пробах почв характерно преобладание первичных минералов, среди которых доминируют кварц и гранит. Прослеживается четкая зависимость изменения минералогического состава почвы в зависимости от размера фракции: с уменьшением фракции повышается доля кварца (достигая 80 % для фракции 0,16 мм), с увеличением фракции возрастает доля гранита, полевого шпата и диорита, содержание которых во фракции 2,5 мм составляет 71 %.

В почвах доминируют соединения кремния, содержание которого находится в диапазоне 60,2–70 % (среднее содержание — 63 %). На втором месте по абсолютным значениям — соединения алюминия, на долю которых приходится в среднем 15 % минеральной части почвы. Содержание оксидов железа варьирует в пределах 3,1–10,1 %, максимальное содержание выявлено в пределах переувлажненного участка.

Приведены данные о содержании гумуса, элементов питания и обменных оснований, обсуждаются возможные факторы вариабельности

значений. Среднее содержание гумуса в поверхностных горизонтах почвы оазиса Вечерний составляет 1,08 %, обменного кальция и магния соответственно 0,65 и 0,42 мг/100 г почвы. Для почвенных выделов к северу от озера Нижнее выявлено орнитогенное влияние, которое проявляется в увеличении содержания гумуса (4,26 %) и фосфора (252 мг/100 г почвы). Также повышено содержание гумуса в почвах, отобранных вблизи колонии пингвинов в районе мыса Гнездовой (4,24 %).

Исследования показали, что почвы оазиса Вечерний содержат относительно небольшие количества водорастворимых солей: их сумма варьирует от 5,1 до 97,2 мг/100 г почвы. Величина электропроводности находится в диапазоне 18–188 мСм/см.

Обсуждаются свойства почв в сравнении с другими оазисами Восточной Антарктиды. Показана необходимо продолжения исследований с акцентом на особенности гранулометрического состава почв, состава гумуса и миграции химических веществ по почвенному профилю.

Благодарности. Работа выполнена в рамках Государственных программ «Мониторинг полярных районов Земли и обеспечение деятельности арктических и антарктических экспедиций на 2011–2015 годы» и «Мониторинг полярных районов Земли, создание Белорусской антарктической станции и обеспечение деятельности полярных экспедиций на 2016–2020 годы». Авторы выражают благодарность начальнику и участникам Белорусских антарктических экспедиций, участвовавших в выполнении отбора проб и организации их транспортировки.

POSTER 1.10

ПОСТЕР 1.10

SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF MICROWAVE RADIATION FROM GREENLAND AND ANTARCTICA AS MEASURED BY METEOR-M № 2 AND GCOM-W1 SATELLITES

L.M. Mitnik, V.P. Kuleshov, M.L. Mitnik (POI FEB RAS)*

ИЗМЕНЧИВОСТЬ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ГРЕНЛАНДИИ И АНТАРКТИДЫ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ СО СПУТНИКОВ МЕТЕОР-М № 2 И № 2-2 И GCOM-W1

Л.М. Митник, В.П. Кулешов, М.Л. Митник*

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева
Дальневосточного отделения РАН, г. Владивосток, Россия*

** lm_mitnik@mail.ru*

Ледяные массивы Гренландии и Антарктиды оказывают существенное влияние на погоду и климат. Изучение изменчивости характеристик

поверхности и подповерхностных слоев ледяных щитов, атмосферы над ними и окружающими морями осуществляется по данным спутникового дистанционного зондирования. Приоритетное значение имеют пассивные и активные измерения в микроволновом (МВ) диапазоне — основной источник информации о Гренландии и Антарктиде и окружающей среде независимо от времени суток и облачности. В работе рассмотрены результаты измерений сканирующих многоканальных МВ радиометров МТВЗА-ГЯ с метеорологических спутников Метеор-М № 2 (октябрь 2014 – август 2017) и Метеор-М № 2-2 (август 2019 – по настоящее время) и AMSR2 со спутника Японии GCOM-W1 (май 2012 – по настоящее время). Радиометры принимают уходящее излучение Земли в полосе шириной $L \approx 1500$ км на вертикальной (в) и горизонтальной (г) поляризациях на частотах ν в диапазонах 10–58, 91–92 и 176–190 ГГц (МТВЗА-ГЯ) и на $\nu = 6–36,5$ и 89–90 ГГц (AMSR2). Сканирование выполняется по конусу при угле падения 65° (МТВЗА-ГЯ) и 55° (AMSR2). В работе приведены характеристики частотных каналов радиометров и расчетные спектры яркостных температур $T_{\text{я}}^{\text{в,г}}(\nu)$ над различными типами подстилающей поверхности, которые используются для внешней калибровки и интерпретации спутниковых измерений. Рассмотрены примеры полей $T_{\text{я}}^{\text{в,г}}(\nu)$ над северной и южной полярными областями в различные сезоны, а также глобальные поля, построенные по данным МТВЗА-ГЯ и AMSR2. Отмечены и объяснены спектральные и поляризационные особенности МВ излучения материковых и морских льдов, вариации яркостных температур, обусловленные изменчивостью характеристик тропосферы и стратосферы. Обсуждается влияние пространственного разрешения и чувствительности радиометров на регистрацию неоднородностей поверхностных и атмосферных параметров. Приведены временные ряды яркостных температур над однородными тестовыми площадками (круг диаметром 200 км), выбранными вблизи от станций Concordia ($75^\circ 06'$ ю.ш., $123^\circ 20'$ в.д.; высота над уровнем моря $h_{\text{ст}} = 3233$ м) и Summit ($72^\circ 36'$ с.ш., $38^\circ 25'$ з.д.; $h_{\text{ст}} = 3200$ м). Ряды среднесуточных значений $T_{\text{я}}$ над площадками построены для всех каналов МТВЗА-ГЯ и AMSR2 за период с 1 октября 2014 г. по 15 августа 2017 г. За этот же период построены ряды температуры воздуха у поверхности по измерениям наземных автоматических метеорологических станций. Для станции Summit также построены ряды паросодержания атмосферы по радиозондовым данным. При анализе временных рядов определены сезонные и синоптические и вариации яркостных температур и их корреляция с температурой воздуха у поверхности. Оценены амплитуды сезонных и синоптических вариаций $T_{\text{я}}^{\text{в,г}}(\nu)$, обусловленные зависимостью глубины проникновения электромагнитных волн от частоты. Из анализа разностей временных рядов яркостных температур МТВЗА-ГЯ и AMSR2 на совпадающих частотах следует высокая стабильность функционирования радиометра МТВЗА-ГЯ в

полете. По резким изменениям яркостных температур МТВЗА-ГЯ на частотах в области поглощения кислорода (52–58 ГГц) обнаружены внезапные потепления стратосферы в северном полушарии в 2016 г. и потепление над Антарктидой (конец августа – ноябрь 2019 г.), крайне редко наблюдаемое явление. Потепления стратосферы подтверждены измерениями с сопутствующих спутников, данными радиозондирования атмосферы и реанализов и другими наблюдениями. Исследована изменчивость полей паросодержания атмосферы, водозапаса облаков и скорости приводного ветра во внетропических и полярных циклонах, а также в атмосферных реках над океанами, примыкающими к Гренландии и к Антарктиде. Анализ всей совокупности наблюдений продемонстрировал высокий потенциал спутниковых микроволновых радиометрических измерений, обеспечивающих круглогодичный мониторинг геофизических параметров поверхности и атмосферы в полярных регионах Земли. Работа выполнена в рамках госбюджетной темы № 11, регистрационный номер АААА-А17-117030110037-8.

POSTER 1.11

ПОСТЕР 1.11

RUSSIAN INVESTIGATIONS OF THE SUBGLACIAL LAKE VOSTOK AREA, EAST ANTARCTICA

S.V. Popov (PMGE), G.L. Leichenkov (VNIIOkeangeologia, SPBU),
V.Ya. Lipenkov (AARI), V.N. Masolov (PMGE), V.V. Lukin (AARI),
A.A. Ekaykin (AARI)*

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЙОНА ПОДЛЕДНИКОВОГО ОЗЕРА ВОСТОК, ВОСТОЧНАЯ АНТАРКТИДА

С.В. Попов^{1,2}, Г.Л. Лейченко^{3,2}, В.Я. Липенков⁴, В.Н. Масолов¹,
В.В. Лукин⁴, А.А. Екайкин⁴*

¹ — АО «Полярная морская геологоразведочная экспедиция»,
АО «Росгеология», Санкт-Петербург, Россия

² — Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Россия

³ — «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии
и минеральных ресурсов Мирового океана им. академ. И.С. Грамберга»,
Санкт-Петербург, Россия

⁴ — ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский
институт, Санкт-Петербург, Россия

** spopov67@yandex.ru*

Почти сразу после открытия в 1993 г. подледникового озера Восток [Ridley et al., 1993] началось его планомерное изучение. Поскольку оно располагалось поблизости от одноименной отече-

ственной станции, это значительно упростило логистическое обеспечение исследований. В сезон 41 РАЭ (1995/96 гг.) ПМГРЭ, совместно с РАЭ приступило к выполнению комплексных наземных геофизических работ сейсмическими и радиолокационными (с 1998 г.) методами. В частности, для этого был специально создан уникальный ледовый локаатор РЛС-60-98 (РЛС-60-06 после значительного обновления). Сейсмические зондирования осуществлялись методом отраженных волн, что обеспечивало уверенную регистрацию отражений от дна озера, и измерение таким образом его глубины. В результате проведенных 13 полевых сезонов получен обширный научный материал, который позволил определить береговую линию озера; выяснить, что его окружают многочисленные подледниковые водоемы, а на его акватории имеется множество островов; выяснены особенности строения ледника, подледного рельефа и дна озера; измерена скорость распространения акустических и электромагнитных волн в теле ледника [Масолов и др., 2010; Попов и др., 2012]. В тот же период времени выполнены сейсмологические наблюдения. Они позволили установить, что мощность земной коры составляет 34 км к западу от желоба Восток и 36 км к востоку от него. Эти данные позволяют предположить увеличение геотермального потока в районе котловины Восток и к востоку от нее [Исанина и др., 2009]. Полученные материалы подтвердили высказанное предположение о том, что желоб Восток является фрагментом обширной позднепалеозойско-раннемезозойской рифтовой системы, простирающейся от ледника Ламберта вдоль подножия гор Гамбурцева в высокоширотную область внутренних районов континента [Лейченко и др., 2005; Лейченко и Попков, 2012].

В 2008 году начался новый этап исследований, направленный на изучение глубинного строения верхней части земной коры этого района. Работы выполнялись сейсмическим методом преломленных волн. За четыре полевых сезона отработано четыре профиля, которые расположены вдоль длинной оси желоба Восток, и в южной его части. Это позволило получить скоростные характеристики горных пород, слагающих подледниковое ложе. Полученные данные показывают, что истинная скорость преломленных волн в породах, слагающих дно озера, составляет 6,0 – 6,2 км/с, что соответствует породам кристаллического фундамента. С другой стороны, полученные материалы не исключают наличие относительно маломощного (100-200 м) низкоскоростного промежуточного слоя, который может быть

представлен рыхлыми молодыми осадочными отложениями. На профиле, расположенном на западном побережье озера скорость преломленных волн составляет 5,4 км/с, которые характерны для древних слабометаморфизованных осадочных пород [Leitchenkov et al., 2016].

Несмотря на успехи геофизических исследований в районе озера Восток, основным достижением безусловно являются научные результаты, связанные с керновым бурением глубоких скважин в ледниковом покрове. Эти работы были начаты в 1970 г. В 1998 г. скважина 5Г-1 достигла глубины 3622 м [Vasiliev et al., 2007]. Когда встал вопрос о проникновении в озеро, изложенные выше геофизические работы оказали значимую помощь и поддержку в плане определения мощности ледника в пункте бурения с высокой точностью [Rorov et al., 2003]. В 2012 и в 2015 годах подледниковое озеро было дважды вскрыто на глубине 3679 м скважинами 5Г-2 и 5Г-3 соответственно.

Бурение на станции Восток показало, что в основании ледниковой толщи атмосферного происхождения, глубже 3538 м залегают слои конгломерационного льда, образовавшийся в результате намерзания озерной воды на подошву ледника. Исследования 230-метровой колонки керна этого льда позволили установить основные особенности газового, изотопного и гидрологического режимов подледникового водоема [Lipenkov et al., 2016; Ekaikin et al., 2016]. Верхняя часть керна озерного льда (3538–3608 м) насыщена мелкими (до 1 см) включениями, которые были захвачены из озерного дна и представляют собой рыхлые агрегаты, состоящие из глинистой основы с вкраплениями мелких минеральных зерен и обломков горных пород. По результатам изучения минеральных включений и интерпретации геофизических данных предполагается, что на западном побережье озера Восток, откуда происходил снос обломочного материала, а затем захват ледником его мелких фракций, обнажаются терригенные отложения (преимущественно песчаники и алевролиты) позднепротерозойского возраста. Исследования детритовых цирконов подтверждает и уточняет выделяемые по геофизическим данным тектонические провинции центральной Антарктиды. Предполагается, что в коренном подледном ложе к западу от озера Восток обнажаются древние породы с возрастом от 1,0 до 2,5 млрд. лет [Leitchenkov et al., 2016].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (научные проекты №№ 15-05-05413 и 17-05-12003 ННИО).

**EXPERIMENT ON RADIO ILLUMINATION OF THE AURORAL OVAL
GNSS SIGNALS FOR SLEDGING AND CRAWLING
UNDER THE PROGRAM 60TH RUSSIAN ANTARCTIC EXPEDITION**

A.V. Tertyshnikov (IAG)

**ЭКСПЕРИМЕНТ ПО РАДИОПРОСВЕЧИВАНИЮ
АВРОРАЛЬНОГО ОВАЛА СИГНАЛАМИ ГНСС
ПРИ САННО-ГУСЕНИЧНОМ ПЕРЕХОДЕ ПО ПРОГРАММЕ
60-й РОССИЙСКОЙ АНТАРКТИЧЕСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ**

*A.V. Тертышников**

*ФГБУ Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова,
г. Москва, Россия*

*Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН,
г. Москва, Россия*

** atert@mail.ru*

Важнейшим морфологическим элементом высокоширотной ионосферы является авроральный овал, который, фактически, ограничивает полярную шапку и занимает область ионосферы, соответствующую проекции плазменного слоя и каспа вдоль силовых линий геомагнитного поля Земли.

Новое направление в зондировании авроральных овалов — радиопросвечивание сигналами Глобальных навигационных спутниковых систем GPS/ГЛОНАСС [Тертышников А.В. Способ определения положения аврорального овала и состояния магнитного поля Земли. Решение РОСПАТЕНТа от 19.07.2016 г. о выдаче патента на изобретение по заявке № 2015126532/28(041268) от 02.07.2015 г.; Тертышников А.В., Пулинец С.А. Способ зондирования ионосферы, тропосферы, геодвижений и комплекс для его реализации/ Патент, заявка № 2011128236 от 07.07.2011 на получение патента РФ на изобретение. Бюллетень Изобретения. 2013 № 4. Решение о выдаче патента РФ на изобретение от 01.02.2013]. Первый в мире эксперимент по радиопросвечиванию южной полярной шапки сигналами ГНСС удалось реализовать в ходе 60-й Российской антарктической экспедиции 2014–2015 гг. с помощью профессионального геодезического приемника «JAVAD», который перемещался на санно-гусеничном поезде от Российской антарктической станции «Прогресс» к материковой станции «Восток» 08–19.01.2015 г. Основное внимание уделялось расчету полного электронного содержания (ПЭС) в подионосферных точках, «видимых» приемником КА ГНСС ГЛОНАСС/GPS.

Характеристики принимаемых сигналов КА ГНСС ГЛОНАСС/GPS обрабатывались с учетом морфологии высокоширотной ионосферы [Тертышников А.В. Способ определения положения аврорального овала и состояния магнитного поля Земли. Решение РОСПАТЕНТа от 19.07.2016 г. о выдаче патента на изобретение по заявке № 2015126532/28(041268) от 02.07.2015 г.; Тертышников А.В., Пулинец С.А. Способ зондирования ионосферы, тропосферы, геодвижений и комплекс для его реализации/ Патент, заявка № 2011128236 от 07.07.2011 на получение патента РФ на изобретение. Бюллетень Изобретения. 2013 № 4. Решение о выдаче патента РФ на изобретение от 01.02.2013.; Тертышников А.В. и др. Патент на изобретение № 2693842 «Способ зондирования ионосферы и тропосферы» / Заявка № 2018127892 от 30.06.2018. Оpubл. 05.07.2019]. Отмечено, что переотражение сигналов ГНСС в высокоширотной ионосфере приводит к тому, что траектория радиосигналов на более коротких длинах волн часто превышает длину траектории на первых рабочих частотах ГНСС. Следствием этого являются отрицательные оценки относительного ПЭС, рассчитываемого традиционным дифференциальным способом в предположении о сферически-симметричном распределении параметров ионосферы. Переход к отрицательным оценкам относительного ПЭС примерно соответствует положению полярного круга и диффузной границе полярных сияний. Повышение сбоев в принимаемых сигналах ГНСС отмечено в зонах терминатора, в направлении в хвост магнитосферы и на Солнце (касп) [Тертышников А.В. и др. Патент на изобретение № 2693842 «Способ зондирования ионосферы и тропосферы» / Заявка № 2018127892 от 30.06.2018. Оpubл. 05.07.2019].

Для обработки полученных с навигационного приемника RINEX- файлов и в развитие технического решения [Тертышников А.В., Пулинец С.А. Способ зондирования ионосферы, тропосферы, геодвижений и комплекс для его реализации/ Патент, заявка № 2011128236 от 07.07.2011 на получение патента РФ на изобретение. Бюллетень Изобретения. 2013 № 4. Решение о выдаче патента РФ на изобретение от 01.02.2013], которое использовано в большинстве публикаций по вопросам обработки RINEX-файлов, была разработана информационная технология. Ее верификация и валидация проводилась в ряде экспериментов в различных климатических условиях (на Эльбрусе, под стендами Сура и EISCAT, при определении места взрыва Чебаркульского метеороида, в Арктике, при диагностике предвестников землетрясений и т.д.). Инструментальные поправки для определения ПЭС были рас-

считаны по каждому КА ГНСС при сравнении с данными модели ионосферы IRI-2011 на базе ФГБУ ИПГ.

В требованиях к информационной технологии учтены: ограничения на оперативное получение данных с навигационных приемников; возможность обработки данных RINEX-файлов в большом объеме, в том числе неполных и «битых» наблюдений; предоставление данных о вариациях ПЭС при отсутствии возможности или необходимости калибровки приемника; возможность определения координат приемника для каждого момента времени наблюдений без использования стандартных опций навигационного приемника по местоопределению и др. Реализованная на современных ПЭВМ схема алгоритма программы обработки RINEX-файлов за 15–40 минут позволяет обрабатывать суточный файл наблюдений с частотой опроса 1 Гц с одного приемника. При этом генерируется до полутора миллионов строк данных. Удавалось одновременно обрабатывать до 15 суток наблюдений. Последующий рутинный анализ полученных за сутки профилей занимал несколько часов.

По всем наблюдаемым приемником с дискретностью 10 секунд КА ГНСС и по первой рабочей частоте ГНСС был рассчитан маршрут санно-гусеничного перехода. Для верификации расчетов использовались официальные источники РАЭ и ЦНИИМаш.

По распределению суточных треков подионосферных точек, видимых КА ГНСС, исследована экранировка приемной антенны навигационного приемника на санно-гусеничном поезде.

Представлены примеры проявления аврорального овала по изменению ПЭС по широте вдоль проекции подионосферных точек пересекавших авроральный овал «видимых» навигационных КА GPS. Предполагалось, что зона аврорального овала может характеризоваться повышенным значением модуля относительного ПЭС в узком диапазоне широт, относительно климатической экваториальной границы аврорального овала. Аналогичные эффекты фиксировались в морских экспериментах в зоне арктического аврорального овала. Кроме этого, результаты диагностики положения южного аврорального овала сравнивались с результатами моделирования критической частоты E-слоя ионосферы в южном авроральном овале по модели SIMP2. Согласие зоны повышенных значений ПЭС в авроральном овале с результатами моделирования E-слоя ионосферы признано удовлетворительным. Геомагнитная обстановка в течение всего перехода была спокойной.

Для верификации и валидации результатов радиопросвечивания аврорального овала сигналами ГНСС разработана технология оперативного зондирования характеристик аврорального овала и состояния магнитного поля

Земли овала с КА [Тертышников А.В. Патент на изобретение № 2683113 «Способ определения характеристик аврорального овала и состояния магнитного поля Земли»/ Заявка 2018110604, 26.03.2018. Бюл. № 9.]

POSTER 1.13

ПОСТЕР 1.13

SEASONAL VARIATIONS IN THE TEMPERATURE OF SNOW COVER ACCORDING CENTRAL ANTARCTIC CONTINUOUS MEASUREMENTS

K.B. Tchikachev (AARI), V.Ya. Lipenkov (AARI), Yu. A. Shibaev (AARI),
A.A. Ekaykin (AARI, SPBU),
E. Lefebvre (Institut des Géosciences de l'Environnement, Grenoble, France)*

СЕЗОННЫЕ ВАРИАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ СНЕЖНОЙ ТОЛЩИ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АНТАРКТИДЕ ПО ДАННЫМ НЕПРЕРЫВНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

К.Б. Чихачев^{1}, В.Я. Липенков¹, Ю.А. Шибает¹,
А.А. Екайкин^{1,2}, Э. Лефевр³*

¹ — ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

² — Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, Санкт-Петербург, Россия

³ — Институт наук об окружающей среде, г. Гренобль, Франция

* *tchikhatchev@aari.ru*

В 2010 на станции Восток была установлена система TAuto, которая до середины 2017 года ежечасно регистрировала температуру на 16 горизонтах в пределах верхних 10 метров снежной толщи. Полученные за это время данные позволили проанализировать проникновение сезонных колебаний температуры и установить зависимость относительной теплопроводности снега от его плотности. Сходные данные были получены также для района японской антарктической станции Купол Фуджи в период 1995–1997 годов. Значение теплопроводности снега, полученное для Купола Фуджи, оказалось заметно меньше, чем для станции Восток. При этом эти два района имеют очень схожие климатические условия на поверхности. Указанное различие в значениях теплопроводности позволило выдвинуть предположение, что структурные характеристики снега оказывают определяющее значение на кондуктивную теплопроводность снега в Центральной Антарктиде, а также что снежный покров в районах станции Восток и Купола Фуджи имеет различную структуру.

Работы выполняются по гранту РФФИ 18–55–16002 НЦНИЛ_a.

**OBSERVATIONS OF SOLAR UV RADIATION IN THE 24th CYCLE
OF SOLAR ACTIVITY
AT THE NOVOLAZAREVSKAYA STATION (ANTARCTICA)**

S.N. Shapovalov, I.V. Ivanov, G.V. Yudin, A.V. Afanasev (AARI)*

**НАБЛЮДЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ В 24-м ЦИКЛЕ
СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА СТ. НОВОЛАЗАРЕВСКАЯ
(АНТАРКТИДА)**

С.Н. Шаповалов, И.В. Иванов, Г.В. Юдин, А.В. Афанасьев*

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

** shapovalov@aari.ru*

На ст. Новолазаревская (Антарктида) выполняются наблюдения солнечного ультрафиолета в диапазоне NUV330-297nm (<http://www.aari.ru/main.php?lg=0&id=421>). В процессе анализа данных за период с 1 января 2008 г. по 1 января 2018 г. установлена противоположная зависимость средне-сезонных стандартных отклонений (SD) NUV330-297nm от интегрального солнечного излучения (Total Solar Irradiance, TSI). Так как основной вклад в TSI вносит излучение фотосферы, а также формирующиеся в хромосфере и солнечной короне линии спектральной солнечной светимости (Solar Spectral Irradiance, SSI) существует высокая вероятность того, что динамика NUV330-297nm обусловлена изменениями яркостной температуры фотосферы на границах спектра за счет механизма общего магнитного поля Солнца (ОМП). Величина ОМП есть усредненное значение магнитного поля по всему солнечному диску. Учитывая, что вариации TSI и временные изменения основных индексов SA характеризуются на солнечной временной шкале положительной корреляцией, то фотопроцессы с энергией $E < 4,43 \text{ eV}$ ($\lambda > 280 \text{ nm}$), свойственные реакциям фотодиссоциации в нижней атмосфере, например, $\text{O}_3 + h\nu \rightarrow \text{O}_2 + \text{O}(^1\text{D})$ и $\text{NO}_2 + h\nu \rightarrow \text{NO} + \text{O}$, а также фотосинтез в биосфере, должны характеризоваться зависимостью от цикла Хейла (~22 года) в большей степени, чем от цикла Швабе-Вольфа (~11 лет).

Эффективным способом исследования установленных связей, а также их роли в процессах глобального изменения климата является организация мониторинга диапазонов UVA400-315nm и UVB315-280nm в 25-м цикле SA (2021–2032 гг.). Осуществление данного мониторинга целесообразно по «квадрупольной» схеме при максимальном сближении координат долготы и сопряжения координат широты относительно экватора. К настоящему времени потенциальными базами Проекта являются:

– станция Восток (78° 27' ю.ш., 106° 52' в.д.) — НИС «Ледовая база Мыс Баранова» (79° 16' с.ш., 101° 45' в.д.);

— станция Новолазаревская (70° 46' ю.ш., 011° 49' в.д.) — Российский научный центр на архипелаге Шпицберген (78° 04' с.ш., 14° 13' в.д.).

POSTER 1.15

ПОСТЕР 1.15

**EVAPORATION OVER LAKES OF THE SCHIRMACHER OASIS,
EAST ANTARCTICA**

E. Shevnina¹, E. Kourzeneva¹, M. Potes²*

¹ — *Finnish Meteorological Institute, Helsinki, Finland*

² — *University of Evora, Evora, Portugal*

** elena.shevnina@fmi.fi*

To better understand a role of evaporation in water balance of the Antarctic lakes, two field experiments were done on two lakes located in the Schirmacher oasis. These lakes are different in depth, volume and thermal regime. Lake Glubokoe is cold and deep water body with slow water exchange. Lake Zub/ Priyadarshini is warm and shallow pond continuously reducing in the volume and surface area. Evaporation over water surface of two lakes was evaluated with three methods: the eddy covariance, the lake's energy budget and empirical equations. We used special observations on water temperature and water vapor fluxes collected on land-locked lakes in December–February (2017–2018 and 2019–2020). The poster shows only the analyses and results for the experiment on Lake Zub/Priyadarshini (2017–2018).

Acknowledgment: The work has got financial support from the Academy of Finland (contract number 304345) and the logistic support of the Finnish Antarctic Expedition, the Russian Antarctic Expedition and Indian Antarctic Expedition.

POSTER 1.16

ПОСТЕР 1.16

**QUANTIFICATION OF SACCHARIDES DURING THE ARAON
ANTARCTIC CRUISE USING A TANDEM MASS SPECTROMETER**

*N.R. Choi¹, K.A. Kim¹, J.Y. Lee¹, Y.G. Ahn², Y.P. Kim³**

¹ — *Department of Environmental Science and Engineering,
Ewha Womans University, Seoul, Republic of Korea*

² — *Omic System Research Team, Western Seoul Center, Korea Basic Science
Institute, Daejeon, Republic of Korea*

³ — *Department of Chemical Engineering and Materials Science, Ewha Womans
University, Seoul, Republic of Korea*

** yjyoon@kopri.re.kr*

Araon is designed to conduct independent polar research in the harsh arctic and antarctic region. In the marine aerosols, saccharides are the major classes of water-soluble organic compounds (WSOC) that originated from both anthropogenic sources such as biomass burning and natural sources

such as microbial detritus, soil biota and plants. Analysis of the saccharides was carried out to understand the chemical and physical properties and major contributors of the marine aerosols. The Ice-Breaking Research Vessel (IBRV) collected in Araon operated by the Korea Polar Research Institute (KOPRI) traveling from the Incheon, Korean peninsula to the Jangbogo Station in the Antarctic on November and December 2018.

Ten saccharides, arabinose; ribose, xylose, fructose, mannose, galactose, glucose, sucrose, maltose and levoglucosan were analyzed in the particulate matter with an aerodynamic diameter of equal or less than $2.5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$) samples by using gas chromatography (GC) coupled with single quadrupole mass spectrometer (MS) and tandem mass spectrometer (MS-MS). The method detection limits (MDLs) of the analysis of the saccharides using GC/MS-MS ($0.001 \sim 0.086 \text{ ng}/\mu\text{L}$) are lower than conventional GC/MS ($0.041 \sim 0.186 \text{ ng}/\mu\text{L}$) by a factor of about 28.6 ± 35.5 . The saccharides concentrations in the Araon Antarctic cruise were lower than in inland aerosols. The average of the sums of the target saccharides concentrations was $783.01 \pm 726.40 \text{ pg}/\text{m}^3$, the sum of the saccharides in #8 sample collected near the New Zealand-Lyttelton showed the highest concentrations ($2,201.79 \text{ pg}/\text{m}^3$) and #11 sample obtained near the Antarctic-Jang Bogo Station had the lowest concentrations of the saccharides ($177.35 \text{ pg}/\text{m}^3$). The average of the sums of the saccharides was lower in Barbaro et al., 2015 measured in the Antarctic aerosol ($438.58 \pm 388.78 \text{ pg}/\text{m}^3$; Atmos. Env. 118, 135-144) than in this study.

POSTER 1.17

POSTER 1.17

EXPLORING IMPACTS OF ANTARCTIC VOLCANIC ERUPTIONS ON ICE CORE CHEMISTRY

Y. Han*, C. Han, J. Moon, C. Chang, S. Kim, S.B. Hong, S.J. Jun, S.D. Hur
Korea Polar Research Institute, Incheon, Republic of Korea

* yhan@kopri.kr

Polar ice cores provide records of past atmospheric composition and have been drilled for the purpose of reconstructing environmental and climate changes over time. An accurate age scale is essential to achieve this goal, for which annual layer counting of seasonal cycles in water stable isotope ratios ($\delta^{18}\text{O}$ and δD) and major ion concentrations have been fundamentally utilized. Introducing additional time markers is helpful for reducing the uncertainty of the depth-age scale, and the fallout of well-dated volcanic products has offered indispensable time markers. Volcanic records of large-scale stratospheric tropical eruptions have been preferred for the dating purpose due to their simultaneous appearances in bipolar ice cores. For instance, the explosive eruption of Mt. Tambora in the year 1815 has produced sulfate-rich layers in bipolar ice cores acting as a prominent

time marker for their chronologies. Several eruptions in the Arctic regions reported in written records are available as time markers for the Greenland ice cores. In contrast, volcanic activities in Antarctica have been poorly known and hence less practical for the use as time markers. In addition, their impacts on ice core chemistry have been left unassessed, which could mislead the interpretation of ice core records.

We facilitate a multiproxy approach to discern the volcanic signal of the 1815 Tambora eruption from a shallow ice core drilled at the Styx Glacier in Victoria Land, Antarctica. This site is located in the major active volcanic region in Antarctica, having an unspecified number of active or dormant volcanic cones, and hence prone to influence of regional volcanic activities. The analysis of the Styx Glacier ice core reveals active volcanism in Victoria Land in the early 19th century, whose impact on the glacier estimated with the electric conductivity measurement method is the third greatest over the last 2 kys. Despite the synchronous 1815 Tambora eruption, the regional eruptions are shown to be more significant sources of the ice core volcanic records. The superior contribution of the Victoria Land volcanoes (VLV) is evidenced by the increased deposition of volcanogenic F and Tl that have short lifetimes in the atmosphere. The volcanic layer samples enriched in Pb-208 show displacement from the conventional Antarctic Pb isotope array. Their Pb isotope compositions are also ascribed to the VLV activities supported by recent VLV rock and ice Pb data. Increases in volcanic sulfate deposition are not dramatic probably due to oxidation of marine biogenic sulfur that represents a significant background sulfate source for the coastal glacier. Another potential reason is that volcanic sulfur gases might pass over the nearby glacier before they are oxidized and then deposited. They might spread widely over the Antarctic interior and farther to the exterior depending on the eruption type and scale and aerochemical property of the emissions. Their deposition would cause overestimation in the sulfate-based assessment of the impact of the Tambora eruption on Antarctic glaciers and be a reason for the discrepancy between the ice core records and the model simulation. The climatic perturbations propagated from VLV are required to be studied in-depth in the future.

POSTER 1.18

ПОСТЕР 1.18

**CONCENTRATION OF TRACE ELEMENTS IN SNOWPIT SAMPLES
FROM THE ANTARCTIC PLATEAU**

H. Hwang, J.-H. Kang, S.-B. Hong, Y. Han, S. Lee, S.D. Hur*

Korea Polar Research Institute, Incheon, Republic of Korea

** heejin@kopri.re.kr*

We present the record of trace elements including rare earth elements determined in the three snowpit samples from northern Victoria Land, Antarctica

by inductively coupled plasma-sector field mass spectrometry (ICP-SFMS) equipped with an Apex high efficiency sample introduction system. Snow samples were collected from the wall of the 3.0 (site A), 1.6 (site B), and 3.0 (site C) m depth snowpit at 0.05 m intervals, respectively. Sample preparations and analytical operations were carried out under ultraclean conditions, class 10 clean benches in class 1000 clean room at Korea Polar Research Institute, to avoid possible contamination of their extremely low concentrations of the elements in Antarctic snow. We estimated the age of the snowpit to cover approximately 4 years from 2010 to 2013/2014 for site A, from 2011 to 2014/2015 for site B, and from 2012 to 2015/2016 for site C, based on seasonal variations in $\delta^{18}\text{O}$, δD , and major ion values. The concentrations of 21 trace elements such as Ba, Sb, Tl, Bi, Th, U, Y, and REE were measured. The value range of trace metals at all sites is 0.2 to 125 pg g^{-1} for Ba, 0.02 to 1 pg g^{-1} for Sb, 0.008 to 0.4 pg g^{-1} for Tl, 0.004 to 0.3 pg g^{-1} for Bi, 0.02 to 58 pg g^{-1} for Th, 0.002 to 3.1 pg g^{-1} for U, 0.02 to 20 pg g^{-1} for Y, and 0.001-59 pg g^{-1} for REE .

POSTER 2.1

ПОСТЕР 2.1

**VERTICAL DISTRIBUTION OF GASEOUS AND AEROSOL AIR
COMPOSITION OVER THE KARA SEA**

*O.Yu. Antokhina, P.N. Antokhin, V.G. Arshinova, M.Yu. Arshinov,
B.D. Belan*, S.B. Belan, D.K. Da-vydov, G.A. Ivlev, A.V. Kozlov (IAO SP RAS),
Ph. Nedelec (UPS-CNRS), J.-D. Paris (CEA-CNRS), I.V. Ptashnik,
T.M. Rasskazchikova, D.E. Savkin, D.V. Simonenkov, T.K. Sklyadneva,
G.N. Tolmachev, A.V. Fofonov (IAO SP RAS)*

**ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГАЗОВЫХ
И АЭРОЗОЛЬНЫХ ПРИМЕСЕЙ ВОЗДУХА
НАД КАРСКИМ МОРЕМ**

*О.Ю. Антохина¹, П.Н. Антохин¹, В.Г. Аришинова¹, М.Ю. Аришинов¹,
Б.Д. Белан^{1*}, С.Б. Белан¹, Д.К. Давыдов¹, Г.А. Ивлев¹, А.В. Козлов¹,
Ф. Неделэк², Ж.-Д. Париж³, И.В. Пташник¹, Т.М. Рассказчикова¹,
Д.Е. Савкин¹, Д.В. Симоненков¹, Т.К. Скляднева¹,
Г.Н. Толмачев¹, А.В. Фофонов¹*

¹ — Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского
отделения РАН, г. Томск, Россия

² — Лаборатория аэрологии, Тулуза, Франция

³ — Лаборатория исследования климата и окружающей среды, Париж,
Франция

* *bbd@iao.ru*

Арктический регион в настоящее время привлекает особое внимание в связи с более быстрым, по сравнению с другими районами земно-

го шара, ростом температуры воздуха. Это потепление уже сказывается на деятельности Ледовитого океана и вызывает интерес к изменению состава воздуха над ним, как в результате повышения температуры, так и в результате поступления примесей извне. Исследования состава воздуха в Арктическом регионе чаще всего ведутся в приземном слое воздуха вдоль побережья Ледовитого океана. Для восполнения недостающих данных над океаном научное сообщество широко использует для исследования вертикального распределения газовых и аэрозольных примесей над Арктическим регионом самолеты-лаборатории. Это обусловлено тем, что спутниковые данные не имеют необходимой для потребностей моделирования точности. Однако, это не относится к территории Российского сектора Арктики. Здесь исследование состава воздуха выполнялось только в приземном (приводном) слое воздуха на дрейфующих станциях или с борта научно-исследовательских судов.

Для восполнения пробела в данных о вертикальном распределении газового и аэрозольного состава воздуха над Российским сектором Арктики в октябре 2014 года на самолете-лаборатории Ту-134 «Оптик» было выполнено зондирование атмосферы над акваторией Карского моря. В настоящей работе приводятся результаты этого зондирования.

Зондирование выполнялось 15–17 октября 2014 г. по маршруту Новосибирск – Салехард – Карское море – Салехард – Новосибирск и состояло из пяти участков, связанных с необходимостью дозаправки самолета в аэропортах вышеупомянутых городов. Во время перелетов между городами самолет выполнял несколько подъемов (до высоты $\approx 8,2$ км) и снижений до минимальной, безопасной для выполнения горизонтального полета, высоты. Над сушей это было 500 м, над водной поверхностью 200 м.

В ряде работ отмечается, что имеются определенные различия в распределении состава воздуха на границе континент – океан. Кроме того, океан обладает демпфирующим качеством, заключающемся в запаздывании максимума и минимума годового хода температуры воздуха относительно годового хода инсоляции. Поэтому, рассмотрение вертикальных распределений газового и аэрозольного состава проведены для трех пунктов: внутриконтинентального (Новосибирск), расположенного вблизи границы континент-океан (Салехард) и снятых непосредственно над океаном (Карское море). Отдельно проанализировано распределение примесей над тремя районами Карского моря.

Измерение вертикального распределения газового и аэрозольного состава воздуха, выполненное над Карским морем и прибрежными рай-

онами Российской Арктики, выявило ряд особенностей, не характерных для континентальных районов.

Вертикальные профили CO_2 над побережьем и океаном принципиально отличаются от внутриконтинентального. Над океаном, в слое от 200 до 4200 м концентрация меньше, чем в средней и верхней тропосфере. Это свидетельствует о том, что океан поглощает углекислый газ. Над побережьем (Салехард) при близости профилей, в пограничном слое все-таки концентрация CO_2 выше. По-видимому, на поверхности суши имеются небольшие источники углекислого газа.

Оксид углерода является предшественником диоксида и имеет природные и антропогенные источники поступления в атмосферу. Этот газ, следовательно, можно считать показателем чистоты воздуха в конкретном регионе. В отличие от CO_2 , который имеет над океаном пониженное значение, концентрация оксида углерода, несмотря на слоистость, во всем слое атмосферы находится в основном в пределах 90–110 мкг/м³.

Из полученных в эксперименте данных следует, что в период эксперимента поступление метана с поверхности Карского моря было заметно меньше (концентрация 1,95–1,96 млн⁻¹), чем с поверхности суши на континенте (1,97 млн⁻¹) и значительно меньше, чем с поверхности Васюганского болота (1,99 млн⁻¹). В свободной атмосфере концентрации метана близки между собой над всеми районами. Еще меньшие различия фиксируются над тремя районами Карского моря.

Наименьшие различия наблюдаются в вертикальном распределении озона над всеми районами исследования.

Имеются особенности в вертикальном распределении аэрозоля, которые заключаются в повышенном его содержании в верхней тропосфере и доминировании в химическом составе терригенных элементов. По-видимому, это обусловлено дальним переносом частиц из регионов с открытой подстилающей поверхностью.

В работе также проведено сравнение данных самолетного и спутникового зондирования на границе континент-океан в районе Карского моря, полученных в октябре 2014. Всего было использовано 11 синхронно измеренных профилей над континентальной частью и 7 над океаном. Оказалось, что для CH_4 и CO_2 характерно завышение концентрации в слое 0–8 км над континентальной частью Арктического региона и занижение над океаном. Завышение спутником концентрации метана над континентом составляет 28 млрд⁻¹ в пограничном слое и резко возрастает в средней (182 млрд⁻¹) и верхней (113 млрд⁻¹) тропосфере. Занижение

над океаном составляет в среднем 37 млрд⁻¹ в пограничном слое, 73 и 71 млрд⁻¹ в средней и верхней тропосфере. Над континентом различия в концентрациях CO₂, измеренных разными приборами, составляет в среднем в пограничном слое 18,2 млн⁻¹ и может изменяться от 3,2 до 26,5 млн⁻¹. В средней тропосфере (4 км) средние различия уменьшаются до 10,8 млн⁻¹. При этом диапазон различий даже несколько увеличивается до 0,6-25,5 млн⁻¹. В верхней тропосфере (8 км), средняя разница в показаниях обоих приборов уменьшается до 2,8 млн⁻¹. Над океаном занижение по амплитуде оказывается больше. При этом, для CO и O₃ сопоставление дало приемлимые результаты.

Работа выполнена в рамках государственного задания по проекту П.10.3.2, регистрационный № АААА-А17-117021310142-5, при поддержке грантов РФФИ № 18-45-700020 и № 19-05-50024.

POSTER 2.2

ПОСТЕР 2.2

**EXPERIENCE AND PROSPECTS OF APPLYING MODERN METHODS
WHEN WORKING WITH SNOW COVER
IN THE ARCTIC ARCHIPELAGOS**

I.I. Vasilevich, A.V. Shtannikov (AARI)*

**ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ
МЕТОДОВ ПРИ РАБОТЕ СО СНЕЖНЫМ ПОКРОВОМ
НА АРКТИЧЕСКИХ АРХИПЕЛАГАХ**

И.И. Василевич, А.В. Штанников*

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

** ii.vasilevich@gmail.com*

С конца XX века во всем мире растет интерес к полярным регионам Земли. Это связано с множеством причин, главными из которых являются внимание международных научного и бизнес сообществ к современным изменениям климата и последствиям этого процесса в Арктике. В частности, этому способствует открытие масштабных месторождений полезных ископаемых и перспективы развития логистического бизнеса. Исследования последствий изменения климата и освоение месторождений в арктических регионах включают в себя изучение трансформаций снежного и ледового покрова. В этом случае снежный и ледовый покровы выступают как индикаторы изменений климата, а также являются важным элементом при расчете изменений

водного баланса местных водосборных систем. Данную информацию необходимо учитывать при проведении гидрометеорологических изысканий во время проектирования или строительства инфраструктурных объектов, обеспечения их пресной водой, планирования и проведения безопасных логистических маршрутов.

Комплексные наблюдения за характеристиками снежного и ледового покровов на данный момент регулируются небольшим количеством руководящих документов, которые в основном применимы к умеренным широтам и горным районам, нежели чем к арктическим регионам. В этих документах не всегда учитываются такие особенности снежного покрова как большая высота, чрезвычайная плотность и неоднородность распределения. Производство наблюдений традиционными методами чаще всего крайне трудоемко и с их помощью не всегда можно достичь требуемого результата. Это связано с тем, что высота снежного покрова может превышать величину в 3 метра, а физические свойства снега могут приближаться к ледовым. Решение этих проблем можно реализовать либо традиционно, путем увеличения количества исполнителей работ, а также затрат времени или наоборот, либо с применением современных методов исследования снежного покрова.

При изучении характеристик залегания снежного и ледового покрова широкое распространение в последнее время получил метод радиолокации. Данный метод активно применялся в геологических работах, а в 80-х–90-х годах был применен при исследованиях ледников. С учетом развития материалов и технологий, а также отсутствием потребности в высокой мощности при работе со снежным покровом, размеры и энергопотребление излучателя и приемной антенны георадаров существенно снизились. С 2014 года георадар «Пикор-Лед» компании ФПК «Эстра» применяется при снегомерных работах сотрудниками отдела гидрологии устьев рек и водных ресурсов Арктического и Антарктического научно-исследовательского института в экспедициях «Север» на НИС «Ледовая база «Мыс Баранова», остров Большевик, архипелаг Северная Земля. Возможности прибора позволяют проводить измерения в точке и, что наиболее эффективно, в движении с записью профиля измерения с географической привязкой при использовании GPS-модема. Данный способ позволяет в довольно короткие сроки получать достоверную (на основании результатов ежегодной интеркалибрации) информацию о высоте снежного покрова и его стратификации (на предмет включения ледовых корок)

на маршруте. Максимальная измеряемая толщина снежного или ледового покрова составляет 10 метров. В качестве источника питания прибора используется USB-разъем сопряженного устройства (ударопрочный полевой ноутбук или планшет), что в сочетании с формой его корпуса позволяет крепить прибор к транспортному средству (автомобиль, вездеход, снегоход) и производить измерения в движении. Перспективность данного метода заключается в возможности крепления георадара к различным типам БПЛА при модернизации конструкции прибора. Известен опыт шведских коллег, успешно реализовавших данную идею. Важно также отметить невысокую стоимость данного прибора в сравнении с аналогами.

Вместе с развитием технологий стало доступно исследование испарения со снежного покрова гравиметрическим способом. В настоящее время существует весовое оборудование, работающее при низких температурах (от $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$), при этом сохраняющее высокую точность (1 грамм при пределе взвешивания 30 кг). Во время весеннего сезона экспедиции «Шпицберген-2020» планируется осуществление данного эксперимента. В перспективе создание измерительного весового устройства на столбчатых тензодатчиках, что существенно облегчит процесс измерения и позволит избавиться от человеческого фактора.

Одним из наиболее трудоемких этапов снегомерных работ является подготовка и описание шурфа, а также измерение плотности снежного покрова. Существенно облегчить и ускорить процесс в данном виде работ может «Snow Fork» — полевой измеритель диэлектрической проницаемости снежного покрова, разработанный в Финляндии. «Snow Fork» представляет собой зонд-вилку и контрольный блок. Данный прибор позволяет определять плотность и водный эквивалент исследуемого слоя снежного покрова, исследуемый слой должен быть не менее 5 см в высоту. Питание осуществляется через переносную 12-вольтовую свинцовую батарею, а масса всего комплекта составляет 4,5 кг. По приблизительным оценкам, применение данного прибора позволит сократить до половины время, затрачиваемое на работу в шурфе, при этом повышается качество и объем данных.

Совершенствование приборной и методической баз позволит сократить издержки при выполнении снегомерных работ одновременно с повышением качества и объема получаемых данных и возможно только при интересе и достаточном финансировании со стороны государства.

SEASONAL AND ANNUAL VARIABILITY OF GREENHOUSE GAS CONCENTRATIONS IN THE ARCTIC

*V.M. Ivakhov** (MGO), *N.N. Paramonova* (MGO), *T. Laurila* (FMI), *M.A. Loskutova* (AARI), *V.I. Privalov* (MGO), *M. Aurela* (FMI), *A.P. Makshatas* (AARI), *V.Yu. Kustov* (AARI)

СЕЗОННАЯ И ГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В АРКТИКЕ

*В.М. Ивахов¹**, *Н.Н. Парамонова¹*, *Т. Лаурилла²*, *М.А. Лоскутова³*, *В.И. Привалов¹*, *М. Аурела²*, *А.П. Макштас³*, *В.Ю. Кустов³*

¹ — Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова, Санкт-Петербург, Россия

² — Финский метеорологический институт, Хельсинки, Финляндия

³ — ГНИЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

* ivakhooo@mail.ru

Система наблюдений Росгидромета за атмосферной концентрацией основных долгоживущих парниковых газов (CO_2 и CH_4) в арктической зоне РФ состоит из 4 станций: Териберка (Кольский п-ов), Новый Порт (п-ов Ямал), Тикси (море Лаптевых, залив Сого) и научно-исследовательский стационар «Ледовая база Мыс Баранова» (ЛБМБ) (о. Большевик арх. Северная Земля). На первых трех станциях измерения выполняются путем отбора проб воздуха и последующего их анализа в газоаналитической лаборатории. Самый продолжительный ряд наблюдений приземной концентрации CO_2 (32 года) и CH_4 (24 года) на территории России продолжается формироваться на станции «Териберка». В рамках международного сотрудничества России, США и Финляндии на станциях Тикси и ЛБМБ были организованы непрерывные наблюдения CO_2 и CH_4 на базе прецизионного лазерного газоанализатора, работающего методом внутривибрационной лазерной спектроскопии. Мониторинг ПГ на всех станциях выполняется в соответствии с рекомендациями Всемирной метеорологической организации для станций, работающих по программе «Глобальная служба атмосферы», что позволяет корректно сравнивать данные наблюдений.

Диоксид углерода является самым значимым антропогенным ПГ в атмосфере Земли. Его вклад в радиационный форсинг (RF) составляет около 66 %. За последнее десятилетие ~ 82 % увеличения RF обусловле-

но влиянием CO_2 . Среднеглобальная концентрация CO_2 в 2018 г. составила $407,8 \pm 0,1$ млн⁻¹, увеличившись по сравнению с 2017 г. на 2,3 млн⁻¹ (Бюллетень ВМО по парниковым газам № 15 от 25 ноября 2019 г.).

На протяжении всего периода наблюдений на российских станциях содержание CO_2 в атмосфере северных широт непрерывно увеличивается. В 2019 г. уровень концентрации CO_2 достиг очередного максимума. Среднегодовое значение концентрации диоксида углерода на станциях, расположенных в фоновых условиях, приблизились к 414 млн⁻¹, а максимальные за год концентрации, наблюдаемые в зимние месяцы, превысили значение 420 млн⁻¹.

Сезонный ход CO_2 имеет ярко выраженную форму квазигармонического колебания с широким максимумом в зимний период, обусловленным глобальным ослаблением природного стока и усилением антропогенных эмиссий, и узким минимумом в летний период, связанного, главным образом, с возобновлением процессов фотосинтеза. Амплитуда сезонных вариаций достигает в среднем 20, 21, 20 и 27 млн⁻¹ в Териберке, Тикси, ЛБМБ и Новом Порте соответственно. Наиболее существенные особенности сезонного хода CO_2 наблюдаются на станции Новый Порт, подверженной влиянию мощных региональных источников, включая нефтяные и газовые месторождения Западной Сибири.

Метан — второй по значимости антропогенный долгоживущий парниковый газ. Его вклад в RF составляет около 17 %. Вклад антропогенных и естественных источников метана составляет приблизительно 60 % и 40 % соответственно. В 2018 г. средняя глобальная концентрация CH_4 в атмосфере достигла 1869 ± 2 млрд⁻¹, увеличившись на 10 млрд⁻¹ по сравнению с предыдущим годом.

На российских станциях также фиксируется увеличение содержания метана в атмосфере. В 2018 г. рост концентрации метана на российских станциях снизился по сравнению с периодом повышенного роста (2014–2017 гг.). Среднегодовое значение CH_4 увеличилось на 2,5 млрд⁻¹ на станции Териберка и 3,6 млрд⁻¹ на станции Тикси. Предварительные данные 2019 г. для станций Териберка и Тикси заметно отличаются по скорости роста, которая составила 11,3 млрд⁻¹ и 0,9 млрд⁻¹ соответственно. Минимум сезонного хода CH_4 приходится на летние месяцы, а максимум — на зимние, когда сток метана в результате химических реакций в атмосфере с гидроксидом, радикалами хлора и кислорода минимален. В Териберке, Тикси и ЛБМБ амплитуда сезонных вариаций составляет около 60 млрд⁻¹. На станции Новый Порт амплитуда сезонного хода достигает в среднем 150 млрд⁻¹. Повышенные уровни концентрации на станции Новый Порт свидетельствуют о влиянии региональных источников.

**CARBON DIOXIDE VARIABILITY AT RESEARCH STATION
"ICE BASE CAPE BARANOVA" DURING 2015–2019**

M. Loskutova^{1*}, *A. Makshtas*¹, *T. Laurila*², *E. Asmi*²

¹ — *State Scientific Center of the Russian Federation Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia*

² — *Finnish Meteorological Institute, Helsinki, Finland*

* *loskutova@aari.ru*

The Arctic region is one of the main areas of greenhouse gases sources due to large amount of biomass, carbon stocks in the soil and extensive wetlands. Large resources of previously inactive organic carbon may take part in atmospheric chemical reactions under melting permafrost conditions. In this case, carbon dioxide concentrations will increase in the atmosphere. Since 2015 Arctic and Antarctic Research Institute in cooperation with Finnish Meteorological Institute have been measuring the continuous concentrations of water vapor, methane, carbon dioxide and carbon monoxide at Research Station "Ice Base Cape Baranova" (79° 18' N, 101° 48' E, 30 m asl.) using cavity ringdown spectroscopy (CRDS) analyzer Picarro G2401. The sampling inlet is located at 10 m height.

Data preprocessing consists of deleting values obtained during power failures and 2 minutes after calibration. The values for wind directions corresponding to the transfer from diesel power station (90–145°) and for wind speeds less than 3 m/s were also discarded because in this case polluted air may be distributed over the station homogeneously. After that data were adjusted taking into account the nearest calibration values by linear interpolation. The archive of carbon dioxide concentrations data averaged over each hour from October 2015 to December 2019 was used for further analysis.

CO₂ time series are characterized by a pronounced annual variation with concentration decreasing in summer months. The absorption by sea phytoplankton in the absence of sea ice cover causes the annual variability of carbon dioxide. Besides, the predominant presence of stable stratification of the atmospheric surface layer throughout the polar night contributes to accumulation of the gas in the surface layer in winter. The annual amplitude is 18–20 ppm approximately, which is consistent with the data of Alert and Barrow polar stations.

The analysis of the dependence of registered concentration distribution on the wind direction shows that the highest values are observed during the

air-mass transfer from the south-western and northern directions. If the first case can be explained by the anthropogenic impact and presence of extensive wetlands in the summer, the reason for the second one requires a more detailed analysis. Applying the HYSPLIT trajectory model for cases of elevated values of greenhouse gas concentrations did not allow us to obtain an unambiguous answer. Although elevated values were observed, as a rule, when air masses transferred from the regions of Norilsk, Yamal, the Kola Peninsula, and Lena estuary, however, there were cases of elevated concentrations during the transfer of air masses from the Arctic Ocean. This may be due to the action of any local sources, but their detection requires additional data analysis. The work had been executed in frame of CNTP Roshydromet 1.5.3.3.

POSTER 2.5

ПОСТЕР 2.5

**FIELD-BASED EXPERIENCE OF THE TEMPERATURE
STRATIFICATION AND WATER VAPOR SOUNDING BY USING THE
REMOTE SENSING EQUIPMENT IN ARCTIC**

A.P. Makshas (AARI), G.N. Ilyin (IAA RAS), V.Yu. Bykov (IAA RAS),
V.Yu. Kustov (AARI), D.D. Rize (AARI), E.A. Miller (R.P.O. "ATTEX"),
A.V. Troitsky (UNN)*

**СТАБИЛЬНОСТЬ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ ТУНДРОВЫХ ОПЫТ
ПРИМЕНЕНИЯ АППАРАТУРЫ
ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ
АТМОСФЕРЫ В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ**

А.П. Макшас¹, Г.Н. Ильин^{2}, В.Ю. Быков², В.Ю. Кустов¹, Д.Д. Ризе¹,
Е.А. Миллер³, А.В. Троицкий⁴*

¹ — ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

² — Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург, Россия

³ — НПО «Атмосферные технологии», г. Долгопрудный,
Московская область, Россия

⁴ — Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

** igen@iaaras.ru*

Современные наземные автоматические радиометрические комплексы дистанционного зондирования атмосферы, измеряющие мощность собственного излучения атмосферы в сверхвысокочастотном (СВЧ) диапазоне длин волн, обеспечивают возможность получения данных о ряде параметров атмосферы в режиме реального времени. К таким па-

раметрам относятся интегральное содержание водяного пара в столбе единичной площади, г/см^2 (далее влагосодержание), водозапас облаков (кг/м^2), вертикальный профиль температуры атмосферы в пограничном слое (до высот 1000 м и более над местом установки) и другие. Первые два параметра измеряются двухчастотным СВЧ радиометром по оценкам мощности излучения атмосферы в окрестностях линии излучения водяного пара 22,235 ГГц (на частотах 20,7 ГГц и 31,4 ГГц). Для получения данных о вертикальном профиле температуры атмосферы применяется аппаратный комплекс МТР-5, представляющий собой радиометр, измеряющий мощность излучения атмосферы на низкочастотном склоне линии излучения кислорода (60 ГГц).

Аппаратные комплексы обеспечивают потребителя потоком данных, отличающихся высоким временным разрешением (РВП до 10 с и МТР-5 — 300 с), что позволяет непрерывно отслеживать динамику изменения измеряемых параметров в местах размещения аппаратуры. РВП и МТР-5 отличаются высокой чувствительностью к изменению мощности радиоизлучения атмосферы, что позволяет практически исключить влияние аппаратных шумов на точность измеряемых параметров.

Аппаратные комплексы РВП и МТР-5 были использованы в работе морской экспедиции «ТРАНСАРКТИКА 2019» на борту научно-экспедиционного судна «Академик Трёшников», а в настоящее время развернуты в Научно-исследовательском стационаре «Ледовая база Мыс Баранова».

В докладе представлены предварительные результаты анализа качества работы аппаратного комплекса в сложных климатических условиях, а также отдельные результаты дистанционных измерений параметров атмосферы. На основе анализа полученных данных сформулированы следующие выводы.

1. Данные радиометрического зондирования отличаются высоким временным разрешением (РВП до 10 с, МТР-5 — 300 с) и разрешением по амплитуде измеряемых параметров. Экспериментально установлены минимальные измеряемые РВП значения влагосодержания и водозапаса облаков, лимитированные чувствительностью радиометрической аппаратуры и точностью модели расчета параметров: $0,15\text{--}0,2 \text{ г/см}^2$, $0,02 \text{ кг/ м}^2$, соответственно.

2. Радиометрическая аппаратура дистанционного зондирования атмосферы продемонстрировала надежность в работе и практически не требует ресурсов на ее обслуживание. Аппаратура работает в автоматическом режиме и обеспечивает потребителя потоком данных в режиме

реального времени. Программное обеспечение управляющего компьютера отличается дружелюбным интерфейсом и снабжено окнами, в которых в графическом виде выводятся измеряемые параметры.

3. Сравнение результатов измерений комплексов РВП и МТР-5 с данными аэрологических зондирований, выполненных в период экспедиции «ТРАНСАРКТИКА 2019» и полученных на НИС «Ледовая база Мыс Баранова» в октябре – декабре 2019 г., показали их хорошее соответствие и возможность использования для долговременного мониторинга характеристик пограничного слоя атмосферы, влагосодержания тропосферы и водозапаса облаков в полярных районах с высоким временным разрешением. Оценки влагосодержания по данным РВП отличаются в меньшую сторону по сравнению с данными аэрологического зондирования. Разность значений влагосодержания составила 0,08 г/см² (среднее значение), а СКО — 0,05 г/см².

POSTER 2.6

ПОСТЕР 2.6

**VALIDATION AND SELECTION OF CMIP5 CLIMATE MODELS FOR
MAIN FACTORS AFFECTING *E. HUXLEYI* BLOOMS
IN THE ARCTIC**

I.V. Radchenko^{1*}, *N.V. Gnatiuk*¹, *R. Davy*², *D.V. Pozdnyakov*¹, *L.P. Bobylev*¹

¹ — *Nansen International Environmental and Remote Sensing Center,
St. Petersburg, Russia*

² — *Nansen Environmental and Remote Sensing Center, Bergen, Norway*

* *iuliia.radchenko@niersc.spb.ru*

The Arctic is warming more than two times stronger compared to global mean. These changes, in turn, have a significant impact on marine ecosystems, in particular, *Emiliana huxleyi* (*E. huxleyi*) blooms occur more often in the northern seas. *E. huxleyi* is a small (several micrometers) calcifying alga that covers large sea areas (till several hundred km²) during its blooming. The coccolithophore influences the sulphur cycle through the generation of sulfate aerosols, which play a role in cloud formation and in the scattering of solar radiation in the atmosphere. During the calcification procedure, *E. huxleyi* produces the calcite and releases carbon dioxide into the atmosphere. Therefore, *E. huxleyi* may influence the warming and cooling effect on the global climate, and it is important to study its future changes.

The main aim of the research is to validate CMIP5 atmosphere-ocean General Circulation Models and to select a subset of CMIP5 climate models that have best skill in capturing features over historical period (1979/1993– 2005) of five main abiotic factors that influence *E. huxleyi*

blooming: sea surface temperature, sea salinity (top 30 m), surface ocean current speed, near-surface wind speed, and surface shortwave downwelling solar radiation in six studied seas — the Barents, Bering, Greenland, Labrador, North and Norwegian seas. We propose a new methodology for ranking and selection climate models that best (most close to observations) reproduce spatio-temporal variability of selected parameters over the historical period.

In total, 34 CMIP5 climate models were validated against the reanalyses data (Era-Interim and GLORYS2V4) using such statistical metrics as correlation coefficient, the difference between observed and model data standard deviation, root mean square error, and climate prediction index (the ratio of root mean square error to standard deviation of observational data). These metrics were used to analyse the seasonal cycle and interannual variability of the considered factors for the studied seas during the blooming season (June-September for the Barents Sea, January-December for the Bering Sea, June-August for the Greenland Sea, June-September for the Labrador Sea, May-July for the North Sea, May-August for the Norwegian Sea). Besides, spatial biases and trends for the blooming season were applied in the analysis using mean values and its amplitude (maximum-minimum) for six Arctic and sub-Arctic seas.

The selection of CMIP5 models was performed in the study using the proposed percentile ranking approach. The distribution of values of a statistical measure for each model was divided into 4 groups: 25th percentile — very good models with the assigned score of 3, 50th percentile – good models with the assigned score of 2, 75th percentile — satisfied models with the assigned score of 1, and more than 75th percentile — unsatisfied models with score of 0. Further, the total score of each statistical measure was obtained individually for each climate model and used for the final ranking. Finally, the models were ranked with their total score and the top 25 % were selected.

In total, we analysed 30 combinations of six study sea and 5 influencing *E. huxleyi* bloom factors and individually select the best models for each combination. The number of selected climate models that are included in a subset of selected CMIP5 models for each studied forcing factor and sea varies from 7 to 11. The results show that there is no identical set of models or a top model that can equally reproduce spatio-temporal variability of all studied factors and seas. This improves that it is very important to analyse the ability of climate models to reproduce regional climate features in particular certain parameters for each target research task individually.

Besides, we compared the proposed percentile ranking approach with a commonly used method of averaging of all available climate models (full- model ensemble). By comparing the results of 30 selected combinations

with the corresponding full-model ensembles we can conclude that the selected CMIP5 subsets generally show much higher skills in reproducing the variables during the historical period than the full-model ensemble.

Further, we plan to study the future changes in the studied abiotic factors influencing *E. huxleyi* bloom in six Arctic and sub-Arctic seas under RCP4.5 and RCP8.5 greenhouse gas concentration trajectories using the selected CMIP5 climate models subsets.

The study was carried out under the financial support from the Russian Science Foundation (project No. 17-17-01117).

POSTER 2.7

ПОСТЕР 2.7

LONG-RANGE ATMOSPHERIC TRANSPORT OF BIOMASS BURNING PRODUCTS FROM WILDFIRES IN SIBERIA INTO THE ARCTIC

S.A. Sitnov (OIAP RAS), I.I. Mokhov (OIAP RAS, MSU)*

ДАЛЬНИЙ АТМОСФЕРНЫЙ ПЕРЕНОС В АРКТИКУ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ П+РИ+ МАССОВЫХ ПОЖАРАХ СИБИРСКИХ ЛЕСОВ

С.А. Ситнов^{1}, И.И. Мохов^{1,2}*

¹ — *Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия*

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

** sitnov@ifaran.ru*

Представлены результаты анализа дальнего переноса продуктов горения от природных пожаров в субарктическую зону и Арктику в связи с особенностями крупномасштабной атмосферной циркуляции, в частности при атмосферных блокировках. С продолжительными летними атмосферными блокировками связаны периоды аномально высокой приповерхностной температуры, отсутствие осадков, почвенная засуха, увеличение риска возникновения и развития массовых лесных пожаров. Вместе с тем атмосферные блокировки могут также способствовать дальнему переносу в атмосфере различных примесей, в том числе продуктов горения лесов.

Массовые лесные пожары являются важным источником углеродосодержащих газов и аэрозольных частиц в атмосфере. В частности, на территории России, лесные пожары – ключевой источник черного углерода (black carbon, BC) — существенного фактора влияния на климатические изменения в Арктике. BC является составляющим элементом мелкодисперсного аэрозоля, поглощающим солнечную радиацию в видимом диапазоне длин волн. В атмосфере BC может переноситься и

осаждаться на заснеженные и ледяные поверхности, уменьшая альбедо и способствуя их дополнительному нагреву и таянию.

Результаты анализа многолетних тенденций пожарной активности на территории Сибири за последние 20 лет свидетельствуют о регулярном проявлении пожаров в сибирских лесах на фоне сильной межгодовой и внутригодовой изменчивости. Отмечается слабый рост регионального количества пожаров (N) и их суммарной радиационной мощности I_{Σ} . При этом тренды N и I_{Σ} в связи с высокой изменчивостью статистически незначимы. Отношение I_{Σ} к N определяет радиационную мощность среднего пожара I_m и характеризуется существенно меньшим коэффициентом вариации (16 %), что позволило получить статистически обоснованные оценки многолетних тенденций. Полученные оценки свидетельствуют, что изменения I_m в летние периоды 2000–2019 гг. в целом характеризуются ростом, с положительным статистически значимым линейным трендом $1,7 \pm 1,0$ %/год.

Совместный анализ вариаций среднемесячного количества сибирских пожаров и аномалий содержания ВС, СО и аэрозоля в арктической атмосфере свидетельствует об их тесной связи. В частности, максимумам пожаров, отмечавшимся в 2002, 2003, 2008, 2012 и 2019 гг. сопутствует повышенное содержание продуктов горения в атмосфере Арктики. При этом корреляция среднемесячных аномалий содержания ВС в арктической атмосфере с аномалиями количества сибирских пожаров в период 2000–2019 гг. достигает $r = 0,69$ (0,61, 0,76) (в скобках — 95 % доверительный интервал для r).

Еще более тесная связь отмечена для ежегодных вариаций содержания ВС в атмосфере Арктики в пожароактивный период года (апрель–сентябрь) с ежегодным количеством сибирских пожаров: $r = 0,81$ (0,56, 0,92). На основе соответствующей линейной регрессии можно оценить чувствительность изменения регионального содержания черного углерода в апреле–сентябре в атмосфере российского сектора Арктики к изменению ежегодного количества пожаров в Сибири: в среднем $3,6 \cdot 10^{12}$ кг·м⁻² для каждого пожара.

Анализ механизмов дальнего переноса в атмосфере Северной Евразии продуктов горения, в частности переноса ВС в арктическую атмосферу при массовых лесных пожарах в Сибири в 2000–2019 гг., выявил тесную связь крупномасштабных загрязнений атмосферы продуктами горения с особенностями атмосферной циркуляции, характерными для различных типов атмосферного блокирования. В частности, аномальный (с востока на запад) дальний перенос продуктов горения в атмосфере Северной Евразии при массовых сибирских пожарах в июле

2016 г. и перенос продуктов горения в арктическую атмосферу при катастрофических сибирских пожаров в июле 2019 г. был связан с особенностями атмосферной циркуляции, характерными для атмосферного блокирования дипольного типа.

Сопоставление вариаций общего содержания ВС по данным MERRA-2 с вариациями приземной концентрации ВС по данным полярной обсерватории Тикси ($71,6^\circ$ с.ш., $128,9^\circ$ в.д.) при заносе ВС от сибирских пожаров в Арктику в конце июля 2016 г. выявляет высокую корреляцию вариаций локальной концентрации ВС и интегрального содержания ВС в атмосферном столбе ($r = 0,93$) в период прихода в Тикси воздушных масс, прошедших над районами интенсивных пожаров в Центральной Сибири.

Работа выполнена в рамках проектов РФФИ (17–29–05098, 18–05–60111). Анализ особенностей связи региональных процессов при дальнем атмосферном переносе выполнялся в рамках проекта РНФ (19–17–00240).

POSTER 2.8

ПОСТЕР 2.8

**CURRENT VARIABILITY OF ENERGY EXCHANGE
WITH THE ATMOSPHERE IN THE BARENTS SEA**

G.V. Surkova, V.A. Romanenko (MSU)*

**СОВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЭНЕРГООБМЕНА
С АТМОСФЕРОЙ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ**

Г.В. Суркова, В.А. Романенко*

Кафедра метеорологии и климатологии, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

** galina_surkova@mail.ru*

Важнейший вклад в формирование энергетики климатической системы вносит взаимодействие атмосферы с подстилающей поверхностью. В высоких широтах на фоне малых значений радиационного баланса роль нерадиационных механизмов, в частности, турбулентного обмена между поверхностью и атмосферой и скрытого переноса тепла возрастает. Особенно важна их роль над морями Арктики. В Баренцевом море в среднем за год более 60 % теплоотдачи в атмосферу регулируется потоками явного и скрытого тепла. На фоне современных изменений климата меняется не только величина потоков и их пространственное распределение, но и характер теплообмена, его сезонная и многолетняя изменчивость, что, в свою очередь влияет и на состояние атмосферы.

Изучение теплообмена является крайне важным пунктом современной климатологии, поскольку региональные тренды проявления глобального потепления ведут к различным последствиям в Арктике. Понимание современных особенностей взаимодействия океана и атмосферы в Арктическом бассейне может позволить минимизировать неблагоприятные последствия климатических изменений в данном регионе.

Количественная оценка величины этих потоков над морями особенно затруднена, где регулярные измерения осуществляются только в прибрежных районах. В открытом же море прямые измерения осуществляются в ходе экспедиционных наблюдений или определяются по измерениям дрейфующих станций, поэтому непостоянны в пространстве и времени.

В работе исследуется сезонная и многолетняя изменчивость потоков явного и скрытого тепла над Баренцевым морем за период 1979–2016 гг. по данным реанализа ERA-Interim (каждые 6 ч., $0,125 \times 0,125$ градусов вдоль широты и долготы).

В проведенном исследовании выявлено, что в целом за год над всей акваторией Баренцева моря поток явного тепла направлен в атмосферу, достигая максимумов у берегов Скандинавского и Кольского полуостровов, а также у берегов о. Южный архипелага Новая Земля (70 Вт/м^2), поскольку через данные территории проходит ось Северо-Атлантического течения и различия между температурой поверхности океана и атмосферой наибольшие. Наименьший поток явного тепла наблюдается над северными, покрытыми льдом районами моря (менее 20 Вт/м^2).

Среднегодовой поток скрытого тепла над океаном также наибольший над южной, юго-западной и юго-восточной частями Баренцева моря ($120 - 100 \text{ Вт/м}^2$), там, где проходит ось Северо-Атлантического течения и где большую часть года не наблюдается ледовый покров. Кроме того, в данных районах активны процессы плавления и кристаллизации льда, привносимого дрейфовыми течениями с более северных регионов Карского моря через пролив Карские ворота, что только усиливает поток в атмосферу. Над севером Баренцева моря поток скрытого тепла небольшой (до 20 Вт/м^2), поскольку оно покрыто льдом большую часть года.

Годовой ход потоков явного тепла имеет следующие закономерности. Северная часть моря, севернее 77° с.ш. зимой покрыта льдом, поэтому в январе–марте поток тепла направлен от атмосферы к океану и имеет положительные значения. В остальные месяцы над севером поток тепла направлен от моря к атмосфере, однако его величины небольшие (не более 30 Вт/м^2), поскольку вода имеет крайне низкую температуру

даже в августе–сентябре. В южной части моря, в особенности в районе теплого течения, поток явного тепла весь год направлен от океана в атмосферу, достигая максимума в январе–феврале (120 Вт/м^2), когда вертикальный градиент температуры максимальный.

Поток скрытого тепла направлен от океана в атмосферу. В период с ноября по апрель прослеживается большое различие в потоках между теплыми прибрежными районами Скандинавского и Кольского полуостровов, где активны фазовые процессы плавления и кристаллизации льда, и северными, покрытыми льдом акваториями, в которых он стремится к нулю. В июле–сентябре на всем Баренцевом море отсутствует сплошной ледовый покров, процессы фазовых переходов выражены слабо, следовательно, потоки скрытого тепла небольшие. Однако существует дифференциация между севером и югом. На юге потоки несколько больше (до 40 Вт/м^2) за счет частых фазовых переходов, вызванных испарением воды и таянием льдов, привносимых с холодного Карского моря через пролив Карские ворота. Над самым севером Баренцева моря, в особенности в районе архипелага Земля Франца Иосифа, поток скрытого тепла практически нулевой (до 10 Вт/м^2), так как там даже в летний период температуры воздуха отрицательные и испарение воды с океана незначительное.

POSTER 2.9

ПОСТЕР 2.9

**KOPRI'S AEROSOL RESEARCH PROGRAM —
STATUS AND KEY FINDINGS**

Young Jun Yoon¹, Ki-Tae Park¹, Jiyeon Park¹, Yeontae Gim¹, Jin Hee Choi¹,
Hyo Jin Kang^{1,3}, Jaeseok Kim^{1,2}, Bang Yong Lee¹*

¹ — Korea Polar Research Institute (KOPRI), Incheon, Republic of Korea

² — Korea Research Institute of Standards and Science (KRISS), Daejeon, Republic of Korea

³ — University of Science and Technology (UST), Daejeon, Republic of Korea

** yjyoon@kopri.re.kr*

1. Introduction

Understanding the direct and indirect effects of atmospheric aerosol particles on the solar radiation transfer in the atmosphere is an important issue in atmospheric science. Atmospheric particles play an important role in the radiation transfer process, with direct effects through scattering and absorption of solar radiation and indirect effects by acting as cloud condensation nuclei (CCN) for cloud droplets. To understand the sources and processes related to atmospheric aerosols, long-term observations for different regions are

crucial since characteristics of aerosols vary temporally and spatially. Korea Polar Research Institute (KOPRI) has operated continuous aerosol monitoring program at various research platforms, King Sejong Station in Antarctic Peninsula, Zeppelin station in Svalbard, and icebreaker R/V *Araon*, since 2009. In the presentation, key findings from the above mentioned continuous aerosol and precursor gas measurements are elucidated.

2. Methods

King Sejong Station

Continuous observations of the physical properties of aerosol particles have been carried out since March 2009 at King Sejong Station (62.22° S, 58.78° W) in the Antarctic Peninsula. The aerosol properties were observed with various instruments including two condensation particle counters (CPCs) for aerosol concentration, an aethalometer for black carbon concentration, a cloud condensation nuclei counter (CCNC), and a scanning mobility particle sizer (SMPS) for aerosol number size distributions.

Zeppelin station

Zeppelin station is located at an elevation of 474 m above sea level (m.a.s.l) and 2 km south and southwest from the scientific village, Ny- Ålesund, Svambard. KOPRI has run a CCNC to measure CCN concentrations at supersaturations (SS) of 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 and 1 % since 2007. In addition, an analytical system to measure the concentration of atmospheric Dimethylsulphide (DMS_(g)) has been deployed since 2010. The DMS system includes a component for DMS trapping and a gas chromatography (GC) equipped with a pulsed flame photometric detector (PFPD) for DMS_(g) concentration quantification

R/V Araon

The Korean icebreaker R/V *Araon* has used to monitor not only for the ambient aerosol measurements, but also for the particle generation in-situ bubbling experiments. To investigate the connections between sea spray aerosols (SSA) properties and seawater organic matter (OM) in the Arctic, KOPRI team conducted aerosol-generation chamber experiments onboard the *Araon* in 2017. SSA particles were produced onboard using a laboratory- scale sea spray tank and CPCs, SMPS were deployed to characterise the physical properties. In addition, the concentration of transparent exopolymer particles (TEP) were analyzed based on the colorimetric method

3. Key findings

Frequent particle formation events in Antarctic environment

From the analysis of the Antarctic King Sejong Station data, clear seasonal cycles of the total particle concentration (CN) were found. The mean monthly concentration of particles larger than 2.5 nm (CN2.5) was highest during the austral summer (mean value: $1080.39 \pm 595.05 \text{cm}^{-3}$), and the lowest during

the austral winter (mean value: $197.26 \pm 71.71 \text{ cm}^{-3}$). Frequent new particle formation (NPF) events were also observed, and the concentration varied from 1707 cm^{-3} to 83.120 cm^{-3} , (mean value: $20.649 \pm 9.290 \text{ cm}^{-3}$). The duration of the NPF events ranged from 0.6 h to 14.4 h (mean: 4.6 ± 1.5 h). The NPF event dominantly occurred during austral summer period ($\sim 72\%$). The CCN concentration during/after the NPF period increased approximately 11 % compared with the background concentration.

Clear seasonal variation of CCN concentration in Arctic environment

The long-term CCN measurement from the Zeppelin station demonstrated that annual median CCN concentration at a supersaturation (SS) of 0.4 % range from 45 cm^{-3} to 81 cm^{-3} . The monthly median CCN number density varied between 17 cm^{-3} in October 2007 and 198 cm^{-3} in March, 2008. The CCN to total particle number concentration ($> 10 \text{ nm}$) ratio shows a maximum during March and minimum during July. The springtime high CCN concentration is attributed to high load of accumulation mode aerosol transported from the mid-latitudes, known as Arctic Haze. CCN concentration remains high also during Arctic summer due to the source of new CCN through particle formation followed by consecutive aerosol growth.

Elucidating evidence relating the phytoplankton blooms with DMS- derived aerosols

Continuous $\text{DMS}_{(g)}$ from the Zeppelin station revealed that during the phytoplankton bloom period the contribution of DMS-derived SO_4^{2-} to the total aerosol SO_4^{2-} increased by 7-folds compared with that during the preceding Arctic haze period, and accounted for up to 70 % of fine SO_4^{2-} particles ($< 2.5 \mu\text{m}$ in diameter). The results also showed that the formation of submicron SO_4^{2-} aerosols was significantly associated with an increase in the $\text{DMS}_{(g)}$ mixing ratio. In addition, a comparison study of NPF in Antarctic peninsula and satellite derived marine biological characteristics revealed that that DMS(P)-rich phytoplankton were more dominant in the Bellingshausen Sea than in the Weddell Sea. Furthermore, the number concentration of nanoparticles was positively correlated with the biomass of phytoplankton during the period when DMS(P)-rich phytoplankton predominate. The above mentioned results indicate that oceanic DMS emissions could play a key role in the formation of new particles; moreover, the taxonomic composition of phytoplankton could affect the formation of new particles.

Effective contribution of riverine organic matter to primary aerosol production

The aerosol bubbling experiment onboard the *Araon* revealed the fact that both sea salt and organic matter (OM) significantly influenced the SSA production. The transparent exopolymer particles (TEP) was found the best indicator correlating positively with the ratio number concentration of SSA/ salinity.

**HIGH-RESOLUTION ISOTOPIC EVIDENCE FOR A POTENTIAL
SAHARAN PROVENANCE OF GREENLAND GLACIAL DUST**

K. Lee^{1}, C. Han¹, S.-D. Hur¹, S. Hong²*

¹ — *Korea Polar Research Institute (KOPRI), Incheon 21990, Republic of Korea*

² — *Inha University, Incheon, Republic of Korea*

** leekh@kopri.re.kr*

Dust concentrations in Greenland ice show pronounced glacial/ interglacial variations with almost two orders of magnitude increase during the Last Glacial Maximum. Greenland glacial dust was previously sourced to two East Asian deserts: the Taklimakan and Gobi deserts. Here we report the first high-resolution Pb and Sr isotopic evidence for a significant Saharan dust influence in Greenland during the last glacial period, back to ~31 kyr ago, from the Greenland NEEM ice core. We find that during Greenland Stadials 3–5.1 (~ 31 to 23 kyr ago), the primary dust provenance was East Asia, as previously proposed. Subsequently, the Saharan isotopic signals emerge during Greenland Stadials 2.1a–2.1c (~ 22.6 to 14.7 kyr ago) and from the late Bølling-Allerød to the Younger Dryas periods (~ 13.6 to 12 kyr ago), coincident with increased aridity in the Sahara and efficient northward transport of dust during these cold periods. A mixing isotopic model proposes the Sahara as an important source, accounting for contribution to Greenland glacial dust of up to 50 %, particularly during Greenland Stadial 2.1b and the late Bølling-Allerød to the Younger Dryas periods. Our findings provide new insights into climate-related dust provenance changes and essential paleoclimatic constraints on dust-climate feedbacks in northern high latitudes.

**TUNDRA SOIL MICROBIOME AND ITS RESPONSES
TO PERMAFROST THAW IN THE ARCTIC**

Mincheol Kim^{}, Bang Yong Lee, Binu M. Tripathi, Ji Young Jung,*

Min Jung Kwon, Nu Ri Myeong, Sungjin Nam, Yoo Kyung Lee

Korea Polar Research Institute (KOPRI), Incheon 21990, Republic of Korea

** mincheol@kopri.re.kr*

Increased permafrost thaw due to rapid climate warming accelerates the degradation of soil organic matter in the Arctic. There have been numerous studies on the effects of permafrost thaw on greenhouse gas (GHG) flux and carbon cycling, but the permafrost thaw-induced soil microbiome changes

and mechanistic links of microbial processes to GHG and soil geochemistry dynamics have not been well elucidated. Here we introduce soil microbiome studies which have been conducted by KOPRI permafrost microbiome team and present key results of our studies in the Arctic. First, we examined changes in microbial communities using shotgun metagenomics on an Arctic floodplain (Chersky, Russia) subject to decadal drainage, and linked microbial metabolism to GHG flux (CO_2 and CH_4) and soil geochemistry. Permafrost thaw-induced drainage result in noticeable shifts in microbial communities and their potential functions due to changes in soil environment from anoxic to oxic conditions in response to drainage, and these modifications well explained changes in CO_2 and CH_4 emissions. Second, we investigated shifts in microbial community composition and potential functions with increasing depth in Alaskan soil cores. There were distinct depth-wise pattern in microbial profiles among soil cores, and potential functions of soil microbiome significantly differed by different soil horizons. More interestingly, we found strong positive correlations between methane trapped in cores and methanogens, suggesting the strong linkage between microbial activity and methane production in subsurface soils. Last, we performed a soil incubation study to understand how methane cycle is modulated by microbial community changes driven by different temperatures and incubation times under anaerobic condition. We identified key microbial players which play pivotal roles in modulating methane metabolism under altered conditions. These results will help us to gain a better mechanistic understanding of microbial processes regulating methane dynamics in response to permafrost thaw.

POSTER 2.12

ИОСТЕП 2.12

**TRACING THE DUST SOURCES AND TRANSPORT PATTERNS
USING PB ISOTOPES IN GREENLAND SNOW**

J.-H. Kang, H. Hwang, S.-B. Hong, S.D. Hur*

Korea Polar Research Institute, Incheon, Republic of Korea

** jhkang@kopri.re.kr*

Polar ice sheets conserve atmospheric aerosols at the time of snowfall, which can be used to reconstruct past climate and environmental conditions. We have investigated mineral dust concentration, major ions, Pb concentration and Pb isotopes in a snowpit obtained from the northwestern Greenland ice sheet near the North Greenland Eemian Ice Drilling (NEEM) camp in June 2009. Air-mass trajectories have been calculated to trace dust deposits back to their source area. The back trajectory analysis suggest that major contributor to Greenland aerosol was air mass passing over Canadian Arctic and North

America. Several trajectories reached back to Asian dust source regions. Abrupt changes in Pb concentrations and Pb isotope ratios were observed and related to seasonal shifts in source regions of aerosol transport. The $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ isotope ratio increased gradually between 2003 and 2009. The similarity of the three-isotope plot ($^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ versus $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$) between some of our samples and Chinese urban aerosols. These results indicate the Pb reaching northwest Greenland originates from several potential source areas, with an increasing contribution from coal consumption in China. The mineral dust deposited at NEEM was strongly influenced by long-range atmospheric transport and dust input from source areas in northern China.

POSTER 2.13

ПОСТЕР 2.13

**TIKSI, CAPE BARANOVA AND PALLAS OBSERVATORIES AS
MONITORING SITES FOR GREENHOUSE GAS CONCENTRATIONS
IN THE ARCTIC ATMOSPHERE**

T. Laurila¹, J. Hatakka¹, M. Aurela¹, E. Asmi¹, V. Ivakhov², M. Loskutova³,
V. Kustov³, A. Makshtas³*

¹ — *Finnish Meteorological Institute, Helsinki, Finland*

² — *Voeikov Main Geophysical Observatory, St. Petersburg, Russia*

³ — *State Scientific Center of Russian Federation Arctic and Antarctic Research
Institute, St. Petersburg, Russia*

** tuomas.laurila@fmi.fi*

During the preindustrial era, tropospheric concentrations of carbon dioxide and methane were about 280 ppm and 0.8 ppm, respectively. Anthropogenic emissions and land use change have increased concentrations so that at the Arctic stations Cape Baranova and Pallas, 2019 annual average concentrations of carbon dioxide were 412.9 and 413.3 ppm, respectively. Relatively increase of methane concentrations are even more. Yearly average concentration in 2019 at Cape Baranova was 1.961ppm and at Pallas 1.965 ppm. Pallas in northern Finland is WMO Global Atmosphere Watch station operated by the Finnish Meteorological Institute (FMI). Measurements of carbon dioxide started in 1997. At the Cape Baranova station, as a co-operation between AARI and FMI, we started greenhouse gas concentration measurements in October 2015. Co-operation has even longer history at the station of Tiksi. At this site, measurements started in 2010 using measurements system and WMO traceable calibration gases provided by FMI.

Atmospheric greenhouse gas concentrations integrate the effect of all natural and anthropogenic sources and sinks. In the troposphere greenhouse gases are well-mixed on the time scale of months. On the time scale of days, observations

at a specific site has stronger signal from source area extending to about 1000–2000 km upwind. The data from these three Arctic stations reflect emissions and sinks from different kind of geographical regions. Cape Baranova is the northern most site observing mostly marine air masses of the Arctic Ocean. To station of Tiksi air is commonly advected from the continental northern Siberia and to Pallas from Europe and the North Atlantic and Arctic Ocean.

In this presentation, we study concentration of methane and carbon dioxide at these sites relative to global concentrations and the effect of most important source categories: anthropogenic industrial sources and natural wetland and Arctic Ocean marine emissions.

POSTER 2.14

ИОСТЕП 2.14

**ATMOSPHERIC ROLE IN THE WATER CYCLE
IN THE ARCTIC AND ANTARCTIC**

T Vihma, T Naakka, T Nygård*

Finnish Meteorological Institute, Helsinki, Finland

** timo.vihma@fmi.fi*

We summarize recent findings on the moisture transport, precipitation, and evaporation in the Arctic and Antarctic, with focus on physical processes, inter-annual variations, and trends during the last decades. Specific humidity and precipitation have generally increased in the Arctic, but changes in evapotranspiration are poorly known. Trends in clouds vary depending on the region and season. Climate models have captured the overall wetting trend but not reproduced all regional details. By 2100, climate models project strong warming and increasing precipitation, but different models yield different results for changes in cloud cover, in particular over regions and seasons of strongest sea ice decline. Evapotranspiration is projected to increase in winter but in summer to decrease over the oceans and increase over land. Increasing net precipitation increases river discharge to the Arctic Ocean. In summer, projected increase in rain and decrease in snowfall decrease the surface albedo and, hence, further amplify snow/ice surface melt.

In the Arctic, on the basis of ERA-Interim reanalysis, the effects of large-scale circulation on moisture, cloud, and longwave radiation mostly occur through the impact of horizontal moisture transport. Evaporation is typically not efficient enough to shape those distributions, and much of the moisture evaporated in the Arctic is transported southward. Strong individual moisture transport events contribute to a large part of the northwards moisture transport. The meridional net transport is only a small part of the water vapour exchange between the Arctic and mid-latitudes. The strength

of the total moisture transport (sum of absolute northwards and southwards moisture transports) is related to atmospheric humidity rather than the wind field. The seasonal cycle of the net moisture transport is related to the seasonal cycle of transient eddy moisture transport but inter-annual variations of the net moisture transport are largely influenced by the stationary eddy moisture transport. When a high-pressure pattern across the Arctic Ocean from Siberia to North America is lacking, the amount of moisture, clouds, and downward longwave radiation is anomalously high near the North Pole.

In the Antarctic, on the basis of ERA-5 reanalysis, both moisture transport and surface fluxes shape the vertical structure of specific and relative humidity, but their relative contributions and effects vary considerably between regions. Over the open ocean, a thin unsaturated well-mixed layer is seen near the surface, which is caused by year-around evaporation and mostly upward sensible heat flux. Above this layer, there is a layer of high relative humidity and frequently occurring cloud cover. Over sea ice, seasonal variability is large but during most of the year, moisture fluxes are small, near-surface relative humidity is high, and specific humidity inversions are frequent. The high plateau is the area where the driest air masses are formed, as a consequence of near-surface condensation and downward moisture transport. There, the near-surface air is often saturated with respect to ice, and strong but thin surface-based specific humidity inversions are present during most of the year. On the slopes, adiabatic warming, due to katabatic winds, causes decrease of relative humidity when the air mass is advected downwards from the plateau. This leads to relatively high surface evaporation and makes surface-based specific humidity inversions rarer.

POSTER 3.1

ПОСТЕР 3.1

**ON THE STORM SURGE MODELING IN THE KARA SEA
USING AN UNSTRUCTURED GRID**

V.S. Arkhipkin, S.A. Myslenkov (MSU)*

**О МОДЕЛИРОВАНИИ НАГОНОВ В КАРСКОМ МОРЕ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕСТРУКТУРНОЙ СЕТКИ**

В.С. Архипкин, С.А. Мысленков*

*Московский государственный университет им. Ломоносова, г. Москва,
Россия*

** victor.arkhipkin@gmail.com*

Для выявления особенностей формирования штормовых нагонов в Карском море была выбрана численная модель для расчетов циркуля-

ции вод и колебаний уровня моря ADCIRC. Выбор этой модели обусловлен несколькими причинами:

1) она учитывает практически все силы, формирующие нагоны, а также факторы, влияющие на высоту нагонов;

2) она используется в оперативной практике США для прогноза штормовых нагонов в Мексиканском заливе и у восточного побережья США (<https://cera.coastalrisk.live>);

3) сравнение натурных данных за уровнем моря с результатами моделирования в разных морях, омывающих Россию, показывают хорошее соответствие между ними (Иванова, Архипкин и др., 2015; Кораблина, Кондрин, Архипкин, 2017; Архипкин, Павлова, Мысленков, 2018);

4) модель использует расчетную сетку с разным пространственным шагом, что позволяет уменьшить шаг в прибрежных районах, у островов и в проливах и увеличить его в открытых частях водоемов.

Такой подход значительно уменьшает вычислительные затраты, а также дает возможность проследить влияние мелкомасштабных особенностей рельефа дна и береговой линии на формирование штормовых нагонов. Численная реализация модели ADCIRC основана на методе конечных элементов. В качестве таких элементов используются треугольники разной площади.

Первоочередной задачей, поэтому, является построение неструктурной триангуляционной расчетной сетки. Для ее построения существует несколько методов: по узлам, расположенным на контуре расчетной области (raving); пропорционально глубине моря; пропорционально уклону дна; пропорционально градиенту уклона дна. Для выбора оптимального метода построения расчетной сетки для Карского моря и их сравнения между собой были испробованы несколько из них.

Проведенные тестовые построения расчетной сетки Карского моря показали, что при такой сложной конфигурации береговой линии моря и наличия огромного количества островов, лучшим методом построения расчетной области для этого моря является метод raving. Применяя этот метод в системе Surface Modelling System (SMS 11.1), удалось создать расчетную сетку для Карского моря с шагом 500–600 м в прибрежной зоне, 1,5–2 км в центральных районах губ и 10–15 км в открытой части Карского моря.

Отметим, что элементы расчетной сетки проверялись на выполнение некоторых условий. Например, на соотношение ширины элемента к его высоте. Если такое соотношение было меньше 0,1, элемент перестраивался. Или, если величина угла в элементе превышает заданный предел, он также перестраивался. Описание этих условий приводится в SMS Online Help (<https://www.aquaveo.com>).

Глубины моря в узлах расчетной области вычислялись по данным оцифровки навигационных карт с помощью одного из методов объективного анализа — методом обратного расстояния. Использовались навигационные карты масштабов 1:500000–1:100000 (<https://navysoft.ru/>). Калибровка карт осуществлялась по девяти точкам в среде OziExplorer. Общее количество оцифрованных глубин — 466 993.

Построенная расчетная сетка для расчетов штормовых нагонов в Карском море имеет несколько открытых границ, где необходимо выбрать те или иные граничные условия.

В проливах архипелага Северная Земля и в проливах между Новой Землей и материком было выбрано условие радиационного излучения (wave radiation). На севере от Новой Земли до Северной на открытой границе задаются приливные колебания уровня моря, рассчитанные по гармонически постоянным, взятым из глобальной базы приливов FES2004 (<https://www.aviso.altimetry.fr>).

Всего используются восемь гармонических постоянных — M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1. Для учета морского льда при моделировании нагонов была создана база данных концентрации льда в Карском море за период с 1979 по 2015 года. Исходная информация по концентрации льда в Мировом океане взята из OSI-450 (<http://www.osi-saf.org>). Шаг по времени этого реанализа 1 сут.

В связи с тем, что проекция, используемая в базе OSI-450, не соответствует необходимым требованиям для входных данных по концентрации льда модели ADCIRC, была написана программа трансформации ее в обычные географические координаты.

Были проведены тестовые расчеты приливных и сгонно-нагонных колебаний уровня моря для разных синоптических ситуаций. Выявлены особенности распространения приливов в Обской и Тазовской губах. Показано хорошее соответствие модельных данных с натурными наблюдениями.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ №18-05-60147.

**GROWTH OF FAST ICE
AND ITS THERMAL INTERACTION
WITH BOTTOM SEDIMENTS
IN BRAGANZAVÅGEN BAY
(WEST SPITSBERGEN)**

P.V. Bogorodskii (AARI),*

N.E. Demidov (Inst Physicochem & Biol Problems Soil Sci),

A.V. Marchenko (UNIS, SOI), E.G. Morozov (IO RAS),

A.L. Nikulina (AARI),

A.V. Pnyushkov (AARI, Univ Alaska Fairbanks, Global Institution for Collaborative Research and Education, Hokkaido),

I.V. Ryzhov (AARI), K.V. Filchuk (AARI)

**ОБРАЗОВАНИЕ ПРИПАЯ И ЕГО ТЕПЛОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ
С ДОННЫМ ГРУНТОМ В БУХТЕ БРАГАНЦАВАГЕН (О.
ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН)**

П.В. Богородский^{1}, Н.Э. Демидов², А.В. Марченко^{3,4}, Е.Г. Морозов⁵,
А.Л. Никулина¹, А.В. Пнюшков^{1,6,7}, И.В. Рыжов¹, К.В. Фильчук¹*

¹ — ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

² — Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, г. Пушкино, Московская область, Россия

³ — Университетский Центр на Шпицбергене, Лонгйирбюэн, Норвегия

⁴ — Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, г. Москва, Россия

⁵ — Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия

⁶ — Международный центр исследования Арктики, Фэрбенкс, США

⁷ — Глобальный институт совместных исследований и образования, Хоккайдо, Япония

* bogorodski@aari.ru

Представлены результаты океанографических, ледовых и гео-криологических исследований весной 2016 и 2018 гг. в мелководной бухте Браганцаваген (Ван-Майен-фьорд, о. Западный Шпицберген). Описаны и проанализированы особенности изменчивости поля температуры в припайном льду и подледном слое моря. Данные наблюдений дополнены модельными оценками термодинамической эволюции морского снежно-ледяного покрова и верхнего слоя донных отложений.

**INFLUENCE OF ICE CONDITIONS ON THE NONLINEAR
INTERACTION OF PROGRESSIVE SURFACE WAVES.***A.A. Bukatov (MHI RAS)***ВЛИЯНИЕ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ НА НЕЛИНЕЙНОЕ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРОГРЕССИВНЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ
ВОЛН***А.А. Букатов***ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН», г. Севастополь,
Россия**newisland@list.ru*

На основе метода многих масштабов построено решение задачи о нелинейном взаимодействии прогрессивных поверхностных волн в бассейне с плавающим сплошным упругим льдом. Предполагалось, что тонкая упругая ледовая пластинка постоянной толщины плавает на поверхности однородной идеальной несжимаемой жидкости постоянной глубины. В горизонтальных направлениях пластинка и жидкость неограничены. Движение жидкости считалось потенциальным, а колебания пластинки безотрывными. Для рассматриваемого волнового возмущения получены асимптотические разложения до величин третьего порядка малости для потенциала скорости движения жидких частиц и возвышения поверхности лед-вода.

Выполнено исследование зависимости трансформации профиля возмущений поверхности лед-вода от упругих и массовых характеристик льда, учета его продольного сжатия. Дана оценка зависимости распределения амплитуды второй взаимодействующей гармоники по волновому числу от характеристик льда и нелинейности ускорения его вертикальных смещений. Показано, что распределение вертикального смещения ледовой пластики вдоль длины волны ее изгибной деформации зависит не только от толщины и модуля упругости пластинки, величины сжимающего усилия, но и от крутизны начальной основной гармоники и от амплитуды второй взаимодействующей гармоники.

Изучено влияние нелинейности ускорения вертикальных смещений упругой ледовой пластинки на амплитуду, частоту и фазовую скорость возмущения, сформированного нелинейным взаимодействием двух волновых гармоник. Получено, что вклад нелинейности ускорения вертикальных смещений ледовой пластинки в фазу колебаний зависит от

знака амплитуды второй взаимодействующей гармоники. При положительном ее знаке нелинейность ускорения приводит к увеличению фазового сдвига. Растет он и при увеличении толщины упругой ледовой пластинки. Смена знака амплитуды второй взаимодействующей гармоники уменьшает его значение при фиксированном волновом числе. Наличие продольного сжимающего усилия проявляется в отставании фазы колебаний от фазы, полученной при отсутствии сжатия, и в незначительном уменьшении амплитуды возмущения.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0003.

POSTER 3.4

ПОСТЕР 3.4

TIDAL AND WIND-DRIVEN FLUCTUATIONS IN WATER LEVEL IN THE SOUTHERN PART OF THE GULF OF OB

G.N. Voinov (SPb SOI, AARI), A.A. Piskun (AARI)*

ПРИЛИВНЫЕ И СГОННО-НАГОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ В ЮЖНОЙ ЧАСТИ ОБСКОЙ ГУБЫ

Г.Н. Войнов^{1,2}, А.А. Пискун²*

¹ — Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, Санкт-Петербургское отделение, Санкт-Петербург, Россия

² — ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

** voinovgn@mail.ru*

Хозяйственное освоение природных ресурсов ЯНАО тесно связано с использованием гидрологической информации по важнейшему водному объекту региона, Обской губе, при проектировании, строительстве и эксплуатации различных объектов на ее акватории и побережье. При этом одним из наиболее востребованных элементов водного режима являются уровни воды.

Режим уровней в Обской губы формируется преимущественно под влиянием речного стока, приливных и сгонно-нагонных явлений. Протяженность губы от морского края дельты Оби до выхода в море составляет около 800 км. Губа вытянута в меридиональном направлении, что способствует эффективному разгону ветровых волн при ветрах южной и северной четвертей. При этом наибольшее развитие нагонов наблюдается на речной границе губы, в районе Ямсальского бара, который представляет собой мелководный участок длиной 12–13 км, лимитирующий судоходство на пути транзита грузов между рекой Обь и Обской губой. Южная часть Обской губы (от морского края дельты Оби до слияния с Тазовской

губой) постоянно заполнена пресными речными водами. Пик уровня весеннего половодья проходит при наличии ледовых образований. На спаде волны половодья с июля все заметнее проявляется влияние сгонов-нагонов. Максимальные суммарные уровни генерируются не половодьем, а сгонами-нагонами преимущественно в период чистой воды.

Как было показано в работах В.Г. Корта (1941 г.), А.В. Коптевой (1953 г.) и Н.А. Лабзовского (1971 г.) нагоны в Обской губе вызываются циклонами, центр которых располагается к востоку от губы, или антициклонами с центром к западу от нее. Сгоны формируются циклонами, центр которых располагается западнее губы, или антициклонами с центрами восточнее нее. Переход от сгона к нагону или от нагона к сгону обычно обуславливается переходом центра того или иного барического образования через меридиан Обской губы. Таким образом, нагоны в Обской губе вызываются ветрами северного и северо-восточного направлений, а сгоны — южного и юго-западного.

Для анализа приливных и сгонно-нагонных колебаний уровня воды в южной части Обской губы использованы данные ежедневных и срочных наблюдений, полученных в экспедициях и на стационарных постах Ямсальский бар (1935–1976 гг.), Новый Порт (1977–2012 гг.) и м. Каменный (1936–1994 гг.).

Исходные ряды уровней были проанализированы с целью выявления явных и скрытых ошибок различного происхождения. Вначале уровни были приведены к однородным рядам с позиций высотной основы путем введения определенных поправок, полученных для перехода к единому нулю и, где это оказалось возможным, уровни привязаны к Балтийской системе высот. Скрытые ошибки в данных по уровням выявлялись с помощью разработанного в ААНИИ и широко апробированного способа калибровки, для применения которого необходимо иметь модель прилива, полученную обработкой ежедневных серий наблюдений гармоническим анализом с помощью метода наименьших квадратов (МНК) по версии ААНИИ (Войнов, 1999).

Дальнейшие действия сводились к вычислению приливных констант на основе трансформированных рядов суммарного уровня (при необходимости) и выделению из них приливной составляющей и остаточных уровней, как разности между суммарным уровнем и приливной составляющей.

В результате расчета приливов установлено, что на южной границе Обской губы в районе м. Ям-Сале в период развития припайного льда в октябре-июне приливные колебания постепенно с ростом толщин льда уменьшаются и становятся практически незаметны в мае (не более 1–2 см в сизигию). Дисперсия приливных колебаний уровня в летний период здесь в среднем составляет всего 4,2 % общей дисперсии наблюдений, но средняя сизигийная величина прилива равна 23 см, что требуется учитывать при прогнозе колебаний уровня.

В районе Нового Порта, как и в целом в Обской губе, прилив имеет максимальную величину в июле–сентябре, а в октябре–июне он постепенно уменьшается. Средняя величина сизигийного прилива в Новом Порту в летний период составляет 36 см. В многолетнем ходе амплитуды волны M2 отмечается незначительная тенденция к уменьшению амплитуды в XXI веке (2004–2011 гг.) в сравнении с периодом 1977–1992 гг. В многолетнем ходе угла положения выявлено увеличение фазы с 2007 г. Однако для подтверждения достоверности этого явления требуются ежечасные наблюдения.

По посту м. Каменный величина сизигийного прилива в летний период составляет 52 см и наблюдается в среднем в августе. Однако редко, но отмечаются случаи, когда максимум прилива наблюдается в июле. Это происходит в годы с аномальными наступлениями сроков взлома припая или его становления, а также неординарного прохождения половодья. Вид кривой прилива в такие годы будет отличаться от описываемого по средним месячным значениям. Но для учета подобных особенностей необходимы дополнительные наблюдения.

Для оценки нагонов использовался остаточный уровень выше 5 % обеспеченности, а сгоны выделялись по уровню ниже 95 % обеспеченности. Использование уровней заданной обеспеченности в качестве отсчетных критериев для сгонов–нагонов позволяет получить сравнимые характеристики неперiodических колебаний по многолетнему однородному ряду остаточного уровня. Тогда как применение для этих целей среднемесячных значений дает характеристики относительно меняющейся ежемесячно величины уровня.

Анализ остаточных рядов за летние сезоны по посту Ямсальский бар, приведенных к линейному тренду, показывает, что повторяемость нагонов и сгонов была примерно одинакова, а абсолютная величина нагонов существенно больше, чем сгонов. По ежечасным наблюдениям при открытой воде за период 1937–1960 гг. установлено, что наибольший размах сгонов–нагонов на Ям–Сале и дисперсия колебаний приходится на 1938 г. Величина нагона в этом году составила около 3 м при размахе колебаний суммарного уровня около 4 м.

В Новом Порту большая часть нагонов выше остаточного уровня 5-процентной обеспеченности приходится на период июнь–октябрь (78,8 %) с максимальным количеством в сентябре (22,8 %). В ноябре–декабре активность неперiodических колебаний уровня, превышающего значения данной обеспеченности, составляет всего 13,6 %. В период январь–май их количество снижается до 7,6 % и равно нулю в апреле. Общий размах колебаний остаточного уровня в Новом Порту за период срочных наблюдений 1977–1991 гг. составил 291 см.

На посту м. Каменный по сравнению с Новым Портом отмечается значительно меньшее число нагонов выше уровня 5-процентной обеспе-

ченности, выбранных за период совместных наблюдений 1977–1991 гг. Размах колебаний остаточного уровня в Каменном по 4-срочным данным составил 268 см, что на 23 см меньше, чем в Новом Порту за тот же период. По ежечасным наблюдениям за 1947–1948 гг. размах колебаний остаточного уровня в районе м. Каменного составил 319 см, суммарного — 342 см. Связь продолжительности и скорости роста уровня при нагонах, а также спада и подъема уровня при сгонах в Каменном и Новом Порту находится в обратной зависимости от их интенсивности.

В последнее десятилетие происходит резкое изменение ледовых условий в Обской губе, в особенности, на севере акватории. В связи с этим условия распространения приливной волны также меняются. Поэтому необходимо вносить поправки в имеющуюся базу средних месячных констант прилива в пунктах Обской губы для отражения этих изменений, для чего требуются соответствующие наблюдения за уровнем.

Благодарности. Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18–05–60192.

POSTER 3.5

ПОСТЕР 3.5

APPLYING OF AUTOMATED TECHNOLOGIES IN THE PROCESSING OF SATELLITE INFORMATION FOR THE PREPARATION OF OPERATIONAL NAVIGATION ICE CHARTS

V.A. Volkov (Foundation “NANSEN-CENTRE”),
N.Yu. Zakhvatkina (Foundation “NANSEN-CENTRE”, AARI),
D.M. Demchev (Foundation “NANSEN-CENTRE”, AARI),
A.V. Terekhov (Foundation “NANSEN-CENTRE”)*

**ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
ОБРАБОТКИ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ
ПРИ ПОДГОТОВКЕ ОПЕРАТИВНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ КАРТ
ЛЕДОВОЙ ОБСТАНОВКИ**

В.А. Волков¹, Н.Ю. Захваткина^{1,2}, Д.М. Демчев^{1,2}, А.В. Терехов¹

¹ — Научный Фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена» (Фонд «Нансен-центр»), Санкт-Петербург, Россия

² — ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

** vladimir.volkov@niersc.spb.ru*

Рассматриваются теоретические основы построения оперативных навигационных ледовых карт нового поколения на основе данных спутникового радиолокационного зондирования с применением исклю-

живных автоматизированных технологий. Приводятся примеры карт и описываются возможности их применения для обеспечения безопасности мореплавания, буровых и аварийно-спасательных работ на шельфе арктических морей.

Предпосылками разработки новых методов построения ледовых карт явилось развитие методов дистанционного радиолокационного зондирования (всепогодного, независящего от режима светлого времени), особенно спутникового, имеющего высокую информативность за счет высокого пространственного разрешения изображений, широкого покрытия и небольшого времени экспозиции. Применение традиционных интерактивных подходов при анализе спутниковых изображений для построения ледовых карт приводит к потерям информации, существенным затратам времени на обработку изображений, требует привлечения к работе высококвалифицированных ледовых экспертов, имеющих значительный опыт визуальных ледовых наблюдений и работы с данными дистанционного зондирования. Только автоматизированные технологии позволяют обрабатывать за достаточно короткое время огромные объемы информации и обеспечить высокий уровень оперативности, минимизировать информационные потери при статистической обработке радиолокационных изображений. При этом участие высококвалифицированного ледового наблюдателя требуется только на стадии валидации результатов автоматизированной обработки данных дистанционного зондирования.

В Научном Фонде «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию» («Нансен-центр», Санкт-Петербург, РФ) на протяжении более 20 лет ведутся разработки автоматизированных методов обработки радиолокационных изображений для получения ледовых карт именно в их традиционном виде, отражающих распределение морского льда по возрастным категориям в соответствии с действующей российской Номенклатурой морского льда, но карты строятся методом «прямого» картирования, при котором в каждой итоговой точке ледовой карты содержится характеристика конкретного возраста морского льда.

За прошедший период было разработано несколько версий автоматических классификаций с учетом развития мировых технологий спутникового дистанционного зондирования. На некоторых этапах эта работа строилась при поддержке Арктического и антарктического научно-исследовательского института (в основном при валидации карт), а также при сотрудничестве с норвежским Нансен-центром (Нансеновский центр по окружающей среде и дистанционному зондированию в г. Берген, Норвегия). В

разное время применялись различные подходы при обработке исходных изображений, в частности использовались технологии искусственных нейронных сетей. Современный действующий метод с использованием SVM-технологии (метод опорных векторов — один из методов машинного обучения с учителем) разработан именно специалистами Фонда «Нансен-центр». Вариант для оперативного разделения воды и льда на основе изображений высокого разрешения (от 25–40 м) имеет среднюю точность классификации по оценкам для тестового периода 2013–2015 гг. порядка 91 % при сравнении с картами, подготовленными ледовыми экспертами. Алгоритм был расширен и улучшен для получения классов льда в арктических морях и адаптирован для кросс-поляризованных РСА-изображений спутника Sentinel 1 с исходным разрешением около 40 м и итоговым разрешением ледовой карты от 160 до 300 м. Ледовая карта, построенная только на основе одного снимка Sentinel 1 широкого покрытия, содержит от 1,5 млн информативных точек!

Метод позволяет получать ледовые карты высокого разрешения (зависит от исходного разрешения снимка), в квази-оперативном режиме (уровень оперативности зависит от возможностей средств связи и вычислительной техники). Временная дискретность поставки карт зависит только от возможностей быстрого получения спутниковой (или другой) радиолокационной информации и способа доставки карт потребителю. Периодичность поставки карт Заказчику в зависимости от решаемой задачи составляет от еженедельной до ежесуточной. Карты составляются на основе практически мгновенной съемки при участии профессионального картографа и привязаны к абсолютно конкретному времени — являются актуальными и по существу являются навигационными и оперативными. Карты, ввиду их актуальности, объективности и оперативности, являются проверяемыми.

Карты ледовых классификаций представляются в двух вариантах: для двух классов — «лед-вода», а также для 8-и классов: многолетний лед (старый), однолетний толстый (более 120 см), однолетний лед средней толщины (70–120 см), однолетний тонкий (30–70 см), ровный однолетний (льдины), молодой лед (к этому классу в общем случае относится также лед на кромке — блинчатый и мелкобитый), вода — взволнованная поверхность и спокойная водная поверхность или нилас. При необходимости выделяется особый класс — «прикромочная зона».

Ледовая карта нового поколения по виду принципиально отличается от традиционной, поскольку она отражает для каждого из спутниковых изображений практически мгновенное распределение льдов разного возраста, на ней видны весьма тонкие особенности состояния ледяно-

го покрова. В частности, по карте можно «читать» результаты динамического воздействия циркуляции атмосферы или воздействия дрейфа, вызванного постоянными течениями, контролировать процессы образования льда на кромках, отслеживать динамику полыней и разводий, контролировать процессы разрушения ледяного покрова в период таяния — что очень важно для планирования морских трасс или для оценки периода возможностей проведения буровых работ.

Кроме карт классификаций, параллельно, используя тот же информационный поток спутниковой информации, на основе разработанных в Фонде «Нансен-центр» инновационных методов, рассчитываются карты полей дрейфа, и производных параметров, характеризующих сжатия-разрежения ледяного покрова. Метод использует подходы теории «компьютерного зрения». Основу метода составляет алгоритм определения и прослеживания «особых» точек на паре последовательных изображений с применением многомасштабного представления изображений и адаптивного подавления шумов. В используемом алгоритме учтена природа формирования РСА-изображений и применяется адаптивное сглаживание зашумленных участков, с сохранением детальных особенностей областей с преобладанием полезного сигнала, что позволяет уверенно выделять большое количество особых точек и оценивать их смещения для построения подробной карты дрейфа.

Последовательные карты классификаций совместно с картами дрейфа (сжатий-разрежений) успешно могут быть использованы в качестве входной информации при разработке прогнозов динамического состояния морского льда с разной заблаговременностью.

Методы тематической обработки радиолокационных изображений при мониторинге ледовых условий используются и развиваются в рамках разработанной в Фонде «Нансен-центр» автоматизированной Системы мониторинга и прогнозирования состояния морского ледяного покрова» (Патент №2672531, авторы: В.А. Волков, Э.Э. Казаков, Д.М. Демчев, приоритет от 17 мая 2017 г.).

В течение 2017–2019 гг. осуществлялась поддержка некоторых арктических российских операторов регулярным предоставлением ледовых карт с интервалами до ежесуточных для Карского и Баренцева морей, вплоть до полного очищения моря ото льда.

В 2017–2018 гг. на основе базовых методов обработки радиолокационных изображений разработаны модификации автоматизированных методов для компактного двухдиапазонного ХР-локатора (разработчик — ОАО «Бортовые Аэронавигационные Системы» — БАНС, Москва), который может быть размещен на борту беспилотного летающего аппарата.

CLIMATIC FLUCTUATIONS OF SURFACE WATER TEMPERATURE AND ICE COVER IN THE SEAS OF THE NORTH EUROPEAN BASIN*N.A. Viazigina*, L.A. Timokhov, V.V. Ivanov (AARI)***КЛИМАТИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ ЛЕДОВИТОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА В МОРЯХ СЕВЕРО-ЕВРОПЕЙСКОГО БАССЕЙНА***Н.А. Вязигина*, Л.А. Тимохов, В.В. Иванов**ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия***naty_vyazik@mail.ru*

Северо-Европейский бассейн (СЕБ), включающий Норвежское, Гренландское и Баренцева моря, является важной частью Северного Ледовитого океана (СЛО). Через южные проливы бассейна вторгаются воды атлантического происхождения. В обратном направлении через СЕБ в Северную Атлантику поступают холодные и распресненные поверхностные воды и льды. Наблюдающиеся меридиональные контрасты в СЕБ играют важную роль во всех процессах и в значительной мере являются непосредственной причиной колебаний гидрологического режима СЛО. Изменчивость ледяного покрова Баренцева и Гренландского морей и температуры поверхности Северо-Европейского бассейна является хорошим индикатором в многолетних изменениях системы атмосфера–лед–океан. Важность изучения долгопериодных изменений крупномасштабных структур состояния СЕБ особенно возросла в связи возникшими в последние десятилетия быстрыми изменениями климата в Арктическом регионе.

На основании анализа длительных рядов архивных данных ААНИИ и новой спутниковой информации за период 1900–2016 гг. установлены особенности структуры долгопериодных изменений ледовитости Гренландского и Баренцева морей и температуры поверхности океана СЕБ. В межгодовых изменениях площади ледяного покрова выделены климатические стадии. Получены кластеры сезонных циклов и показана их связь с климатическими стадиями. Установлена эмпирическая закономерность преемственности состояния ледяного покрова внутри годового цикла, когда предыстория состояния ледяного покрова, в определенной мере, определяет текущую фазу. Изменение летней площади льдов в среднем на четверть определяется величиной площади льдов предшествующей зимы.

Получены статистические уравнения межгодовых колебаний площади льдов Гренландского и Баренцева морей в августе и температуры поверхности океана Гренландского, Баренцева и Норвежского морей. В состав предикторов уравнений для изменчивости ледовитости вошли следующие характеристики: приземная температура воздуха в Северо-Европейском бассейне для лета (июнь–сентябрь); тепловой баланс для лета (июнь–сентябрь) и зимы; температура воды в Фареро-Шетландском проливе летом; Атлантическое мультидекадное колебание, индекс Северо-Атлантического колебания для лета; среднее годовое значение Арктического колебания. На основании уравнений были получены оценки вклада предикторов в общую дисперсию межгодовых колебаний ледовитости. Межгодовые колебания летней площади льдов в значительной степени зависят от термических факторов (температура воздуха, тепловой баланс на поверхности океана), влияния теплых атлантических вод, но и от атмосферной циркуляции.

В разработанных уравнениях межгодовые изменения среднегодовой температуры поверхности Норвежского моря зависят не только от поступления через 1 год теплых вод из Северной Атлантики, а также зависят от колебаний температуры воздуха и интенсивности атмосферной циркуляции в летний период. Многофакторность формирования межгодовых изменений температуры воды и является одной из причин размытости пиков связи на диаграммах кросскорреляционного анализа. В уравнениях, описывающих межгодовые изменения температуры моря и ледовитости, присутствует влияние Северной Атлантики, проявляющееся через 4 года после возникновения аномалии температуры в Северной Атлантики. Однако, в уравнения входит также термическое и динамическое воздействие атмосферных процессов, которое усложняют картину связи.

Для развития эмпирического описания долгопериодных и климатических процессов в Северного Ледовитого океана нами выдвинута концепция, заключающаяся в объединении гидрометеорологических предикторов с геофизическими и астрономическими. Исследована продуктивность этого подхода, путем разработки системы уравнений, которая описывает долгопериодные изменения СЕБ с учетом геофизических и астрономических влияний.

Установленные эмпирические закономерности имеют важное значение для понимания процесса формирования ледового и температурного режима и могут быть использованы при построении статистических моделей диагноза и прогноза ледовитости и температуры поверхности морей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (уникальный идентификатор проекта RFMEFI61619X0108).

POSTER 3.7

ПОСТЕР 3.7

**HYDROCHEMICAL OBSERVATIONS IN RUSSIAN ARCTIC SEAS
DURING THE 1ST AND 4TH LEGS OF «TRANSARCTICA-2019»
EXPEDITION**

I.A. Gangnus (MSU), E.D. Dobrotina (AARI), N.A. Vyazigina (AARI),
E.A. Chernyavskaya (AARI), K.V. Zheurov (FERHRI), E.V. Anisimova (FEFU),
M.V. Onishshuk (Primorskoe UGMS), K.N. Khanina (Primorskoe UGMS),
M.V. Karpov (AARI), Yu.A. Taranenko (RSHU)*

**ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ РОССИИ В ПЕРВОМ И ЧЕТВЕРТОМ
ЭТАПАХ ЭКСПЕДИЦИИ «ТРАНСАРКТИКА-2019»**

И.А. Гангнус¹, Е.Д. Добротина², Н.А. Вязигина², Е.А. Чернявская²,
К.В. Жеуров³, Е.В. Анисимова⁴, М.В. Онищук⁵, К.Н. Ханина⁵,
М.В. Карпов⁶, Ю.А. Татаренко⁶*

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

² — *ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский
институт, Санкт-Петербург, Россия*

³ — *Дальневосточный региональный научно-исследовательский
гидрометеорологический институт, г. Владивосток, Россия*

⁴ — *Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия*

⁵ — *Приморское управление по гидрометеорологии и мониторингу
окружающей среды, г. Владивосток, Россия*

⁶ — *Российский государственный гидрометеорологический университет,
Санкт-Петербург, Россия*

** gangnus@inbox.ru*

В 2019 году в ходе 1-го и 4-го этапов экспедиции «Трансарктика-2019» были выполнены гидрохимические исследования во всех Арктических морях России. Первый этап экспедиции проходил на НЭС «Академик Трешников» с 22 марта по 28 мая в Баренцевом море. Четвертый этап выполнялся на НИС «Профессор Мультановский» с 25 июля по 25 октября в Чукотском, Карском, Баренцевом, Лаптевых и Восточно-Сибирском морях. Гидрохимические определения включали в себя анализ проб морской воды на содержание растворенного кислорода, активной реакции морской воды (рН) и общей щелочности, биогенных элементов

(аммонийный азот, нитриты, нитраты, фосфаты, силикаты). В четвертом этапе кроме этого проводились определения мутности, содержания нефтяных углеводородов, СПАВ, фенолов и БПК₅, а в первом — содержание биогенных элементов в пробах морского льда. Все анализы выполнялись на борту судна в течение нескольких часов после отбора проб.

Методы гидрохимических определений использовались стандартные и общепринятые при проведении морских исследований. Содержание растворенного кислорода и общая щелочность определялись титриметрическими методами, рН — потенциометрическими, содержание биогенных элементов — ручными спектрофотометрическими методами. Все реагенты и калибровочные растворы изготавливались с использованием сверхчистой деионизированной воды.

В ходе первого этапа работы проводились на 128 океанографических станциях, было проанализировано 1415 проб морской воды и 89 проб льда. Общее количество определений составило 8799. В четвертом этапе выполнено 152 океанографические станции, отобрано 133 проб с поверхности океана по ходу движения судна, а всего обработано 1195 проб морской воды. Общее количество определений в этом этапе — 10652.

Часть океанографических станций с отбором проб на гидрохимический анализ в первом этапе экспедиции «Трансарктика-2019» было выполнено в ходе дрейфа судна в районе северной части желоба Франц-Виктория. Исходя из имеющихся баз данных, для этой акватории и для этого сезона (окончание зимы) подобные результаты были получены впервые. В вертикальном распределении гидрохимических характеристик повторяются некоторые мелкомасштабные особенности термохалинной структуры. На некоторых глубоких станциях можно заметить холодный придонный слой с понижением биогенных веществ и повышением кислорода, что может быть свидетельством каскадинга холодной воды в этом районе.

На разрезах, выполненных в заключительной части первого этапа в первой половине мая зафиксировано начало влияния цветения фитопланктона на распределение кислорода, рН и биогенных элементов. В южных частях разрезов в поверхностном слое отмечалось пересыщение кислородом и истощение запаса биогенных элементов, отражающее интенсивное цветение, в то время как на северных участках значительное цветение еще не началось. Хорошее перемешивание поверхностных вод приводит к тому, что толщина этого слоя достигает глубин более 50 метров и даже дна на мелководье в районе Новой Земли.

Разрез по 39° в.д. был выполнен дважды: сначала в марте, до начала цветения, а затем в мае, когда в южной части моря цветение уже началось. Граница зоны цветения находилась в районе 77° с.ш и приблизительно соответствовала положению кромки льда. Концентрации нитратов и силикатов в поверхностном слое близки к нулю, а пересыщение воды

кислородом достигало 115 %. К северу от центральной банки толщина поверхностного слоя составляла не более 50 м, а южнее по причине интенсивного перемешивания — более 100 м. Разница между концентрациями биогенных веществ в марте и мае свидетельствует о том, что сигнал о начавшемся цветении прослеживался на всем разрезе, а южнее центральной банки достигал даже придонных горизонтов (более 300 метров).

В ходе четвертого этапа одним из наиболее интересных результатов стала картина распределения гидрохимических характеристик на поверхности. Так, по распределению кремния и щелочности, область распространения речного стока Оби и Енисея в Карском море хорошо прослеживалась на севере до широты мыса Желания, а область стока р. Лены распространялась из моря Лаптевых в Восточно-Сибирское море.

В Беринговом проливе поступление обогащенной биогенными элементами тихоокеанской воды, поддерживает их уровень и высокую продукцию фитопланктона, верхний слой здесь пересыщен кислородом до 120 %. В Чукотском море на банке Геральда период интенсивного цветения уже близок к завершению: запас биогенных элементов здесь уже истощен, а насыщение кислородом — около 100 %. В проливе Лонга поверхностный слой обеднен биогенными элементами, а максимум кислорода (около 150 %) смещен на глубину 15 метров.

В Карском море поверхностный слой мощностью 10–20 метров на большей части акватории занят обогащенной кремнием и обедненной остальными биогенными элементами водной массой, сформированной под воздействием материкового стока. В юго-западной части речное влияние прослеживается лишь вблизи побережья Новой Земли, что заметно по незначительному увеличению кремния на поверхности. Здесь же, в Новоземельском желобе отмечается максимум биогенных элементов для придонного слоя.

На единственном широтном разрезе, выполненном в начале сентября в юго-восточной части Баренцева море отображается характерная для этого сезона ситуация: истощение питательных веществ в поверхностном слое, при насыщении кислородом около 100 %. На мелководных участках в придонном слое отмечаются высокие концентрации нитритного и аммонийного азота, что связано с интенсивной продукцией и разложением органического вещества.

В море Лаптевых отмечается значительная изменчивость содержания кремния на поверхности: от почти нулевых значений на северо-западе, до более 40 мкмоль/л в восточной части, вблизи выноса речного стока р. Лены. Насыщение растворенным кислородом здесь почти нигде не превышает 100 %. На склоне моря Лаптевых на соседних станциях в слое галоклина при солёности 34,4 psu отмечено присутствие водных масс, различающихся по гидрохимическим характеристикам.

Распределение гидрохимических характеристик в Восточно-Сибирском море отличается значительной пространственной изменчивостью. В восточной части акватории на глубинах около 40–100 м, в слое минимума температуры и при солености около 32–33 psu хорошо выражен максимум биогенных элементов и минимум кислорода, связанный с проникновением сюда зимних тихоокеанских водных масс, частично севернее о. Врангеля, а частично – через пролив Лонга. Максимальное содержание кремния в этих водах составило 86,7 мкМоль/л, минерального фосфора — 3,6 мкМоль/л. В восточной части моря также отмечен продолжающийся фотосинтез, максимум которого приурочен к глубинам 20–30 метров, где насыщение кислородом достигает почти 120 %. Лимитирующим элементом выступает здесь азот, запасы которого почти полностью исчерпаны.

У загрязняющих веществ относительно высокие значения были зафиксированы: для фенолов — на трех станциях в Карском море, и на двух в Беринговом проливе, что может иметь естественное происхождение. Для синтетических ПАВ — на двух станциях в Чукотском море и на одной в море Лаптевых (рядом с устьем Лены), а для нефтяных углеводородов — на одной в Карском море, на одной в Баренцевом и на одной — в Восточно-Сибирском.

POSTER 3.8

ПОСТЕР 3.8

LONG-RANGE CORRELATIONS BETWEEN SEA SURFACE TEMPERATURE AND MIXED LAYER DEPTH IN THE NORTH ATLANTIC AND TEMPERATURE ANOMALIES IN EURASIA

N.V. Gnatiuk (Foundation "NANSEN-CENTRE"), T. Vihma (FMI),
I.V. Radchenko (Foundation "NANSEN-CENTRE"),
L.P. Bobylev (Foundation "NANSEN-CENTRE")*

ДАЛЬНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ СВЯЗИ МЕЖДУ ТЕМПЕРАТУРОЙ ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ И ГЛУБИНОЙ ПЕРЕМЕШАННОГО СЛОЯ В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ И АНОМАЛИЯМИ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЕВРАЗИИ

Н.В. Гнатюк^{1}, Т. Вихма², Ю.В. Радченко¹, Л.П. Бобылев¹*

¹ — *Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена», Санкт-Петербург, Россия*

² — *Финский метеорологический институт, Хельсинки, Финляндия*

** natalia.gnatiuk@niersc.spb.ru*

Потепление в Арктике происходит вдвое, а в отдельных регионах втрое быстрее чем в среднем по планете, что безусловно влияет и на

средние широты, связанные общей циркуляционной системой. В то же время наблюдаемое изменение климата ассоциируется с увеличением повторяемости и интенсивности экстремальных гидрометеорологических явлений. Так, в европейской части России в последнее десятилетие участилась повторяемость волн тепла, в восточно-сибирском регионе — частота экстремально-холодных зим, а также наблюдается тенденция роста повторяемости и интенсивности экстремальных осадков, которые провоцируют сильные паводки.

Усиление интенсивности и повторяемости региональных экстремальных явлений с одной стороны, и проблема повышения эффективности методов долгосрочного прогноза с другой формулируют задачу о необходимости исследования дальних корреляционных связей в пределах всего Северного полушария, результаты которых расширят понимание возникновения аномалий температуры и осадков и помогут установить их взаимосвязи с другими процессами протекающими в системе «атмосфера-океан-суша».

В данной работе выполнен анализ потенциальных связей изменений температуры поверхности моря и глубины перемешанного слоя в Северной Атлантике, в т.ч. морях Лабрадор и Ирмингера, с изменениями аномалий температуры и количества осадков в разных регионах средних широт Евразии. Согласно последним исследованиям, термохалинная циркуляция в Северной Атлантике ослабла, а поток тепла в океане со средних широт в высокие через так называемые «атлантические ворота» усилился.

Нами выявлено, что именно регион Северной Атлантики характеризуется значимыми (0,6–0,7) положительными корреляционными связями, в частности, с временным шагом 1–3 месяца, между температурой поверхности моря весной/осенью и аномалиями температуры в выделенных регионах Евразии летом/зимой (северо-восточная Европа, регион Уральских гор, регион Каспийского моря и пр.). Также были проанализированы корреляционные связи между изменениями максимальной глубины перемешанного слоя в зимне-весенний период (когда она максимальна) в Северной Атлантике и температурой воздуха на уровне два метра в выделенных регионах Евразии для периода 1993/1979–2016. В результате значимая положительная корреляционная связь выявлена с теми же регионами, для которых получена связь с изменениями температуры поверхности моря. Следует отметить, что для температуры (как воздуха на уровне 2 метра, так и поверхности моря) использовались ряды значений из климатического реанализа Era-Interim с извлеченным трендом, с целью избежать возникновения корреляционных связей вследствие одинакового тренда на потепление. Данные по глубине перемешанного слоя были взяты из океанологического реанализа ARMOR. С целью чтобы продлить исследуемый период, мы также использовали индекс глубины перемешанного слоя, рас-

считанный Башмачниковым и др. (2019) для морей Лабрадор и Ирмингера. Статистические оценки подтвердили межсезонные связи, с отставанием от весны к лету — наивысшие значения коэффициента корреляции между глубиной перемешанного слоя в море Ирмингера зимой-весной и температурой воздуха на уровне 2 метра последующим летом в северо-восточной Европе (–0.504), регионе Уральских гор (–0,413), центрально-восточной Европе (–0,43); и аналогичные связи глубины перемешанного слоя в море Лабрадор и температуры воздуха в северо-восточной Европе (–0,47), регионе Уральских гор (–0,5), центрально-восточной Европе (–0,5). Для других исследуемых десяти регионов коэффициенты корреляции близки к нулю.

В продолжение исследования планируется сформулировать индекс прогнозирования аномалий температуры в выявленных чувствительных регионах Евразии, верифицировать его на данных климатических моделей на историческом периоде и выполнить расчеты трендов повторяемости аномалий температуры до конца XXI века.

Исследование выполнено за счет гранта Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект № 18-55-76004 ЭРА_a).

POSTER 3.9

ПОСТЕР 3.9

THE INFLUENCE OF ATMOSPHERIC PROCESSES ON THE ICE COVER OF THE BARENTS AND KARA SEAS IN THE WINTER OF 2016/2017

P.A. Golubkin (Foundation "NANSEN-CENTRE"),*

L.P. Bobylev (Foundation "NANSEN-CENTRE"),

D.M. Demchev (Foundation "NANSEN-CENTRE", AARI NERSC),

Yu.E. Smirnova (Foundation "NANSEN-CENTRE")

ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ЛЕДЯНОЙ ПОКРОВ БАРЕНЦЕВА И КАРСКОГО МОРЕЙ ЗИМОЙ 2016/2017 ГГ.

П.А. Голубкин^{1}, Л.П. Бобылев¹, Д.М. Демчев^{1,2,3}, Ю.Е. Смирнова¹*

¹ — Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена», Санкт-Петербург, Россия

² — ГИЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

³ — Центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена, Берген, Норвегия

* *pgolubkin@gmail.com*

Протяженность морского льда в Арктике в зимний сезон 2016—2017 гг. стала минимальной за время спутниковых наблюдений. В ноябре и декабре

2016 г. это, в наибольшей степени, было вызвано отсутствием ледяного покрова в обширной части Баренцева и Карского морей, обычно покрытой льдом в этот период. С 6 по 19 ноября 2016 г. в Баренцевом и Карском морях происходило резкое сокращение площади ледяного покрова, в результате которого протяженность морского льда оказалась приблизительно на 4×10^5 км² меньше предыдущего минимума, зарегистрированного в 2012 г. В декабре 2016 г. произошел более короткий (6 дней) и более резкий период сокращения ледяного покрова, также установивший рекорд минимальной протяженности морского льда в регионе. В работе были исследованы метеорологические и океанологические условия в эти два периода. Используемые материалы включают данные спутниковых пассивных микроволновых радиометров, радаров с синтезированной апертурой, атмосферного реанализа ERA5, а также модельные данные. По данным радаров с синтезированной апертурой рассчитаны поля дрейфа и деформации морского льда. По данным атмосферного реанализа проанализированы поля атмосферного давления, температуры воздуха, скорости ветра, высот волн, потоков скрытого и явного тепла, длинноволнового излучения, рассчитан энергетический баланс поверхности. Показано, что как в ноябре, так и в декабре 2016 г. уменьшение протяженности ледяного покрова было вызвано прохождением серий циклонов. Большая часть циклонов проходила в районе пролива Фрама. На основе используемых данных для каждого циклона было определено динамическое и термодинамическое влияние на ледяной покров. Выявлено, что в оба периода термодинамическое влияние циклонов было несущественно, и определяющий вклад в наблюдаемое уменьшение протяженности морского льда в регионе внесло динамическое влияние.

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ № 19-77-00092.

POSTER 3.10

ПОСТЕР 3.10

INTERANNUAL TEMPERATURE FLUCTUATIONS IN THE BARENTS AND KARA SEAS: RESULTS OF MATHEMATICAL MODELING

V.A. Gorchakov, A.Yu. Dvornikov, V.A. Ryabchenko (IO RAS)*

МЕЖГОДОВЫЕ КОЛЕБАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В БАРЕНЦЕВОМ И КАРСКОМ МОРЯХ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В.А. Горчаков, А.Ю. Дворников, В.А. Рябченко*

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия

** vikfioran@yandex.ru*

Исследуются межгодовые колебания температуры поверхности моря (ТПМ), содержащиеся в результатах модельного расчета термогидродина-

мических характеристик Баренцева и Карского морей для периода 1966–2005 гг. Расчет выполнен на основе трехмерной модели общей циркуляции Массачусетского Технологического Института (MITgcm — Massachusetts Institute of Technology general circulation model), включающей модель морского льда с вязкопластической реологией. Подготовка рядов ТПМ для анализа включала: извлечение из решения временных рядов данных в выбранных 8 точках; удаление линейного тренда из каждого полученного ряда; расчет отклонений температуры от средних («климатических») значений за весь период расчета. Полученные ряды отклонений ТПМ подвергались вейвлет-анализу. Далее рассматриваются лишь колебания, имеющие 5 % уровень значимости.

Вейвлет-распределения ТПМ для точек, расположенных в северной, центральной и южной части морей, содержат выраженные колебания с периодами порядка 12–14 месяцев и 5–7 лет. Амплитуда колебаний этих двух периодов меняется по рассматриваемой акватории следующим образом. В северной части морей амплитуда короткопериодных колебаний заметно выше амплитуды долгопериодных колебаний. В центральной части амплитуды колебаний этих двух периодов практически одинаковы, тогда как в южной части амплитуда долгопериодных колебаний превышает амплитуду короткопериодных. Амплитуды колебаний в северной части морей заметно меньше, чем в южных частях, что, скорее всего, связано с более продолжительным в течение года периодом существования ледового покрова в северной части. Отметим также, что в центральной и южной частях моря иногда отмечаются колебания с периодами порядка 2–3 года. Корреляции колебаний одного периода из разных районов Баренцева и Карского морей невелики (не превышают 0,59). Обсуждаются возможные связи выявленных межгодовых колебаний ТПМ в Баренцевом и Карском морях с Северо-Атлантическим колебанием и колебаниями Эль Ниньо.

POSTER 3.11

ПОСТЕР 3.11

**ANALYSIS OF CHANGES IN THE ICE COVER OF THE STRAIT OF
TARTARY DURING THE WARMING PERIOD**

D.V. Dorofeyeva, I.V. Nikulina, E.V. Nikonova (SAKHSU)*

**АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДОВИТОСТИ
ТАТАРСКОГО ПРОЛИВА В ПЕРИОД ПОТЕПЛЕНИЯ**

Д.В. Дорофеева, И.В. Никулина, Е.В. Никонова*

*Научно-исследовательская лаборатория дистанционного
зондирования Земли, Сахалинский государственный университет и РАН,
г. Южно-Сахалинск, Россия*

** dariadorofeyeva26@gmail.ru*

В Татарском проливе формируется сезонный ледяной покров и в зимний период на его акватории сосредоточено более 90 % всего льда

Японского моря. В настоящее время в Татарском проливе осуществляется круглогодичная навигация между портами, расположенными на о. Сахалин и побережье материка, в том числе транспортировка нефти из порта Де-Кастри в страны юго-восточной Азии. Для обеспечения безопасности судоходства и разработки ледовых прогнозов в Татарском проливе крайне необходимы знания особенностей развития ледовых процессов.

Сравнительный анализ долгопериодных колебаний ледовитости Татарского пролива и Охотского моря показал, что они синфазны только на отдельных временных участках. Проявление общей тенденции понижения ледовитости в Татарском проливе в современной период потепления началось на пять лет позднее — с 1985 г, чем это явление было зафиксировано в Охотском море. Следует отметить четкое совпадение основных экстремумов ледовитости в интервале с 1985 г. по настоящее время.

Вычисление ледовитости Татарского пролива производилось путем усреднения ее среднемесячных значений за ледовый сезон для всей акватории пролива и его ледовых зон: северной Т-1 (42,4 тыс. км²), юго-западной Т-2 (34,4 тыс. км²) и юго-восточной Т-3 (30,7 тыс. км²). На основе полученных данных были рассчитаны аномалии ледовитости относительно оперативной климатической нормы 1981–2010 гг. Анализ аномалий ледовитости проводился методом интегральных кривых, позволяющих выявить характерные закономерности ее многолетней изменчивости.

Установлено, что ледовитость Татарского пролива в целом уменьшилась на 9 % за период с 1985 по 2019 гг. В выделенных зонах Татарского пролива также было зафиксировано общее снижение ледовитости: в северной величина ее изменилась на 4 %, в юго-западной зоне — на 5 %, а в юго-восточной — менее чем на 1 %.

Максимальные значения сезонной ледовитости зафиксированы в 1985 (49 %) и 2001 гг. (38 %), минимальные — в 1991 (14 %), в 1981 и 2011 гг. по 22 % соответственно и в 2015 г. (20 %). Во всех ледовых зонах, так же, как и в акватории пролива максимальная ледовитость наблюдалась в 1985 г., а самый малоледовитый ледовый сезон (характерной особенностью которого явилось полное отсутствие ледяного покрова в южной части пролива) отмечался в 1991 г.

В годовом ходе максимум ледовитости в Татарском проливе отмечается в феврале (48 %). В декабре ее среднемесячные значения достигают 16 %, в январе — 42 %, в марте — 36 %, а в апреле, на стадии окончательного разрушения массива льда — 5 %. Формирование ледяного покрова в проливе начинается с зоны Т-1 и приходится на заключительную декаду ноября. Дальнейшее образование льда отмечается в зоне Т-2 (третья декада декабря) и в последнюю очередь в зоне Т-3 (преимущественно в январе). Окончательное разрушение массива льда происходит в зоне Т-1 в конце апреля — начале мая.

Средняя продолжительность ледового сезона в Татарском проливе составляет 147 сут., что на 43 сут. меньше величины, установленной по средним многолетним данным с 1950 по 1992 гг.

Наиболее продолжительный ледовый сезон отмечался в 1999 г. в зоне Т-1 (181 сут.), в среднем же величина его для этой акватории составляет 149 сут. Самый непродолжительный сезон был зафиксирован в 1996 г. в зоне Т-3 и длился всего 33 сут.

На графиках аномалий ледовитости для всего Татарского пролива и его северной зоны отчетливо выделяются периоды преобладания положительных (с 1985 по 2002 гг.) и отрицательных (с 2003 по 2015 гг.) ее значений. Существенные различия в распределении аномалий ледовитости характерны для юго-западной зоны, здесь положительные аномалии преобладают с 1985 по 1988 гг., а отрицательные с 1989 по 2019 гг. В юго-восточной ледовой зоне за весь исследуемый период отмечено преобладание отрицательных аномалий ледовитости, с проявлением в отдельные годы их положительных значений.

В сформированном ряду ледовитости пролива с 1985 по 2019 гг. максимальная повторяемость суровых и экстремально суровых зим наблюдалась в периоды резкого повышения ледовитости: 1985–1988 гг. и 1997–2003 гг. преимущественно для северной ледовой зоны. Повторяемость мягких и экстремально мягких типов зим колебалась от 29 до 40 %, при этом установлено, что преобладание данного типа зим приходится на период понижения тенденции ледовитости (с 2004 по 2011 гг.).

Анализ типов зим по суровости ледовых условий позволяет заключить, что типы зим в акватории Татарского прол. в целом распределись следующим образом: экстремально суровые — 5 %, суровые — 18 %, умеренные — 45 %, мягкие — 11 % и экстремально мягкие — 3 %. Ледовая зона Т-1 отличается максимальной суровостью, среди других зим в этой акватории на суровый тип приходится 37 %, что в сочетании с минимальным количеством (29 %) мягких и экстремально мягких типов зим и прочих равных условиях делает ее самой ледовитой зоной Татарского пролива.

Наибольшее совпадение типов зим отмечено в проливе в целом и в его юго-западной (84 %) и северной (79 %) ледовых зонах. Для всего Татарского пролива и его юго-восточной ледовой зоны процент совпадений типов зим заметно ниже (68 %), а наименьшее совпадение наблюдалось между северной и юго-восточной зонами (58 %).

Выводы

1. В период с 1985 по 2019 гг. ледовитость Татарского пролива сократилась на 9 %. В северной ледовой зоне величина ее изменилась на 4 %, в юго-западной зоне — на 5 %, а в юго-восточной — менее чем на 1 %.

2. Средняя продолжительность ледового сезона за исследуемый период в Татарском проливе составила 147 сут., что на 43 сут. меньше относительно расчетной величины для климатической нормы 1961–1990 гг. Наиболее продолжительный ледовый сезон (181 сут.) был отмечен в северной ледовой зоне, а самый минимальный (33 сут.) в юго-восточной.

3. Анализ аномалий ледовитости Татарского пролива в целом и его северной зоны относительно оперативной климатической нормы 1981–2010 гг. выявил продолжительные периоды преобладания положительных аномалий с 1985 по 2002 гг. и отрицательных — с 2003 по 2015 гг. Коэффициент корреляции ледовитости в этих зонах равен 0,91. В юго-западной зоне преобладание положительных аномалий отмечено с 1985 по 1988 гг., отрицательных — с 1989 по 2019 гг. В юго-восточной зоне за весь исследуемый период преобладали отрицательные аномалии ледовитости.

4. Результаты анализа типизации зим по суровости ледовых условий показали, что умеренные зимы являются преобладающими в проливе. Характер развития ледовых условий в границах исследуемых ледовых зон в течение одного ледового сезона может существенно различаться. Совпадение суровости ледовых условий во всех ледовых зонах одновременно происходит редко и отмечается в 24 % случаев.

5. Существенные различия ледового режима в выделенных ледовых зонах и на акватории Татарского пролива в целом, современный уровень знаний и объемы накопленной исторической информации, позволяют заключить, что, опираясь на данные дистанционного зондирования Земли, дальнейшее направление исследований ледового режима и разработка прогнозов целесообразно выполнять с учетом районирования.

POSTER 3.12

ПОСТЕР 3.12

INTENSIVE INTERNAL WAVES ON THE ARCTIC SEAS SHELF

A.V. Zimin, E.I. Svergun, A.A. Konik (IO RAS)*

ИНТЕНСИВНЫЕ ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ В ШЕЛЬФОВЫХ РАЙОНАХ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

A.B. Зимин^{1,2}, Е.И. Свергун^{1,2}, А.А. Коник^{1,2}*

¹ — *Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН, Москва, Россия*

² — *Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

** zimin2@mail.ru*

Короткопериодные внутренние волны, которые отличаются высотой, превышающей 10 метров, сильной крутизной и нелинейностью называ-

ются интенсивными. Динамические эффекты вызываемые ими затрудняют подводную навигацию, ограничивают управляемость подводных аппаратов, способны размывать донный грунт [Родионов А.А., Семенов Е.В., Зимин А.В. Развитие системы мониторинга и прогноза гидрофизических полей морской среды в интересах обеспечения скрытности и защиты кораблей ВМФ // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2012. Т. 5. № 2. СПб.: Наука. С. 89–108.; Зимин А.В., Свергун Е.И. Короткопериодные внутренние волны в шельфовых районах Белого, Баренцева и Охотского морей: оценка повторяемости экстремальных высот и динамических эффектов в придонном слое // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2018. Т. 11, № 4.]. Результаты обобщения спутниковых наблюдений показали, что короткопериодные волны являются распространенным явлением на шельфе приливных арктических морей [Kozlov I., Kudryavtsev V., Zubkova E., Atadzhanova O., Zimin A., Romanenkov D., Myasoedov A., Chapron B. SAR observations of internal waves in the Russian Arctic seas. In Proc. Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), IEEE International. 2015. pp. 947–949.; Зимин А.В., Козлов И.Е., Атаджанова О.А., Шапрон Б. Комплексный мониторинг короткопериодных внутренних волн в Белом море // *Исследование Земли из космоса*. 2015. № 5. С. 51–61.]. Внутренние волны могут порождать придонное течение относительно высоких скоростей. При взаимодействии течений порождаемых волнами с поверхностью дна при определенных условиях донный материал начинает перемещаться. Этот процесс может приводить, например, к формированию промоин под опорами гидротехнических сооружений.

Целью данной работы является обобщение сведений о характеристиках короткопериодных внутренних волн в шельфовых районах арктических морей по результатам морских исследований и оценка возможных экстремальных динамических эффектов в придонном слое.

На первом этапе работы было выполнено обобщение результатов контактных наблюдений за короткопериодными волнами выполнение на 11 полигонах в Белом и Баренцевом море в 2010–2017 гг. Суммарная продолжительность высокоразрешающих измерений на каждом полигоне была не менее 50 часов.

Общей особенностью для всех рассмотренных полигонов являлось наличие вертикального распределения вод близкого по своим характеристикам к двухслойной структуре: верхний слой имел толщину 10–30 метров и был отделен от нижележащих вод относительно тонким и ярко выраженным пикноклином, при этом его положение совпадало с положением термоклина. Поэтому, по вертикальным вариациям положения изотермы,

выделенной в области термоклина, можно оценить высоту каждой волны, проходящей через полигон. Согласно единой методике расчета, рассматривались волны с периодами от 5 до 60 минут и высотами более 1 метра

Методика оценки ожидаемых экстремальных высот внутренних волн основывалась на экстраполяции функции распределения наблюдаемых высот волн. Расчет ожидаемых высот волн выполнен для периода времени в 30 суток, в предположении сохранения стабильности основных характеристик вертикальной структуры вод. Расчет вариаций придонного давления и скорости придонного течения, вызванных внутренними волнами производился в предположении двухслойной жидкости.

В Белом море высота наблюдаемых на полигонах внутренних волн менялась в пределах от 1 до 18 метров. Чаще всего волны регистрировались на полигоне южнее пролива Горло. Максимальные высоты наблюдаются в проливе Западная Соловецкая Салма. В Баренцевом море высота наблюдаемых на полигонах внутренних волн колеблется от 2 до 8 метров. Внутренние волны встречаются здесь чаще, чем в Белом море.

Раз в месяц интенсивное волнение следует ожидать в Белом море в Западной Соловецкой Салме и в Двинском Заливе, в Баренцевом море около остова Харлов. Придонное течение, генерируемое внутренними волнами экстремальных высот, способно приводить к размыву грунта крупностью до 4 десятых миллиметра.

На втором этапе было рассмотрено возможность географического прогнозирования возможного опасного воздействия внутренних волн на дно. В район исследования входили арктические: Белое, Баренцево, Карское и южная часть моря Лаптевых.

Формирование потока наносов является сложным процессом, зависящим от различных метеорологических, гидродинамических и геоморфологических условий. Однако, в конечном итоге, перемещение наносов, их дифференциация будет определяться величиной придонной скорости и крупностью частиц в потоке наносов. Следовательно, наличие размыва грунта может быть определено на основе концепции допустимой неразмывающей скорости для донного грунта, в которой критерием отсутствия размыва на границе «грунт – жидкость» является условие, что характерное значение скорости потока (обычно донная или средняя на вертикали скорость) не превышает некоторого критического значения.

Для получения данных о гранулометрическом составе были обобщены литологические карты масштаба 1:1 000 000 поверхности морского дна акватории арктических морей России. Несмотря на то, что на площади дна акватории присутствуют различные типы осадков: моногранулярные, бигранулярные, миктиты и полимиктиты, в нашем иссле-

довании все они сводились к преобладающей фракции. Размеры частиц были усреднены по диапазону для фракции.

Опасными с точки зрения вероятности размыва грунта вследствие прохождения интенсивной внутренней волны являются следующие три района: Печорское море, Обь-Енисейское мелководье Карского моря и южная часть моря Лаптевых. Все эти районы объединяет: близость впадения крупных рек; глубины до 100 метров; преимущественно песчаный состав грунта.

POSTER 3.13

ПОСТЕР 3.13

**PROMISING ICE-MONITORING SYSTEMS BASED
ON SMALL XP-BAND RADARS**

*M.I. Kanevsky, O.V. Vasilev (BANS),
N.A. Baranov* (Dorodnicyn Computing Centre, FRC CSC RAS)*

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА
ЛЕДОВОЙ ОБСТАНОВКИ НА БАЗЕ МАЛОГАБАРИТНЫХ
ЛОКАТОРОВ ХР-ДИАПАЗОНА**

М.И. Каневский¹, О.В. Васильев¹, Н.А. Баранов^{2}*

¹ — АО «Бортвые аэронавигационные системы», г. Москва, Россия

² — Вычислительный центр им. А.А. Дородницына Федерального
исследовательского центра «Информатика и управление» РАН,
г. Москва, Россия

** baranov@ians.aero*

Современные технологии обеспечения потребителей картографической информацией на базе спутниковых радиолокационных снимков имеет ряд существенных ограничений и не позволяет с высокой экономической эффективностью решать задачи освоения и развития арктического региона. К числу таких ограничений можно отнести, прежде всего, потенциальную угрозу ограничения или полного прекращения доступа к данным спутникового мониторинга (преднамеренным или из-за сбоев в системе распространения информации). Кроме того, спутниковый мониторинг ледовой обстановки имеет низкую частоту обновления данных и ограничен в пространственном выборе района картографирования.

В целом, современное состояние ледового мониторинга в Арктике характеризуется следующими недостатками:

– Россия не обладает в настоящее время радиолокационными системами, размещенными на искусственных спутниках для всепогодных и всепогодных наблюдений окружающей среды в Арктике;

– отсутствует система оперативного ледового мониторинга для обеспечения безопасности мореплавания на трассах Северного Морского Пути (СМП), буровых работ и других функциональных задач на шельфе арктических морей;

– в основном характеристики морского ледяного покрова описываются на основании данных зондирования в сантиметровых диапазонах, в то время как в дециметровых диапазонах лучше выделяются айсберги, наслоения, торосы, гряды торосов, границы ледяных полей в зонах мелкобитого льда, зоны битого и раздробленного льда и отдельные льдины, составляющие крупные поля, а также трещины в льдинах;

– недостаточно развиваются технологии автоматизированной обработки спутниковых и других радиолокационных изображений ледяного покрова, что является неперенным условием для быстрой обработки больших массивов радиолокационной информации в интересах получения оперативных актуальных ледовых карт с минимальным запаздыванием от момента получения радиолокационных изображений до момента предоставления карты ледовой обстановки потребителю в требуемой форме с заданным уровнем детальности и точной координатной привязкой.

В настоящее время компанией «БАНС» разработан малогабаритный радиолокатор ХР-диапазона, который может размещаться на пилотируемых и беспилотных летательных аппаратах. Появление такого типа средств радиолокационного зондирования позволяет создать альтернативную технологию авиационного дистанционного мониторинга ледовой обстановки, обладающую высокой степенью оперативности по сравнению со случаем использования традиционных спутниковых данных.

Мобильные средства мониторинга воздушного базирования обеспечивают получение многоспектральных радиолокационных данных для требуемой территории с последующей их передачей по согласованной временной схеме в центр автоматизированной онлайн обработки данных, который осуществляет оперативную обработку данных и построение детализированных карт ледовой обстановки (прямое картирование возрастных характеристик морского льда) в соответствии с действующей Номенклатурой морских льдов, карт полей дрейфа/сжатий/разрежений ледяного покрова, а также идентификации и картирования опасных ледовых образований (айсбергов, гряд торосов, стамух и пр.).

При полосе захвата до 5км рассматриваемый локатор обеспечивает высокое линейное разрешение по азимуту и дальности (не более 3 м), а наличие Р-канала зондирования дает прямую дополнительную информацию о вертикальной структуре ледового покрытия.

Охват территории мониторинга достигается за счет оптимального выбора траектории полета авианосителя радиолокатора ХР-диапазона в процессе мониторинга в зависимости от решаемых задач. В частности, при решении задач по обеспечению проводки судов полет может осуществляться по «лоцманской» схеме — с опережением вперед по трассе судна, осуществляющего ледовое плавание. Поскольку скорость полета носителя ХР-локатора на порядок превосходит скорость движения судна, применение такой схемы мониторинга гарантирует требуемый уровень заблаговременности поступления ледовой информации.

При необходимости получения карт смещений и деформаций льда мобильное зондирование обеспечивает возможность формирования пар изображений по одним и тем же площадям с временным сдвигом (от одного часа и более — в зависимости от задач) — например, на маршруте «от судна» по ходу на расстояние, соответствующее нескольким часам пути и обратно.

Использование беспилотных летательных аппаратов в качестве носителей средств зондирования и автоматизированная обработка данных позволяет реализовать фактически круглосуточный непрерывный мониторинг ледовой обстановки требуемых регионов и территорий, не зависящий от зарубежных радиолокационных данных. В частности, таким образом решаются задачи:

- оперативного предоставления ледовых карт, характеризующих изменение ледовых условий в период таяния, для определения возможных сроков начала буровых работ в районе интересов Заказчика;

- выбора оптимальных по расстоянию трасс с наиболее легкими условиями ледовой навигации для экономии путевого времени и горючесмазочных материалов при сокращении периода плавания в сплоченных льдах;

- повышения безопасности мореплавания и буровых работ.

Внедрение в оперативную практику ледового мониторинга компактной двухдиапазонной системы РЛК-ХР позволит способствовать решению задач, соответствующих стратегии развития РФ в Арктике, содержащихся в документе «Об Основах государственной политики России в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу», в частности:

- обеспечение информационной безопасности РФ (независимость от зарубежной спутниковой информации при мониторинге ледовой обстановки) и формирование единого информационного пространства Российской Федерации в ее Арктической зоне с учетом природных особенностей;

– обеспечение безопасности мореплавания на Северном Морском Пути и в других районах арктических морей, где ведутся изыскательские работы и бурение на шельфе, для превращения трассы СМП в стабильную безопасную круглогодичную магистраль;

– обеспечение достаточного уровня фундаментальных и прикладных научных исследований по накоплению знаний и созданию современных научных и геоинформационных основ управления арктическими территориями, включая разработку средств для решения задач обороны и безопасности, а также надежного функционирования систем жизнеобеспечения и производственной деятельности в природно-климатических условиях Арктики и др.

POSTER 3.14

ПОСТЕР 3.14

**EDDIES IN FRAM STRAIT FROM HIGH-RESOLUTION
SPACEBORNE RADAR OBSERVATIONS**

I.E. Kozlov^{1,2}, L.A. Petrenko¹, E.V. Plotnikov¹*

¹ — *Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia*

² — *Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia*

** igor.eko@gmail.com*

Here we analyse high-resolution spaceborne synthetic aperture radar (SAR) measurements to retrieve statistical and dynamical properties of ocean eddies in the ice-free regions and the marginal ice zone (MIZ) of Fram Strait. Analysis of historical Envisat ASAR images allows to obtain detailed spatial statistics of eddy generation sites, their diameters and vorticity sign. As shown, the total number of cyclones strongly dominates over anticyclones. Eddies are frequently observed over continental slope and shelf regions around Svalbard, however, about 80 % of them are identified over the deep Fram Strait regions. In general, eddies range in size between 1.5 km and 64 km with a mean value of 8 km. Larger eddies of 10–30 km in diameter are usually found over deep water, while smaller eddies of 3–7 km in diameter prevail around Svalbard. As observed, the overall pattern of eddy field in the strait attributes well to the position of West Spitsbergen Current jet and its southern recirculation branch known from literature.

Analysis of sequential Sentinel-1 images allows to retrieve surface current velocity field having a clear signature of an anticyclonic eddy in the Fram Strait marginal ice zone. Mean orbital velocity of the observed eddy is estimated to be around 0.4–0.5 m/s, in good agreement with earlier field

observations. Presented results demonstrate the potential of spaceborne SAR data to retrieve critical properties of eddies of various scales, and further investigate their role in the Arctic Ocean.

Statistical analysis of eddy properties derived from historical Envisat ASAR data was supported by RFBR grant No. 18-35-20078. Processing and analysis of eddy dynamics from sequential Sentinel-1 data was done within RSF grant No. 18-77-00082. Envisat ASAR images used in this work were available from European Space Agency within CAT-1 Project C1F.29721. Sentinel-1 data used in this study were obtained from the Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu>).

POSTER 3.15

ИОЦЕП 3.15

**ASSESSMENT OF THE VARIABILITY OF THE FRONTAL ZONES
OF THE KARA SEA IN A CHANGING CLIMATE**

A.A. Konik^{1,2}, A.V. Zimin^{1,2}, A.P. Pedchenko³*

¹ — *Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

² — *Saint-Petersburg state University, St. Petersburg, Russia*

³ — *Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, Russia*

** konikrshu@gmail.com*

In many studies, it has been found that the temperature, salinity, and intensity of water circulation in the Arctic undergo pronounced changes over decades. These changes affect the entire water column and are reflected primarily in the reduction of long-term ice cover. Climate changes should also significantly affect the position and dynamics of frontal zones in the Arctic ocean seas. The study of these processes is complicated by the lack of observational data, however, the study of frontal dynamics of the Kara sea is motivated not only by the need of obtaining knowledge of the impacts of climate change the World ocean, but also problems related to the exploration of biological resources.

In the Kara sea, there is a large number of local frontal zones (FZ) that are formed under the influence of various climatic factors, river flow, and bottom topography. The most extended of them are the Marginal Ice Arctic FZ and the River Plums FZ. Marginal Ice Arctic FZ is formed under the influence of melting ice and advection of water by currents of Perseus and of St. Anne in the North part of the sea, and the River Plums FZ — drain of the rivers Ob and Yenisei in the South-Eastern part. Both frontal zones are seasonal

and only appear during the warm season. However, there is no systematic description of the pattern of variability of the FZ in the conditions of a sharp reduction of the ice cover.

Thus, the purpose of this work is to systematically describe the dynamics of the Marginal Ice Arctic and the River Plums frontal zones of the Kara sea and their main fronts during the warm season in the conditions of the modern changing climate.

To study the characteristics of the frontal zones, the sea surface temperature was used from the MODIS Aqua and Viirs Suomi NNP IR satellites with a resolution of 4 km, as well as from the GHR SST OSTIA product. The data of the contact measurements were used by the R/V "Professor Levanidov", obtained in 2019.

Based on the obtained data, composite maps were constructed that combine the calculated gradients and isolines of sea surface temperature (SST). The position of the frontal zones was determined by the intensity of gradients. Quantitative characteristics were evaluated by making sections in the Western, Central and Eastern parts of the sea, which determined the average width of the frontal zones and the maximum SST gradients.

In the dynamics of the width of both frontal zones, there is an intra-seasonal course associated with the spread of river waters and the intensity of melting of the ice cover. The maximum width is observed in August, and the minimum in September and July, which is mainly due to the hydrological features of the Kara sea. Maximum SST gradients were observed in stable frontal sections, which were generally close to stationary ones. As a result, monthly and decade estimates of the characteristics of the surface temperature of the frontal zones in the warm season of 2019 were obtained. The average temperature gradient for monthly averaging within the Marginal Ice Arctic FZ was $0.02\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{km}$ with a width of 98 km. The Average the River Plums FZ gradient was $0.07\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ with a width of 130 km.

Comparison of remote data with contact measurements obtained from the R/V "Professor Levanidov" showed that the position of the River Plums FZ in September 2019 coincides with the position of the front registered in the section with the station numbers 381–391. The results of the measurements show that the average cross-section surface temperature inside the frontal zone is $2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, which is consistent with satellite data.

The presented materials indicate the presence of complex mesoscale dynamics within the frontal zones in the Kara sea.

**VERIFICATION OF MODEL CALCULATIONS OF WAVES
IN THE GULF OF OB ON THE BASIS OF INSTRUMENTAL
MEASUREMENT DATA IN 2015–2017**

P.V. Korobov, V.I. Dymov, N.P. Jakovleva, K.G. Smirnov,
V.V. Alekseev (AARI)*

**ВЕРИФИКАЦИЯ МОДЕЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ ВОЛНЕНИЯ
НА АКВАТОРИИ ОБСКОЙ ГУБЫ ПО ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМ
ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ В 2015–2017 гг.**

П.В. Коробов, В.В. Алексеев, В.И. Дымов, Н.П. Яковлева, К.Г. Смирнов
ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский
институт, Санкт-Петербург, Россия*

** pkor@aari.ru*

Необходимость расчетов и прогнозов ветрового волнения обусловлена опасностью этого явления для судов и инфраструктуры в регионах ведения хозяйственной деятельности. Для арктических морей эта необходимость растет по мере ускорения таяния льда и большей открытости акваторий. Возрастает потребительский интерес к расчетам в прибрежных акваториях, требующих более детальных входных данных и применения вложенных сеток. В связи с этим, встает вопрос верификации численных моделей для каждой акватории для обоснованного применения этих моделей.

Данный доклад посвящен акватории Обской губы. В виду активной хозяйственной деятельности в этом регионе и связанным с ней интенсивным судоходством, необходимы научно-обоснованные методы прогнозирования опасных явлений на этой акватории. Для расчетов и прогнозов волнения существует ряд современных численных моделей: AARI-PD2, SWAN, WAVEWATCH-III, WAM.

В докладе приводятся результаты сравнения данных численной реализации волновой модели SWAN для акватории Обской губы и данных инструментальных наблюдений, полученных лабораторией «Арктик-шельф» (ФГБУ «АНИИ») в 2015–2017 гг. Проведена верификация модели SWAN по имеющимся инструментальным измерениям, приведены статистические оценки качества результатов модельных вычислений.

Результаты сопоставления данных измерений и данных расчета моделью SWAN показывают, что модельные данные хорошо согласуются с наблюдениями.

Итогом верификации является заключение о пригодности модели SWAN с указанными в докладе параметрами для расчета волнения в акватории Обской губы и целесообразности использования этой модели на данной акватории.

POSTER 3.17

ПОСТЕР 3.17

SEASONAL VARIABILITY OF TIDES IN THE ARCTIC SEAS
OF RUSSIA

M.E. Kulikov, I.P. Medvedev (IO RAS), A.T. Kondrin (MSU)*

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРИЛИВОВ
В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ РОССИИ

М.Е. Куликов¹, И.П. Медведев¹, А.Т. Кондрин²*

¹ — Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия

² — Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
г. Москва, Россия

* *meksonesk@gmail.com*

В данном исследовании рассматриваются колебания уровня моря, вызванные приливообразующими силами Луны и Солнца. Основное внимание уделяется сезонной изменчивости характеристик приливов в морях российской Арктики.

Использованные в настоящем исследовании данные представляют собой массив ежечасных наблюдений за уровнем моря на 6 станциях в Белом, Лаптевых и Чукотском морях, а также на ряде станций Карского моря. Временное покрытие для беломорских станций включает относительно непрерывные ряды с 2004 по 2015 годы. Для станций восточного сектора Арктики имеется максимальный ряд с 1981 по 2005 годы для станции Тикси. Многолетние данные за указанный период для Лаптевых Чукотского и Карского морей используется впервые в данной работе.

Для анализа сезонной изменчивости прилива были выбраны 6 основных приливных гармоник — суточные O_1 и K_1 , полусуточные N_2 , M_2 и S_2 , а также мелководная M_4 , характерная для Белого моря. Производился расчет средних амплитуд и фаз этих гармоник за каждый месяц, чтобы получить сезонный ход приливов в виде отклонения среднемесячных значений гармонических постоянных от среднеголетних. Для этой цели использовался метод гармонического анализа приливов с помощью метода наименьших квадратов.

Была исследована сезонная изменчивость характера прилива, его величины и некоторых особенностей, в частности явления манихи, выраженного в запаздывании времени наступления полной воды прилива.

На основании результатов исследования можно сделать вывод, что классический гармонический анализ, который обычно применяется для предвычисления приливов, в условиях Арктики не дает точную оценку приливных колебаний уровня из-за сезонной изменчивости приливных характеристик в отдельных акваториях. Интерпретация сезонной изменчивости приливных характеристик с использованием новых подходов в обработке многолетних рядов при помощи гармонического анализа, представленная в настоящем исследовании, позволит уточнить карты распространения приливных волн (котидальные карты) важные для судоходства и прибрежного строительства в Арктике.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0149-2019-0005) и при поддержке гранта РФФИ № 18-05-60250

POSTER 3.18

ПОСТЕР 3.18

COMPARATIVE ANALYSIS OF ICE CONDITIONS CLASSIFICATION FOR NAVIGATION IN THE RUSSIAN ARCTIC SEAS

M.A. Mardarovskii (AARI)

ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ ПЛАВАНИЯ В РОССИЙСКИХ АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ

*М.А. Мардаровский**

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

** mateo.marqez@gmail.com*

Тип сложности ледовых условий (ЛУ) является одним из наиболее важных параметров для обеспечения безопасности плавания.

Существует несколько принятых систем типизации сложности ЛУ для арктических морей: российская согласно «Правилам плавания в акватории СМП», канадская Arctic Ice Regime Shipping System (AIRSS) и международная Polar Operational Limit Assessment Risk Indexing System, принятая Международной морской организацией.

Система POLARIS была создана на основе разработок арктических стран, осуществляющих судоходство в замерзающих морях, и фактически является модернизированной версией AIRSS. В связи с этим, в настоящей работе предпринята попытка сравнить систему оценки сложности ледовых условий по трассе СМП и POLARIS.

Для проведения сравнительного анализа были выбраны оптимальные стандартные маршруты ледового плавания для Карского моря в

марте и мае 2016 года и Восточно-Сибирского моря в августе и сентябре 2018 года. Для участков маршрутов, отличающихся по ледовым условиям согласно обзорным ледовым картам Центра «Север» ГНЦ ААНИИ, были определены такие показатели как сплоченность и возраст льда. Полученные данные были использованы для расчета Risk Index Outcome (RIO) для плавания судов с ледовым классом Arc4 и Arc7. Значения индекса были сопоставлены с картами типов ледовых условий по сложности плавания, которые разрабатываются в ААНИИ.

Возможность плавания судна в акватории СМП оценивалась по таблице согласно «Правилам плавания в акватории СМП».

В зимний период типизация производится на основе ледовой информации о толщине (возрасте) льда, а летом — на основе информации о сплоченности льда, характеризующей распространение ледяных массивов, которые являются основным препятствием для судоходства в летнее время.

Для каждого моря существует матрица сложности ледовых условий и значений толщины и сплоченности льда. Полученное значение сложности ледовых условий сравнивается с Критериями допуска судов на Северный морской путь в соответствии с категорией их ледовых усиления.

Индекс RIO рассчитывается путем перемножения сплоченности и коэффициента, зависящего от класса судна и толщины льда.

Выбор коэффициента (значения риска RV) из таблицы для участка плавания зависит от класса судна и значения толщины (возраста) льда для любого времени года. Этот коэффициент умножается на значение сплоченности льда. Все полученные частные значения RIO суммируются, и на основе полученного значения делается вывод о возможности плавания для судов, относящихся к классам PC1-PC7 и ниже PC7.

Рассчитанные значения RIO сравнивались с полученными значениями критериев допуска судов в акваторию СМП.

В марте 2016 года в Карском море наблюдались «средние» ледовые условия. Согласно «Правилам плавания в акватории СМП» судну с классом Arc4 запрещается выход в акваторию моря. Расчет RIO для стандартного маршрута показал, что для всех участков значение больше > 0 , следовательно навигация допускается.

В мае тип ледовых условий был «тяжелый», что означает невозможность плавания судна Arc4. Для ряда участков маршрута RIO > 0 и

только на 5 участках из 19 наблюдались сложные условия плавания, при которых навигация допускается с ограничениями скорости.

Для судна Arc7 две системы противоречили друг другу только в мае 2016 года. В северо-восточной части Карского моря плавание разрешено только с ледокольной проводкой, тогда как RIO для всех участков > 0 .

Расчеты RIO для Восточно-Сибирского моря производились на основе данных совместной модели морского льда — океана HYCOM/ CICE Датского метеорологического института в связи с отсутствием таких данных в ЦЛГМИ ААНИИ.

В августе 2018 года наблюдались сложные условия плавания в западной части моря (судам класса Arc4 запрещено плавание) и средние в восточной (разрешено с ледокольной проводкой). Однако, только на 3 участках из 25 RIO больше -10 , но меньше 0 , что означает требование к ограничению скорости. В остальных случаях противоречия не были выявлены. Такие результаты в Восточно-Сибирском море могут быть обусловлены использованием модельных расчетов толщины льда.

Таким образом, все существующие системы типизации сложности не лишены формализма, поскольку в них используются заданные эмпирические коэффициенты, которые могут не полностью учитывают многообразие природных условий.

В настоящее время согласно «Правилам плавания в акватории СМП» основными критериями допуска судов на СМП являются категория ледовых усилений судна (ледовый класс) и тип ледовых условий в районе моря (легкие, средние, тяжелые). Тип ледовых условий определяется в зимний период на основе возраста льда, в летний — по параметру сплоченности для укрупненных районов арктических морей (по 2 района в каждом море).

Таким образом, основными недостатками существующей системы является ограниченный набор параметров ледяного покрова, используемый для оценки, а также размеры районов, для которых выделяются типы ледовых условий.

Система POLARIS для судов класса Arc4 дает результаты, отличные от результатов, получаемых при оценке допуска судов в акваторию СМП. В летние месяцы это может быть обусловлено недостатком информации о толщине льда, тогда как для зимнего периода необходимо уточнение критических значений RIO.

TSUNAMI IN THE ARCTIC

I.P. Medvedev, E.A. Kulikov, A.I. Ivashshenko (IO RAS), I.V. Fine (Inst. Ocean Sci, Canada), A.Yu. Medvedeva, O.I. Yakovenko (IO RAS)

ЦУНАМИ В АРКТИКЕ

И.П. Медведев^{1}, Е.А. Куликов¹, А.И. Иващенко¹, И.В. Файн²,
А.Ю. Медведева¹, О.И. Яковенко¹*

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

² — *Институт океанских наук, Британская Колумбия, Канада*

* *medvedev@ocean.ru*

Выполнен анализ генерации и распространения волн цунами в Арктике. Рассматривались цунами сейсмотектонического происхождения в рамках модели очага землетрясения в виде площадки разрыва конечных размеров и поршневого механизма генерации цунами. Из-за отсутствия надежных сведений о проявлениях цунами в Арктике используется сценарный подход, основанный на статистической модели сейсмичности, разработанной по данным о тектонике и исторических землетрясениях региона. Из анализа сейсмологических данных следует, что потенциальную опасность цунами для арктического побережья России представляют землетрясения магнитудой $M_w \geq 7$ из трех зон повышенной сейсмической активности: (а) зоны подводного хребта Гаккеля; (б) моря Лаптевых; и (в) Чукотского моря с Беринговым проливом. Эти землетрясения характеризуются сбросовым типом механизма очага, что согласуется с господствующей обстановкой растяжения литосферы. На основе модели сейсмичности построен каталог вероятных цунамигенных землетрясений на интервал времени ~ 300 тыс. лет, содержащий более 2000 событий магнитудой $M_w \geq 7$ и более 250 событий с $M_w \geq 7,5$, хотя столь сильные события не наблюдались в указанных зонах за период инструментальных сейсмологических наблюдений. Каждое событие в каталоге характеризуется набором из десяти случайных значений параметров, задающих магнитуду землетрясения M_w , координаты гипоцентра, размеры площадки разрыва в очаге, среднее смещение по ней и ориентацию площадки разрыва в пространстве. Значения параметров выбирались случайным образом по методу Монте-Карло из наблюдаемых распределений (или на основе регрессии с магнитудой), что позволяет учесть алеаторную (случайную) неопределенность их оценок.

Разработанная численная гидродинамическая модель генерации и распространения волн цунами основывается на линейном приближении уравнений мелкой воды. Для оценки влияния ледового покрова на распространение волн цунами был выполнен ряд тестовых расчетов в акватории моря Лаптевых – наиболее ледовой части российской Арктики. Показано, что демпфирующий эффект при распространении волн может приводить к дополнительному затуханию амплитуд цунами до 10 %. Учитывая большой объем вычислительных операций, была разработана специальная версия программы ускоренного расчета цунами с использованием технологии распараллеливания (CUDA) вычислительного процесса на графических процессорах (GPU). Результаты моделирования цунами были подвергнуты статистической обработке. Определение максимальных волновых амплитуд, возникающих при прохождении цунами, включало расчет дифференцированных оценок с заданной вероятностью превышения (для заданных периодов повторения 500, 1 000, 5 000 и 10 000 лет). Были построены графики повторяемости расчетных максимальных высот цунами для всего арктического побережья РФ. Основным результатом исследований является обобщение экстремальной статистики высот волн цунами и построение обзорной карты цунамирайонирования арктического побережья России.

В мировой базе данных по цунами в настоящее время имеется единственное упоминание о проникновении в акваторию Северного Ледовитого океана волн цунами от сильнейших удаленных землетрясений в Тихом океане. 22 мая 1960 г. вблизи побережья Чили произошло сильнейшее землетрясение с магнитудой $M_w = 9,5$. Оно вызвало волны цунами с высотой до 25 м в южной части Тихого океана. 23 мая 1960 г. волна цунами от этого землетрясения наблюдалась в Чукотском море в Пойнт-Хоуп (северо-западное побережье Аляски). В настоящем исследовании при помощи численного моделирования были воспроизведены сильнейшие цунами, произошедшие в Тихом океане в XX–XXI вв., которые потенциально могли проникнуть в Арктику.

В работе была использована модификация известной численной модели распространения волн цунами в океане TUNAMI, в которой была реализована конечно-разностная аппроксимация уравнений мелкой воды. Область расчета покрывала весь Тихий океан и часть Северного- Ледовитого (80° ю.ш.– 80° с.ш., 120° в.д.– 70° з.д.). Расчетная сетка задавалась в сферических координатах с горизонтальным разрешением $2'$ и шагом по времени 2 с. Топография дна задавалась на основе данных GEBCO 2014.

Были воспроизведены восемь событий: $M_w = 9,5$ (Чили, 22 мая 1960), $M_w = 9,2$ (Аляска, США, 27 марта 1964), $M_w = 9,1$ (Тохоку, Япония, 11 марта 2011), $M_w = 9,0$ (Камчатка и Курильские острова, СССР, 4 ноября 1952), $M_w \sim 8,7$ (Крысьи острова, США, 4 февраля 1965), $M_w \sim 8,6$ (Андрейновские о-ва, США, 9 марта 1957), $M_w \sim 7,7$ (Никольское, РФ, 17 июля 2017 и $M_w \sim 7,6$ (Корякский АО, РФ, 20 апреля 2006). Использовались либо готовые сейсмические источники, либо они были воссозданы с использованием модели конечного разрыва.

Для Берингова моря наибольшие высоты волн среди вышеперечисленных событий были получены для чилийского цунами 1960 г, впрочем, как и для всего мира. Согласно нашим результатам, высота цунами там составила 192 см. Среди 7 изученных землетрясений, второе место по высотам волн цунами занимает Камчатское 1952 г. Это объясняется близким к экватории Берингова моря расположением источника. Для Пойнт-Хоуп наибольшие высоты 5 см вызвало землетрясение на Крысьих островах, а не чилийское.

Интересной задачей является вопрос об экранирующих свойствах Алеутской островной гряды при распространении цунами от удаленного источника в Тихом океане. В зависимости от соотношения длины волны и ширины пролива количество дифрагированной волновой энергии может сильно меняться. Чтобы оценить эффект ослабления волны цунами при прохождении через Алеутскую гряду мы в модельных расчетах разместили контрольные точки непосредственно перед проливами в Тихом океане и внутри акватории Берегового моря примерно на расстоянии 250 км от каждого из проливов и на одной глубине.

В таблице доклада приведены значения максимальных высот цунами для двух удаленных событий — Чилийское цунами 1960 г. и Тохоку 2011 г. Дополнительно приведены значения максимальных высот цунами непосредственно перед Беринговым проливом и в 250 км от него вглубь Чукотского моря. Оказалось, что типичный коэффициент ослабления для проливов Алеутской гряды составляет 0,6–0,8 (в среднем 0,75), при этом коэффициент ослабления цунами при переходе из Берингова моря в Арктику составляет $\sim 0,25$. Основываясь на этих оценках, можно заключить, что проникновение цунами в Арктику от удаленных источников в акватории Тихого океана маловероятно. Даже для таких мощных событий как Чилийское цунами 1960 г. амплитуда наблюдаемых волн не превысит первые сантиметры. Наибольшую опасность, по-видимому, представляют источники цунами, возникающие в самой акватории Берегового моря.

**VOLUMETRIC T, S-ANALYSIS OF THE WATERS
OF THE BARENTS SEA***S.S. Mukhametov (MSU)***ОБЪЕМНЫЙ Т,S-АНАЛИЗ ВОД БАРЕНЦЕВА МОРЯ***С.С. Мухаметов**Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, г.Москва,
Россия**puffin@bk.ru*

Данная работа посвящена межгодовой изменчивости термохалинных характеристик арктических морей, в связи с повышенным сегодняшним интересом к Арктике, где наиболее быстрые процессы изменения климата требуют многостороннего анализа данных в этом регионе. Сегодня по Арктике собрано большое количество данных, но их распределение очень неравномерно. Одна из самых наиболее изученных областей Северного Ледовитого океана находится в Баренцевом море.

Усиление таяния льда в последние годы привело к образованию опресненных водных масс в полярных областях океанов. Эти водные массы не являются типичными для их областей распространения, влияют на циркуляцию океана, контактируя с прилегающими водными массами. Опреснение поверхностных водоносных горизонтов приводит к блокированию взаимодействия нижележащих горизонтов с атмосферой, снижению интенсивности зимней конвекции. Опреснение воды Северной Атлантики описано в [Dickson, Yashayaev 2002; Dickson, Curry 2003], но по арктическому региону информация о комплексном воздействии опреснения не столь детальна и обычно представляет собой бассейн Северного Ледовитого океана, а не конкретный район.

Термин «водная масса» был точно определен А.Д. Добровольским в 1961 г. как «Водной массой следует называть некоторый, сравнительно большой объем воды, формирующийся в определенном районе Мирового океана — очаге, источнике этой массы – обладающий в течение длительного времени почти постоянным и непрерывным распределением физических, химических и биологических характеристик, составляющих единый комплекс и распространяющихся как одно единое целое».

Изучение долгопериодной изменчивости водных масс заключается в выявлении закономерностей их трансформации путем изучения изменчивости основных определяющих ее параметров. Изменчивость процесса изучалась с использованием характерных диаграмм состояния — T,S-диаграмм, которые были введены Монтгомери, Кокрейном и Поллаком. [Мамаев 1987].

Актуальность данного исследования заключается в сравнительной оценке текущей динамики и выявлении изменчивости, пополняющей бассейн атлантических вод арктических морей. Они во многом определяют условия вертикального теплообмена Северного Ледовитого океана, циркуляцию воды в морях западного сектора Российской Арктики, водообмен с открытой частью Северного Ледовитого океана.

В качестве источников океанографических данных были использованы база данных измерений океанографических данных (База данных Мирового океана) Национального центра океанографических данных США (WOADB) и электронный атлас выпуска океанов 2019 года (WOA) [<http://www.nodc.noaa.gov>].

Атлас температуры и солёности воды расположен в центрах 15-минутных сферических трапеций. Глубина от 0 м до 100 м в 5 м, от 100 м до 500 м с шагом 25 м, от 500 м до 1500 м с шагом 50 м. Напомним, что максимальная глубина Баренцева моря около 600 метров. Для построения основной массы статистических T,S-диаграмм интерполированные данные по температуре и солёности были отсортированы по T,S-классам. Объём воды в Баренцевом море был оценен в диапазоне температур ($-1,8$ °C и 9 °C) с шагом $0,2$ °C, в диапазоне солёности 30 – 36 ‰ с шагом $0,1$ ‰.

Баренцево море — акватория, выделяющаяся в океанах своей термохалинной структурой. Самая высокая средняя температура моря в ноябре обусловлена сильной зимней конвекцией. Поверхностные воды моря, охлаждаясь, увеличивают свою плотность и опускаются на значительные глубины. В связи с тем, что температура поверхностных вод в летний сезон выше средней, температура моря повышается. Хорошо стратифицированная структура вод Баренцева моря по температуре наблюдается в августе и сентябре, а в ноябре и декабре начинает размываться. Солёностная стратификация, напротив, становится более устойчивой в этот момент (зима-лето), а менее стабильна осенью и весной.

MODELING SEA WAVES IN THE KARA SEA USING HIGH RESOLUTION WEATHER DATA

S.A. Myslenkov (MSU, IO RAS), V.S. Platonov (MSU)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ МОРСКОГО ВОЛНЕНИЯ В КАРСКОМ МОРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТЕОДАНЫХ МОДЕЛИ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

С.А. Мысленков^{1,2}, В.С. Платонов¹*

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

² — *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия*

** stasocean@gmail.com*

Изучение гидрометеорологических условий в Арктических морях России является важной задачей в связи с освоением шельфовых месторождений нефти и газа, судоходства по северному морскому пути и обеспечения сопутствующей инфраструктуры.

Ввиду практически полного отсутствия инструментальных данных о волнении для диагноза и прогноза параметров волнения в арктических морях широко применяется математическое моделирование. В качестве вынуждающей силы (форсинга) в моделях волнения используются поля ветра из глобальных реанализов или прогностических систем. Результаты моделирования волнения во многом зависят от качества задаваемого поля скорости ветра. В мире имеется положительный опыт использования региональных метеорологических моделей для улучшения качества диагноза и прогноза погоды и волнения на море. В данной работе приводятся результаты численных экспериментов с использованием спектральной волновой модели WAVEWATCH III для Карского моря, с использованием полей ветра высокого разрешения из региональной модели COSMO-CLM.

Для расчета параметров ветрового волнения в Карском море была выполнена реализация спектральной волновой модели третьего поколения WAVEWATCH III. При расчетах использовалась схема ST1. Для расчета нелинейных взаимодействий волн была использована DIA. Для учета влияния льда была использована схема IC0, согласно которой при концентрации льда более 25 % узел сетки считается покрытым льдом.

В программе SMS Aquaveo была создана неструктурная сетка с шагом по пространству около 700 м в прибрежной зоне акватории Карского моря,

10 км в открытой части Карского моря и 20–60 км в Баренцевом море и Северной Атлантике. Количество узлов сетки составило 37729. Такая вычислительная сетка позволяет избежать открытых границ в волновой модели, но в то же время количество узлов сетки остается небольшим.

Данные о ветре для моделирования волнения получены при помощи модели COSMO-CLM. На границах внешней области в COSMO-CLM задаются данные реанализа и контролируются путем использования спектрального наджинга (англ. spectral nudging) для лучшего усвоения крупномасштабных полей.

Стандартная конфигурация модели COSMO-CLM включает в себя: схему интегрирования по времени Рунге-Кутты с расщеплением акустических и гравитационных волн и численной аппроксимацией горизонтальной адвекции 5-го порядка; диффузию по Смагоринскому и «спектральный наджинг». Схема параметризации радиации Ритгера - Жилейна основана на двух-поточковой версии уравнения радиационного переноса; параметризация осадков описывает льдо- и градообразование в облаках; влажная и мелкая конвекция параметризуется схемой Тидтке потока массы с равновесным замыканием; турбулентность описывается одномерной ТКЕ — схемой замыкания 2,5 порядка; схема параметризации переноса в приземном слое, основанная на использовании уравнения для турбулентной кинетической энергии, включает описание процессов в ламинарно-турбулентном слое шероховатости. Это позволяет разделить модельные значения на твердой поверхности и уровне шероховатости.

Эксперименты с моделью COSMO-CLM проводились с по схеме «вложенных сеток» (динамического даунскейлинга). Для запуска региональной модели COSMO-CLM в качестве граничных условий используется реанализ ERA-Interim. Первоначально проводится модельный расчет для области с грубым разрешением (с шагом сетки около 13 км, «базовый домен»), охватывающим западный сектор Российской Арктики и Северную Атлантику. Затем выходные данные этих экспериментов использовались в качестве начальных и граничных условий для интерполяции в дальнейших модельных расчетах на доменах с шагом сетки 2,8 км для региона Карского моря с прилегающими островами и акваториями близлежащих морей.

Было выполнено несколько численных эксперимента по воспроизведению параметров ветрового волнения с использованием различного ветрового форсинга. Расчет был выполнен для периода сентябрь-октябрь 2012 года, так как для этого периода имелись данные измерений высоты волн в Карском море.

В первом эксперименте использовались данные о ветре из реанализа NCEP/CFSv2 с разрешением $\sim 0,2^\circ$ и шагом по времени 1 час. Во вто-

ром эксперименте использован комбинированный форсинг: для акватории Карского моря ветер задавался из модели COSMO с шагом 2.8 км, а для акватории Северной Атлантики и Баренцева моря — форсинг NCEP/CFSv2. Во третьем эксперименте также использован комбинированный форсинг с полями ветра из COSMO с шагом 13 км.

Поля сплоченности льда для всех экспериментов были получены из реанализа NCEP/CFSv2 с разрешением $\sim 0,2^\circ$ и шагом по времени 1 час.

Оценка качества воспроизведения высоты волн производилась на основе данных заякоренных станций, установленных в сентябре—октябре 2012 года и опубликованных в Атласе гидрометеорологических и ледовых условий морей российской Арктики. Статистические показатели сравнения основаны на основе 398 пар значений.

Наиболее высокий коэффициент корреляции наблюдается при использовании форсинга COSMO 12 км. В этом случае при сравнении высоты волны с данными наблюдений коэффициент корреляции составляет 0,94, а среднеквадратическая ошибка около 0,3 м. Однако, все эксперименты, в том числе и с использованием ветра высокого разрешения COSMO 3 км дают примерно одинаковые показатели качества.

Также сопоставление результатов моделирования скорости ветра и высоты волн проводилось с данными спутников Cryosat и Saral. Для скорости ветра при сравнении со спутниковыми данными коэффициент корреляции составляет 0,83–0,87, а среднеквадратическая ошибка около 1,8 м/с.

POSTER 3.22

ПОСТЕР 3.22

RESEARCH OF ISOPYCNIC SURFACES IN THE LOFOTEN BASIN

E.V. Novoselova, T.V. Belonenko (SPBU)*

ИЗУЧЕНИЕ ИЗОПИКНИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЕ

Е.В. Новоселова, Т.В. Белоненко*

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,
Россия*

** novoselovaa.elena@gmail.com*

Лофотенская котловина представляет собой понижение в рельефе дна Норвежского моря с максимальной глубиной 3250 м [Белоненко Т.В., Волков Д.Л., Норден Ю.Е., Ожигин В.К. Циркуляция вод в Лофотенской котловине Норвежского моря // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2014. №2. С. 108–121.]. Она ограничена хребтом Монас

северо-запада, плато Воринг с юга и континентальным шельфом Норвегии с востока. Главной особенностью котловины является антициклонический квазипостоянный Лофотенский вихрь в ее центре, проявляющийся в виде замкнутой области повышенных значений температуры, солёности и других параметров [Белоненко Т. В., Колдунов А. В., Сентябов Е.В., Карсаков А.Л. Термохалинная структура Лофотенского вихря Норвежского моря на основе экспедиционных исследований и по данным гидродинамического моделирования // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2018. Т. 63. Вып. 4. С. 502–519.].

В океанологии используются различные изопикнические характеристики. Например, имеются поверхности постоянных $\sigma-t$, $\sigma-\theta$, удельной объемной аномалии (δ) и нейтральных плотностей. В настоящем исследовании мы сфокусируемся на изостерических поверхностях или поверхностях равной удельной объемной аномалии. Обычно данные имеют вид, например, $\delta = f(x, y, z)$. Для получения глубины залегания δ -поверхностей их необходимо представить в виде $z = f(x, y, \delta)$, для этого использовался метод линейной интерполяции. Главное преимущество использования x - y - δ координат заключается в возможности проследить изменения свойств на изопикнических поверхностях, а также понять, как эти поверхности перемещаются по вертикали. В равномерно стратифицированной жидкости градиенты в свойствах воды на изопикнической поверхности наблюдаться не будут, в то время как на стандартных горизонтах возникнут большие изменения при пересечении ими фронтов или в случае вертикальных движений в стратифицированной водной толще. Отсутствие градиентов на изопикнических поверхностях облегчает изучение изопикнической адвекции и перемешивания, а также диапикнических процессов [Rossby, T., Ozhigin, V., Ivshin, V., Bacon, S. (2009a). An isopycnal view of the Nordic seas hydrography with focus on properties of the Lofoten Basin. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers 56, 1955–1971.].

Для расчета основных характеристик на изостерических поверхностях (глубина, температура, солёность) был выбран глобальный океанический реанализ GLORYS12V1 (1993–2018 гг.). Он основан на современной глобальной системе прогнозирования CMEMS. Компонентом модели является платформа NEMO, а также реанализ характеристик на поверхности ECMWF ERA-Interim. Использовались данные о температуре и солёности из массива данных GLOBAL-REANALYSIS-PHY-001-030-MONTHLY — это среднемесячные данные, имеющие пространственное разрешение $0,083^\circ$ (~8 км) и 50 уровней по вертикали (от ~0,5 до ~5728 м).

Таким образом, нами было получено распределение основных характеристик (температура, солёность) на изостерических поверхностях, а также

глубина залегания этих поверхностей для района Лофотенской котловины. В результате неустойчивости Норвежского течения образуются антициклонические вихри, которые отрываются от основного течения и дрейфуют вдоль циклонической траектории по направлению к центру Лофотенской котловины [Köhl, A. (2007). Generation and stability of a quasi-permanent vortex in the Lofoten Basin. *Journal of Physical Oceanography* 37, 2637–2651.; Rossby, T., Prater, M. D., Sjøland, H. (2009b). Pathways of inflow and dispersion of warm waters in the Nordic seas. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 114(C4), C04011.]. Формирование и дрейф вихрей приводит к поступлению теплой и соленой атлантической воды в котловину, заглубляются изотермы и изогалины и, следовательно, заглубляются изостеры (изопикны). Особенно сильно заглубление происходит в центре Лофотенской котловины (ее самой глубоководной части, где наблюдается квазипостоянный Лофотенский вихрь) и означает наличие большого «теплового бассейна» в этом месте. Также Норвежское течение создает заметное углубление изостер непосредственно в месте его протекания (вдоль норвежского материкового склона), причем течения влияние прослеживается до глубины 700–750 м. Было показано, что распределение температуры на изостерах является крайне однородным, распределение солености также близко к однородному. Это свидетельствует о том, что, несмотря на наличие значительных градиентов при рассмотрении характеристик в классических x - y - z координатах, жидкость в целом равномерно стратифицирована.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 18-17-00027.

POSTER 3.23

ПОСТЕР 3.23

DETECTION OF ICE COVER ON THE SEA SURFACE BY RADAR MEASUREMENTS IN THE KU-RANGE AT SMALL INCIDENCE ANGLES

M.A. Panfilova, A.P. Shikov, V.Yu. Karaev (IAP RAS)*

ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА НА ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ ПО РАДИОЛОКАЦИОННЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ В КУ-ДИАПАЗОНЕ ПРИ МАЛЫХ УГЛАХ ПАДЕНИЯ

*M.A. Панфилова, А.П. Шиков, В.Ю. Караев**

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия

** marygo@mail.ru*

Для мониторинга ледяного покрова активно применяется дистанционное зондирование. Скаттерометры позволяют формировать карты

ледяного покрова с пространственным разрешением порядка 25 км в полосе обзора шириной более 1000 км. Радиолокаторы с синтезированной апертурой (РСА) обладают существенно лучшим разрешением (десятки метров), однако полоса обзора намного уже. Благодаря высокому пространственному разрешению РСА могут измерять сплоченность ледяного покрова и радиолокационные изображения сложно использовать для изучения его структуры. Радиометры выполняют измерения в широкой полосе обзора (более 1000 км) с достаточно низким пространственным разрешением (20–30 км) и применяются для картографирования, измерения сплоченности ледяного покрова и оценки толщины ледяного покрова. Все эти приборы работают при средних углах падения. Вдоль трека с разрешением примерно 5 км выполняют измерения радиовысотометры (угол падения 0 градусов). При малых углах падения (больше 0, но меньше 18 градусов) измерений ледяного покрова практически не проводилось и свойства обратного рассеяния не исследовались.

В данной работе для исследования обратного рассеяния электромагнитных волн СВЧ-диапазона ледяным покровом используются данные двухчастотного дождевого радиолокатора DPR (Dual-frequency Precipitation Radar), установленного на спутнике Global Precipitation Measurement (GPM). Спутник был выведен на орбиту в 2014 году. В Ku-диапазоне (длина волны 2,2 см) радиолокатор выполняет измерения при малых углах зондирования (± 17 градусов). При высоте орбиты около 400 км ширина полосы обзора составляет примерно 245 км, а размер пятна засветки (пространственное разрешение) — порядка 5 км. Наличие облачности не влияет на сечение обратного рассеяния, а данные при наличии осадков, или не принадлежащие морской поверхности, исключаются из рассмотрения в процессе обработки.

В работах [А.П. Шиков, М.А. Панфилова, Алгоритм картографирования ледяного покрова по данным двухчастотного дождевого радиолокатора и радиометра на примере Охотского моря // IV Конференция молодых ученых «Комплексные исследования мирового океана», 2019 г., с. 190; D.F. Carsey, Microwave remote sensing of sea ice, American Geophysical Union, 1992.; G. Spreen, L. Kaleshke, G. Heygster, Sea ice remote sensing using AMSR-E 89-GHz channels, Journal of Geophysical Research, Vol. 113, C02S03, 2008.] было показано, что зависимости сечения обратного рассеяния от угла падения для водной поверхности и ледяного покрова имеют качественные различия. Для морской поверхности угловая зависимость сечения обратного рассеяния имеет гауссову форму и по ней можно определить дисперсию уклонов морской поверхности. Для ледяного покрова угловая зависимость существенно

отличается от гауссовой, что позволяет использовать этот эффект при детектировании ледяного покрова как во внутренних водоемах, так и в морских условиях. Преимущество такого подхода в том, что не требуется калибровка принимаемой мощности, а также не предъявляются требований к долговременной стабильности передающего и приемного тракта. Было выполнено сравнение обратного рассеяния пресноводным льдом (оз. Байкал) и морским льдом (Охотское море), которое показало, что качественно вид угловой зависимости совпадает, что делает алгоритмы универсальными.

Был разработан алгоритм детектирования ледяного покрова по данным DPR, использующий различия в угловых зависимостях сечения обратного рассеяния для морской поверхности и ледяного покрова. В результате был предложен метод экспресс-оценки положения ледяного покрова на поверхности моря по данным радиолокатора DPR, в дополнение к алгоритму [А.П. Шиков, М.А. Панфилова, Алгоритм картографирования ледяного покрова по данным двухчастотного дождевого радиолокатора и радиометра на примере Охотского моря // IV Конференция молодых ученых «Комплексные исследования мирового океана», 2019 г., с. 190], где для оценки используется коэффициент эксцесса угловой зависимости. Сравнение с картами ледяного покрова, формируемыми Росгидрометом, показало хорошее совпадение.

Помимо DPR на спутнике GPM установлен многоканальный сканирующий радиометр GMI (GPM Microwave Imager). Измерения в активном и пассивном каналах выполняются одновременно, что делает спутник GPM уникальным исследовательским инструментом. Сравнение синхронных измерений позволяет использовать для мониторинга состояния морского льда радиолокационные и радиометрические данные. Для обработки данных радиометра GMI использовался алгоритм ARTIST [G. Spreen, L. Kaleshke, G. Heygster, Sea ice remote sensing using AMSR-E 89-GHz channels, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 113, C02S03, 2008.]. Для оценки эффективности алгоритма использовались карты сплоченности ледяного покрова по данным AMSR2 из базы данных Бременского университета. Положительный результат сравнения позволил использовать сплоченность, рассчитанную по данным радиометра GMI, как опорную для оптимизации параметров работы алгоритма по данным DPR [А.П. Шиков, М.А. Панфилова, Алгоритм картографирования ледяного покрова по данным двухчастотного дождевого радиолокатора и радиометра на примере Охотского моря // IV Конференция молодых ученых «Комплексные исследования мирового океана», 2019 г., с. 190].

Разработанный алгоритм для DPR подтвердил свою эффективность и дальнейшие исследования будут направлены на исследование возможности измерения сплоченности ледяного покрова.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ 20-05-00462-а).

POSTER 3.24

ПОСТЕР 3.24

**ICE VOLUME VARIATIONS OF THE SEA OF OKHOTSK
FROM 2001 TO 2019**

V.M. Pishchalnik (SAKHSU), I.G. Minervin (SRBA of MR FEB of RAS),
P.A. Truskov (Sakhalin Energy), D.V. Dorofeeva (FEFU),
V.A. Romanyuk (RN-SakhalinNIPImorneft)*

**ВАРИАЦИИ ОБЪЕМА ЛЬДА ОХОТСКОГО МОРЯ
В ПЕРИОД С 2001 ПО 2019 ГГ.**

В.М. Пищальник¹, И.Г. Минервин², П.А. Трусков³,
Д.В. Дорофеева⁴, В.А. Романюк⁵*

¹ — Сахалинский государственный университет, г. Южно-Сахалинск, Россия

² — Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований Дальневосточного отделения РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия

³ — Сахалин Энерджи Инвестмент Компани. Лтд., г. Москва, Россия

⁴ — Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия

⁵ — ООО «РН-СахалинНИПИморнефт», г. Южно-Сахалинск, Россия

* *vpishchalnik@rambler.ru*

В работах ряда исследователей неоднократно подчеркивалась существенная роль ледообразования в процессах перераспределения тепла, солей и питательных веществ в биогеохимических системах, а также вентиляции вод, как в Охотском море, так и в северной части Тихого океана. На фоне глобальной тенденции увеличения температуры воздуха вопросы вычисления объема льда приобретают особую актуальность.

Для вычисления площади льда в Охотском море и его отдельных регионах использовались данные дистанционного зондирования Земли с сайта Japan Meteorological Agency, Дешифрирование возраста ледяного покрова на акватории Охотского моря производилось по снимкам поверхности Земли в видимом диапазоне (сочетание кана-

лов 1-2-1) за период с 2001 по 2019 гг. из коллекций с сайта NASA и Лаборатории ДЗЗ Сахалинского государственного университета (СахГУ). На этих геореференцируемых снимках границы зон доминирующего возраста льда выделялась ледовым экспертом в ГИС ArcMap по дешифровочным признакам. Каждая зона закрашивалась соответствующей цветовой маской. В ней, согласно международной символике для морских ледовых карт, определялось соотношение (в баллах) доминирующих возрастных характеристик льда. В каждой выделенной зоне по средней толщине льда трех основных возрастов пропорционально их частной сплоченности в баллах (1/10) рассчитывалась средневзвешенная толщина льда ледовой зоны. Далее, с помощью разработанного в СахГУ программного комплекса «ЛЁД», позволяющего рассчитывать площади замкнутых фигур любой конфигурации и с учетом средневзвешенной толщины льда, в выделенных зонах вычислялся объем льда в регионах первого иерархического уровня на середину каждого месяца ледового сезона. Средняя за сезон величина объема льда рассчитывалась путем усреднения среднемесячных значений с декабря по май.

Результаты анализа многолетних вариаций средних за сезон величин объемов льда, его площади и средневзвешенной толщины (далее толщина) для Охотского моря в целом позволяет заключить, что ход кривых у них идентичный. Коэффициент корреляции объема льда и ледовитости составляет 0,89, объема льда и его толщины — 0,86. С одной стороны, это обуславливается линейной зависимостью объема от этих величин, с другой — большей скоростью увеличения ледовитости по сравнению с приростом толщины льда в одних и тех же пространственно-временных масштабах. Наибольшее значение коэффициента корреляции ледовитости (-0,63) отмечается и с одним из наиболее значимых предикторов, определяющем условия ледообразования — суммой градусодней мороза (СГДМ). Отсюда следует вывод, что приоритетным параметром формирования объема льда в Охотском море является ледовитость, а не толщина льда.

Наиболее толстый ледяной покров наблюдается в северо-западном и южном регионах (к югу от 51° 30' с.ш.). Северо-западный регион является зоной основной генерации льда в Охотском море, поскольку наиболее сильно подвержен влиянию Полюса холода Северного полушария. Значительная толщина льда в южной части моря обусловлена его возрастом: здесь накапливаются льды, дрейфующие из северо-западного реги-

она, т.е. возраст которых достигает 3-х и более месяцев. Толщина льда во все типы зим практически линейно нарастает с начала ледообразования в ноябре до разрушения льда в мае. Максимальная толщина льда в мае наблюдалась в экстремально суровую зиму 2000/01 гг. и составляла 0,62 м, минимальная — в суровую (2002/03 гг.) и экстремально мягкую (2014/15 гг.) зимы (соответственно 0,43 и 0,45 м). Результаты анализа линейных трендов толщины льда позволяют заключить, что максимальная скорость уменьшения толщины ледяного покрова (6,1 см / 10 лет) наблюдается на юге моря. Она почти в два раза превышает среднюю скорость уменьшения толщины льда в Охотском море в целом, которая равна 3,4 см / 10 лет. Минимальная скорость изменения толщины ледяного покрова — 3,1 см / 10 лет — наблюдается в северо-западном регионе.

Максимальная изменчивость средних за сезон значений объема льда зафиксирована в северо-восточной части Охотского моря от 118,1 км³ (2000/01 гг.) до 17,2 км³ (2016/17 гг.), наименьшая — в северо-западном от 143,0 км³ (2000/01 гг.) до 47,8 км³ (2013/14 гг.). Следует отметить, что, если абсолютный максимум значений характеристик ледового режима зафиксирован во всех регионах в 2001 г., то минимальные величины наблюдаются в отдельных регионах в разные годы. Данный факт подтверждает вывод, сделанный ранее на основе анализа изменчивости типов зим, о том, что условия формирования ледяного покрова в регионах первого иерархического уровня могут существенно различаться в течение одного ледового сезона.

Ледяной покров северо-восточной части моря формируется и разрушается в пределах только одной акватории, поэтому анализ его состояния целесообразно проводить отдельно от других регионов. В южной половине Охотского моря, по сравнению с его северной половиной, скорость генерации льда в разы ниже. Фактически весь лед в этом регионе является приносным и поступает туда в результате генерального дрейфа, обусловленного муссоном. Резкие колебания величины объема льда наблюдаются в Охотском море, когда они происходят синфазно в двух или во всех регионах, как это отмечалось, например, 2003, 2010, 2011, 2016 гг. и 2001, 2002, 2009, 2012 гг. соответственно.

В начале XXI века наибольшее уменьшение объема льда (на ~43 %) произошло в северо-восточном и южном регионе. На северо-западе Охотского моря этот процесс происходил почти в равной степени как за счет уменьшения толщины льда (17,7 %), так и за счет уменьшения

ледовитости (15,3 %), при минимальном изменении толщины и объема льда относительно моря в целом. Уменьшение объема льда в южной части Охотского моря произошло за счет уменьшения его толщины: скорость уменьшения толщины льда здесь почти в два раза выше (6,1 см / 10 лет), чем в других регионах, при минимальном (4,8 %) сокращении ледовитости. Уменьшение объема льда в Охотском море в целом составило 34,5 %, при этом ледовитость его уменьшилась на ~40 %, а толщина льда — на ~60 %.

Сравнительный анализ результатов расчетов объема льда в Охотском море, полученных российскими и японскими исследователями показал, что по толщине ледяного покрова расчетные данные различаются более чем в два раза, а по объему — более чем в три раза. При этом расчетные значения площадей ледяного покрова различаются не более 10 %, несмотря на то, что были использованы одни и те же данные со спутника AMSR-2. В то же время, расчетные значения многолетних тенденций ледовитости достаточно близки по абсолютным величинам. Вероятно, это связано с тем, что границы Охотского моря по русской и японской версии не совпадают.

Различия абсолютных величин толщины льда предопределило, прежде всего, применение разных методик вычисления толщины ледяного покрова. Выполненные нами расчеты производились по толщине ровного льда без учета его деформации. Японские исследователи рассчитывали толщину по высоте надводного борта (freeboard) льда методом гидростатического баланса по данным спутника ICESat с учетом высоты снежного покрова при соотношении высоты надводной и подводной частей льда 1/9. По нашему мнению, результаты расчетов объема льда японскими исследователями представляются завышенными, поскольку они рассчитывали толщину льда с учетом снежного покрова, а для критического контроля использовали результаты инструментальных наблюдений, выполненные только в южной части Охотского моря (район 45° с.ш.). Возможно это так же связано и с некорректным распространением соотношения 1/9 (высоты надводной и подводной частей льда) на всю площадь ледяного покрова Охотского моря (как было показано выше, условия ледообразования и толщина льда в отдельных регионах моря существенно различаются). Для получения более корректных результатов это соотношение необходимо рассчитывать с учетом пространственно-временных масштабов.

**MODELLING THE TIDAL MIXING IN THE BARENTS
AND WHITE SEAS**

*D.A. Romanenkov** (IO RAS), *V.A. Zinchenko* (SPBU),
A.A. Androsov (IO RAS, AWI)

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИЛИВНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ
В БАРЕНЦЕВОМ И БЕЛОМ МОРЯХ**

Д.А. Романенков^{1*}, *В.А. Зинченко*², *А.А. Андросов*^{1,3}

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

² — *Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Россия*

³ — *Институт полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера,
Бремерхафен, Германия*

* *dmromanenkov@yandex.ru*

Известно, что в прибрежных и шельфовых районах с интенсивными приливными течениями могут формироваться перемешанные по вертикали стационарные зоны с резкими фронтами в горизонтальном поле температуры [Simpson J.H., Hunter J.R. Fronts in the Irish Sea // *Nature*. 1974. V. 250. P. 404–406., 2; Hill A. E., James I. D., Linden P. F. et al. Dynamics of tidal mixing fronts in the North Sea // *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* 1993, 343, issue 1669, 431–446].

В Баренцевом море анализ данных наблюдений о температуре и солености морской воды и концентрации нитратов и хлорофилла показал, что в результате приливного перемешивания на мелководье обеспечивается поступление глубинных вод богатых питательными веществами к поверхности, тем самым поддерживается цветение фитопланктона [Fer I., Drinkwater K. Mixing in the Barents Sea Polar Front near Hopen in spring *Journal of Marine Systems* 130 (2014) 206–218].

Согласно модельным результатам [Le Fouest V. et al. On the role of tides and strong wind events in promoting summer primary production in the Barents Sea / *Continental Shelf Research* 31 (2011) 1869–1879] приливы ответственны за 20 % (локально 60 %) массы первичной продукции после цветения на Шпицбергенской банке и в районе к востоку от Кольского полуострова. Серия численных экспериментов, выполненных с помощью модели FESOM-с в Баренцевом и Белом морях, показывает особенности воспроизведения суточной и внутримесячной изменчивости стратификации морей под влиянием приливной динамики.

Трехмерная модель FESOM-с основана на методе конечных объемов для горизонтальной дискретизации уравнений геофизической гидродинамики и использует смешанные, состоящие из треугольников и четырехугольников, неструктурированные сетки. Треугольные элементы позволяют легко сращивать зоны с различающимся пространственным разрешением из четырехугольных объемов, которые имеют вычислительные преимущества перед треугольниками [Androsov A., Fofonova V., Kuznetsov I., Danilov S., Rakowsky N., Harig S., and Wiltshire, K. H.: FESOM-C: coastal dynamics on hybrid unstructured meshes, *Geosci. Model Dev. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/gmd-2018-112>, in review, 2018; Зинченко В.А., Романенков Д.А., Андросов А.А.

Сравнение вычислительной эффективности модели FESOM-C для расчета прибрежной баротропной гидродинамики при использовании различных неструктурированных сеток // *Процессы в геосредах*. № 3(17). 2018. С. 227–228]. Термогалинные поля соответствовали августу 2016 года, а приливные колебания формировались граничным воздействием 4 основных приливных гармоник, обеспечивающих 85% суммарного прилива.

Расчеты производились с учетом атмосферного форсинга JRA-55 и без его учета для выявления вклада прилива в изменчивость стратификации. Результаты моделирования показали, что сформированная к августу устойчивая стратификация в ряде районов испытывает значительную трансформацию под влиянием приливной динамики. Были определены позиции фронтов приливного перемешивания по пороговому значению критерия Симпсона-Хантера.

Согласно модельным оценкам эти фронты располагаются в районе Шпицбергенской банки, вокруг острова Долгий к югу от пролива Карские ворота, в Печорском море, на входе Чешскую губу, в северной части Воронки Белого моря, в юго-западной части пролива Горла, вокруг Соловецких островов и на входе в Онежский залив Белого моря.

Многие из перечисленных зон приливного перемешивания Баренцева моря и в особенности Белого моря сочетаются с фронтами другого происхождения (стоковыми и климатическими) и были достаточно хорошо изучены, однако процессы приливного перемешивания в северной части Воронки Белого моря на границе с Баренцевым морем не рассматривались ранее. Этот район характеризуется интенсивными приливными течениями (до 2 м/с).

Согласно анализу спутниковой информации [NASA Goddard Space Flight Center, Ocean Ecology Laboratory, Ocean Biology Processing Group; (2014): Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS) Ocean Color Data, NASA OB.DAAC. doi: 10.5067/ORBVIEWS-2/SEAWIFS_OC.2014.0. Accessed on 2016/02/29. (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>)] и данным реанализа OSTIA [NASA Goddard Space Flight Center, Ocean Ecology Laboratory, Ocean Biology Processing Group; (2014): Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS) Ocean Color Data, NASA OB.DAAC. doi: 10.5067/ORBVIEWS-2/SEAWIFS_OC.2014.0. Accessed on 2016/02/29. (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>)] в этом районе в теплый сезон наблюдается значительная внутримесячная изменчивость температуры поверхности моря.

По результатам моделирования в первую половину августа вариации среднесуточной температура поверхности моря в створе между м. Канин Нос и м. Св. Нос достигает 2,5 град. за две недели. К середине месяца между пятном перемешанных вод и окружающими стратифицированными водными массами на поверхности моря формируется горизонтальный градиент температуры около 0,05 град./км, который существенно уменьшается через неделю. К концу месяца этот эффект проявляется в модели слабее из-за ослабления пресного стока и заметного влияния атмосферного форсинга. Фронт приливного перемешивания испытывает полумесячную изменчивость своего положения, одной из причин которой может быть сизигийно-квадратурный (двухнедельный) цикл приливной динамики.

Предполагается, что влияние прилива на термохалинные поля через переменную интенсивность приливного перемешивания может изменять индексы теплых вод Мурманского течения, входящего в Белое море, и вытекающих в Баренцево море беломорских вод, и, следовательно, модифицировать водообмен двух морей. Модельное воспроизведение интенсивной динамики и резко нестационарной стратификации в районе исследования предъявляет повышенные требования к типу турбулентной модели.

Выявлено, что эффект приливного перемешивания лучше воспроизводится в случае использования k - ϵ ps турбулентного замыкания по сравнению с b -1 замыканием, дающим меньшие коэффициенты вертикального обмена.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 18-05-00965_a).

**THE RESULTS OF THE OCEANOGRAPHIC UNITS WORK
IN THE HIGH LATITUDE AIR EXPEDITION "NORTH"***V.E. Sokolova (AARI)***РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ОТРЯДОВ
ВВЭ «СЕВЕР»***В.Е. Соколова***ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия**sve@aari.ru*

Высокоширотная воздушная экспедиция «Север», созданная как государственная экспедиция, занимает особое место среди арктических экспедиций. Она на протяжении всего своего существования сохранила грандиозную масштабность, которая требовалась для решения исследовательских задач на обширных акваториях Северного Ледовитого океана. Возникнув на стыке экономических и политических интересов, обоснованных необходимостью в освоении и обеспечении северных территорий страны, ВВЭ «Север» решала комплекс задач, направленных на геополитические интересы страны, научные исследования в Арктическом бассейне Северного Ледовитого океана и его арктических морях, организацию и поддержание дрейфующих станций «Северный полюс».

Накануне Великой отечественной войны в Арктическом бассейне были опробованы и успешно выполнены два новых метода исследования: дрейфующие станции, которые позволяли проводить систематические наблюдения над различными природными явлениями и процессами в течение длительного времени, и воздушные экспедиции «Север» с посадками на лед в различных районах океана для изучения пространственных закономерностей в распределении различных геофизических элементов. Оба метода дополняли друг друга и служили одной цели — познанию природы районов, долгое время недостижимых для исследований. Первая ВВЭ «Север» была осуществлена весной 1937 г. Тогда она организовала в районе географического Северного полюса 1 дрейфующую станцию СП-1. Весной 1941 г. в районе Северного полюса была проведена экспедиция с использованием самолета «СССР Н-169». в трех точках сотрудники Арктического института Я.С.Либин,

М.Е.Острекин и Н.Т.Черниговский провели океанографические, геомагнитные и метеорологические наблюдения. Успешное проведение научных исследований этой высокоширотной экспедиций показало огромные возможности нового метода изучения Арктического бассейна. Прерванные ВОВ исследования возобновились в 1948 г. и стали регулярными. Масштабы работ ВВЭ «Север» в каждом конкретном году определялись экономическими и техническими возможностями, научными задачами.

Структурно ВВЭ «Север» подразделялась на объединенный авиационный отряд (ОАО), штаб ВВЭ, два – три летных (научных) океанографических отряда, группу материально-технической поддержки, береговые и дрейфующие базы и «подскоки». На период работ экспедиции создавался объединенный авиационный отряд, в который включались самолеты и экипажи различных авиаподразделений, необходимых для работ. Командование ОАО и руководство экспедиции составляли штаб ВВЭ «Север». Поскольку ВВЭ работали на всей акватории Арктического бассейна, то основными авиабазами ее были арктические аэропорты: Амдерма, Диксон, Хатанга, Тикси, Черский и др. Помимо этого, в Арктике были созданы специальные базы ВВЭ: о-ва Жохова, Средний, бухта Темпа (на о-ве Котельном).

В Арктическом бассейне базами ВВЭ были дрейфующие станции «Северный полюс» и специально создаваемые на период работ дрейфующие базы и "подскоки". Летные отряды на самолетах ТБ-3, ЛИ-2, АН-2 и вертолетах МИ-4, МИ-8 выполняли океанографические съемки, включающие большой круг самых различных исследований. Основу этих отрядов составляли специалисты: океанологи, ледовые разведчики, гидрохимики, геофизики, ледоисследователи, которые совместно с экипажами самолетов, стартовав с береговых или дрейфующих баз, выполняли работы с поверхности морских льдов, создавая на короткий период в несколько часов, а иногда и несколько суток небольшой дрейфующий лагерь.

Вклад в познание природы Арктики, проведенных экспедициями «Север» трудно переоценить, по-видимому, она бьет все рекорды в XX веке по продолжительности и объему экспедиционных работ, широте охвата и кругу решенных проблем, количеству открытий в различных областях знаний, числу участников и многому другому. Объем исследований, проведенных за 46 лет, поистине огромен. Впервые был изучен рельеф дна Центрального полярного бассейна, открыты хребты

Ломоносова, Менделеева, Гаккеля, котловины Нансена, Макарова и др. Исследованы материковые отмели в районах российских арктических морей. С дрейфующих льдов выполнено более 5,5 тыс. океанографических станций с определением температуры и солености воды на стандартных горизонтах. Открыты многие тайны в распределении водных масс в Северном Ледовитом океане. Большое внимание уделено проникновению атлантических вод в центральную часть Арктики, ибо это важнейший предиктор для изменения климата не только в этом регионе, но и на значительной территории Северного полушария. Изучены поверхностные и глубинные течения, а также приливо – отливные явления. Выяснено, что в силу своего географического положения большая часть Северного Ледовитого океана покрыта полярными льдами, которые зимой нарастают, а в весенне-летний период подвергаются частичному разрушению и вытаиванию.

Благодаря данным ВВЭ удалось выяснить, что в Арктике кроме ледяных полей различного возраста и размеров встречаются полыньи, каналы и разводья. Отобраны десятки тысяч проб и выполнены анализы химического состояния океана. В сотнях точек измерены глубины океана и взяты колонки грунта. Установлено 325 ДАРМС (дрейфующие автоматические радиометеорологические станции) и радиовех. Проведены описания кристаллического строения сотен кернов льда различного возраста с определением прочностных характеристик. В местах посадок самолетов инструментально определялись толщина льда, высота и плотность снежного покрова, проводилось морфологическое описание ледовых полей. Все перелеты сопровождалось выполнением попутной ледовой разведки.

Проведен обширный ряд комплексных исследований по фундаментальным и специальным программам: («ПОЛЭКС», «Программа комплексного мониторинга загрязнения окружающей среды морей Российской Арктики», в рамках «Морской программы Государственной системы наблюдений за состоянием природной среды», «Исследования по проектам наблюдательной части Российского национального плана АМАП /Программа Арктического мониторинга и оценки приарктических государств/»). Основные результаты исследований ВВЭ «Север» нашли отражение в изданиях, таких как «Атлас Северного Ледовитого океана», «Атлас Арктики», электронный климатический Атлас Северного Ледовитого океана, в опубликованных монографиях, справочниках и сборниках статей.

RUSSIAN DRIFTING RESEARCH STATIONS "NORTH POLE"*V.T. Sokolov*, V.E. Sokolova, A.P. Makshatas (AARI)***РОССИЙСКИЕ ДРЕЙФУЮЩИЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ
СТАНЦИИ «СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС»***В.Т. Соколов*, В.Е. Соколова, А.П. Макштас**ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия*** svt@aari.ru*

Российские дрейфующие станции продолжили в XXI веке работу советских дрейфующих станций после 12 летнего перерыва. За период 2003–2013 год были созданы и успешно работали 9 полномасштабных дрейфующих станций СП-32–СП-40.

Современные дрейфующие станции — это прекрасно оснащенные в техническом и технологическом плане научные обсерватории. Организация и высадка современной дрейфующей станции «Северный полюс» в современных условиях осуществлялась Высокоширотной Арктической экспедицией ААНИИ в рамках специальных высокоширотных рейсов НЭС «Академик Федоров» при поддержке атомных ледоколов «Росатомфлота» или непосредственно атомными ледоколами, выполнявшими комплексную программу работ и исследований высокоширотной Арктики по программе «Арктика».

Одной из самых сложных задач этих экспедиций оказался поиск льдины для дрейфующей станции, поскольку разрушение ледяного покрова на акватории Арктического бассейна в современных условиях не имеет аналогов за всю историю наблюдений в Арктике.

Работа дрейфующих станции «Северный полюс» осуществлялась в рамках реализации задач направленных на развитие отечественных исследований и современных технологий в высоких широтах Арктики в целях совершенствования системы гидрометеорологического обеспечения морской деятельности, исследования современного состояния арктической климатической системы в условиях меняющегося климата, других видов хозяйственной деятельности в арктической зоне Российской Федерации, а также участия России в реализации национальных и международных проектов.

Главными направлениями работ и исследований, выполненных на дрейфующих станциях является: проведение круглогодичных стандарт-

ных и специальных метеорологических, ледовых и океанографических наблюдений, осуществление комплексного мониторинга современного состояния и загрязнения окружающей среды в районе дрейфа, исследование газообмена в системе атмосфера-лед-океан, постановка специальных экспериментальных работ, направленных на исследование процессов, определяющих климатические изменения в центральной Арктике и оценку их влияния на природную среду и экосистему арктического региона России.

Исследования, проведенные на дрейфующих станциях «Северный полюс» продолжают цикл работ направленных на изучение и освоение высокоширотной Арктики, в особенности в связи с происходящими климатическими изменениями, необходимостью слежения за экологическим состоянием Арктического бассейна, организации и осуществления мониторинга системы «атмосфера – ледяной покров – океан» в реальном масштабе времени по всему комплексу метеорологических, ледовых, гидрофизических, геохимических, биологических и других параметров. Результаты таких исследований и мониторинга природной среды являются основой для совершенствования технологии слежения за состоянием СЛО, развития и информационного обеспечения методов прогноза погоды и моделей климата Арктики.

Основной вопрос, который практически всегда возникает при предложениях провести те или иные крупномасштабные натурные исследования в Арктике, формулируется так: стоит ли тратить значительные силы и средства на организацию дрейфующих станций и осуществление океанологических съемок покрытых льдом акваторий СЛО?

Ответ может быть только положительным. Климатическое и океанографическое значение этого океана, отличающегося уникальными характеристиками, выходит далеко за пределы его границ. Ледяной покров СЛО обладает термодинамической устойчивостью, сохраняется вот уже несколько миллионов лет, распространяясь временами на Северную Атлантику, и оказывает воздействие на глобальный тепловой баланс и, стало быть, на климатическую систему всего земного шара.

В процессе взаимодействия с ледяным покровом и атмосферой образующихся и поступающих извне водных масс, их переноса и трансформации, формируются прямые и обратные термодинамические связи. Они обуславливают колебания климатического режима в Северной полярной области, распространяющиеся затем к югу. Наблюдающееся в последние два десятилетия глобальное потепление климата, отразилось на метеорологическом, ледовом и океанографическом режиме высоких широт. Инструментальное подтверждение этому было получено в ходе

метеорологических наблюдений на российских дрейфующих станциях СП-32 – СП-40. В период их дрейфа преобладали положительные аномалии среднесуточных температур воздуха. При этом увеличилась повторяемость экстремальных погодных явлений: максимумов и минимумов температуры воздуха, более частых резких перепадов температуры и давления воздуха, интенсивности разовых выпадений осадков, повторяемости штормовых ветров и т.д.

Следует особо отметить, что по сути дела результаты систематических метеорологических наблюдений на СП-32 и СП-33 явились первым, после двенадцатилетнего перерыва, инструментальным подтверждением изменения климатических параметров и, в частности, продолжающегося потепления нижних слоев атмосферы высоких широт в Арктике, начавшегося в начале 1990-х годов.

Наряду с отмеченным потеплением атмосферы, в последнее десятилетие наблюдаются увеличение интенсивности приповерхностных инверсий и концентрации парниковых газов, положительная аномалия температуры атлантических вод, поступающих в Арктический бассейн СЛО и сокращение площади и толщин многолетних морских льдов, получившие в международном сообществе название «Быстрое изменение климата Арктики» и обусловившие разработку и реализацию в последние годы ряда национальных и международных программ исследований в Арктике.

Исследования последних лет указывают на существенную роль внутригодовых циклов в формировании межгодовой (климатической) изменчивости СЛО, особенно макромасштабной изменчивости его ледового и гидрологического режимов. При этом летние и зимние процессы в арктических морях и Арктическом бассейне по-разному влияют на перенос и трансформацию поступающих из рек и атмосферы веществ, биологические, седиментационные и газообменные процессы в Арктическом регионе.

Указанные обстоятельства выдвигают в качестве приоритетного направления исследование сезонных циклов различных характеристик СЛО, как ключевых процессов, формирующих климатическую изменчивость ледового, метеорологического, океанографического, гидрохимического, биологического, седиментационного режимов и экологического состояния океана.

Выводы, полученные российскими учеными из ААНИИ по результатам комплексных наблюдений в Северном Ледовитом океане в период 2003–2013 гг., имеют научно-стратегический характер, и важны в оценках перспектив развития экономики в Арктике в ближайшие годы. Полученная в настоящее время информация с дрейфующих станций

«Северный полюс» о состоянии природной среды Арктики подтверждает существование значительных изменений в природном комплексе региона, последствия которых в настоящее время оказывают заметное воздействие на природу, на социально-экономическую деятельность населения северных, а подчас и более южных районов планеты.

В июне 2013 года в связи с разрушением ледяного поля была эвакуирована дрейфующая станция «Северный полюс-40», продолжение программы работ исследований Арктического бассейна в круглогодичном цикле было приостановлено в связи с деградацией морского льда в высокоширотной Арктике и отсутствием дрейфующих льдов пригодных для организации новых дрейфующих станций.

В то же время задача по возобновлению комплексной научной деятельности не теряет своей актуальности. Существует необходимость совершить очередной шаг по развитию научных исследований высоких широт на новый уровень. Речь идет о строительстве и в эксплуатации Ледостойкой самодвижущейся платформы, способной работать круглогодично в высокоширотной Арктике независимо от состояния многолетних дрейфующих льдов. Это поколение судов-станций «Северный полюс» позволит поставить на новую технологическую основу получение необходимой научной информации, обеспечит безопасную работу ученых во время дрейфа.

POSTER 3.28

ПОСТЕР 3.28

**TIDAL CHANGES OF CLIMATIC CHARACTERISTICS
OF THE BARENTS AND KARA SEAS: MODELING RESULTS**

E.V. Sofina, B.A. Kagan, A.A. Timofeev (IO RAS)*

**ПРИЛИВНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК БАРЕНЦЕВА И КАРСКОГО МОРЕЙ:
РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Е.В. Софьина, Б.А. Каган, А.А. Тимофеев*

Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН, г. Москва, Россия

**soffina_k@mail.ru*

При численном моделировании климата океана приливами, как явлением, имеющим гармоническую природу, обычно пренебрегают. Современные климатические модели морей могут включать приливной форсинг, однако из-за недостаточного пространственного разрешения, обусловленного огромными вычислительными затратами,

они не описывают корректно диссипацию энергии внутреннего прилива. При этом диссипация энергии внутреннего прилива, генерирующегося в стратифицированном море при взаимодействии баротропного прилива с неровностями топографии дна, приводит к диапикническому перемешиванию водной толщи и может быть причиной вентиляции глубинных вод. Учитывая, что Баренцево и Карское моря являются приливными морями, то вопрос о включение для них приливного форсинга в число климатообразующих факторов остается открытым.

Отметим, что величина прилива в данных морях заметно отличается. В Баренцевом море максимальные приливные колебания уровня наблюдаются на юго-западе моря и могут превышать 4 м у входа в Белое море, приливные течения достигают 150 см/с. Превалируют полусуточный приливы. В Карском море также преобладает полусуточный прилив, но величина его значительно меньше, приливные изменения не превышают 1 м, скорости приливных течений не превышают 50 – 60 см/с.

Цель настоящей работы оценить влияние полусуточных приливов на формирование региональных климатов Баренцева и Карского морей, и ответить на вопрос о включении приливного форсинга в климатообразующие факторы для каждого из морей. Здесь под региональным климатом будем понимать характерную для данного региона совокупность средних годовых пространственных распределений и их сезонных изменений температуры и солености воды, а также отклонений уровня свободной поверхности моря. В данной работе рассматривался летний безледный период, чтобы исключить влияние ледового покрова, как еще одного фактора, требующего отдельного исследования.

С помощью трехмерной конечно-элементной гидростатической модели QUODDY-4 выполнены численные эксперименты по установлению климата для Баренцева и Карского морей с учетом и без учета приливного форсинга. Приливный форсинг, представленный приливными колебаниями уровня на открытой границе (волна M_2), задавался по результатам моделирования высокоразрешающей арктической приливной модели АОТМ-5, ассимилирующей эмпирическую информацию о приливах, включая данные спутниковой альтиметрии, полученные со спутников TOPEX/Poseidon и ERS-1. Горизонтальное разрешение конечно-элементной сетки принималось варьирующим от 1 км в районах

с изрезанной топографией дна до 19 км в открытом море. Уравнения модели интегрировались до установления квазистационарного режима от начального момента времени, когда разница между среднесуточными значениями баротропной и бароклиной энергии составляла менее 1 % от их абсолютной величины.

Учет приливного форсинга приводит к заметным изменениям температуры морской воды в Баренцевом море. Индуцируемое приливами перемешивание вызывает ослабление стратификации, максимальные отличия отмечаются в мелководной юго-восточной части моря. Температура в придонном слое повышается в среднем на 1 °С. На глубине залегания пикноклина (50 м) в центральной части моря наблюдаются значительные изменения температуры и солёности морской воды –3 °С и 0,6 ‰, связанные, по всей видимости, со смещением положения полярного фронта. В отличие от Баренцева моря в Карском море распределение климатических характеристик качественно не изменяется с добавлением приливного форсинга. На глубине залегания пикноклина (40 м) приливные изменения температуры и солёности морской воды не превышают 0,5 °С и 0,5 ‰.

Объяснение различий влияния приливов для двух морей можно найти в сравнении средних по площади и глубине моря коэффициентов диапикнической диффузии, определяемых диссипацией бароклиной приливной энергии и стратификацией рассматриваемого моря. Он равен $5,0 \times 10^{-4}$ м²/с в Баренцевом море, и $0,1 \times 10^{-4}$ м²/с во впадине Карского моря. Уменьшение коэффициента диапикнической диффузии в Карском море по сравнению с Баренцевым объясняется как ослаблением диссипации бароклиной приливной энергии в Карском море, так и усилением в нем стратификации. В свою очередь даже небольшие изменения в положении или крутизне пикноклина вызывают заметные изменения температуры и солёности морской воды в Карском море.

Полученные результаты показывают, что климат Баренцева моря испытывает на себе заметные изменения, связанные с учетом приливного форсинга. Следовательно, вклад приливов в формирование климата Баренцева моря является значимым наряду с другими климатообразующими факторами. При моделировании климата Карского моря приливами в первом приближении можно пренебречь.

Работа выполнена в рамках государственного задания (тема № 0149- 2018-0027).

**VARIABILITY OF SEA ICE RETREAT DATES
IN THE BARENTS SEA IN 1979–2018**

*A.A. Sumkina** (VNIRO, MSU), *K.K. Kivva* (VNIRO),
V.V. Ivanov (MSU, AARI)

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ ДАТ ПОЛНОГО ОЧИЩЕНИЯ ОТО ЛЬДА
В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ 1979–2018 ГГ.**

A.A. Сумкина^{1,2}, K.K. Кивва¹, В.В. Иванов^{2,3}*

¹ — *Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, г. Москва, Россия*

² — *Московский государственный университет им. Ломоносова, географический факультет, г. Москва, Россия*

³ — *ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия*

* *alexandrasumkina@gmail.com*

Изменение климата, наблюдаемое в арктическом регионе, сопровождается сокращением морского льда. Наиболее интенсивное уменьшение площади морского льда отмечается в Баренцевом море [Lind S., Ingvaldsen R. B., Furevik T. Arctic layer salinity controls heat loss from deep Atlantic layer in seasonally ice-covered areas of the Barents Sea // *Geophys. Res. Lett.* 2016, Vol. 43, P. 5233–5242.]. Информация о датах полного очищения (под которым принято понимать уменьшение концентрации льда до величины менее 15 %) может быть полезна различным заинтересованным сторонам [Peng G., Steele M., Bliss A.C., Meier W.N., Dickinson S. Temporal Means and Variability of Arctic Sea Ice Melt and Freeze Season Climate Indicators Using a Satellite Climate Data Record. *Remote Sens.* 2018, Vol. 10(9), P. 1328.]. В том числе от дат полного очищения зависит протекание биологических процессов, а так же сроки «цветения» фитопланктона. В данной работе выполнена оценка сроков схода морского льда для Баренцева моря за 1979–2018 гг.

Исследование проводилось на основании данных концентрации льда Climate Data Record (CDR) NOAA/NSIDC [Meier, W. N., F. Fetterer, M. Savoie, S. Mallory, R. Duerr, and J. Stroeve. 2017. NOAA/NSIDC Climate Data Record of Passive Microwave Sea Ice Concentration, Version 3. Boulder, Colorado USA. NSIDC: National Snow and Ice Data Center. doi: <https://doi.org/10.7265/N59P2ZTG>.] с 1979 по 2018 гг. Данные записаны на полярной стереографической сетке с горизонтальным разрешением 25 км и имеют дискретность 2 дня до июля 1987 года и 1 день после

этой даты. Данные линейно интерполированы для получения массива с однородным временным разрешением. Для удаления синоптической изменчивости исходный массив сглажен 7-дневным скользящим средним. Дата схода льда в заданный год в каждом узле сетки определена как день с концентрацией льда 15 %, после которого продолжительность периода с концентрацией льда менее 15 % была наибольшей [Peng G., Steele M., Bliss A.C., Meier W.N., Dickinson S. Temporal Means and Variability of Arctic Sea Ice Melt and Freeze Season Climate Indicators Using a Satellite Climate Data Record. *Remote Sens.* 2018, Vol. 10(9), P. 1328.]. В исследовании использовался метод кластерного анализа HDBSCAN, который сгруппировал узлы сетки за 1979–2008 годы (30 значений) [Campello R.J.G.B., Moulavi D., Sander J. (2013) Density-Based Clustering Based on Hierarchical Density Estimates. In: Pei J., Tseng V.S., Cao L., Motoda H., Xu G. (eds) *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining. PAKDD 2013. Lecture Notes in Computer Science*, vol 7819. Springer, Berlin, Heidelberg.]. Анализ выполнялся для узлов, где за выбранный период было не менее 15 лет со значениями дат полного очищения (ДПО). Отсутствующим значениям присваивался 0 (льда не было) или 367 (лед наблюдался весь год). Минимальное число соседей (minPts) равно 31 [Campello R.J.G.B., Moulavi D., Sander J. (2013) Density-Based Clustering Based on Hierarchical Density Estimates. In: Pei J., Tseng V.S., Cao L., Motoda H., Xu G. (eds) *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining. PAKDD 2013. Lecture Notes in Computer Science*, vol 7819. Springer, Berlin, Heidelberg.].

Наблюдается закономерное распределение дат стаивания, которое наступает на юге в январе и заканчивается на севере в сентябре. Максимальная площадь стаивания за 40 лет наблюдается в весенний период ($12049 \cdot 10^3 \text{ км}^2$). Средняя за 40 лет дата схода льда в Баренцевом море — 17 июня. Наблюдается сдвиг дат полного очищения на более ранние сроки. Максимальная площадь стаивания наблюдалась в 1979 году ($1110,48 \cdot 10^3 \text{ км}^2$), минимальная — в 2016 году ($368 \cdot 10^3 \text{ км}^2$). В 2018 году в центральной части пролива между Шпицбергом и Землей Франца-Иосифа (ЗФИ), стаивание началось на месяц раньше, чем вдоль берегов архипелагов. Схожая ситуация наблюдалась в 2011, 2004, 2002, 1985, 1984 годах. С помощью метода HDBSCAN в Баренцевом море было выделено 6 кластеров, в которых наблюдаются однородные даты полного очищения ото льда. В основном выделенные районы сконцентрированы в юго-западной части моря и только один на севере. Из общего количества узлов 63 % отнесено к «шуму». «Шум» в основном наблюдается в центральной части Баренцева моря, что говорит о межгодовой изменчивости ДПО. Межгодовая изменчивость дат полного очищения ото льда может быть обусловлена внутренней изменчивостью атмосферы и океана.

**MONITORING THE PROCESSES OF FRESHWATER ICE COVER
FORMATION AND DESTRUCTION BY AN UNDERWATER ACOUSTIC
WAVE GAUGE**

Yu.A. Titchenko, V. Yu. Karaev, E.M. Meshkov, R.V. Belyaev,
M.C. Ryabkova (IAP RAS)*

**РАЗРУШЕНИЯ ПРЕСНОВОДНОГО ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА
ПОДВОДНЫМ АКУСТИЧЕСКИМ ВОЛНОГРАФОМ**

Ю.А. Титченко, В.Ю. Караев, Е.М. Мешков, Р.В. Беляев, М.С. Рябкова
Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия*

** yuriy@ipfran.ru*

Данная работа посвящена наблюдению процессов формирования и разрушения ледяного покрова, выполненному в рамках длительных экспериментов на Горьковском водохранилище в Нижегородской области в зимние сезоны 2018–2019 (с февраля по апрель) и 2019–2020 (с ноября по, предположительно, апрель). В экспериментах использовался подводный акустический волнограф установленный в 150 метрах от берега вблизи дна водохранилища, так чтобы антенны гидролокатора ориентировались вертикально вверх на водную поверхность и ледяной покров. Изначальной целью экспериментов является проверка возможностей акустического волнографа проводить непрерывные долговременные дистанционные измерения толщины ледяного покрова двумя независимыми способами и измерения уровня водохранилища. Первый традиционный способ измерения толщины льда по данным гидролокатора основан на измерении времени задержки отраженного импульса до нижней границы ледяного покрова и измерении уровня воды по данным датчика гидростатического давления. Разница этих величин будет давать оценку 0,9 толщины ледяного покрова. Второй способ основан на измерении времени задержки и до нижней и до верхней границы ледяного покрова. Зная среднюю скорость звука в профиле ледяного покрова, можно оценить его толщину. Стоит отметить, что оба этих метода независимы и могут комбинироваться для получения дополнительной информации, например, о профиле скорости звука или о градиенте температуры в толще ледяного покрова.

Важным преимуществом использования гидроакустических методов и расположение прибора вблизи дна, является возможность проведения измерений в любых погодных условиях и в любом месте Мирового оке-

ана независимо от наличия и состояния ледяного покрова. В отсутствие ледяного покрова прибор может предоставлять информацию о поверхностном волнении. Нашей группой разработаны подходы определения значительной высоты волн и дисперсии уклонов по форме отраженного импульса. Причем определяются те же параметры поверхности что определяются с помощью космических радиолокаторов при использовании той же длины волны.

Именно используемая в экспериментах схема измерений позволяет в непрерывном режиме наблюдать процессы образования и разрушения ледяного покрова.

Для проведения долговременных измерений в ИПФ РАН был изготовлен подводный акустический волнограф «Стрела», оборудованный импульсным гидролокатором, датчиком гидростатического давления и двухосным инклинометром для контроля ориентации антенного блока волнографа. Максимальная расчетная глубина погружения прибора 100 м, однако в месте установки на Горьковском водохранилище глубина меняется от 3 м до 6 м. Прибор удерживается вблизи дна с помощью якоря и металлического груза. Вертикальная ориентация антенного блока обеспечивается с помощью высоко плавучего пенополистирола. Трехсотметровый кабель в бензомаслостойком шланге соединяет акустический волнограф с компьютером на берегу. Далее береговой компьютер соединяется через интернет с рабочим местом в ИПФ РАН, так что доступ к данным и управление осуществляются в режиме онлайн. Антенна гидролокатора оборудована одним пьезокерамическим элементом 35 мм в диаметре и 10 мм толщиной. Генератор гидролокатора работает на резонансной частоте пьезоэлемента 200 кГц, что позволяет излучать в воде волну длиной 8 мм. Прибор позволяет выбирать длину излученного импульса от 5 мкс до 80 мкс и менять частоту повторения импульса от 2 Гц до 100 Гц. Антенна акустического волнографа имеет ширину диаграммы направленности 15° на уровне половинной мощности. На берегу контролируются различные атмосферные параметры, такие температура воздуха, влажность и атмосферное давление.

В результате экспериментов на практике показана длительная работоспособность подводного акустического волнографа. В сравнении с традиционным акустогидростатическим и контактными методами подтверждена работоспособность метода определения толщины льда по временам отражения от нижней и верхней границы ледяного покрова. Кроме того, проведены измерения уровня водохранилища в период весеннего половодья весной 2019 года.

Получены уникальные непрерывные измерения отраженного импульса во время образования и разрушения ледяного покрова. В рамках измерений анализировалось сечение обратного рассеяния, ширина отраженного импульса, дисперсия уклонов нижней границы, а также наличие и высота отражения от верхней границы ледяного покрова. Проведен анализ динамика этих величин в процессе образования и таяния ледяного покрова и показано что момент начала таяния ледяного покрова связанный с повышением температуры воздуха может быть обнаружен мгновенно по данным подводного акустического волнографа.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 20-05-00462 а, 18-35-20057 мол_а_вед).

POSTER 3.31

ПОСТЕР 3.31

**THE USE OF AUTONOMOUS MEASURING PLATFORMS
WITH SATELLITE COMMUNICATIONS FOR OPERATIONAL
MONITORING OF THE ARCTIC WATERS**

*A.P. Tolstosheev (MHI RAS), Yu.P. Gudoshnikov (AARI), I.V. Buzin (AARI),
A.V. Nesterov (AARI), K.G. Smirnov (AARI), S.V. Motyzhnev* (MHI RAS),
E.G. Lunev (MHI RAS), V.Z. Dykman (MHI RAS), M.S. Volikov (MHI RAS)*

**ПРИМЕНЕНИЕ АВТОНОМНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПЛАТФОРМ
СО СПУТНИКОВОЙ СВЯЗЬЮ
ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА
АРКТИЧЕСКИХ АКВАТОРИЙ**

*А.П. Толстошеев¹, Ю.П. Гудошников², И.В. Бузин², А.В. Нестеров²,
К.Г. Смирнов², С.В. Мотыжев^{1*}, Е.Г. Лунев¹, В.З. Дыкман¹,
М.С. Воликов¹*

¹ — Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН», г. Севастополь, Россия

² — ГИЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

* *motyzhnev@marlin-yug.com*

Эффективность решения задачи освоения полярных и приполярных регионов определяется уровнем развития системы комплексных наблюдений метеорологической, гидрологической и ледовой обстановки в данном регионе. В мировой науке климатические процессы в Арктике рассматриваются как индикатор глобальных изменений, однако современный уровень знаний о климатической системе этого региона недо-

статочен. Причиной этому является острый дефицит данных наблюдений, обусловленный рядом объективных причин: труднодоступность региона, неблагоприятные метеорологические условия, ограниченность средств дистанционного зондирования из-за наличия преимущественной облачности и ледового покрова и т.д.

В последние десятилетия в рамках построения глобальной сети наблюдений Мирового океана и приводной атмосферы широкое развитие получила дрейферная технология как средство оперативного контактного мониторинга. Сочетание потенциально широких возможностей дрейферной технологии с ее экономической эффективностью определило области применения различных специализированных дрейфующих платформ, адаптированных к условиям арктического региона. В работах использовалась широкая номенклатура выполненных к настоящему времени разработок, представленных спутниковыми радиомаяками, термопрофилирующими дрейферами и специализированными метеостанциями. Конструкция последних ориентирована для установки на сезонные ледовые образования.

Спутниковые радиомаяки предназначены для оперативного мониторинга движений ледников. Аппаратно-программные решения, реализованные в радиомаяках, направлены на создание относительно недорогого средства широкого применения, обеспечивающего высокую достоверность измерений координат, оперативность доставки данных пользователям, долговременную автономность, устойчивость к воздействию влияющих факторов, характерных для полярных регионов, простоту технологии развертывания. По результатам долговременного натурного эксперимента на архипелагах Арктической зоны Российской Федерации время автономной работы радиомаяков превысило 2 года; данные мониторинга были переданы пользователям по каналам спутниковой системы Argos-2 практически в полном объеме; погрешность определения характеристик движения ледников в 93 % отсчетов не превысила 1 м.

Термопрофилирующие дрейферы применялись главным образом в рамках проекта UpTempO (Вашингтонский университет, США) программы International Arctic Buoy Program (IABP). Цель проекта — оперативные систематические контактные наблюдения термической изменчивости верхнего, в том числе подледного, слоя океана и приводной атмосферы в полярном регионе. Задачи проекта UpTempO определили два региона наибольшей интенсивности дрейферного мониторинга: море Бофорта — Канадская котловина и Центральная Арктика. Общее время жизни дрейферов составило более 6000 суток. В докладе рассматрива-

ются результаты долговременных оперативных наблюдений динамики ледовых полей, термических процессов в верхнем, в том числе подледном, слое океана, полей атмосферного давления.

Основной вывод состоит в том, что создана и апробирована дрейфтерная технология оперативного мониторинга траекторий движений ледовых образований, температуры и толщины льда, распределения температуры верхнего слоя океана под ледовыми образованиями, атмосферного давления.

В качестве сегмента системы освещения обстановки в Арктике дрейфтерная наблюдательная сеть позволит повысить безопасность судоходства и функционирующих на арктическом шельфе нефтедобывающих платформ, обеспечить валидацию данных, получаемых дистанционными методами, повысить достоверность моделирования гидрофизических полей, снизить вероятность ошибочных метеопрогнозов и прогнозов ледовой обстановки, уточнить и даже изменить существующие представления о характере взаимодействия системы «лед – океан – атмосфера» в Арктическом бассейне.

POSTER 3.32

ПОСТЕР 3.32

**THE CURRENT STATE OF THE ABIOTIC COMPONENT
OF RIVER ECOSYSTEMS IN THE OB-TAZ ESTUARY REGION**

M.V. Tretiakov, V.A. Bryzgalov, E.V. Rumyantseva (AARI)*

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АБИОТИЧЕСКОЙ
СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ЭКОСИСТЕМ УСТЬЕВЫХ УЧАСТКОВ
РЕК ОБСКО-ТАЗОВСКОЙ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ**

М.В. Третьяков, В.А. Брызгалов, Е.В. Румянцова*

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

** tmv@aari.ru*

В настоящее время в большинстве регионов российской Арктики сопротивляемость пресноводных экосистем антропогенному прессингу заметно снизилась, следствием чего стало резкое ухудшение их экологического состояния. Наиболее сильное воздействие испытывают устьевые области арктических рек за счет антропогенных изменений речного стока воды, наносов, компонентного состава растворенных химических веществ. Несмотря на относительно небольшие размеры, устья рек имеют большое экологическое и хозяйственное значение, поскольку

обладают огромными водными и биологическими ресурсами. На устьевых участках рек вследствие замедления скоростей течения и обратных течений создаются условия для задержки и накопления загрязняющих веществ.

Учитывая специфику устьевых областей рек актуальными остаются исследования, касающиеся оценки возможных негативных изменений состояния наиболее значимых устьевых областей арктических рек с учетом специфики антропогенной нагрузки и региональных особенностей компонентного состава водной среды и структурной организации сообществ водных организмов.

В качестве объекта исследования были выбраны устьевые участки рек, впадающих в Обско-Тазовскую губу.

Используя внедренную в Росгидромете методику оценки степени загрязненности водной среды проведена классификация включенных в исследование устьевых участков рек, впадающих в Обско-Тазовскую губу.

Ретроспективный анализ режимной информации о степени загрязненности исследуемых экосистем выявил, что используемые при оценке качества их водной среды гидрохимические показатели подразделяются на приоритетные, концентрация которых за весь исследуемый период периодически превышает ПДК во всех исследуемых устьевых участках, и критические, концентрация которых с разной частотой повторяемости обуславливает перевод водной среды по степени загрязненности в класс «очень грязной» и «экстремально грязной».

В зависимости от кратности превышения ПДК по критическим ингредиентам в исследуемых устьевых участках периодически возникали кризисные экологические ситуации, характеризующиеся относительно быстрой структурно-функциональной изменчивостью водной экосистемы. В исследуемых устьевых экосистемах к таким ингредиентам следует отнести:

- соединения железа, максимальная кратность превышения ПДК периодически достигала 66 в реке Обь, 86 в реке Пур и 93 в реке Надым;
- соединения меди, максимальная кратность превышения ПДК могла достигать 60–62 на реке Обь, Таз и 112 в реке Пур;
- нефтяные углеводороды, максимальная кратность превышения ПДК периодически достигала 61 в реке Обь, 65 в реке Надым и 57 в реке Пур.

Хорошим индикатором возможного развития кризисных экологических ситуаций является увеличение внутри- и межгодовой амплитуды

колебания концентрации системообразующих параметров компонентного состава водной среды.

Анализ пространственно-временной изменчивости компонентного состава водной среды с использованием многолетней (1980–2014 гг.) гидрохимической информации позволил заключить, что на замыкающих створах исследуемых рек отмечается высокая межгодовая и внутригодовая изменчивость компонентного состава водной среды с общей тенденцией расширения общих диапазонов колебания концентрации комплекса исследуемых ингредиентов.

Выполнен анализ долгопериодной режимной гидрохимической информации, показавший показал довольно отчетливую тенденцию ослабления устойчивости (стабильности) исследуемых устьевых экосистем.

Длительная антропогенная нагрузка на исследуемые устьевые участки рек на фоне значительной изменчивости компонентного состава их водной среды сформировала новый антропогенно-измененный природный фон, верхние границы которого заметно превышают принятые в России предельно допустимые концентрации.

Результаты расчета модальных интервалов значений концентрации приоритетных компонентов водной среды позволили отметить изменчивость сформировавшегося природного фона за счет:

- расширения диапазонов колебания содержания многих ингредиентов до концентраций, превышающих принятые ПДК;

- заметной межсистемной пространственной неоднородности природного фона по БПК₅, азоту нитритному, азоту нитратному, фосфору фосфатному, соединениям меди, цинка;

- общей тенденции накопления в водной среде азот- и фосфорсодержащих соединений, регулирующих внутрисистемные биохимические процессы функционирования пресноводных экосистем.

Такой характер сформировавшегося антропогенно-измененного природного фона позволяет предположить заметное изменение к настоящему времени состояния исследуемых экосистем.

Выполнена систематизация результатов расчета модальных интервалов значений концентрации ЛООВ (по БПК₅), азота аммонийного и минимальных значений растворенного в воде кислорода для устьевых участков рек Обь, Надым, Ныда, Пур, Таз.

Сформировавшийся в современных условиях компонентный состав водной среды на устьевых участках исследуемых рек позволяет сделать

заклучение о том, что физический перенос многих химических веществ преобладает над внутри водоемными процессами их трансформации и поэтому заметная доля их количества может достигать устьевых областей рек.

Результаты показали, что наиболее высокими объемами притока на замыкающие створы рек, впадающих в Обско-Тазовскую губу, по всем растворенным химическим соединениям выделяется река Обь, которая является основным поставщиком легкоокисляемых органических веществ, минеральных форм азота, нефтяных углеводородов и соединений железа.

Объемы притока приоритетных химических соединений на замыкающие створы устьевых участков других исследуемых рек на порядок и более уступают объемам их притока реке Обь.

Вполне обосновано делать заключение о том, что устьевые области Обско-Тазовской губы функционируют в условиях уже длительной внешней антропогенной нагрузки в первую очередь за счет поступления многих загрязняющих веществ с речным стоком.

Учитывая значительные различия исследуемых устьевых участков по объемам водного стока и площади водосбора, для сравнительной оценки изменчивости антропогенной нагрузки использованы модули стока этих соединений.

Результаты проведенной оценки показали, что исследуемые устьевые участки испытывают нагрузку по:

- азоту аммонийному от критической (река Обь) до переходной от высокой к очень высокой (реки Пур, Таз);
- легкоокисляемым органическим веществам от умеренной (реки Обь) до критической (реки Надым);
- нефтяным углеводородам от критической (реки Обь, Таз) до переходной от критической к высокой (реки Надым, Пур).

Характер пространственно-временной изменчивости компонентного состава водной среды, сформировавшегося «природного фона» и объемов притока с речным стоком приоритетных загрязняющих веществ отчетливо показывают, что устьевые экосистемы Обско-Тазовской губы функционируют в условиях постоянной или временной внешней антропогенной нагрузки за счет поступления многих химических веществ с речным стоком.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60192.

**METHODOLOGY FOR INTEGRAL ASSESSMENT
OF THE VARIABILITY OF ICE NAVIGATION CONDITIONS
ON THE NORTHERN SEA ROUTE**

V.Yu. Treatikov (AARI, SPBU), V.E. Fediakov (AARI), S.V. Frolov (AARI)*

**МЕТОДИКА ИНТЕГРАЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ИЗМЕНЧИВОСТИ
ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ ПЛАВАНИЯ**

В.Ю. Третьяков^{1,2}, В.Е. Федяков¹, С.В. Фролов¹*

¹ — ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

² — Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

* *v_yu_tretyakov@mail.ru*

Необходимость поддержания и развития Северного Морского пути (СМП) обусловлена решениями Президента и Правительства Российской Федерации. Очевидно, что увеличение объемов вывоза сжиженного природного газа из Обской губы, ввод в эксплуатацию новых терминалов погрузки нефти и ожидаемое в ближайшей перспективе освоение морских лицензионных участков с эксплуатацией морских ледостойких нефте- и газодобывающих платформ придадут новый импульс судоходству по СМП. Другой стимул его развития — организация постоянного коммерческого транзитного плавания судов между странами Дальнего Востока (Китай, Корея, Япония и т.д.) и Западной Европы. Следует учитывать северный завоз, обеспечение объектов инфраструктуры Министерства обороны РФ на Крайнем Севере, арктический туризм. Эти факторы требуют организации СМП как бесперебойно работающей морской транспортной системы, включающей ледокольный флот и транспортные суда ледового класса. Важной проблемой является определение оптимальных ледовых качеств судов. Неоправданное завышение ледовых качеств судов ведет к увеличению издержек при постройке и эксплуатации судов, занижение — к высокой вероятности сбоев в ритмичности работы системы, возможному ущербу из-за аварийных ситуаций и загрязнения окружающей среды.

В связи с современными изменениями климата для стратегического планирования морских транспортных систем СМП необходимо провести объективный анализ того, насколько изменились за последние годы условия ледового плавания на маршрутах СМП. В ААНИИ на основе

данных специальных судовых ледовых наблюдений за многолетний период создана эмпирико-статистическая модель количественного учета трудности плавания судов во льдах. Также ААНИИ обладает уникальным архивом векторных ледовых карт, построенных в результате дешифровки спутниковых снимков, который охватывает период с 1997 г. Компьютерные технологии, включая возможности ГИС, позволяют автоматизировать обработку карт этого архива и получить объективные данные об эксплуатационных характеристиках движения судов во льдах на трассе СМП. Входными параметрами эмпирико-статистической модели движения судов во льдах являются протяженность участков с однородными ледовыми условиями плавания, характеристики ледяного покрова в пределах однородных ледовых зон, включая сплоченность льда, количество льдов различного возраста, преобладающая толщина льда каждой возрастной градации, формы льда, преобладающая торосистость льда, степень разрушения льда в летний период.

Атрибутивные таблицы шейпфайлов ледовых карт архива содержат сведения об общей сплоченности льда, возрастном составе и формах льда. Для объективности анализ ледовых условий выполняется не вдоль маршрутов — линейных объектов нулевой ширины, а по буферным зонам шириной 20 км вокруг маршрутов. Обработка шейпфайлов выполняется в среде ArcGIS с помощью ряда разработанных на языке Python программ. В результате определяются следующие средние для каждого однородного участка маршрута величины: общая сплоченность, возрастной состав льда, частные концентрации льда по возрастным категориям и соответствующие им формы льда. Однако атрибутивные таблицы шейпфайлов не содержат сведений о толщине льда. Предполагается равномерное распределение толщины льдов всех возрастных категорий. Для льдов, не являющихся самыми старыми (имеющими максимальную толщину), за толщину принимается середина диапазона толщин данной категории. Для льдов наибольшего возраста определяется их максимальная возможная толщина в предположении ее нарастания с начала осеннего ледообразования. Для этого выполняется интерполяция значений толщины припая по данным измерений на гидрометеорологических станциях с учетом степени суровости зимы, т.к. в суровую зиму нарастание толщины дрейфующих льдов запаздывает по сравнению с толщиной припая на 2 декады, в умеренную — на 3, в мягкую — на 4. Интерполяция выполняется в ArcGIS методом IDW только в пределах буферной зоны маршрута плаваний. Затем выполняется зональная статистика результата интерполяции по однородным ледовым зонам с определением максимального и среднего значения толщины льда в каж-

дой. Такой подход позволяет учитывать динамику толщины льда в течение осенне-зимнего периода. За величину торосистости принимаются ее средние значения по районам плаваний. Определенные по векторным ледовым картам характеристики применяются для расчета эксплуатационных параметров движения судов. Расчеты затрат времени и средних скоростей движения выполняются с использованием эмпирико-статистической модели в двух вариантах: при отсутствии сжатий в ледяном покрове и при сжатиях интенсивностью 1 балл, т.к. такие сжатия наблюдаются в 80 % случаев. Расчеты выполняются по данным, характеризующим десятидневные интервалы (декады).

Для анализа межгодовой изменчивости ледовых условий плавания исследуется временная динамика параметров плавания по стандартному маршруту (затрат времени и/или средней скорости), относящихся к одной и той же внутригодовой декаде. Для выявления возможного тренда ледовых условий применяется метод интегральных кривых (накопленных сумм). В разработанной в среде Mathcad программе строятся графики, на которых ось X — годы, ось Y — суммы значений параметра. Для первого года ряда — это само значение параметра, для остальных лет — суммы значений от первого элемента ряда до значения данного года. Точки на графике соединяются линией. Изломы или изгибы линии могут служить признаком наличия тренда. Для проверки нулевой гипотезы об однородности числового ряда исходных значений параметра этот ряд подразделяется на две выборки. При наличии изгибов/изломов разделение выполняется по месту самого выраженного изгиба/излома на графике, при их отсутствии ряд делится пополам. Проверка однородности выполняется с помощью ранговых непараметрических критериев Уилкоксона-Манна-Уитни и Зигеля-Тьюки, реализованных в виде программ среды Mathcad.

Разумеется, расчеты динамики параметров плаваний за весь исследуемый период должны выполняться для судов одного типа. Более всего накоплено информации о характеристиках плаваний во льдах атомных ледоколов типа «Арктика», поэтому применяемые в модели зависимости параметров плаваний от ледовой обстановки для таких судов являются самыми объективными. Это определяет предпочтительность выполнения расчетов для ледоколов типа «Арктика».

Естественно, что выявление тренда не означает, что этот тренд будет продолжаться значительный период времени, а не сменится в ближайшем будущем другим, возможно, противоположным. Для определения оптимальных ледовых качеств судов при стратегическом планировании морских транспортных систем предложенная методика интегрального оценивания ледовых условий плавания должна использовать результа-

ты компьютерного моделирования динамики ледяного покрова СЛО в течение нескольких ближайших десятилетий. При этом желательно использование результатов ряда различных моделей, а полученные средние значения параметров плавления следует рассматривать как математические ожидания случайных величин.

POSTER 3.34

ПОСТЕР 3.34

**CASCADING ON THE CENTRAL BANK BASED ON THE RESULTS
OF THE EXPEDITION “TRANSARCTIC-2019”**

F.K. Tuzov (MSU)

**КАСКАДИНГ НА ЦЕНТРАЛЬНОЙ БАНКЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ
ЭКСПЕДИЦИИ «ТРАНСАРКТИКА-2019»**

*Ф.К. Тузов**

*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова,
г. Москва, Россия*

fedor-tuz@mail.ru

Каскадинг — это процесс, при котором плотная вода, образованная путем охлаждения, испарения или образования льда с выделением рассола в поверхностном слое над континентальным шельфом, стекает вниз по континентальному склону на большую глубину.

Этот процесс приводит к обновлению промежуточных и придонных вод, что влияет на термохалинную циркуляцию. Уплотненные воды образуются более эффективно на мелководных участках континентального шельфа, чем в прилегающих глубоководных районах. Далее, плотные воды по дну движутся в сторону континентального склона или более глубоких областей шельфа и стекают на более глубокие горизонты, играя важную роль в перемещении тепла, соли, фитопланктона, углерода и хлорофилла из продуктивных районов. Поскольку водообмен может продолжаться из года в год, то каскадинг способствует долговременной климатической изменчивости.

Каскадинг на Центральной банке описан в 1992 году по результатам ряда экспедиций 1980–1990 гг. Тогда исследования производились в весенний период и удалось зафиксировать образование уплотненных вод. Исходя из данных о ледовых полях было сделано предположение что ледообразование в районе центральной банки способствует уплотнению вод от поверхности до дна. В данном процессе также принимает участие вода атлантического происхождения.

В ходе экспедиции «Трансарктика-2019» в районе Центральной банки в течение одного дня 15.05.2019 был выполнен разрез, аналогичный выполненному ледоколом «Россия» в 1990 году. Всего произведено 13 зондирований, через Центральную банку в юго-западном направлении. Обязательным условием для выполнения данного разреза было зондирование CTD — профилографом до дна, с целью уточнения придонной структуры вод. Рельеф дна был уточнен согласно данным зондирований.

В стендовом докладе будут представлены результаты исследования каскадинга в районе Центральной банки на шельфе Баренцева моря и показано сравнение реальной структуры вод с данными реанализа Mercator для того же самого района. Данная работа выполнена по гранту РФФИ № 18-05-60083.

POSTER 3.35

ПОСТЕР 3.35

**HYDROMETEOROLOGICAL CONDITIONS OF 2nd YEAR ICE
APPEARANCE IN THE SOUTH-EASTERN BARENTS SEA**

A.B. Tyuryakov, I.A. Il'yushchenkova, E.S. Egorova (AARI)*

**ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПОЯВЛЕНИЯ
ДВУХЛЕТНЕГО ЛЬДА
В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ**

А.Б. Тюряков, И.А. Ильющенко, Е.С. Егорова*

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

** tyuryakov@aari.ru*

Четверть века назад считалось, что ледообразование в юго-восточном районе Баренцева моря всегда происходит на чистой воде в отсутствии остаточных льдов. Однако ледовые процессы 1998 г., когда до начала ледообразования в юго-восточной части Баренцева моря сохранялся лед, ставший в соответствии с Номенклатурой морских льдов с 1-го января 1999 г. двухлетним, опровергли устоявшееся к концу XX века мнение. Единичное более чем за 90-летний ряд наблюдений появление двухлетнего льда в таком важном с точки зрения судоходства и хозяйственной деятельности районе, как юго-восточная часть Баренцева моря, событие экстраординарное. Для понимания причин этого природного феномена и получения возможности в дальнейшем предвидеть аналогичные явления, целесообразно не только детально проанализировать ледовые процессы в юго-восточной части Баренцева моря в 1997/98 гг. в сравнении со средними многолетними, но и выявить гидрометеорологические условия к этому приведшие.

Юго-восточный район Баренцева моря имеет некоторые особенности, связанные с его географическим положением, которые рассматриваются в докладе.

Эти особенности обуславливают своеобразие не только гидрометеорологического, но и ледового режима юго-восточной части Баренцева моря, основные характеристики которого приводятся в докладе в тезисной форме.

Важнейшими факторами, определяющими формирование ледовых условий в юго-восточной части Баренцева моря, являются атмосферные процессы. Направление и интенсивность воздушных переносов в осенне-зимний период обуславливают характер динамических процессов в ледяном покрове, а аномалии температуры воздуха характеризуют интенсивность нарастания льда. В докладе в краткой форме приводятся основные климатические характеристики метеорологического режима района.

Анализ ледовых процессов и сопутствующих им метеорологических условий в юго-восточной части Баренцева в сезоне 1997/98 гг. проводился помесячно, начиная с ноября 1997 г., в конце которого у южного побережья Новой Земли началось устойчивое ледообразование. В ходе выполнения анализа в сравнении со средними многолетними значениями рассматривались:

- сроки становления припая в рассматриваемом районе и изменения его толщины по данным четырех полярных станций в течение всего периода его существования;
- изменения ледовитости юго-восточной части Баренцева моря от месяца к месяцу;
- достижение дрейфующим льдом той или иной возрастной градации в различных районах юго-восточной части Баренцева моря с декабря 1997 г. по май 1999 г.;
- распределение дрейфующих льдов в рассматриваемом районе на протяжении всего периода его существования;
- сроки начала процессов таяния и разрушения ледяного покрова;
- сроки устойчивого перехода температуры воздуха через 0 °С к отрицательным значениям осенью 1997 г. и к положительным значениям в летний период 1998 г.;
- наличие аномалии температуры воздуха того или иного знака или ее отсутствие;
- направление и интенсивность преобладающих в течение месяца воздушных переносов;
- крупномасштабные синоптические процессы, обусловившие те или иные метеорологические условия в рассматриваемом районе.

В результате установлено, что:

- юго-восточный район Баренцева моря в течение всего периода с декабря 1997 г. по январь 1999 г. находился в зоне влияния адвекции хо-

лодных воздушных масс с континента, которые сформировали крупные отрицательные аномалии температуры воздуха в большинстве месяцев рассматриваемого периода;

– отрицательные аномалии температуры воздуха, начиная с декабря 1997 г., обусловили формирование и сохранение во всех без исключения месяцах рассматриваемого периода крупных положительных аномалий ледовитости юго-восточной части Баренцева моря;

– отрицательные аномалии температуры воздуха, имевшие место во всех месяцах первого полугодия 1998 г., обусловили также не только значительно более активное, нежели обычно, увеличение толщины льда, как неподвижного, так и дрейфующего, на всей акватории юго-восточного района Баренцева моря, но и сдвиг более чем на месяц в более позднюю сторону начала процесса таяния ледяного покрова;

– процесс таяния и разрушения ледяного покрова начался в середине июня на фоне крупной положительной аномалии ледовитости юго-восточной части Баренцева моря. В июле этот процесс был достаточно интенсивен в западной и центральной части рассматриваемого района, а в районе пролива Карские Ворота замедлен сформировавшейся там в этот период локальной крупной отрицательной аномалией температуры воздуха ($\Delta T_a = -5^\circ\text{C}$);

– очищение ото льдов акватории юго-восточной части Баренцева моря происходило в 1998 г. в аномально поздние сроки — в июле–первой половине августа и продвигалось в генеральном направлении с запада на восток, в то время как в юго-западной части Карского моря, где преобладал сплоченный однолетний толстый лед, очищение шло в направлении с востока на запад;

– во второй половине августа 1998 г. благодаря сильным и продолжительным ветрам восточной четверти произошел заток значительного количества однолетнего толстого льда из Карского моря через пролив Карские Ворота в юго-восточную часть Баренцева моря, где он сохранялся на протяжении всего сентября благодаря влиянию нажимных ветров северо-западной четверти и сохранению достаточно крупной отрицательной аномалии температуры воздуха;

– в конце сентября в результате перехода ветра к восточным направлениям сплоченный однолетний толстый лед карского образования прижало к Новой Земле и вытянуло в виде узкой полосы шириной до 20 миль вдоль побережья от пролива Карские Ворота до широты $71^\circ 30'$, а на фоне увеличения отрицательной аномалии температуры воздуха до -5°C в первой декаде октября в Печорской и Хайпудырской губе началось устойчивое ледообразование, с началом которого остававшийся в юго-восточной части Баренцева моря лед уже классифицировался как остаточный, перейдя в соответствии с Номенклатурой морских льдов с 1-го января 1999 г. в разряд двухлетнего.

Таким образом, можно выделить ряд условий, при одновременном выполнении которых возможно повторное появление двухлетнего льда в юго-восточном районе Баренцева моря:

1. Нахождение юго-восточного района Баренцева моря с декабря предыдущего года по ноябрь последующего в зоне влияния адвекции холодных воздушных масс с континента, формирующих крупные отрицательные аномалии температуры воздуха в большинстве месяцев рассматриваемого периода.

2. Формирование в июле–августе антициклона над побережьем Карского моря с ветрами восточной четверти на его западной периферии, способствующими затоку толстых карских льдов в Баренцево море через пролив Карские Ворота.

3. Влияние на юго-восточную часть Баренцева моря в сентябре тыловой части циклонического поля над побережьем Сибири с преобладанием нажимных ветров северной четверти, способствующих сохранению поступившего из Карского моря льда.

4. Усиление влияния на рассматриваемый район периферии арктического антициклона в октябре, выражающееся в увеличении отрицательной аномалии температуры воздуха в районе и преобладании ветров восточной четверти, способствующих сохранению поступившего из Карского моря льда до начала ледообразования.

POSTER 3.36

ПОСТЕР 3.36

**THE LONG-TERM VARIABILITY WINTER CHARACTERISTICS
OF THE SURFACE LAYER OF THE ARCTIC BASIN**

E.A. Chernyavskaya (AARI)

**ДОЛГОПЕРИОДНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЗИМНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ
АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА**

Е.А. Чернявская

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

cherni_ka@mail.ru

Существует гипотеза о наличии связи между образованием, распространением и устойчивостью морских льдов и строением верхнего слоя океана. Механизм этой связи объясняется, главным образом, наличием или отсутствием градиента солености между поверхностными водами и подстилающей их водной массой. Галоклин, значительно ограничи-

вая вертикальный теплообмен, создает условия для образования морских льдов в районах, где годовые потери тепла океаном превышают его поступление от Солнца. Вырождение галоклина ведет к беспрепятственному теплообмену поверхностного слоя океана с нижележащими теплыми водами, что, в свою очередь, может способствовать таянию льдов и блокированию процесса ледообразования.

С начала спутниковых наблюдений за арктическими льдами (с конца 1970-х), их площадь в летний период сократилась почти вдвое и продолжает уменьшаться. При этом причина исчезновения ледяного покрова не очевидна. Некоторые исследователи связывают это явление с изменениями атмосферной циркуляции и усилением выноса льдов через пролив Фрама. Другие полагают, что одно лишь атмосферное воздействие не могло вызвать столь существенных изменений и, очевидно, теплообмен с поверхностным слоем океана и нижележащими водами также оказывает влияние на устойчивость ледяного покрова в Арктике.

В связи с уменьшением площади ледяного покрова, поверхностный слой стал более доступен для непосредственного воздействия ветра и Солнца. Очевидно, что такое изменение условий окружающей среды не могло не сказаться на термохалинной структуре поверхностного слоя, которая в последние годы действительно претерпела значительные изменения. Особый интерес представляет существенное распреснение верхнего перемешанного слоя и, особенно, слоя галоклина в Амеразийском суббассейне, не наблюдавшееся в таких масштабах ни разу за всю историю наблюдений с 1950 г.

В данном исследовании были использованы океанологические данные, собранные в акватории Арктического Бассейна (АБ) в зимний период (октябрь–май) 1950–1993 гг. Измерения в этот период проводились на стандартных горизонтах. В период 2007–2013 гг. океанологические данные собирались методом зондирования с помощью CTD и XCTD зондов было с вертикальным разрешением до 1 м. Из-за недостаточности наблюдений за период 1994–2006 гг., также были использованы данные модели CMEMS за указанный период.

Для смягчения эффекта пространственной неоднородности, данные были интерполированы в узлы регулярной сетки с разрешением 200×200 км и на стандартные горизонты. Итоговая сетка включает 131 узел и покрывает глубоководную (с глубинами более 50 м) часть Северного Ледовитого океана (СЛО).

По гридированным данным для зимнего периода 1950–2013 гг. были рассчитаны такие параметры поверхностного слоя как: толщина и соленость перемешанного слоя, толщина галоклина и средняя соленость

в слое галоклина. Анализ параметров поверхностного слоя позволил сделать выводы о том, что средние поля параметров поверхностного слоя за 1950–1993 гг. имеют ряд структурных отличий по сравнению со средними полями за 2007–2013 гг., что говорит о перестройке полей под влиянием изменившихся условий окружающей среды. Так толщина перемешанного слоя Арктического бассейна в последние годы увеличилась с 30–35 м в 1950–70-х до 40–44 м в 1980–2000-х гг. Толщина слоя галоклина при этом, наоборот, уменьшилась с 65 м в 1950–90-х до 50 м в 2000-х гг. В то же время, соленость поверхностного слоя и галоклина в 2000-х гг. уменьшилась почти на 0,5 % в сравнении с 1950–90 гг. На связь перечисленных изменений с трансформацией атмосферной циркуляции и процессов водообмена СЛО с соседними океанами указывают результаты корреляционного анализа.

Исследование выполнено в рамках проекта Министерства Науки и Высшего Образования Российской Федерации (RFMEFI61619X0108).

POSTER 3.37

ПОСТЕР 3.37

**THE HYDROLOGICAL REGIME OF THE RIVERS OF THE NORTH
OF WESTERN SIBERIA AND ITS RELATIONSHIP WITH
CLIMATIC PROCESSES**

E.N. Shestakova, E.V. Rumyancheva, O.V. Muzhdaba (AARI)*

**ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЕК СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ
И ЕГО СВЯЗЬ С КЛИМАТИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ**

Е.Н. Шестакова, Е.В. Румянчева, О.В. Муждаба*

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

** shen@aari.ru*

Климат определяет особенности гидрологического режима рек, в связи с этим представляется интересным оценить отклик гидрологической системы на современные изменения этого фактора.

Север Западной Сибири находится под влиянием атлантических циклонов, которое усиливается в летний период в связи с ослаблением действия арктического антициклона. В предшествующих работах отмечается, что для водного стока реки Обь характерно сглаживание колебаний в связи с высокой степенью заболоченности ее бассейна. Тем не менее, отмечается совпадение общих тенденций в изменении индекса NAO, AO, а также повторяемости формы атмосферной циркуляции W и объема речного стока.

Ранее анализ влияния климатических процессов проводился только для бассейнов крупных рек. В свою очередь, именно оценка динамики стока средних рек отражает зональные характеристики климата. В настоящей работе была предпринята попытка оценить отклик гидрологического режима рек севера Западной Сибири на современные колебания климата.

Оценка проводилась для средних рек Полуй, Пяку-Пур и Сыня с площадью водосбора 2000–50000 км², которые охвачены наблюдениями в современный климатический период с 1981 года. В качестве исходных данных были использованы среднемесячные и среднегодовые значения расходов воды, а также даты начала ледостава и первой подвижки льда, опубликованные в изданиях Государственного водного кадастра.

Установлено, что для Полуя и Сыни характерна общая тенденция уменьшения стока, а для реки Пяку-Пур — увеличения. Только тренд годового стока реки Пяку-Пур является статистически значимым за счет значимого увеличения стока за теплый период. Он формирует основную часть годового стока, что закономерно для рек с весенним половодьем.

Для рек Полуй и Сыня характерна определенная синхронностью колебаний годового стока, отмеченная при анализа сглаженных средних кривых. Это обусловлено территориальной близостью и схожестью значений нормы стока. Для всего временного ряда р. Сыни определен значимый тренд увеличения стока за холодный период гидрологического года.

В ходе исследования была оценена частота повторяемости многоводных лет по отношению к различным периодам. Для средних рек было рассчитано количество лет со стоком выше нормы для современного климатического периода с 1981 года, предшествующего периода и всего периода наблюдений. Согласно полученным результатам, установлено, что для рек характерны различия в повторяемости многоводных лет. Так на реке Полуй с 1981 года только 35 % лет имели сток выше нормы, тогда как на реке Пяку-Пур величина этого показателя составляет 65 %.

Стоит отметить, что норма стока для реки Пяку-Пур увеличилась на 5,1 %, для реки Полуй на 3,4 %, для реки Сыня на 9,7%.

Что касается ледового режима, то весенние ледовые явления с 1981 года начинаются в среднем на 3 дня раньше на реке Пяку-Пур, на 5 дней на реке Полуй и на 6 дней раньше на реке Сыня. Начало ледостава сместилась на более поздние сроки: на 2 дня для р. Пяку-Пур, на 4 для реки Полуй и на 5 для реки Сыня. В целом, колебания дат начала весенних ледовых явлений и ледостава для этих трех лет происходят синхронно. Коэффициенты корреляции составляют 0,63–0,81 в весенний период и 0,70–0,86 — в осенний.

Для Арктической зоны Западной Сибири наблюдается увеличение нормы среднегодовой температуры воздуха на 1–1,5 °С за современный климатический период с 1981 г. по сравнению с периодом 1936–1980 годов. В исследуемом регионе однозначные тенденции динамики годовых осадков не выявлены. Наблюдаются отдельные периоды преобладания положительных и отрицательных отклонений от нормы суммы осадков. Попытки сопоставить эти периоды с колебаниями индекса НАО и повторяемостью формы атмосферной циркуляции *W* не дали положительные результаты.

Таким образом, в ответ на климатические изменения, включающие изменения в динамике циркуляции, температурном режиме и режиме выпадения осадков, увеличиваются зимние расходы воды, смещаются даты начала ледостава и весенних ледовых явлений. В динамике годового водного стока наблюдаются разнонаправленные тенденции. Представляется перспективным продолжить изучение причин их различий с привлечением данных о состоянии многолетнемерзлых пород и снегонакоплении.

POSTER 3.38

ПОСТЕР 3.38

**CHANGING MARGINAL ICE ZONES AND IMPLICATIONS
FOR THE TRANSPOLAR DRIFT SYSTEM**

T. Krumpfen¹, K. Dethloff^{}, C. Haas¹, J. Hoelemann¹, V. Ivanov², M. Janout¹,
T. Kanzow¹, H. Kassens³, A. Rinke¹, V. Smolyanitsky², V. Sokolov²*

¹ — *Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, Bremerhaven, Germany*

² — *State Scientific Center of Russian Federation Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia*

³ — *Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel (GEOMAR), Kiel, Germany*

** Klaus.Dethloff@awi.de*

Observed current and simulated future trends of Arctic climate exhibit a strong decline in sea ice (cover and volume) which influences ocean circulation, weather, and regional climate.

The Siberian Shelves are particularly affected by global warming: Warming spring temperatures and intensified ice advection in winter lead to an early ice retreat, which in turn results in anomalously warm summer surface waters. This has strong implication on the vertical stability, thermal variability and currents, and timing of autumnal freeze-up.

These regional changes are then propagated to the central Arctic Ocean: For example, there is indication that intensified melt in the marginal zones of the Arctic Ocean interrupts the transarctic conveyor belt and has led to a reduction of the survival rates of sea ice exported from the shallow Siberian shelves. This impacts the the balance of climate relevant trace gases, primary production, and biodiversity in the Arctic Ocean, since sea ice is an important transport vehicle for gaseous, dissolved and particulate matter in the Arctic Ocean.

Here we present results from recent studies based on satellite observations, reanalysis data and readings from meteorological stations investigating sea ice retreat in the marginal ice zones and implications for the long-range transport of sea ice. Furthermore, we link earlier findings to the ongoing MOSAiC expedition. Results were obtained within the framework of Russian-German research projects TRANSDRIFT, CATS & QUARCCS funded by AWI, AARI, BMBF and MoN.

POSTER 3.39

ПОСТЕР 3.39

**COUPLED SIMULATION OF WAVES, SEA ICE AND OCEAN
FOR SCIENCE AND APPLICATIONS**

S. Rynders^{1}, L. Hošekova^{2,3}, Y. Aksenov¹*

¹ — *National Oceanography Centre, Southampton, UK*

² — *Centre for Polar Observation and Modelling, University of Reading, UK*

³ — *Applied Physics Laboratory, University of Washington, Seattle, USA*

** s.rynders@noc.ac.uk*

The Arctic sea ice retreat is accompanied by an increase in wave height in previously ice-covered regions. It becomes ever more important to take waves into account in ocean and climate models because waves affect all exchanges between atmosphere and ocean, including heat and CO₂ fluxes. The energy and momentum carried by waves also directly affect the sea ice and ocean, by breaking up sea ice and mixing the water column.

We are presenting modelling work on several aspects of wave-ice ocean interactions, starting from a wave-forced sea ice ocean model and working towards a fully coupled system. Model development is carried out in the ocean model NEMO (Nucleus for European Modelling of the Ocean), as well as in the Los Alamos sea ice model CICE.

The existing NEMO capability for reading wave forcing has been supplemented with a scheme to advect waves into the polar regions, where

wave forcing is either missing, or the ice edge position needs adjusting. When sea ice is encountered waves are attenuated due to scattering and viscous losses. The attenuation coefficient depends on sea ice thickness and floe size, as well as the wavelength. There was no evolving floe size in the CICE model at the start of the project. Therefore a floe size distribution (FSD) based on wave break-up and the thermodynamics of lateral freezing and melting has been implemented. It is assumed that the FSD has a power law shape, with a slope dependent on ice concentration, as has been reported from observations.

The wave forced simulation shows gradual attenuation of the significant wave height going into the ice cover. At the same time floe sizes increase from low values in the marginal ice zone (MIZ) to large floe in the pack ice. The smaller floes increase lateral melting, which is partially compensated by decreased basal melting, resulting in a decrease in ice concentration in the MIZ. Wave break-up is consequently a positive feedback mechanism for sea ice decline.

The ocean model standard includes wave breaking in the generic length scale mixing scheme. The energy input depends on the significant wave height (SWH), normally parameterised from the local wind field. Our simulation with calculated SWH shows that the wind based parameterisation results in too high surface roughness in sea ice covered regions. The wave forced simulation has consequently a lower mixed layer depth under ice, in the Arctic especially at the time of the spring maximum, in better agreement with observations.

Waves exert a load on any structure in the wave field. We use the wave and current information from the model to estimate the wave loads on an example offshore structure and compare it to the loads from sea ice to illustrate how this new, internally consistent, information can be used beyond the model itself. Information on the wave field, in addition to the sea surface temperature and local permafrost ice content and temperature, also allows for estimating of the coastal erosion rate following the White formulation. We are still working on this implementation and want to develop it further provided permafrost information is available. Moving to a fully coupled sea ice – ocean – wave model is our next goal, to allow for more coupled processes, including wave pressure and Stokes drift.

We acknowledge funding support from the Natural Environment Research Council UK and the Department for Business, Energy and Industrial Strategy (BEIS) under the United Kingdom & Russia Arctic Bursaries Programme.

**A MODEL FOR THE PROPAGATION OF SHORT RADIO WAVES
AT HIGH LATITUDES UNDER CONDITIONS
OF IONOSPHERIC MODIFICATION**

T.D. Borisova, N.F. Blagoveshchenskaya, A.S. Kalishin (AARI)*

**МОДЕЛЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ КОРОТКИХ РАДИОВОЛН
В УСЛОВИЯХ МОДИФИКАЦИИ ВЫСОКОШИРОТНОЙ
ИОНОСФЕРЫ**

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

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

** borisova@aari.ru*

Численная модель радиоканала разработана на основе метода двух-масштабного разложения для определения траекторных и доплеровских характеристик радиосигналов в плавно-неоднородной анизотропной ионосфере с локальными неоднородностями. В модели радиоканала за основу принята глобальная модель ионосферы, которая описывает регулярные зависимости изменений электронной концентрации от широты, долготы, высоты, времени суток и дня года, солнечной и магнитной активностей. Модель ионосферы включает отдельные ионосферные слои E , $F1$, $F2$. Входными данными программы являются гелиогеофизические параметры: день года, время суток, солнечная и магнитная активности, географические координаты пунктов излучения и приема и нагревного стэнда. В модели радиоканала предусмотрена возможность описания спорадической ионизации на высотах E - и F - слоев ионосферы, а также коррекции профиля $N_e(h)$ в любой точке радиотрассы по данным вертикального зондирования или радара некогерентного рассеяния.

Нелинейное взаимодействие мощных коротких радиоволн с ионосферной плазмой носит резонансный характер и приводит к искусственному возмущению ионосферы и стимулированному развитию неоднородностей электронной плотности различных масштабов. Такие неоднородности могут оказывать существенное влияние на характеристики радиосигналов, проходящих через возмущенную область (ВО) ионосферы. Основные радиофизические проявления влияния ВО ионосферы на зондирующие радиоволны сводятся к двум эффектам: *рассеянию на мелкомасштабных неоднородностях и дополнительной рефракции на крупномасштабной структуре возмущения, которая может иметь, в за-*

висимости от режима нагрева, пониженную или повышенную относительно фонового значения величину электронной плотности. Алгоритм расчета параметров распространения радиоволн разработан с учетом азимутального изменения траектории диагностического радиосигнала из-за ракурсного рассеяния на мелкомасштабных неоднородностях или рефракции на крупномасштабных градиентах ионосферы.

Модель радиоканала предназначена для анализа и интерпретации результатов измерений параметров диагностических КВ сигналов в полярных, авроральных и средних широтах, в том числе в условиях воздействия мощных КВ радиоволн.

POSTER 4.2

ПОСТЕР 4.2

**THE TRANSMISSION CAPACITY MODULATION
OF A HIGH-LATITUDE POWER LINE
BY THE GEOMAGNETICALLY INDUCED CURRENTS**

V.V. Vakhnina (TSU), A.A. Kuvshinov (TSU), V.D. Selemir (RFNC-VNIIEF),
V.I. Karelin (RFNC-VNIIEF)*

**МОДУЛЯЦИЯ ГЕОИНДУЦИРОВАННЫМИ ТОКАМИ
ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ
ВЫСОКОШИРОТНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

V.V. Вахнина¹, А.А. Кувишинов¹, В.Д. Селемир², В.И. Карелин²*

*¹ — Тольяттинский государственный университет, Самарская область,
г. Тольятти, Россия*

*² — ФГУП «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский
научно-исследовательский институт экспериментальной физики»,
Нижегородская область, г. Саров, Россия*

** VVvahnina@yandex.ru*

Территория России находится в средних и высоких широтах, в приполярных районах и подвержена воздействию геомагнитных возмущений (ГМВ). Парковый ресурс действующего электрооборудования в российской энергетике выработан примерно на 80 %, оборудование электрических станций и линий электропередач изношено примерно на 50 %. Это приводит к росту аварийности даже без учета воздействия ГМВ. В течение 11-летнего цикла солнечной активности наблюдаются в среднем 2500 геомагнитных возмущений, которые классифицируются как «магнитная буря» и «сильная магнитная буря». Геомагнитные возмущения вызывают протекание геоиндуцированных токов (ГИТ) в заземленных обмотках высокого напряжения (ВН) силовых трансфор-

маторов электрических сетей с номинальным напряжением 110 кВ и выше. Величина ГИТ в протяженных линиях электропередачи (ЛЭП) с низким омическим сопротивлением фазных проводов может достигать десятков и даже сотен ампер с частотой изменения 0,001–0,1 Гц. Под воздействием ГИТ режим перемагничивания электротехнической стали силовых трансформаторов с бронестержневой и броневой конструкцией магнитной системы смещается в область технического насыщения. Возникает одностороннее насыщение магнитной системы силового трансформатора. В результате ток намагничивания приобретает практически однополярную форму и многократно превышает номинальный ток холостого хода, многократно возрастает проводимость ветви намагничивания силовых трансформаторов, оказывая влияние на режимные параметры электропередачи. К воздействию ГИТ наиболее чувствительны силовые трансформаторы с бронестержневой конструкцией магнитной системы, использующихся на подстанциях межсистемных электропередач с номинальным напряжением 220 кВ и выше, основным режимным параметром которых является пропускная способность по условиям статической устойчивости. Уменьшение пропускной способности чревато развитием системной аварии регионального масштаба и ухудшением экологической обстановки из-за возникновения техногенных загрязнений при нарушениях технологических процессов на опасных промышленных производствах.

Геомагнитные возмущения осуществляют модуляцию параметров намагничивания силового трансформатора, которая содержит «быструю» и «медленную» составляющие. «Быстрая» составляющая представляет собой модуляцию параметров намагничивания на интервале периода напряжения питания ($T = 20$ мс) и обусловлена нелинейностью характеристики намагничивания, приобретающей ярко выраженный «вентильный» характер при одностороннем насыщении под воздействием ГИТ. В процессе «быстрой» модуляции индуктивность ветви намагничивания силового трансформатора изменяется между ненасыщенным и насыщенным значениями, которые могут отличаться друг от друга на два порядка и более. «Быстрая» составляющая имеет характер широтно-импульсной модуляции величины индуктивного сопротивления ветви намагничивания.

«Медленная» составляющая представляет собой модуляцию параметров намагничивания на периоде вариаций геомагнитных возмущений и соответственно ГИТ ($T_{\text{гит}} = 10 - 1000$ с). «Медленная» составляющая носит характер амплитудной модуляции индуктивного сопротивления намагничивания, которая происходит с удвоенной частотой изменения ГИТ.

В условиях геомагнитных возмущений режим передачи активной мощности по ЛЭП также будет зависеть от величины ГИТ, поскольку величина индуктивного сопротивления намагничивания подвергается модуляции под воздействием геомагнитных возмущений, причем степень зависимости во многом определяется протяженностью ЛЭП. Если индуктивная составляющая сопротивления короткого замыкания силового трансформатора во много раз больше индуктивного сопротивления фазного провода электропередачи, то ЛЭП условно считается «короткой». Если индуктивная составляющая сопротивления короткого замыкания силового трансформатора во много раз меньше индуктивного сопротивления фазного провода электропередачи, то ЛЭП условно считается «длинной». Поэтому под воздействием ГИТ происходит снижение предела передаваемой мощности «коротких» ЛЭП на 10,7–35,6%. Для «длинных» ЛЭП снижение предела передаваемой мощности почти в два раза больше — на 22,5–83,8 %.

Указанное обстоятельство представляет серьезную опасность, поскольку может привести к нарушению электроснабжения опасных промышленных производств и ухудшению экологической обстановки из-за пожаров, взрывов, выбросов вредных веществ в окружающую среду и т.д. В этой связи, актуальной становится проблема защиты силовых трансформаторов от воздействия ГИТ, которая должна решаться без нарушения электроснабжения потребителей. Однако в России до настоящего времени вопросу влияния ГИТ на функционирование силовых трансформаторов не уделялось должного внимания. Отсутствуют рекомендации по повышению надежности функционирования силовых трансформаторов и линий электропередач в электрических сетях при геомагнитных бурях, как, например, в Geomagnetic Disturbance Operating Procedure Template (http://www.nerc.com/docs/pc/gmdtf/Template_TOP.pdf). Можно предположить, что 27 % невыясненных причин отключений ЛЭП и силовых трансформаторов возможны в результате протекания ГИТ. Однако такое предположение не подтверждается актами и отчетами по технологическим нарушениям. В списке классификационных признаков, включенных в «Инструкцию по расследованию и учету технологических нарушений в работе энергосистем, электростанций, котельных, электрических и тепловых сетей» и в причинах возникновения аварий («Правила расследования причин аварий в электроэнергетике», утвержденные Министерством энергетики и Правительством РФ), а также в стандартах организаций ПАО «РусГидро», ПАО «Россети», концерна «Росэнергоатом» отсутствует одна — влияние геоиндуцированных токов на режимы работы электрических сетей в условиях геомагнитных возмущений.

**THE RESULTS OF GEOLOGICAL MAPPING
OF THE ARCTIC SHELF OF RUSSIA**

E.A. Gusev, V.A. Vinogradov, D.E. Artemeva (VNIIOkeangeologia),
P.V. Rekant (VSEGEI)*

**РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ
АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА РОССИИ**

Е.А. Гусев¹, В.А. Виноградов¹, Д.Е. Артемьева¹, П.В. Рекант²*

¹ — «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии
и минеральных ресурсов Мирового океана
им. академика И. С. Грамберга», Санкт-Петербург, Россия

² — «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт
им. А. П. Карпинского», Санкт-Петербург, Россия

* *gus-evgeny@yandex.ru*

ВНИИОкеангеология осуществляет методическое сопровождение региональных геолого-геофизических и геологосъемочных работ на континентальном шельфе Российской Федерации. Последние 20 лет Институт занимался составлением листов Гостеолкарты-1000/3 по арктическому шельфу и прилегающей глубоководной части Северного Ледовитого океана. Построены геологические карты Восточно-Арктического шельфа России, а также области сочленения океанических хребтов Ломоносова, Гаккеля, поднятия Менделеева с евразийской континентальной окраиной.

Потепление климата последних десятилетий позволило провести экспедиции в высокоширотных районах Арктики, прежде недоступных для исследований из-за тяжелых паковых льдов. Арктика до сих пор труднодоступна и слабо геологически изучена, однако усилия в рамках Международного полярного года 2007–2008 гг., а также по упорядочению правового статуса Арктики и ее ресурсов приарктическими государствами привели к появлению большого количества новых геолого-геофизических данных. Это дало толчок для обобщения всех имеющихся сведений о геологическом строении и составления Атласа геологических карт циркумполярной Арктики, включающего геофизические карты, геологическую и тектоническую карты. Координатором картосоставительских работ выступила Комиссия по геологической карте Мира (CGMW) и ее подкомиссии. Совместными усилиями геологов и геофизиков России, Канады, Норвегии, Дании и США были разработаны легенды, на основе которых потом построены карты Атласа.

Новые геолого-геофизические данные, которые легли в основу геологических построений по океанической области, в основном получены в совместных с ААНИИ высокоширотных экспедициях, на судах Росгидромета «Михаил Сомов», «Академик Федоров», «Академик Трёшников». В рейсах НЭС «Академик Федоров» в 2000 и 2005 гг. получены важные сейсмические данные, и материалы донного опробования, которые позволили предположить континентальную природу Поднятия Менделеева. Эти предположения затем были подтверждены экспедициями «Арктика-2012» и «Арктика-2014», в которых кроме ледоколов, применялись научно-исследовательские подводные лодки Министерства обороны РФ. С подводных лодок были произведены фото- и видеофиксация коренных выходов на склонах подводных гор, а также произведен непосредственный отбор образцов горных пород. Последняя комплексная экспедиция, в которой получены новые сведения о верхней части осадочного чехла и распространении донного каменного материала на Баренцево-Карской континентальной окраине, проведена в рамках проекта «Трансарктика-2019».

Геологическое изучение континентального шельфа, а также материковой и островной суши Российской Арктики обеспечивалось проведением Государственных геологических съемок масштабов 1:1 000 000 и 1:200 000, а также специализированными научными исследованиями и международными экспедициями. С развитием новых методов датирования и изучения вещественного состава горных пород и минералов, менялись и представления о времени становления тектонических структур и геодинамике Арктики. Полученные результаты позволили существенно пересмотреть представления о стратиграфическом объеме и мощности осадочного чехла и тектонике осадочных бассейнов, а, следовательно, и перспективах нефтегазоносности.

В последние годы по морям Лаптевых и Восточно-Сибирском были получены новые высококачественные сейсмические материалы МОВ ОГТ, позволившие существенно уточнить и детализировать геологическое строение, расчленение осадочного чехла, закартировать разломную сеть и уточнить оценку перспектив нефтегазоносности. Выявлен ансамбль субмеридиональных рифтогенных прогибов на шельфе Восточно-Сибирского моря.

Всем ходом фанерозойской эволюции Арктического региона определялась ее нынешняя структура, в частности, коренное отличие в строении западного и восточного секторов Российской Арктики. Главным процессом, наложившимся на все ранее образованные структуры, является процесс океанообразования. Рифтогенез и следовавшие за ним процессы погружения океанского дна в котловинах, характеризовались своими

специфическими чертами. Последние данные свидетельствуют об ограниченности спрединга в Евразийском бассейне Северного Ледовитого океана. К началу четвертичного периода определились основные морфоструктуры океана, шельфа и суши. Влияние тектонических и магматических процессов проявилось с различной степенью в разных районах.

Итоги составления комплектов карт Госгеолкарты-1000/3 опубликованы в статьях и монографиях. Сами комплекты карт с объяснительными записками и сопровождающими банками данных опубликованы в твердых копиях и размещены в электронном виде на официальном сайте ВСЕГЕИ. Намечены перспективы геологосъемочных работ в Арктике, связанные с завершением картирования масштаба 1:1 000 000 и локальных геологосъемочных работ масштаба 1:200 000 в прибрежных акваториях у крупных городов и в районах интенсивного промышленного освоения.

POSTER 4.4

ПОСТЕР 4.4

ARCTIC POLLUTANT MONITORING

A.S. Demeshkin (Typhoon, SPb)

МОНИТОРИНГ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АРКТИКЕ

*А.С. Демешкин**

Северо-Западный филиал ФГБУ «НПО «Тайфун», Санкт-Петербург, Россия

typhoon.ecol@mail.ru

В начале нынешнего тысячелетия стало очевидно, что Арктический регион, часто рассматриваемый как «чистый», почти не подвергающийся антропогенному воздействию, оказался загрязненным из источников, находящихся как вне, так и внутри Арктики.

В настоящее время в Арктике наблюдается рост антропогенной нагрузки на природную среду. Основные риски связаны с восстановлением и модернизацией трассы Северного морского пути, увеличением судоходства и активным развитием добычи полезных ископаемых на шельфе Арктических морей, таким образом, возрастает актуальность мониторинга загрязнения природной среды, особенно стойких органических загрязнителей (СОЗ), тяжелых металлов и нефтяных углеводородов в Арктическом регионе.

ФГБУ «НПО «Тайфун», являясь научно-исследовательским и координационно-методическим центром Росгидромета в области мониторинга радиоактивного и химического загрязнения природной среды различными продуктами антропогенного происхождения, физико-химических превращений и миграции загрязняющих веществ в природных

средах, выполняет как научно-исследовательские работы в интересах государственных структур, так мероприятия, в рамках производственного экологического мониторинга и инженерных изысканий, для широкого круга потребителей.

Наиболее значимые и интересные проекты, направленные на исследование состояния природной среды Арктического региона:

- оценка состояния и тенденций изменения загрязнения природных сред арх. Шпицберген по результатам фонового и локального мониторинга в местах хозяйственной деятельности российских предприятий (пос. Баренцбург, пос. Пирамида и сопредельные территории);

- исследование уровня загрязнения территории на островах Гофмана, Грэм-Белл, Земля Александры архипелага Земля Франца Иосифа нефтепродуктами, ПХБ, ПАУ, ЛАУ и тяжелыми металлами;

- химико-аналитические исследования компонентов окружающей среды в рамках мониторинга состояния окружающей среды на лицензионных участках Карского моря;

- химико-аналитические исследования проб морской воды и донных отложений на нефтяном месторождении «Приразломное» (Баренцево море);

- мониторинг состояния природной среды акватории и побережья Байдарацкой губы и шельфа северо-западного побережья полуострова Ямал;

- исследования компонентов окружающей среды в рамках инвестиционного проекта «Комплексное освоение Штокмановского газоконденсатного месторождения»;

- оценка уровней загрязнения устойчивыми загрязняющими веществами пресноводных водоемов Российской Арктики;

- комплексные исследования и отбор проб в рамках проектов АМАР:

- «Сбор и обработка проб для исследования устойчивых токсических веществ (УТВ) в окружающей среде и пищевых цепях в районе поселений коренных народов Российского севера» (работы проводились в районах Российской Арктики: на Кольском полуострове, в нижнем течении реки Печора, на полуостровах Таймыр и Чукотка),

Мониторинг стойких органических загрязнителей и ртути в атмосферном воздухе на станциях в п. Амдерме и п. Тикси;

- фоновый экологический мониторинг компонентов морской среды центрального арктического бассейна на дрейфующих станциях «Северный полюс-33 и 34» (совместно с ФГБУ «ААНИИ»).

ФГБУ «НПО «Тайфун» собран значительный объем комплексных данных о состоянии природной среды различных районов Арктического региона Российской Федерации и работы по пополнению банка данных продолжаются и в настоящее время.

**ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT FOR SVALBARD
ARCHIPELAGO***A.S. Demeshkin (Typhoon, SPb)***ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ
АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН***А.С. Демешкин***Северо-Западный филиал ФГБУ «НПО «Тайфун», Санкт-Петербург, Россия**typhoon.ecol@mail.ru*

С 2002 года Северо-Западный филиал ФГБУ «НПО «Тайфун» выполняет работы по мониторингу состояния окружающей среды на архипелаге Шпицберген. Сотрудниками Северо-Западного филиала выполнено более 30 комплексных экспедиций на арх. Шпицберген, в ходе которых собран значительный информационный массив, включающий в себя значения концентраций загрязняющих веществ и физико-химических свойств объектов природной среды.

В настоящее время экспедиционные работы выполняются на базе Российского научного центра на Шпицбергене (РНЦШ), сложные химико-аналитические исследования и анализ полученных результатов проводятся в подразделениях Северо-Западного Филиала ФГБУ «НПО «Тайфун» в г. Санкт-Петербург.

Комплекс проводимых полевых работ включает в себя: отбор проб атмосферного воздуха и атмосферного аэрозоля; снежного покрова, почвенных вод, почв, растительного покрова на территории пос. Баренцбург и пос. Пирамида и фоновых районов; морских поверхностных и придонных вод; морских водных взвесей, донных отложений на акватории залива Гренфьорд и бухты Петунья (залив Исфьорд), поверхностных вод, водных взвесей и донных отложений реки Грендалсэльва и озер Стемме и Голубое.

Лабораторные химико-аналитические исследования направлены на определение: в атмосферном воздухе — концентрации пыли, газовых примесей, легколетучих органических соединений (ЛОС), хлорорганических соединений (ХОС), включая полихлорбифенилы (ПХБ) и полициклические ароматические углеводороды (ПАУ); в образцах снежного покрова — содержания компонентов минерального состава, нефтяных углеводородов (НУ), фенолов, ПАУ, ХОС и тяжелых металлов (ТМ); в морских и поверхностных водах — ги-

дрохимических характеристик, ТМ, ПАУ, НУ, неполярных алифатических углеводов (НАУ), летучих ароматических углеводов (ЛАУ), фенолов, синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ), ХОС, включая ПХБ; в донных отложениях обследованных частей акваторий заливов Гренфьорд и Биллефьорд, а также и водоемов суши (оз. Стемме, оз. Голубое и р. Грендалсэльва) — нефтяных углеводов, НАУ, ПАУ, фенолов, ТМ и ХОС. Для оценки загрязнения почв выполняются определения содержания нефтяных углеводов, ПАУ, тяжелых металлов и хлорорганических соединений.

В растительном покрове исследуемых, представленном мхами (*Aulacomnium turgidum*, *Racomitrium lanuginosum*, *Sphagnum lindbergii*, *Polytrichum commune* и др.) и сосудистыми растениями (осоки (*Carex rotundata*, *C. rariflora*, *C. aquatilis*), пушицы (*Eriophorum russeolum*, *E. scheuchzeri*, *E. polystachion*), горец (*Archangelica norvegica*, *Filipendula ulmaria*, *Solidago lapponica*)), карликовая стелющаяся ива (*Salix polaris*, *Salix reticulata*) и др.), проводятся определения ПАУ, хлорорганических соединений (включая ПХБ) и тяжелых металлов.

Результаты исследований позволяют сделать следующие выводы:

- в атмосферном воздухе исследуемых районов не выявлено наличия опасных соединений;
- морские воды залива Гренфьорд характеризуются как «чистые». Имеется незначительное локальное загрязнение прибрежных вод залива Гренфьорд, связанное с поселком Баренцбург, которое не оказывает значительного влияния на качество вод залива в целом;
- поверхностные воды. Вода в озерах в районах Баренцбурга и Пирамиды характеризуются незначительной загрязненностью и может использоваться для питьевого и хозяйственно-бытового назначения без дополнительной подготовки. В воде реки Грендалсэльва, впадающей в залив Гренфьорд, отмечаются высокие значения содержания тяжелых металлов: цинка, меди, никеля и очень высокие концентрации марганца;
- состояние почвенных вод рассматриваемых районов характеризуется следующими особенностями: содержание основных групп загрязняющих веществ (НУ, ПАУ, и ряд ТМ, таких как цинк, марганец, кадмий) в почвенных водах поселка Баренцбург и его окрестностей значительно выше уровней содержания ЗВ в почвенных водах, отобранных на фоновых территориях, что указывает на локальный характер их загрязнения, связанный с хозяйственно-производственной деятельностью; в почвенных водах в районе поселка Пирамида опасных соединений не выявлено;

– снежный покров исследуемых территорий, в целом, характеризуется относительно повышенными концентрациями хлорорганических пестицидов, ПХБ и некоторых соединений ПАУ, ТМ по сравнению с фоновыми районами Арктики;

– загрязнение почвенного покрова изучаемого района очень неоднородно, особенно на территории поселков Баренцбург и Пирамида и близлежащих территорий. Выявлены отдельные локальные участки с повышенными уровнями загрязнения (хлорорганических пестицидов, ПХБ, нефтяных углеводородов, ЛАУ, без(а)пирена и тяжелых металлов), расположенные в пределах поселков Баренцбург и Пирамида и на прилегающих территориях. Вне пределов территорий поселков Баренцбург и Пирамида загрязнение почв находится на уровне, характерном для района арктических тундр;

– уровни содержания загрязняющих веществ в *растительности* пос. Баренцбург и пос. Пирамида и их окрестностей было выше, чем в растительности фоновых районов. Доминирующими группами загрязняющих веществ в растительном покрове исследуемого района являются хлорорганические соединения, из которых следует особо выделить ПХБ и ДДТ, концентрации которых в наибольшей степени превосходят фоновые уровни содержания данных веществ в растительном покрове. В отдельных районах отбора отмечены значительные превышения фоновых уровней и по содержанию ПАУ и свинца. Вне пределов урбанистических территорий загрязнение растительности находится на уровне, характерном для района арктических тундр.

POSTER 4.6

ПОСТЕР 4.6

MONITORING OF AURORAL IONOSPHERE BY MEANS OF VERTICAL SOUNDING

S.A. Dolgacheva, L.N. Makarova, D.A. Sormakov, D.D. Rogov (AARI)*

МОНИТОРИНГ АВРОРАЛЬНОЙ ИОНОСФЕРЫ МЕТОДОМ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

С.А. Долгачева, Л.Н. Макарова, Д.А. Сормаков, Д.Д. Рогов*

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

** dolgacheva@aari.ru*

Высокоширотная ионосфера подвержена влиянию космической погоды и тесно связана с солнечной активностью и процессами, проис-

ходящими в Солнечном ветре и магнитосфере Земли. Систематические наблюдения за состоянием ионосферы, играющей ключевую роль в ряде геофизических явлений (отражение и поглощение радиоволн), в отделе Геофизики ведутся с 1940 годов с помощью установок импульсного радиозондирования ионосферы (ВЗИ) в диапазоне 1–20 МГц. Первые исследования высокоширотной ионосферы методом ВЗИ начались в 1939 г. на станции бухта Тихая (Архипелаг Земля Франца-Иосифа) и в бухте Тикси с 1944 года. Позднее, после Международного Геофизического Года в 1956 г. комплексы ВЗИ были установлены на станциях Диксон в 1957 г., Хейса в 1959 г. и Югорском Шаре в 1979 г.

В настоящее время система мониторинга состояния высокоширотной ионосферы отдела Геофизики состоит из: (1) измерительных комплексов ВЗИ на основе цифровых ионозондов САДИ (Канада), обеспечивающих мониторинг состояния авроральной ионосферы в режиме реального времени и развернутых на высокоширотной сети полярных станций Росгидромета и ФГБУ «ААНИИ» (НИС «Горьковская» (Ленинградская область), ГМС «Ловозеро» (с. Ловозеро), МГ-2 «Белый Нос» (пос. Амдерма), геофизические станции «Салехард» (г. Салехард) и «Колба» (пос. Диксон), ГМО «Тикси» (пос. Тикси) и МГ-2 «Валькаркай» (г. Певек)); (2) системы хранения и обработки данных, а также (3) каналов спутниковой связи, по которым осуществляется передача получаемых данных на сервер Полярного Геофизического Центра ФГБУ «ААНИИ» (ПГЦ) в режиме реального времени.

Структурные особенности авроральной ионосферы (диффузность, кратные отражения, высокая спорадическая ионизация в *E* слое и т.д.) не позволяют осуществлять полную автоматическую обработку высокоширотных ионограмм, поэтому в отделе Геофизики был разработано специализированное программное обеспечение, предназначенного для обработки ионограмм ВЗИ, получения основных ионосферных параметров и их оперативной передачи в систему хранения ПГЦ.

Накапливаемая таким образом база данных о состоянии высокоширотной ионосферы позволяет решать задачи как научного характера (фундаментальные исследования, обучение нейронных сетей для автоматизации обработки ионограмм ВЗИ), так и оперативного характера (например, обеспечения КВ-радиосвязи в Арктической Зоне Российской Федерации).

**USING A NEW RENEWABLE ENERGY SOURCE –
CRYOGEO-RESOURCE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT
OF THE ARCTIC MINING REGIONS**

G.V. Kalabin, U.P. Galchenko (ICEMR RAS)*

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРИОГЕОРЕСУРСА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
РАЦИОНАЛЬНОГО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ В АРКТИКЕ**

Г.В. Калабин, Ю.П. Галченко*

*Институт проблем комплексного освоения недр им. акад. Н.В.Мельникова
РАН, г. Москва, Россия*

** kalabin.g@gmail.com*

Основная перспектива дальнейшего развития минерально-сырьевого комплекса России связана прежде всего — с освоением ресурсов в условиях Арктики. Считается, что здесь сосредоточены основные перспективные запасы ценных руд, алмазов, редких земель и др. В геологическом плане эти районы отождествляют с криолитозоной, где за длительный зимний период накапливаются огромные запасы холода. Сумма среднесуточных отрицательных температур в течение года составляет здесь $-3000\text{ }^{\circ}\text{C} \dots -6000\text{ }^{\circ}\text{C}$ в то время, как средняя сумма активных летних температур редко превышает $+1000\text{ }^{\circ}\text{C}$. В этих условиях, низкие температуры воздуха и горных пород можно рассматривать как дополнительный природный ресурс, открывающий возможности для создания новых, так называемых природоподобных горных технологий подземного освоения рудных месторождений на основе идей конвергенции технических и биологических наук. Установлено, что иерархический максимум влияния на разрушение естественной биоты криолитозоны связан с накоплением на земной поверхности твердых отходов горно-обогатительного передела, что предопределяет главенствующее значение реализации принципа замкнутого цикла обращения твердого вещества литосферы в кластере природоподобной горной технологии.

Геологическая предопределенность географического положения каждого месторождения позволяет структурировать общую величину этого ресурса по носителям энергии и представить его в виде интегрального единства энергии текущих сезонных минимумов солнечной радиации в виде периода отрицательных температур воздуха (климатическая составляющая) и энергии низких среднегодовых температур прошлых периодов, в виде постоянной отрицательной температуры многолетнемерзлых массивов.

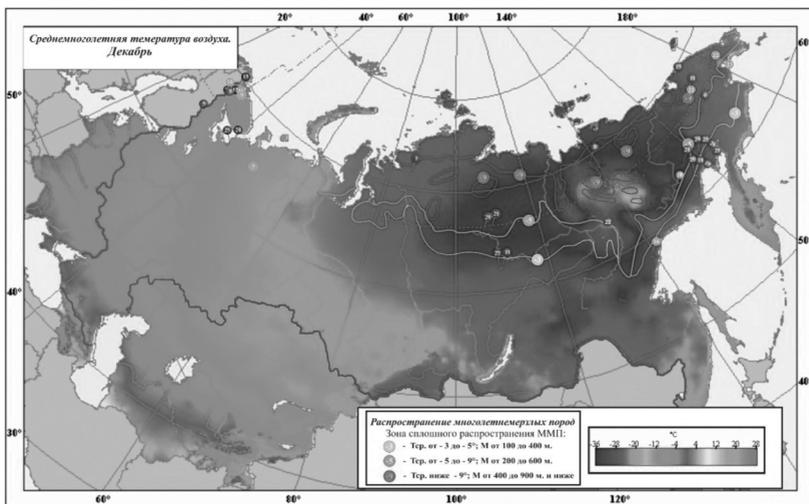
Одним из определяющих требований обеспечения экологической сбалансированности применения природоподобных горных технологий в криолитозоне является сохранение температурного поля многолетней мерзлоты при масштабном изменении условий теплообмена с атмосферой в процессе ведения горных работ. Выполненные в этом направлении исследования позволили впервые дать предметное определение понятия криогеоресурса литосферных блоков, как возобновляемого источника энергии солнечного излучения, при которой энергетическую ценность имеет не само излучение, а его недостаток. В технологическом отношении, под криогеоресурсом понимается количественная мера дополнительной устойчивости вмещающих пород и новых возможностей выполнения определенных технологических процессов в рамках применяемой при разработке месторождения горной технологии, основанных на использовании замёрзшей воды при релаксации выработанного пространства литосферы посредством воссоздания в нем искусственного льдопородного массива из отходов горно-обогачительного передела.

Впервые, исходя из закона сохранения энергии, получены аналитические зависимости расчета концентраций тепловой энергии ($\text{Дж}/\text{м}^3$) в региональной части общего криогеоресурса (P_o), который интегрально объединяет в себе климатическую (P_k) и геологическую (P_r) составляющие.

Установлено, что величина геологической составляющей для каждого конкретного месторождения полностью зависит от его геологического строения и свойств горных пород, поскольку температура пород горного массива в пределах обрабатываемого участка можно считать постоянной. Получены зависимости геологической составляющей криогеоресурса (P_r) от температуры многолетней мерзлоты и плотности горной породы (ρ_{II}) в условиях, когда:

- горные породы не содержат внутрипородных льдов;
- лед является текстурообразующим (объем льда более 40 %, толщина ледяных прослоек менее 0,5 м) с учетом удельной теплоемкости подземных льдов
- массив горных пород рассматривается как льдопородный (толщина ледяных прослоек более 0,5 м) с учетом удельной теплоемкости подземных льдов различного строения.

Впервые сформировано пространственное представление о потенциале криогеоресурса территорий размещения горнодобывающих предприятий в криолитозоне и дана его количественная и структурная оценка с учетом экологических и технологических ограничений.



Предприятия горнопромышленного комплекса в криолитозоне

 Высокий экологический риск	 Повышенный экологический риск	 Примлемый экологический риск	 Допустимый экологический риск
1. Норильск	11. Мирнинский ГОК 20. Айхальский ГОК 21. Удачинский ГОК 22. Нюрбинский ГОК	16. ГОК «Светлое» 18. Суусаманский ГОК 21. Рудник Каральвеем 22. Рудник Валунистое 23. Капчаган	6. Месторождение «Купол» 8. п. Депутатский 11. Месторождение «Двойное» 13. ЗК «Майское» 14. Рудник «Джультетта» 19. п. Омсучкан 20. Дукатский ГОК 21. ГОК «Лунное» 22. Месторождение «Арылах» 23. п. Кубака 24. Месторождение «Биркачан» 26. Месторождение «Цоколь» 27. Месторождение «Сопка»

На рисунке, в качестве примера, приведен потенциал криогеоресурса по состоянию на декабрь и нанесены действующие горнодобывающие предприятия, расположенные в криолитозоне, для которых рассчитаны значения криогеоресурса.

Практическая реализация возможностей использования криогеоресурса в каждом конкретном случае определяется видом полезного ископаемого и геологическим типом месторождения, а также его положением относительно магистральных транспортных путей в регионах. Экологический эффект, при этом, выражается в предотвращении распространения биома арктических пустынь в другие биомы Арктики и определяется соотношением: затраты на восстановление многолетнемерзлого массива горных пород; меньше затрат на хранение и захоронение отходов, а также «поддержку» выработанного пространства и управление горным давлением.

Выполнено в рамках гранта РФФИ) «Ресурсы Арктики» (договор № 18-05-70019/19)

**AIRBORNE GRAVITY SURVEYS IN THE ARCTIC:
MODERN OPPORTUNITIES AND ACTUAL TRENDS**

*V.N. Koneshov (IPE RAS), N.V. Drobyshev (IPE RAS), L.K. Zheleznyak (IPE RAS),
P.S. Mikhailov (IPE RAS, Sirius University),
V.V. Pogorelov* (IPE RAS, Sirius University), V.N. Soloviev (IPE RAS),
A.A. Spesivtsev (IPE RAS, Sirius University, Center of Geodesy,
Cartography and SDI)*

**АЭРОГРАВИМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В АРКТИКЕ:
СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ
И АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ**

*В.Н. Конешов¹, Н.В. Дробышев¹, Л.К. Железняк¹, П.С. Михайлов^{1,2},
В.В. Погорелов^{1,2*}, В.Н. Соловьев¹, А.А. Спесивцев^{1,2,3}*

¹ — *Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия*

² — *НТУ «Сириус», Краснодарский край, г. Сочи, Россия*

³ — *«Центр геодезии, картографии и ИПД», г. Москва, Россия*

* *vvp@ifz.ru*

Исследования гравитационного поля Арктики имеют богатую историю. Они неразрывно связаны с решением важнейших государственных задач, среди которых развитие ресурсно-сырьевой базы, обеспечение национальной безопасности, повышение эффективности ведения хозяйственной деятельности в Арктической зоне, навигационное обеспечение и развитие космической отрасли, изучение Мирового океана.

Для решения целого ряда практических и фундаментальных задач требуется обеспечение высокоточными данными об аномалиях силы тяжести. К таким задачам относятся уточнение фигуры Земли и изучение ее глубинного строения, выявление геотектонических структур и плотностных неоднородностей, расчет уклонов отвесной линии и их учет при работе инерциальных навигационных систем. Отдельного подхода требует проблема совершенствования средств и методов навигации по геофизическим полям. Успехи в их решении напрямую связаны с развитием гравиметрического приборостроения и методологии выполнения высокоточных площадных гравиметрических съемок, в первую очередь на акваториях. Такая работа непрерывно ведется как в России, так и за рубежом.

Российская Федерация традиционно занимает ведущие позиции в области гравиметрических исследований на акваториях Мирового океана. Более 25 лет аэрогравиметрия является важной и крайне эффективной составляющей исследований аномалий силы тяжести в Арктической зон. Значительные объемы производственных и научных работ в нашей стране в последние годы выполнены специалистами ГНПП «Аэрогеофизика» и ИФЗ РАН. Недоступность значительных площадей для проведения гравиметрических съемок другими методами определяет актуальность развития технологий выполнения съемок с использованием воздушных носителей, а задача получения надежных данных об аномалиях гравитационного поля Арктики требует выработки сложного комплекса приборных и методических решений. Технологии аэрогравиметрической съемки постоянно совершенствуются и в настоящее время позволяют обеспечить точность площадных съемок в пределах 0,7 мГал.

Применение авиации для изучения гравитационного поля Арктики требует определенной наземной инфраструктуры – наличия аэропортов базирования и стационаров для размещения наземных станций коррекции (базовых станций ГНСС), размещенных в непосредственной близости от исследуемых районов, что зачастую вызывает существенные затруднения при планировании работ. В этой связи особую актуальность приобретают задачи повышения автономности высокоточного навигационного обеспечения и поиска новых носителей измерительного оборудования. Перспективными вариантами решения в первом случае являются использование многоантенных ГНСС-приемников, а также использование активно развиваемых в настоящее время технологий Precise Point Position (PPP). Для решения второго класса задач определенные надежды связываются с развитием беспилотных средств. В этом случае, кроме технических решений летательных аппаратов, позволяющих обеспечить пригодные для выполнения исследований дальности действия, отдельным направлением является создание специализированных инерциальных гравиметрических комплексов, которые смогут обеспечить точности измерений параметров гравитационного поля Земли при более низких массо-габаритных характеристиках по сравнению с современными аэроморскими гравиметрическими комплексами.

Новый этап развития гравиметрии связан со спутниковыми определениями силы тяжести и использованием глобальных общеземных

моделей геопотенциала. Перспективы применения таких моделей достаточно широки, однако их прикладное использование на уровне самостоятельной технологии ограничено детальностью и масштабом выделяемых аномалий.

Определенные трудности, связанные с разрешающей способностью спутниковых данных в высоких широтах Арктики, создают необходимость коррекции и оценки точности глобальных моделей. Вместе с тем, современные модели могут эффективно применяться совместно с данными других, более высокоточных, но менее производительных способов измерения параметров гравитационного поля: аэро- и морской гравиметрией.

Как показали многие исследования, и в том числе — выполненные ИФЗ РАН, представительность современных глобальных моделей ГПЗ может зависеть от наличия региональных геологических особенностей строения земной коры (прежде всего — в областях высокого градиента гравитационного поля), ряде случаев существенное влияние оказывает качество подспутниковых измерений, использованных при комплексировании, а также надежность спутниковых гравитационных данных в приполярных районах.

Таким образом, необходим инструмент экспериментальной оценки современных моделей ГПЗ. Как показал наш опыт наблюдений, выполненных на тестовых протяженных гравиметрических профилях, в совокупности пересекающих всю территорию России от Мурманска до Петропавловска-Камчатского, проведение маршрутной аэрогравиметрической съемки позволяет решать обозначенную задачу. Развитие этого направления также имеет хорошие перспективы для экспериментального определения качества новых разработок и методических решений в области пассивной и активной навигации как с использованием ГНСС, так и на основе данных о геопотенциальных полях.

Перечисленные задачи имеют особую актуальность в свете интенсификации хозяйственного освоения акватории Северного Ледовитого океана, приоритетов обеспечения связанности и пространственного развития арктических территорий и развития отечественных глобальных информационных спутниковых систем.

Исследования проводятся по госзаданию ИФЗ РАН, а также при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 19-35-51014 и № 20-05-00524

IMPROVING THE TECHNOLOGY OF MARINE GRAVIMETRIC RESEARCH IN THE ARCTIC

*V.N. Koneshov (IPE RAS), L.K. Zheleznyak (IPE RAS),
P.S. Mikhailov* (IPE RAS, Sirius University), V.N. Soloviev (IPE RAS),
L.V. Afanaseva (IPE RAS)*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ МОРСКИХ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В АРКТИКЕ

В.Н. Конешов¹, Л.К. Железняк¹, П.С. Михайлов^{1,2},
В.Н. Соловьев¹, Л.В. Афанасьева¹*

¹ — Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

² — НТУ «Сириус», Краснодарский край, г. Сочи, Россия

* paulmikh@mail.ru

Гравиметрические измерения активно используются для решения стратегических задач, особенно актуальных для Арктики: разведка месторождений полезных ископаемых, определение границ континентального шельфа, совершенствование навигационного обеспечения. Сложные географические и метеорологические условия Заполярья диктуют особые требования к любой деятельности в регионе, в том числе к научно-экспедиционной геофизике.

В настоящее время морская гравиметрическая съемка все еще является наиболее точным методом гравиметрических измерений на подвижном основании. Гравиметрические измерения обязательно входят в комплексные морские геофизические изыскания, а данные морских гравиметрических съемок используются для картирования границ залегания углеводородов, определения структуры морского дна, но и как эталонные измерения для оценки результатов более производительных методов: аэрогравиметрии и глобальных моделей гравитационного поля Земли, созданных на базе спутниковых методов.

Производство гравиметрических съемок в Арктике, особенно в высоких широтах, сильно отличается от их выполнения в большинстве акваторий Мирового океана: ограничения в маневрировании, долгосрочный отрыв от береговых опорных станций, сложная навигация, использование полярных проекций для визуализации результатов и так далее. При этом высокие требования к точности и надежности измерений создают необходимость в принципиально новом подходе к выполнению морских гравиметрических съемок в Арктике как отдельно, так и в комплексе с другими методами.

Потребность в данных о поле силы тяжести на акваториях Мирового океана с точность, достаточной для выявления локальных неоднородностей гравитационного поля привела к необходимости создания новой аппаратуры и актуальных методик ее использования. В 1950-х годах началась разработка отечественных морских гравиметров для выполнения измерений на подвижном основании. В 1981 году разработанный ИФЗ РАН (упругая система) в кооперации с ЦНИИ «Электроприбор» (гиростабилизационная платформа) автоматизированный морской гравиметрический комплекс гиростабилизированный «Чета-АГГ» прошел государственный испытания, включающие измерения в Северном Ледовитом океане, а в 1991 году при съемке комплексом «Чета-АГГ» нефтегазоносной структуры «Приразломная» в Печерском море получены результаты с погрешностью 0,06 мГал. [Пешехонов, Железняк и др. 2019]. Хотя такой результат был получен благодаря применению специальной методике и при выполнении всех требований и рекомендаций по производству морских гравиметрических измерений, он показал возможность достижения точности морской гравиметрической съемки порядка 0,1 мГал отечественным комплексом первого поколения.

В настоящее время разработаны новые поколения гравиметров «Чекан-АМ» и «Шельф-Э». Для этого в ИФЗ РАН (Л.К. Железняк) были спроектированы новые уменьшенные упругие системы, сохранившие высокую инструментальную точность. Наилучшей характеристикой качества гравиметра «Шельф-Э» являются результаты морской съемки в акватории Индийского океана, выполненной специалистами ИФЗ РАН. Полученные невязки аномалий силы тяжести, вычисленные в точках пересечений съемочных профилей, в предельном значении составили 0,06 мГал. Кроме развития измерительной аппаратуры необходимо совершенствование методики выполнения измерений и их обработки. В последние годы в ИФЗ РАН создан ряд методических приемов, позволяющих повысить точность и надежность морских измерений, в том числе в условиях долгосрочного отрыва от опорного пункта, исследованы возможности повышения качества данных в условиях повышенного волнения моря [Конешов, Михайлов и др. 2016].

Основная сложность для морских геофизических работ в Арктике — это ограничения в маневрировании, обусловленные особенностями гидрологического режима в регионе, в первую очередь связанные с постоянным перемещением ледового покрова переменной толщины и сплоченности. В таких условиях требуется выполнять съемку по методике, отличной от классических методов, реализуемых в свободной воде, но с сохранением необходимой точности.

Один их вариантов выполнения морской гравиметрии в высоких широтах – это измерения с борта ледокольного судна или с судна, следующего под ледокольной проводкой. В 2014 году гравиметрами «Чекан-АМ» и «Шельф-Э» впервые была выполнена морская гравиметрическая съемка в районе Северного полюса Земли [Конешов, Краснов и др. 2016]. Измерения выполнялись с борта НЭС «Академик Федоров» работающего под проводкой атомного ледокола «Ямал» в рамках экспедиции «Арктика-2014». Ледовая обстановка не позволяла НЭС «Академику Федорову» двигаться равномерно, съемка выполнялась с частыми перезаходами. Несмотря на сложности, была получена достаточно высокая точность измерений, а оценка межприборной разницы подтвердила применимость новых поколений российских гравиметров к работе в высоких широтах. В тоже время выполнение надводной площадной съемки в виде регулярной сети съемочных профилей в высоких широтах и приполюсных районах Земли практически невозможно. Поэтому наиболее перспективной задачей современной морской гравиметрии в Арктике является проверка и уточнение данных высокостепенных глобальных моделей. Для этого необходимо выполнять и анализировать совместно с модельными значениями максимально возможный объем гравиметрических измерений, включающий как площадные, так и маршрутные съемки.

С появлением спутниковых методов измерения гравитационного поля и глобальных общеземных моделей изменился принцип сбора гравиметрических данных. Очевидно, что многие прикладные задачи в будущем будут решаться по данным глобального модельного поля.

Наряду с несомненными достоинствами методика спутниковых измерений гравитационного поля имеет принципиальные недостатки: отсутствие надежных данных в полярных регионах Земли и ограничения в транзитных зонах перехода «суша-море», градиентных зонах, а также в определении короткопериодических гармоник поля.

Решение задачи по уточнению глобальных моделей в Арктике основано на оценках степени адекватности модельного поля в определенных районах и ее коррекция по данным прямых измерений. Для прикладных задач любого назначения, независимо от ледовой обстановки, требуется построение достоверной комбинированной модели поля на определенную площадь. Аномалии гравитационного поля в такой модели определяются несколькими методами, имеющими разную себестоимость, точность и работают в разных диапазонах частот, поэтому изначально разработанными для решения различных задач. С точки зрения изучения гравитационного поля в высоких широтах и оценки его современ-

ных модельных представлений интерес представляет проект создания в Арктике движущейся геофизической обсерватории на базе вмораживаемой ледовой платформы.

На новом этапе морской гравиметрии решается задача разработки общей методики комплексирования различных средств и методов измерения параметров аномального гравитационного поля для получения наилучшего результата с минимально возможными затратами. В основе такого подхода модельное поле, как имеющее глобальный охват и постоянно совершенствующиеся, и данные прямых морских измерений, как эталон точности и разрешающей способности при совместной оценке и комбинировании данных. Подобная методика может быть применима в любом регионе Земли, но именно в Арктике представляется крайне актуальной.

Исследования проводятся при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов №№ 19-35-51014 и 20-05-00524.

POSTER 4.10

ПОСТЕР 4.10

**MODERN GEODYNAMICS OF THE ARCTIC MID-OCEAN RIDGE
ACCORDING TO SEISMOLOGICAL DATA**

Yu. G. Kutinov, T. Ya. Belenovich, Z.B. Chistova (FCIARctic)*

**СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА АРКТИЧЕСКОГО
СРЕДИННО-ОКЕАНИЧЕСКОГО ХРЕБТА
ПО СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ**

Ю.Г. Кутинов, Т.Я. Беленович, З.Б. Чистова*

*Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
им. Н.П. Лаврова РАН, г. Архангельск, Россия*

** kutinov@fciarctic.ru*

В пределах Срединно-Арктического хребта (САХ) установлено сложное напряженно-деформируемое состояние земной коры. Поля напряжений и деформаций с юга-востока на северо-запад изменялись три раза. Стабильное (устойчивое) поле напряжений установлено в пределах хребтов: Верхоянского, Книповича, Мона и Исландского. В пределах хребта Гаккеля на всем его протяжении отмечено неустойчивое (не стационарное) поле. В целом, значения компонент тензора деформации изменяются в довольно широком диапазоне величин $(0,8-0,4) \cdot 10^{-7}$. Положительные значения соответствуют растяжению, отрицательные — сжатию вдоль соответствующих осей. Верхоянский хребет характеризуется положи-

тельными значениями компонент ε_{zz} , ε_{xx} и отрицательными значениями ε_{yy} ; хребет Гаккеля на всем протяжении характеризуется отрицательными значениями компоненты ε_{zz} и положительными значениями компоненты ε_{xx} , ε_{yy} . Аналогичные значения отмечены и в пределах хребта Книповича. Из этого следует, что по деформационным процессам хребет Книповича является продолжением хребта Гаккеля. Аналогичная ситуация наблюдается и в полях напряжений и типах подвижек в очагах землетрясений. В пределах хребта Мона значения компонент по знакам совпадают с их значениями (+, +, -) в пределах Верхоянского хребта. Далее, за хребтом Мона, наблюдается совпадение значений компонент по знакам в пределах хребтов Гаккеля-Книповича и Исландского хребта. Сейсмодетекции здесь также совпадают. Последнее заключение убедительно подтверждается результатами определениями сводных фокальных механизмов очагов землетрясений и блок-схемами объемных деформаций.

Границы смены полей напряжений и деформаций в пределах хребта на юго-востоке установлены на шельфе моря Лаптевых — на северо-западе в зоне сочленения хребтов Гаккеля и Книповича.

Как известно, компоненты тензора средней сейсмодетекционной деформации дают представление лишь об изменении величины элементарного объема осреднения в направлении координатных осей или их формы в соответствующих координатных плоскостях. Однако по таким данным представить себе деформацию элементарного объема в целом достаточно трудно. Решить эту проблему позволяет применение коэффициента Лоде — Надаи, описывающего характер деформирования в рамках теории упругости. Используя величину коэффициента Лоде — Надаи, можно выделить однородно деформируемые области (участки, блоки). В предположении квазиоднородного деформирования всего сейсмоактивного слоя ($H = 0-30$ км), для Срединно-Арктического хребта были определены параметры тензоров (ε_{xx} ; ε_{yy} ; ε_{zz}) средней сейсмодетекционной деформации для землетрясений различных магнитуд от $M = 5,6$ до $M = 2,8$. Так же как и на картах распределения значений компонент ε_{xx} , ε_{yy} , ε_{zz} направляющего тензора средней сейсмодетекционной деформации, так и по значению коэффициента Лоде — Надаи, территориально Срединно-Арктический хребет делится на отдельные блоки, где на фоне сдвиговых деформаций отчетливо проявляется чередование участков с деформацией сжатия, с участками растяжения.

Расчеты коэффициента Лоде — Надаи показали, что деформация в пределах хребта Гаккеля за счет весомого вклада наиболее сильных ($M = 5,0-5,6$) землетрясений имеет чисто сдвиговый характер ($\mu = 0,07-0,09$).

Значения ($0,28 \leq \mu\epsilon \leq 0,81$) коэффициента Лоде — Надаи (деформация сжатия и взбросо-сдвиговый тип подвижки в очагах землетрясений) отмечены в пределах хребта Книповича и Шницбергенской зоны разломов, в пределах зоны перемычки ($-1 \leq \mu\epsilon \leq -2$).

Таким образом, было установлено, что как по распределения значений компонент ϵ_{xx} , ϵ_{yy} , ϵ_{zz} направляющего тензора средней сейсмостектонической деформации, так и по значению коэффициента Лоде — Надаи Срединно-Арктический хребет делится на отдельные блоки с различным видом напряженно-деформируемого состояния и геодинамического режима земной коры.

Также были проведены расчеты энергоемкости блоков для хребтов Гаккеля и Книповича в пределах САХ. Значения сдвиговых деформаций хребта Гаккеля варьируют в пределах $(24-26) \cdot 10^9$ дж/м³, для хребта Книповича — $(20-24) \cdot 10^9$ дж/м³.

Кроме того, в пределах хребтов Гаккеля и Книповича был рассчитан параметр дискретности (K_{cp}) с учетом суммарного числа землетрясений в диапазоне магнитуд от M_{min} до M_{max} , величины сейсмоактивного объема и средней длины разрывов в сейсмоактивном объеме исследуемых блоков в пределах отмеченных хребтов.

Вариации K_{cp} при $M > 5,0$ равны 0,52, при $M = 5,0 - 0,45$. Размер ячейки ΔS принимался равным 100×100 км.

Для хребта Гаккеля $K_{cp} = 0,52 - 0,55$, для хребта Книповича $K_{cp} = 0,45 - 0,48$. Выбор хребтов для расчета сделан с учетом различных (взброс, сброс, сдвиг) типов подвижек в очагах землетрясений и различных значений средней сейсмостектонической деформации, т. е. сейсмоактивные блоки земной коры региона отличаются повышенными значениями величин энергоемкости и параметров дискретности.

Полученные результаты в пределах САХ говорят о сложном пространственно-временном взаимодействии геодинамических процессов различных рангов, формирующих нелинейную структуру напряженно-деформируемого состояния земной коры, где взаимодействие блоков реализуется в условиях стесненных вращательных движений.

Таким образом, Срединно-Арктический хребет в полях напряжений и деформаций имеет отчетливо выраженное блоковое строение.

Более подробно была рассмотрена современная геодинамика хребта Гаккеля как основного элемента срединно-арктического хребта. Установлено, что хребет Гаккеля имеет сложное слоисто-блоковое строение. На расстоянии от 0–100 км на глубине 0–10 км выделяется зона растяжения, на глубине 10–20 км эта же зона является зоной сжатия, на глубине 10 км — левосторонний сдвиг. Далее на глубине 10 км на

расстоянии 150–400 км — правосторонний сдвиг. На расстоянии 300 км выделяется зона сжатия. В пределах 150–300 км и на глубине 0–10 км выделяется асейсмичная зона.

Таким образом, в слоисто-блоковой среде послыбно, а в отдельных блоках и во времени меняется напряженно-деформированное состояние литосферы, которое напрямую зависит от направления осей сжимающих напряжений.

Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ- Арктика, проект № 18-05-60024.

POSTER 4.11

ПОСТЕР 4.11

MINERAL AND HYDROCARBON POTENTIAL OF RUSSIAN ARCTIC CONTINENTAL OFFSHORE. CURRENT STATEMENT.

T.Yu. Medvedeva, A.N. Smirnov, O.I. Suprunenko,
E.B. Suvorova (VNIIOkeangeologia)*

**МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ ПОТЕНЦИАЛ
КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ШЕЛЬФА РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ.
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ**

Т.Ю. Медведева, А.Н. Смирнов, О.И. Супруненко, Е.Б. Суворова
«Всероссийский научно-исследовательский институт геологии
и минеральных ресурсов Мирового океана им. академика И. С. Грамберга»,
Санкт-Петербург, Россия*

** onaimo@centurion.vniio.nw.ru*

Российская Федерация обладает крупнейшими в Мире шельфовыми областями — 6,2 млн км² (из них 4,2 млн км² в пределах исключительной экономической зоны), что составляет около 22 % общей площади шельфов Мира; при этом арктические шельфовые области занимают порядка 4 млн км². Имеющиеся там полезные ископаемые принадлежат преимущественно к классу осадочных и делятся на две большие группы: 1) углеводороды (нефть, газ, конденсат) и 2) твердые полезные ископаемые, представленные рудными ПИ на арктических архипелагах и россыпями на шельфовых акваториях.

Их изучением, особенно интенсивным во второй половине XX века, занимались производственные территориальные и специализированные геологические организации (ПГО «Дальморгеология», АКГГЭ и ПМГРЭ НПО «Севморгео» / ПГО «Севморгеология» и другие), а также широкий круг научных учреждений РАН. Особо следует отметить роль НИИГА-

ВНИИОкеангеологии в теоретических и методических разработках, на основе которых была открыта и подготовлена к освоению крупнейшая «Западно-Арктическая» (так в постановлении Правительства РФ о присуждении Государственной премии РФ 1995 года были названы нефтегазоносные акватории Баренцева (с Печорским) и Карского морей) нефтегазоносная провинция (более 35 месторождений, в том числе 4 гигантских) и оценены перспективы нефтегазоносности всех шельфовых областей России. Здесь же впервые на базе минерагенического районирования шельфовых областей был определен их минерально-сырьевой потенциал в отношении комплекса твердых полезных ископаемых, заложены основы нового научного направления — кайнозойского шельфового рудогенеза.

Углеводородные ресурсы континентального шельфа Российской Федерации представляют главный резерв поддержания и развития нефтегазодобывающей и нефтегазоперерабатывающей отраслей промышленности страны. Начальные суммарные ресурсы НСР существенно превышают 120 млрд т. нефтяного эквивалента, из которых на долю арктических морей приходится 87 %.

Важнейшей особенностью нефтегазовых ресурсов арктического шельфа является крайняя неравномерность их площадного распространения — основная часть извлекаемых ресурсов УВ (более 85 %) приурочена к недрам наиболее изученных западно-арктических морей — Печорского, Баренцева и Карского. Вторая определяющая черта извлекаемых ресурсов УВ российского арктического шельфа — резкое преобладание в их составе газа (около 85 %) при соответствующей невысокой доле нефти и конденсата (15 %).

Наибольшей долей свободного газа обладает Баренцево (без Печорского) море — здесь она составляет более 95 %. Лишь немногим уступает ему в этом отношении самое богатое углеводородными ресурсами Карское море — здесь доля газа около 90 %. Среди западно-арктических морей самая большая доля жидких УВ (около половины) — в Печорском море.

Несмотря на то, что к концу 2019 г. на шельфе арктических морей числилось 38 открытых месторождений УВ (Баренцево с Печорским — 14, Карское — 23, Лаптевых — 1), весьма значительная часть общих ресурсов УВ относится здесь к низшим категориям — Д1 (более 27 %) и Д2 (60 %).

Указанные обстоятельства (невысокая доля нефти в общих ресурсах УВ и резкое преобладание в них ресурсов низших категорий) затрудняют решение актуальной задачи освоения арктического шельфа — вы-

деление (и последовательное освоение) преимущественно нефтяных районов.

Комплексный минерально-сырьевой потенциал арктических шельфовых областей России характеризуется целым рядом особенностей:

- чрезвычайно широкий спектр видов полезных ископаемых: углеводороды (нефть, газ, конденсат); рудные ПИ, установленные на арктических архипелагах; россыпные и прочие осадочные ПИ (более 15 видов ТПИ петрогенной и биогенной групп);

- значительный вертикальный диапазон рудогенеза — от раннего палеозоя до конца кайнозоя;

- высокая площадная продуктивность шельфовых осадочных бассейнов, достигающая по комплексу видов сырья 70–90 %;

- наличие крупных и уникальных по масштабам объектов, причем их ресурсы нередко превышают соответствующие величины для континентальных регионов и составляют существенную долю ресурсов (углеводороды, золото, олово, янтарь) в балансе страны;

- развитие крупных, суперкрупных и уникальных минерогенических таксонов, в которых сосредоточены основные объемы ресурсов (Западно-Арктическая нефтегазоносная провинция (начальные суммарные ресурсы составляют более 100 млрд т. нефтяного эквивалента), Ляховский оловоносный район) запасы и ресурсы высоких категорий — 150 тыс. т. россыпного олова), Рывеевский золотоносный узел (потенциальные ресурсы на шельфовой акватории — порядка 25 т.), Самбийский янтареносный район (порядка 600 тыс. т. запасов и ресурсов высокосортного янтаря-сукцинита); Североякутская костеносная провинция (потенциальные ресурсы мамонтовой кости — 46 тыс. т. на островах и акватории);

- нахождение в пределах шельфовых акваторий островных сооружений с крупными концентрациями руд: полиметаллы (свинец, цинк, серебро), марганец и флюорит на Новой Земле, рудное золото на Северной Земле (о. Большевик), возможно — рудное олово на Новосибирских о-вах (о. Бол. Ляховский), там же выявлены значимые ресурсы каменных и бурых углей (2,87 млрд т. и 1,8 млрд т. соответственно).

Значительные величины прогнозных и потенциальных ресурсов в балансовой структуре по ряду полезных ископаемых отражают слабую изученность шельфовых областей, но гарантируют высокий прирост запасов в будущем — при условии проведения соответствующих стадий геологоразведочных работ и научных исследований, а также созданию современной методической и аппаратурно-технической базы.

Необходимо отметить, что группа твердых полезных ископаемых для шельфовых областей в ресурсно-экономическом отношении является, безусловно, второстепенной. Дальнейшие перспективы их изучения и освоения следует, по-видимому, рассматривать с учетом комплексного геолого-экономического и инфраструктурного районирования континентальных окраин России.

Арктика — труднодоступный регион, и изучение и освоение ее минеральных богатств требует весьма существенных затрат. В значительной степени это объясняется слабо развитой инфраструктурой, и в первую очередь транспортными путями. Главным для российской Арктики является Северный морской путь (СМП) — транспортная система, связывающая воедино огромные пространства арктической континентальной окраины России и обеспечивающая ее жизнедеятельность. Одним из важнейших показателей уровня развития Севморпути является объем перевозок грузов. За годы реформ проблемы Арктической зоны России, в том числе СМП были отодвинуты на задний план. Грузоперевозки уменьшились в 3–4 раза по сравнению с 1980-и гг. — периодом наиболее интенсивной его деятельности: 6,6 млн т. в 1987 году — и 1,6 млн т. в 2000 г.

Ряд действующих и готовящихся к реализации проектов существенно повлияют на динамику объемов перевозимых грузов, в том числе:

- производство сжиженного газа на п-ове Ямал;
- освоение Южно-Тамбейского и других газоконденсатных месторождений (со строительством портовых сооружений);
- транспортировка газового конденсата из Енисейского региона (ГМК «Норильский никель»);
- транспортировка нефти с Пайяхского месторождения в устье Енисея (компания «Нефтегазхолдинг» Эдуарда Худайнатова).

В настоящее время важным районом интенсивного освоения месторождений углеводородов, транспортируемых морем, является Печорское море. Здесь находится Варандейский нефтеотгрузочный терминал, откуда ежегодно танкерами вывозится порядка 7 млн т. нефти (проектная мощность терминала — 12 млн т в год). В настоящее время объем перевозок вырос за счет добычи нефти на шельфовом месторождении «Приразломное». Поддержание и развитие «Севморпути» и интенсификация изучения и освоения минерально-сырьевой базы российской Арктики увязаны теснейшим образом: темпы разработки месторождений минерального сырья и объемы перевозок имеют прямую корреляцию. Согласно поставленной Президентом Российской Федерации В.В. Путиным задачи довести в ближайшие годы грузооборот по Северному морскому пути до 80 млн т./год, учитывая тот факт,

что уже в 2019 году объем перевозок составил порядка 18 млн т, необходимый уровень общего объема грузоперевозок (с учетом транзита) будет достигнут к 2024 году.

Необходимость освоения обширных территорий и акваторий Арктической зоны, включая развитие транспортной инфраструктуры, определяется их особым социально-экономическим, геополитическим и оборонным значением. В тоже время анализ состояния минерально-сырьевой базы высоких широт России показывает, что геологическая и ресурсная изученность их явно неравномерна и недостаточна, но роль в общем балансе минеральных, в первую очередь топливно-энергетических ресурсов России столь велика, что без их использования наша страна не сможет успешно существовать и развиваться.

POSTER 4.12

ПОСТЕР 4.12

**RUSSIAN REGIONAL GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL
RESEARCH IN SPITSBERGEN:
HISTORY, MAIN RESULT AND PROSPECTS**

M.Yu. Miloslavskiy, A.N. Sirotkin (PMGE)*

**ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ РЕГИОНАЛЬНЫЕ
ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
НА ШПИЦБЕРГЕНЕ: ИСТОРИЯ, ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ
И ПЕРСПЕКТИВЫ**

М.Ю. Милославский, А.Н. Сироткин*

*АО «Полярная морская геологоразведочная экспедиция», Санкт-Петербург,
г. Ломоносов, Россия*

** pechenga-67@yandex.ru*

Начало российских геологических исследований на Шпицбергене отсчитывается от экспедиции В.А. Русанова (1912 г.). В числе задач экспедиции было изучение геологии архипелага, поиски угольных залежей и закрепление их за Россией, определение масштабов иностранной промышленной деятельности на Шпицбергене. Экспедиция имела государственное финансирование. Итогом экспедиции было открытие месторождения Грумант и закрепление за Россией ряда участков на архипелаге, перспективных на каменный уголь. После революции СССР, в лице Треста «Арктикуголь», стал владельцем угольных месторождений Грумант, Баренцбург, Пирамида. В связи с этим на архипелаге работают советские геологи из Ленинградского геологического треста. Их рабо-

та направлена на изучение угольных месторождений и сосредоточена в районе советских участков.

Полномасштабные отечественные региональные геолого-геофизические исследования на Шпицбергене были начаты в 1962 году Научно-исследовательским институтом геологии Арктики (НИИГА), который сегодня известен как ВНИИОкеангеология. С 1984 года эти исследования продолжает Полярная экспедиция (ПМГРЭ). Работы были организованы в соответствии с приказом №15-с от 23.02.1962 г. МинГео СССР, отданным на основании распоряжения Совета Министров СССР. Было поручено организовать в составе НИИГА Шпицбергенскую экспедицию для геолого-исследовательских работ с целью обеспечения норм международного права владеть участками земли на архипелаге и расширять ресурсную базу месторождений для обеспечения долгосрочной хозяйственной деятельности СССР на Шпицбергене. Экспедиция была организована на базе отдела горючих полезных ископаемых НИИГА. Ее начальником стал В.Н. Соколов. Согласно первого геологического задания, надлежало провести комплексное изучение геологического строения архипелага, включая исследования всех возрастных комплексов горных пород. Главным объектом исследований первого периода были потенциально нефтегазоносные комплексы от верхнего палеозоя до кайнозоя. Большое значение предавалось геофизическим исследованиям. Были составлены десятки геологических карт на разные районы архипелага, получена оценка перспектив нефтегазоносности этого региона.

Другая важная проблематика исследований Шпицбергенской экспедиции в это время была связана с изучением геологии древнего основания архипелага. Были разработаны схемы стратиграфического расчленения древних толщ, получены первые данные по абсолютному возрасту некоторых комплексов, выделены важнейшие макроструктуры древнего фундамента. Интенсивные работы проводились в то время и по изучению четвертичных отложений архипелага и его геоморфологии. В результате на Шпицбергене были впервые выделены плейстоценовые отложения, всесторонне описаны отложения голоцена, дана детальная характеристика главных этапов четвертичной истории. Кроме этого, в 1969 и 1970 гг. были проведены комплексные работы на острове Медвежий с целью изучения геологического строения и оценки ресурсного потенциала.

Результаты этих работ нашли в дальнейшем свое отражение в статьях и монографиях, в «Стратиграфическом словаре Шпицбергена», изданном на двух языках, в составлении разномасштабных карт, в выпол-

нении обоснований под бурение параметрических скважин на острове Эдж, в Колсбее и на участке Вассдален.

В 70-х годах Шпицбергенская экспедиция была преобразована в партию. Приоритеты были переориентированы с нефтепоисковых задач на геологическую съемку отдельных районов архипелага и минерагеническое направление. Максимальные усилия партии в данной ситуации были направлены на изучение стратиграфии и особенностей тектонического строения девонского грабена Шпицбергена — крупной геологической структуры, располагающейся в центре архипелага. Результаты этих многолетних исследований изложены в работах, опубликованных на русском и английском языках.

В этот же период начинает формироваться новое направление — минерагеническое. Была получена металлогеническая характеристика основных структурно-вещественных комплексов архипелага и детально описаны десятки проявлений полезных ископаемых разного вида. За несколько лет плодотворной работы поисковики партии изучили и нанесли на карту Шпицбергена многие проявления меди, свинца, железа, никеля, барита, горного хрусталя, газа, фосфоритов, которые были описаны в целом ряде публикаций. Далекое идущие последствия имела инициатива руководства партии по разработке совместно с Геологическим институтом Кольского филиала АН СССР программы по изотопно-геохронологическому изучению пород складчатого основания архипелага Шпицберген. Эти работы, начатые в 1988 году, позднее переросли в Международную геохронологическую программу по Шпицбергену. Главным результатом этих исследований было создание в 1996 году геологической карты Шпицбергена масштаба 1:1 000 000 (второе поколение).

В 80-х годах было положено начало успешному и взаимовыгодному сотрудничеству ПМГРЭ с Норвежским Полярным институтом (НПИ). Между двумя организациями был заключен долгосрочный договор о совместных работах по геологическому картированию архипелага. Одновременно развивались контакты и обмен информацией с геологами других стран. Особенно плодотворными являлись совместные усилия по изотопному датированию объектов докембрийских комплексов. Советскими, шведскими и французскими геологами было впервые доказано существование на Шпицбергене раннепротерозойского фундамента. Статья, посвященная этому открытию, вышла на английском языке в 1992 г.

В 1992 году в поселке Баренцбург был проведен международный полевой геологический симпозиум, организованный ПМГРЭ

и НПИ. Его главным итогом было усиление международной кооперации по изучению геологического строения Шпицбергена. Как следствие этого, в последующие годы НПИ была издана серия геологических карт масштаба 1:100 000, авторами которых были геологи Шпицбергенской партии. В Баренцбурге в 1995 году был создан краеведческий музей «Помор», авторами идеи которого были генеральный директор «Арктикугля» А.В. Орешкин, руководитель экспедиции Института археологии РАН В.Ф. Старков и главный геолог Шпицбергенской партии А.А. Красильщиков. В геологическом зале в специальных витринах выставлены уникальные образцы, представляющие разрез основания и чехла архипелага; здесь же находятся образцы магматических пород и руд, на стенах размещены геологические карты архипелага. На сегодняшний день геологическая экспозиция музея является самым полным и методически правильно организованным учебно-научным комплексом по геологии Шпицбергена.

Третий этап работы (с 1995 года) определялся задачами по среднемасштабному геологическому доизучению площадей и изучению их ресурсной базы. Главным объектом были площади девонского грабена; работы здесь проводились совместно с НПИ. Завершением этих работ стал комплект карт геологического содержания масштаба 1:200 000 и анализ металлогенических характеристик изученных комплексов (2007 г.). Следующим объектом работ был самый удаленный из островов архипелага — Северо-Восточная Земля (2010 г.). Дальнейшими объектами в этом ряду были районы Северо-Западного Шпицбергена (2014 г.), Нью Фрисланда (2016 г.), Земли Веделя Ярлсберга (2018 г.), Земли Норденшельда (2020 г.), где решались задачи по созданию комплектов карт геологического содержания и оценки ресурсного потенциала территорий.

Перспективные планы геологов связаны с реализацией программы по созданию новой геолкарты архипелага масштаба 1:1 000 000 с использованием новейших материалов, полученных в последние 20–25 лет. Программа рассчитана на 2020–2030 гг. и определяет создание комплектов карт геологического содержания как архипелага масштаба 1:1 000 000, так и отдельных районов Шпицбергена масштаба 1:100 000. При реализации этой программы большое значение будет иметь широкая кооперация ПМГРЭ с другими организациями, что предполагает объединение финансовых, технических, транспортных и интеллектуальных ресурсов для достижения поставленных целей.

AURORAL PRECIPITATION MODEL OVATION PRIME (PC)

A.V. Nikolaev, O.A. Troshichev, S.A. Dolgacheva, V.D. Nikolaeva,
A.S. Kalishin (AARI)*

**МОДЕЛЬ АВРОРАЛЬНЫХ ВЫСЫПАНИЙ ЧАСТИЦ
OVATION PRIME (PC)**

A.B. Николаев, O.A. Трошичев, С.А. Долгачёва,
В.Д. Николаева, А.С. Калишин*

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

** av_nikolaev@aari.ru*

Высокоширотные высыпания электронов в авроральную ионосферу с энергиями от 1 до 30 кэВ являются основным источником ионизации нейтральных компонент ионосферы на высотах *E*-слоя в периоды магнитосферных бурь и суббурь, а также являются основным источником полярных сияний и неоднородностей в верхних слоях атмосферы. Для решения задач моделирования химических процессов и расчета высотных профилей концентрации основных ионов и малых нейтральных компонент *E*-слоя необходима информация о фоновых и спорадических высыпаниях частиц, которая может быть получена из данных прямых спутниковых измерений или модельных расчетов. Наиболее продвинутой эмпирической моделью авроральных высыпаний частиц является OVATION Prime, которая основана на измерениях потоков электронов и ионов низковысотными спутниками DMSP за период с 1988 по 1998 годы. Преимуществами выбранной модели является (1) достаточно высокое разрешение расчетной сетки (0,5 град. магн. ш., 0,25 ч. местного магнитного времени (MLT)), (2) возможность оценки параметров (авроральная мощность, поток, поток энергии и средняя энергия) как дискретных, так и диффузных высыпаний электронов. Также в качестве входного параметра модели используется функции Ньюэлла, которая вычисляется по параметрам наблюдаемого в точке либрации (L1) Солнечного ветра и наделяет модель предиктивными возможностями. Перечисленные достоинства OVATION Prime позволяют разработать физическую модель полярной ионосферы, способную оценивать и прогнозировать ионный состав ионосферы в любой точке авроральной зоны с высокой степенью достоверности в условиях отсутствия спутниковых данных. Однако использование параметров солнечного ветра

сопряжено с тем, что солнечный ветер, измеренный на спутнике ACE, не всегда является геоэффективным. С помощью многофакторной линейной регрессии мы изменили расчет функции Ньюэлла и выполнили его по величине Российского индекса полярной шапки (РС-индекса), разработанного в ФГБУ «АНИИ», и скорости его изменения на 5 и 10 минутных временных масштабах. Такой подход позволяет параметризовать модель энергией солнечного ветра, которая фактически поступила внутрь магнитосферы, и дает возможность точнее оценивать величину и изменения потоков высыпающихся частиц на одномоментном временном масштабе, при этом предиктивные возможности модели утрачиваются. В данной работе приведены результаты тессирования авроральной модели OVATION Prime (PC) с помощью наблюдений спутника Polar за период с декабря 1996 по январь 1999 года.

POSTER 4.13

ПОСТЕР 4.13

AURORAL IONOSPHERIC MODEL (E-AIM)

V.D. Nikolaeva (AARI), E.I. Gordeev (SPBU), A.V. Nikolaev (AARI)*

**МОДЕЛЬ Е-СЛОЯ АВРОРАЛЬНОЙ ИОНОСФЕРЫ
AURORAL IONOSPHERIC MODEL (E-AIM)**

В.Д. Николаева¹, Е.И. Гордеев², А.В. Николаев¹*

¹ — ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

² — Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

** vera_nik@list.ru*

В последние десятилетия произошли большие изменения в изучении солнечно-земных связей, во многом определяющие наше понимание физических процессов, происходящих в околоземном космическом пространстве. В настоящее время большое количество научных исследований направлено на изучение космической погоды, в котором параметры космического пространства измеряются в режиме квази-реального времени. В этом контексте новый смысл и значение приобрели прежние регулярные наземные измерения параметров ионосферы Земли. Ионосфера — часть верхней атмосферы Земли, где наблюдается высокая концентрация ионизованных частиц, создаваемая в результате воздействия ультрафиолетового излучения Солнца, а также вторжения в околоземное пространство заряженных частиц. Ионосфера состоит из ионизованных компонент, нейтральных газов

и электронов и является первичным индикатором космического воздействия на нашу планету.

E-слой ионосферы представляет собой проводящий слой атмосферы Земли. Основное геофизическое значение области *E* состоит в том, что проводимости Холла и Педерсена достигают своего максимума в этом диапазоне высот и, вместе с электрическим полем, позволяют определять продольные токи, что является одной из основных задач ионосферно-магнитосферного взаимодействия. В связи с тем, что продольные токи являются связующим звеном между магнитосферой и ионосферой, то знание системы продольных токов, их динамики во время суббури и способа их генерации позволило бы приблизиться к пониманию процессов, происходящих в магнитосфере.

Модель авроральной ионосферы (*E*-АИМ) предназначена для расчетов временного и пространственного распределения плотности основных малых нейтральных ионосферных компонент (NO , N (4S), N (2D)) и ионов (N_2^+ , NO^+ , O_2^+ , O^+) в диапазоне высот от 90 до 150 км. Для расчетов параметров термосферы (состава нейтральной атмосферы и вертикального распределения температуры) используется эмпирическая модель MSIS (Mass-Spectrometer-Incoherent-Scatter), последней версией которой является NRLMSISE-00 [Picone, JGR, 2003]. Для описания процессов формирования и исчезновения ионов в модели *E*-АИМ производится решение системы уравнений неразрывности для ионов и малых нейтральных компонент с учетом двух основных источников ионизации: ультрафиолетового солнечного излучения и спорадической ионизации электронами магнитосферного происхождения. Решением системы является квазистационарное состояние, в котором концентрации всех компонент стремятся к своим предельным значениям в заданных условиях, определяемых пространственным положением точки наблюдения, уровнем солнечной и геомагнитной активности. В данной работе используется метод Гира [Gear, 1971], который представляет собой линейный многошаговый метод типа «предиктор-корректор».

Поток магнитосферных частиц является наиболее важным источником ионизации и основной причиной возмущений электронного слоя. Во время геомагнитных возмущений, электроны с начальной энергией 1–30 кэВ наиболее существенно влияют на электронную концентрацию *E*-слоя авроральной ионосферы. В модели *E*-АИМ скорость ионизации за счет корпускулярной ионизации может задаваться двумя различными способами: 1) с использованием спутниковых данных потока электронов; 2) с дифференциальным энергетическим спектром, восстановленным по средним значениям эмпирической модели OVATION-Prime [Newell, JGR 2009], что позволяет оценивать содержание ионов в ионосфере в любое время и в любом месте авроральной зоны, независимо от наличия прямых измерений.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18- 05-80004)

POSTER 4.15

ПОСТЕР 4.15

APPLICABILITY OF THE ARCTICDEM GLOBAL DIGITAL ELEVATION MODEL FOR STUDIES OF THE NORTHERN TERRITORIES OF THE RUSSIAN FEDERATION

E.V. Polyakova, A.L. Mineev (FCIARctic)*

ПРИМЕНИМОСТЬ ГЛОБАЛЬНОЙ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА ARCTICDEM ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ СЕВЕРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ РФ

Е.В. Полякова, А.Л. Минеев*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. Н.П. Лаврова РАН, г. Архангельск, Россия

** lenpo26@yandex.ru*

В настоящее время при изучении состояния природной среды в мировой практике широко применяются материалы различных космических съемок с искусственных спутников Земли (ИСЗ). Основным и современным способом представления формы земной поверхности является цифровая модель рельефа (ЦМР) или цифровая модель местности (ЦММ), рынок которых стремительно развивается. ЦММ представляют собой точные данные о высоте земной поверхности, включая здания, растительность и другие высотные объекты. ЦМР содержат информацию о высоте непосредственно поверхности Земли, исключая все здания, растительность и т.д.

В целом ЦМР можно дифференцировать по технологии создания, пространственному разрешению и точности, степени охвата территории (глобальные, региональные локальные) и степени «доступности» исходного материала (свободно распространяемые и коммерческие). ЦМР (как специфические геопрограммные данные) по существующей классификации Международного комитета по дистанционному зондированию CEOS относятся к 4 уровню обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Уровень требований к точности описания рельефа определяется типом научной или инженерно-технологической задачи и методами ее решения. Постоянное совершенствование радиометрических и геометрических характеристик приборов сканерного и кадрового типа, устанавливаемых на средствах ДЗЗ, ставит потребителей перед выбором между наземной съемкой рельефа (дорогостоящей и потому локальной, но геоморфологически упорядоченной) и регу-

лярными растровыми (цифровыми) моделями на значительные районы вплоть до глобального покрытия поверхности Земли.

Глобальные цифровые модели рельефа — это ЦМР, охватывающие всю или почти всю территорию Земли. Кроме факторов, оказывающих влияние на точность и качество таких ЦМР, они характеризуются рядом других параметров: охват поверхности земного шара; формат и тип данных; специальное значение для областей, в которых значение высоты отсутствует; система координат; размер фрагмента, если ЦМР разбита на фрагменты; доступность исходных данных и условия использования.

Проект ArcticDEM — это совместная инициатива Национального агентства геопространственной разведки (National Geospatial-Intelligence Agency (NGA)) и Национального научного фонда (National Science Foundation (NSF)) США по созданию высококачественной цифровой модели местности территории Арктики. В основе ArcticDEM лежат оптические стереоизображения, высокопроизводительные вычисления и свободное программное обеспечение. Модель доступна в следующих разрешениях: 2, 10, 32, 100, 500 метров и 1 км. Большая часть ArcticDEM была разработана из панхроматических каналов снимков, полученных со спутников WorldView-1, WorldView-2 и WorldView-3. Небольшой процент данных был также получен со спутника GeoEye-1.

Данные ArcticDEM покрывают всю территорию Земли севернее 60° северной широты. В дополнении к этому покрытию входят территории Гренландии, Аляски и Камчатского полуострова. Покрытие для Российской Федерации приведено на рисунке.

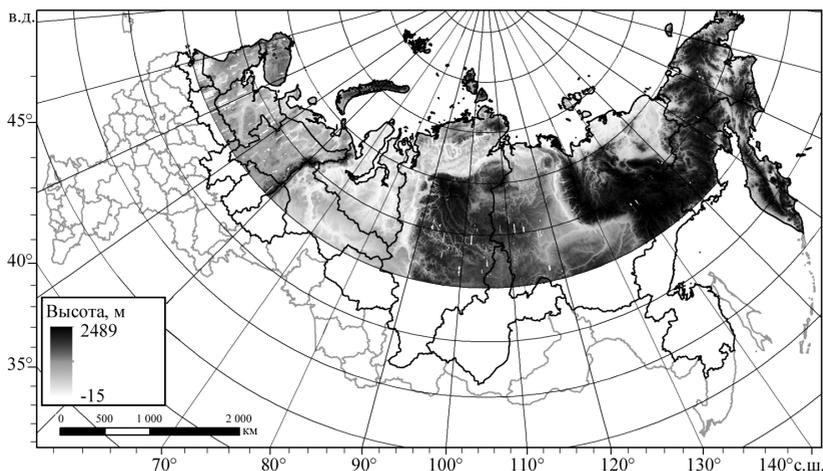


Рис. Покрытие субъектов РФ данными ArcticDEM (черным выделены субъекты, попадающие в покрытие, серым — не попадающие)

Полное покрытие имеют Камчатский край, Чукотский, Ямало-Ненецкий, Ненецкий автономные округа, Мурманская, Архангельская области, Республики Коми и Карелия. Частично покрыты Магаданская область (93,03 %), Ханты-Мансийский автономный округ (86,87%), Республика Саха (86,5 %), Красноярский край (77,81 %), Санкт-Петербург и Ленинградская область (37,71 %), Вологодская область (37,61 %), Пермский край (30,75 %), Свердловская (18,37 %), Иркутская (11,82 %), Томская (11,61 %) области, Хабаровский край (11,27 %) и Кировская область (10,53 %).

В силу того, что исходные данные ArcticDEM — это оптические изображения, облака, туман, тени и другие атмосферные явления могут препятствовать извлечению информации о рельефе. Поэтому, как и в любых других глобальных ЦМР, в ней есть области отсутствующих данных. Наибольшие территории с отсутствующими данными имеют Санкт-Петербург и Ленинградская область (20,19 %), Республика Карелия (17,13 %), Вологодская (14,96 %), Архангельская (11,48 %) и Кировская (8,7 %) области. Подобные «пробелы» следует заполнять данными других моделей, таких, как ASTER GDEM v2, ACE2, GMTED2010 и т.п. с искусственным уменьшением размера ячейки до исходного разрешения ArcticDEM.

Исследование проведено в ходе выполнения государственного задания ФГБУН ФИЦКИА РАН № гос. регистрации АААА-А18-118012390305-7; а также при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-05-60024 «Анализ состояния природной среды равнинных территорий Арктической зоны РФ с использованием геоинформационных технологий и цифрового моделирования рельефа».

POSTER 4.16

ПОСТЕР 4.16

**ARCTIC OBLIQUE SOUNDING NETWORK FOR THE STUDY
OF HIGH LATITUDE IONOSPHERE**

D.D. Rogov, V.M. Vystavnoy, A.S. Kalishin, S.V. Novikov (AARI)*

**АРКТИЧЕСКАЯ СЕТЬ НАКЛОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСОКОШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЫ**

Д.Д. Рогов, В.М. Выставной, А.С. Калишин, С.В. Новиков*

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

** rogov_denis@aari.ru*

Для исследования ионосферы в Арктическом регионе РФ развернута сеть наклонного зондирования в КВ диапазоне частот, оборудованная современными цифровыми ионозондами с линейно-частотной модуля-

цией. Рассмотрены особенности развертывания и эксплуатации сети в сложных полярных условиях российского севера.

Представлены разработанные алгоритмы сбора, хранения и обработки ионосферных данных, позволяющие в оперативном режиме проводить обработку ионограмм наклонного зондирования ионосферы и получать информацию о состоянии ионосферы и условиях распространения радиоволн декаметрового диапазона. Показаны возможности сети по изучению тонких эффектов естественных вариаций высокоширотной ионосферы.

Приведены экспериментальные данные по дистанционной диагностике эффектов воздействия мощных радиоволн на ионосферную плазму с использованием комплекса наклонного зондирования ионосферы на станции «Горьковская» вблизи г. Санкт-Петербург.

Получаемая с помощью сети ионосферных наблюдений информация позволяет значительно продвинуться в вопросах изучения полярной ионосферы Земли.

Работа выполнена при частичной поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, проект № 18-05-80004.

POSTER 4.17

ПОСТЕР 4.17

**DEPENDENCE OF THE FLUXES OF HIGH-ENERGY PROTONS
AND ELECTRONS IN A PLASMA LAYER AT THE BOUNDARY
OF THE INNER MAGNETOSPHERE
ON THE SOLAR WIND PARAMETERS**

N.A. Stepanov (AARI, SPBU), V.A. Sergeev (SPBU), D.A. Sormakov
(AARI), S.V. Dubyagin (FMI), A.V. Runov (University of California, USA)*

**ЗАВИСИМОСТЬ ПОТОКОВ ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫХ ПРОТОНОВ
И ЭЛЕКТРОНОВ В ПЛАЗМЕННОМ СЛОЕ НА ГРАНИЦЕ
ВНУТРЕННЕЙ МАГНИТОСФЕРЫ
ОТ ПАРАМЕТРОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА**

Н.А. Степанов^{1,2}, В.А. Сергеев², Д.А. Сормаков¹,
С.В. Дубягин³, А.В. Рунов⁴*

¹ — ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

² — Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

³ — Финский метеорологический институт, Хельсинки, Финляндия

⁴ — Калифорнийский университет, Лос-Анджелес, США

* *nikitasa@aari.ru*

Потоки протонов и электронов в плазменном слое достигают энергий сотен кэВ. Эти частицы высыпаются в земную ионосферу в области

аврорального овала (65° – 80°) вызывая полярные сияния и геомагнитные вариации. Изменения состава ионосферы за счет таких высыпаний оказывает серьезное воздействие на качество радиосвязи в полярном регионе. Магнитосферные процессы, которые формируют высокоэнергичные популяции протонов и электронов связаны с разными комбинациями параметров солнечного ветра. В данной работе мы эмпирически оцениваем степень влияния различных комбинаций параметров солнечного ветра с разными задержками на протоны и электроны с энергиями (30–300 кэВ), что позволяет нам выявить магнитосферные механизмы оказывающие такое влияние. Для этого мы строим модель потоков частиц разных энергий в центральном плазменном слое на входе во внутреннюю магнитосферу (на ночной стороне, 6–15 Re) по измерениям на спутниках THEMIS в период с 2007 по 2018 годы. Мы используем нормированные комбинации параметров солнечного ветра (скорость, плотность, давление, электрическое поле и т.д.) как входные параметры так, чтобы регрессионные коэффициенты при каждом параметре показывали величину их вклада в изменение потоков частиц. Входные параметры берутся с задержками до 16 часов. Из полученной модели видно, что изменения потоков протонов и электронов по-разному связаны с параметрами в солнечном ветре: динамическое давление важно для протонов, а скорость солнечного ветра и VBs важны для электронов. Временная задержка, необходимая для моделирования потоков электронов растет с ростом энергии, моделируемых частиц.

POSTER 4.18

ПОСТЕР 4.18

**HYDROLOGIC AND GEOMORPHOLOGIC LAYERS IN RUSSIA
USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM TECHNIQUES**

A.A. Trunin, O.V. Muzhdaba (AARI)*

**МОНИТОРИНГ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ
И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ОБРАЗЫ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ
И ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ТЕРРИТОРИИ РОССИИ**

A.A. Трунин, O.B. Муждаба*

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

**trunin@aari.ru*

Применение картографических и математических методов, реализованных в компьютерных геоинформационных технологиях, дает новые

возможности вычисления гидрологических и геоморфологических характеристик. В постере представлены: площади, периметры водосборов больших рек впадающих в Северный Ледовитый океан (СЛО), а также геоморфологические характеристики — рельеф, базис эрозии территории России.

Постановлением правительства РФ от 03.11.2016 №1131 принята «Единая электронная картографическая основа» (ЕЭКО).

Постановлением правительства РФ от 28 декабря 2012 г. №1463 установлены следующие единые государственные системы координат:

– геодезическая система координат 2011 года (ГСК-2011), для использования при осуществлении геодезических и картографических работ;

– общеземная геоцентрическая система координат «Параметры Земли 1990 года» (ПЗ-90.11), для использования в целях геодезического обеспечения орбитальных полетов и решения навигационных задач.

К сожалению, часто встречаются научные публикации, которые указывают только географические координаты, не предоставляя информации о параметрах Референц-эллипсоида. Это приводит к неоднозначному определению местоположения, искажению длин и площадей. Детальное изложение проблематики дано в статье (Трунин А.А., Муждаба О.В. Новые данные по морфометрическим характеристикам больших рек России на основе использования ГИС-технологий // Труды III Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития». <http://mgo-spb.ru>. РИНЦ).

При создании Государственного водного реестра РФ и формировании его тематических баз данных морфометрических характеристик водных объектов России, сведения о них были заимствованы из изданий Государственного водного кадастра Росгидромета, в том числе полученных при оцифровке и переводе в электронную форму многотомного Справочника «Гидрологическая изученность», изданного в середине 1960-х годов. Уточнение характеристик водных объектов для Государственного водного реестра (ГВР) на основании геоинформационных технологий до настоящего времени не проведено, хотя в региональных исследованиях такие оценки публикуются постоянно. Важно отметить, что общей методологии вычислений не выработано, цифровые картографические основы различны, единая процедуры обновления таких сведений в Государственном водном реестре не разработана.

Современные геоинформационные системы обладают возможностями создавать трехмерные объекты, которые могут быть применены для обновления гидрологических и геоморфологических характеристик. Авторами использовалась платформа (программа) ArcMap v.10 (ESRI, клиентский номер 341381). Основной опцией (картографический и математический аппарат) являлась Spacial Analyst Tools. Матрица рельефа рассчитывалась методом TopoRaster. Аппроксимация поверхности, зависящей от исходных данных и параметров пересчета, не является однозначной задачей, так что возможность вводить ограничения (дополнительную информацию) и использовать специальные методы (сочетание методов: обратных взвешенных расстояний и кригинга) дает возможность получить матрицу рельефа, отвечающую гидрологическим и геоморфологическим характеристикам.

В качестве дополнительной информации использовались линии рек, контура озер. Сочетание методов обратных взвешенных расстояний и кригинга с одной стороны дает устойчивость решения (вычисление матрицы), а с другой стороны позволяет рассчитать матрицу с учетом корреляционных связей и выполнить оценку точности. На основании матрицы рельефа и полилиний рек (согласно картографической основы) рассчитывались матрицы: Flow Direction, Flow Accumulation. Метод Watershed используя матрицу Flow Direction и географическую точку, вычисляет контур водосбора выбранного местоположения. Несоответствие масштабов векторных данных используемых для вычисления матрицы рельефа и полилиний рек не позволяет производить данные вычисления в автоматическом режиме, поэтому вручную вносились изменения. Расчет матрицы базиса эрозии осуществлялся путем получения аппликат полилиний рек из матрицы рельефа и вычисления поверхности.

Необходимо уточнение сведений в ГВР о морфометрических характеристиках водосборных площадей рек, являющихся гидрографическими и водохозяйственными единицами бассейнового деления территории РФ. Такие же работы следует провести для средних и малых рек, изменение морфометрических характеристик которых обусловлено природными и антропогенными изменениями за последние десятилетия. Для рек, впадающих в моря должны быть установлены устьевые границы. Анализ следует проводить на основе современных методов геоинформационных технологий и на единых цифровых картах Росреестра.

**DOMESTIC GEOMORPHOLOGICAL STUDIES
ON THE SPITSBERGEN ARCHIPELAGO***V.V. Sharin (PMGE, SPBU)***ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН***В.В. Шарин^{1,2*}*

¹ — АО «Полярная морская геологоразведочная экспедиция»,
Санкт-Петербург, г. Ломоносов, Россия

² — Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, г. Ломоносов, Россия

sharin_v@mail.ru

История геоморфологической изученности Шпицбергена уходит вглубь веков. Первые сведения о рельефе архипелага можно почерпнуть из дневника В. Баренца: «Земля, вдоль которой мы плыли, была возвышенной, но это были не горы, хотя холмы имели вид острых шпилей, потому и землю назвали Шпицберген». Ряд сведений о положении береговых линий и распределении ледников были накоплены промысловиками-поморами. М.В. Ломоносов выдвинул идею об организации экспедиции на Шпицберген, которая была осуществлена во второй половине XVIII века В.Я. Чичаговым. По плану М.В. Ломоносова, суда В.Я. Чичагова должны были пройти между Гренландией и Шпицбергенем и, минуя Северный полюс, выйти к американскому континенту.

К середине прошлого века отечественными и зарубежными исследователями был накоплен обширный, но разрозненный геоморфологический материал, касающийся в основном, морфологии ледников, морских террас моренных комплексов, характеру побережий.

Следующий этап изучения четвертичных отложений и геоморфологического строения Шпицбергена связан с началом проведения на территории всего архипелага комплексных геолого-геофизических исследований советскими экспедициями и, в частности, Шпицбергенской экспедицией Научно-исследовательского института геологии Арктики. Она начала свою деятельность на архипелаге в 1962 году и продолжает свою работу (как структурное подразделение в ранге партии в составе АО ПМГРЭ) до настоящего времени.

В 1963 году в составе Шпицбергенской экспедиции была организована партия по изучению четвертичных образований и геоморфологии, которая проводила исследования в различных районах. В 1965 году

Д.В. Семевским и Е.П. Шкатовым опубликована одна из первых для архипелага Шпицберген геоморфологическая карта Земли Норденшельда масштаба 1:200 000.

В дальнейшем этими же авторами, а также А.И. Пановым, И.С. Постновым и К.Н. Белоусовым в период с 1970 по 1990 г. г. был составлен ряд геоморфологических карт (масштаб 1: 100 000 и 1:200 000) на другие районы острова Западный Шпицберген (в отчетах).

В 1965 году Шпицбергенская гляциологическая экспедиция института географии АН СССР начала проводить планомерные исследования по изучению ледников Шпицбергена. С небольшими перерывами эта экспедиция продолжает свою деятельность до настоящего времени. Помимо чисто гляциологических исследований сотрудники экспедиции проводили геоморфологические наблюдения, главным образом изучая моренные комплексы и морфологию морских террас. Результаты этих исследований опубликованы в ряде статей и монографий.

К концу прошлого века все накопленные геолого-геоморфологические материалы были обобщены сотрудниками ПМГРЭ и ВНИИОкеангеология. Ими создан комплект карт геологического содержания масштаба 1:1 000 000 с объяснительными записками. В их число входили «Геоморфологическая карта архипелага Шпицберген и прилегающего шельфа (автор В.В. Шарин, редакторы Е.Е. Мусатов, А.М. Тебеньков, 2000 г.)» и «Карта четвертичных образований архипелага Шпицберген и прилегающего шельфа» (авторы В.В. Шарин, Е.А. Гусев, Е.Е. Мусатов, П.В. Рекант, редактор А.М. Тебеньков, 2002 г.).

С начала XXI века геоморфологические исследования получили новый импульс. Наряду с ПМГРЭ, к изучению геоморфологического строения архипелага подключаются такие организации как Мурманский морской биологический институт и Арктический и антарктический научно-исследовательский институт (Санкт-Петербург).

Начиная с 2001 года Мурманский морской биологический институт РАН проводит комплексное изучение природы архипелага Шпицберген. Первые на Шпицбергене научно-исследовательские работы ММБИ были проведены профессором Г.А. Тарасовым. Особое внимание в исследованиях было уделено позднечетвертичной истории развития Западного Шпицбергена, вопросу формирования ледниково-перигляциальных отложений и осадконакоплению в районе залива Грэн-фиорд. Из геоморфологических работ стоит отметить изучение строения моренного комплекса ледника Грэнфиордбреен, подводного рельефа и донных отложений озера Бретъёрна.

В ММБИ с 2002 года и по настоящее время проводятся конференции «Комплексные исследования Шпицбергена», организованные академи-

ком Г.Г. Матишовым и профессором Г.А. Тарасовым. Эти конференции служат хорошим источником обмена научной информации для специалистов многих направлений, в том числе геоморфологов и четвертичных геологов.

В этот же период на архипелаге начинаются и продолжаются по настоящее время работы сотрудников Арктического и антарктического научно-исследовательского института.

Профессором Д.Ю. Большиновым в соавторстве с сотрудниками других организаций (включая ПМГРЭ и ВНИИОкеангеология) опубликован ряд статей, посвященных стратиграфии четвертичных отложений, реконструкции палеогеографических обстановок различных районов западного сектора Арктики, включая архипелаг Шпицберген. В последние годы, активная работа на архипелаге ведется группой под руководством профессора С.Р. Веркулича. Особое место в работах занимают палинологические исследования. Полевые сезоны 2016–2019 гг. группа проводила работы в различных районах острова Западный Шпицберген совместно с сотрудниками Шпицбергенской партии ПМГРЭ.

На протяжении всего существования и по настоящее время Шпицбергенская партия ПМГРЭ не теряет связи с кафедрой геоморфологии географического факультета (в настоящее время Институт наук о Земле) СПбГУ. За этот период в партии прошли производственные и преддипломные практики десятки студентов. Благодаря такому сотрудничеству (при участии студентов СПбГУ) была опубликована «Геоморфологическая карта центральной части острова Западный Шпицберген (Земля Норденшельда, архипелаг Шпицберген) масштаб 1:50 000 (авторы В.В. Шарин, А.С. Окунев, Е.А. Лазарева, редактор Е.А. Гусев) на русском и английском языках. Подготовлена к публикации «Геоморфологическая карта района бухты Петунья» масштаб 1:50 000 (автор В.В. Шарин, редактор Е.А. Гусев). Кроме этого, созданы ряд карт геоморфологического содержания (карты уклонов, интенсивности деструктивных процессов и др.) на районы Российских поселков Пирамида и Грумант (автор Е.А. Лазарева, редактор В.В. Шарин).

В период с 2000 по 2018 гг. в рамках работ по геологическому доизучению архипелага Шпицберген в ПМГРЭ был составлен ряд геоморфологических карт масштабов 1:1 00 000 и 1:200 000. В их число входит «Геоморфологическая карта Земли Веделя Ярлсберга» (автор В.В. Шарин, 2018 г.). На базе этой карты создана серия палеогеографических схем, отображающих колебания уровня моря в позднем неоплейстоцене–голоцене и деградацию ледникового покрова за последние 115 лет. На основе геофизических и морфологических данных составлена карта толщины льда Земли Веделя Ярлсберга.

Перспективные планы геоморфологического направления связаны с реализацией программы по созданию новой геолкарты архипелага масштаба 1:1 000 000 с использованием новейших материалов, полученных в последние 20 лет. При выполнении этой программы большое значение будет иметь широкая кооперация Шпицбергенской партии ПМГРЭ с другими профильными организациями.

POSTER 4.20

ПОСТЕР 4.20

**VARIATIONS OF THE TOTAL ELECTRONIC CONTENT DURING
THE ACTIVE EXPOSURE TO THE HEATING COMPLEX**

Yu.A. Shmelev (AARI, SUAI), E.E. Leonenko (AARI, SUAI),
A.S. Kalishin (AARI)*

**ВАРИАЦИИ ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ ВО
ВРЕМЯ АКТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
НАГРЕВНОГО КОМПЛЕКСА**

Ю.А. Шмелев^{1,2}, Е.Е. Леоненко^{1,2}, А.С. Калишин¹*

¹ — ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

² — Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия

** shmelev_jury@aari.ru*

Полное электронное содержание (ПЭС) один из основных параметров, характеризующих состояние ионосферы. ПЭС характеризуется количеством электронов в вертикальном столбе с поперечным сечением 1 м² и высотой от поверхности Земли до условного окончания ионосферы. Вариации ПЭС показывают изменение плотности электронной концентрации в ионосфере. Известно, что во время геомагнитного возмущения происходит вариативное изменение ПЭС. Так же известно, что при увеличении значения ПЭС сигнал, проходящий через возмущенную область ионосферы претерпевает все более сильное изменение, что позволяет оценивать по значению ПЭС различные статистические параметры, как самой ионосферной бури (фаза бури, интенсивность бури), так и параметры, которые играют наиболее существенную роль при ионосферном распространении радиоволн: критические частоты, предельные частоты, высоты слоев и т.п. В рамках данной работы исследована возможность использования ПЭС для оценки эффектов воздействия мощных КВ радиоволн на высокоширотную ионосферу. Для этого исследованы вариации наклонного ПЭС по лучу распространения во время активного воздействия КВ нагревного комплек-

са EISCAT/HEATING в высокоширотной ионосфере в рамках нагревного эксперимента проводимого специалистами отдела геофизики ААНИИ в октябре 2019 г. Значения ПЭС рассчитаны за октябрь 2019 г. по данным двухчастотного GNSS приемника Leica GS10, установленного на НИС «Горьковская» отдела геофизики ААНИИ. Расчет ПЭС производился по GNSS данным, полученным со спутников группировки GPS. Необходимые для расчета спутники выбирались исходя из геометрического фактора, спутник должен был находится в зоне эксперимента и сигнал со спутника должен был проходить к GNSS приемнику через искусственно возмущенную F-область ионосферы. При выполнении работы было выяснено, что при прохождении радиолуча через искусственно возмущенную F-область ионосферы, наблюдаются вариации значения ПЭС. Результатом работы является подтверждение перспективности использования значений ПЭС для исследования различных параметров (размера, плотности, критической частоты распространения радиосигнала и т.п.) искусственно возмущенной F-области ионосферы, возникающей во время активного воздействия КВ нагревного комплекса EISCAT/HEATING в высокоширотной ионосфере.

Работа поддержана грантом № 18-05-00343 РФФИ.

POSTER 5.1

ПОСТЕР 5.1

**MORE THAN 20 YEARS OF TERRESTRIAL RESEARCH
COOPERATION BETWEEN AARI AND AWI POTSDAM - PAST,
PRESENT, FUTURE**

*G. Grosse¹, H.-W. Hubberten¹, J. Boike¹, D. Fritzsche¹, M. Melles²,
H. Meyer^{1*}, A. Morgenstern¹, V. Rachold¹, L. Schirrmeister¹, W. Schneider¹,
C. Siebert¹, D. Yu. Bolshiyarov³, G. Fedorov³, S. Verkulich³, A. Makarov³,
I. Fedorova⁴, E.-M. Pfeiffer⁵, M. Grigoriev⁶*

¹ — Alfred Wegener Institute Helmholtz Center for Polar and Marine Research, Potsdam, Germany

² — University of Cologne, Cologne, Germany

³ — State Scientific Center of Russian Federation Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

⁴ — Saint. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

⁵ — University of Hamburg, Institute of Soil Science, Hamburg, Germany

⁶ — Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia

** Hanno.Meyer@awi.de*

An important step for joint Russian-German terrestrial research in the Polar Regions was the foundation of the Potsdam Research Unit of the Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research (AWI Potsdam) in the

year 1992. Integrating the former East German Antarctic Research Program, which developed in close collaboration with Soviet partner institutions, into AWI helped facilitating new endeavors that built on the long partnership and experience of former East German and Soviet scientists. The subsequent joint Russian-German terrestrial geoscientific research with AARI and AWI as main partners initiated a new focus on North Siberia, strongly relying on the 1995 bilateral cooperation agreement on marine and polar research between the Ministry of Education and Science of the Russian Federation and the Federal Ministry of Education and Science of the Federal Republic of Germany.

Joint research started as early as in 1993 with Taymyr projects with mainly limnological, geocryological, and geomorphological scientific orientation, which continued until 1997 and with Arctic River projects to the Lena, Yana, and Khatanga rivers (1994–1996). This successful joint research was then continued in the framework of the Russian-German Laptev Sea projects (Laptev Sea, Laptev Sea 2000, System Laptev Sea) which started in 1998 with work in the coastal realm of the Laptev Sea region, North-East Siberia, in collaboration between Geomar, AWI, AARI, and several other institutions in both countries. In this framework, the installation of a common terrestrial research base in the central Lena Delta was established on Samoylov Island and facilitated the start of the annual Lena Expeditions with their focus on terrestrial polar research. The Samoylov Station allowed for the establishment of long-term monitoring programs on meteorological parameters, water and energy fluxes, delta hydrology, as well as cryolithological and cryopedological key parameters such as active layer depths and soil temperature and moisture. Further terrestrial research foci were set on permafrost research, palaeoclimate, paleoecology, lake and river hydrology, geomorphology, but also included land-ocean interactions along coasts, subsea permafrost, and geophysics. In this context, the COAST project in 2005 targeted cooperative drilling of several sediment cores in the nearshore zone of the western Laptev Sea and reached subsea permafrost. The Lena Expeditions continued with the focus on permafrost and terrestrial systems, receiving major support through the BMBF-Project “CARBOPERM” for the years 2013–2015 and the subsequent and still ongoing BMBF-project “KoPf”.

Since the mid 1990s, permafrost research was at the center of numerous expeditions with AWI and AARI participation and in close Russian-German cooperation: starting 1996 at Cape Sabler at Labaz Lake, continuing 1998 on Bykovsky Peninsula, and 1999 on Big Lyakhovsky Island.

During the LENA 2002 expedition, a ship expedition on RV “Pavel Bashmakov” led along the coasts of the New Siberian Islands and the adjacent

mainland. In August/September 2002, 12 locations were examined as part of the Russian-German cooperation, most of them for the first time. The aim of the Russian and German scientists on board was to gain new insights into the development history of the New Siberian Islands with a focus on the topics of paleo-environment and coastal dynamics. Since 1998, every year interdisciplinary Lena Expeditions have been organized mainly under the responsibility of AARI, AWI, the Melnikov Permafrost Institute, Yakutsk and the University of Hamburg to understand the complex dynamics of permafrost landscapes in Siberia. Multiple joint expeditions were conducted to better understand the paleoenvironmental conditions under which Yedoma Ice Complex deposits and Holocene thermokarst deposits were formed in the Laptev Sea region. The findings from these studies include diverse results from paleoecology, biogeochemistry and carbon cycling, cryolithology and stratigraphy, and paleogeography. One important aspect of the permafrost-related research was the work on ice wedges, which specifically capture the winter season climate signal in their ice. These show for the Lena Delta a natural gradual warming over the past 7.000 years towards a recent maximum as shown in a much-noticed publication. This contrasts with long-term Holocene summer cooling seen in many other Arctic proxies (i.e. in pollen), but confirms what palaeoclimate model simulations predicted.

In summer 2010, former Prime Minister V.V. Putin visited the Russian North including Tiksi, the Lena Delta and Samoylov Island. Recognizing the importance of the joint scientific work and the high value of the stable and functional Russian-German research consortium, it was decided to build a new infrastructure for bringing this important work to a new scientific level. In March 2013, the new, modern, year-round manned Research Station Samoylov Island was inaugurated. It is now owned and operated by the Trofimuk Institute for Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS) and represents a large improvement of the scientific base with continuous water and energy supply enabling scientist to expand the period of scientific work also to the winter season. Technological advances and the new station allowed for continuous monitoring of carbon dioxide, methane, and water vapour fluxes to the atmosphere as well as employing remote sensing techniques for upscaling the process knowledge to regional and hemispheric scales including full carbon budgets from the vulnerable permafrost areas.

Cooperative *limnological* projects were in the scientific focus since the early years of cooperation between AARI and AWI Potsdam, i.e. studying lake systems in the Antarctic oases in the early 1990s, within the Taymyr project (1994–1997) dedicated to palaeoenvironmental research on Taymyr

Peninsula (Taymyr, Lama, Levingson-Lessing Lakes extending to Severnaya Zemlya, Changeable Lake). Between 1998 and 2003, several joint field campaigns to El'gygytyn crater lake in Chukotka took place culminating in the deep drilling of a 518 m long core in winter 2008/2009 covering the full Quaternary lake sedimentary sequence reaching to the Tertiary (318 m) as well as ca. 200 m of underlying impact breccia at the El'gygytyn Crater. This was the first time such a long and continuous terrestrial Arctic archive was retrieved in this region unglaciated since the Pliocene. In the same project, a unique about ca. 140 m long permafrost core was retrieved in the vicinity of the El'gygytyn lake elucidating the local periglacial framework and freeze-thaw cycling (Schwamborn et al., 2014). Since then, joint AARI-AWI activities in the field of limnology were continued in the PLOT (Palaeolimnological Transsect) project (2013, 2015–2019, synthesis since 2019) co-funded by the German and Russian ministries. The PLOT project includes an about 6000 km long limnological transect from Ladoga Lake to El'gygytyn targeting potentially old lakes (MIS3 and older). Field work involved lake drilling, geophysics and hydrology; interpretation focuses on sedimentary, (bio)geochemical and microbiological proxies, as well as a modelling component connecting the lakes.

In addition, *glaciology* projects were a scientific target between AWI and AARI from 1999 to 2001 with field seasons for glaciological investigations and ice coring on Severnaya Zemlya. Here, a 730 m deep ice core was recovered from the Akademii Nauk (AN) ice cap. The Severnaya Zemlya archipelago hosts the easternmost ice caps of the Arctic. The AN ice core comprises the Late Holocene (at least 2700 years) of palaeoclimate history in very high (annual) resolution and still is a unique and not yet fully explored archive.

The longterm German-Russian collaboration in terrestrial Polar Research generated an international team of scientists from Russia, Germany, and several other nations, which now lasts since more than 25 years. Within this collaboration, joint expeditions were conducted every single year, which is a unique and probably in the scientific world unprecedented sign of equal partnership and friendship. Russian and German partners profited equally from this intense collaboration and made invaluable experiences under Arctic conditions. The cooperation has been very successful in obtaining datasets of unique materials, major scientific output and key publications related to the state and fate of polar environments. Based on this strong fundament, the joint activities will be continued in the framework of the Lena Expeditions and hopefully in the future additional research objects such as the Russian High Arctic Island geocryology.

**THE FORMATION OF LICHEN-SHRUB TUNDRA IN THE ARCTIC
AGAINST THE BACKDROP OF THE GEOGRAPHICAL EVENTS OF
THE NEOGENE-QUATERNARY**

S.S. Kholohd

Komarov Botanical institute Russian academy of sciences, St. Petersburg, Russia

sergeikhholod@yandex.ru

To consider the historical process of formation of lichen-shrub communities of the *Loiseleurio-Arctostaphylion Kalliola ex Nordhagen 1943*, the vicariant-cladistic model — cladogram was used, which is based on the idea of the sequential decay of the original unified area of this union, which occurred under the influence of the collapse of the consolidated land mass of the Arctic during the Neogene period. The criterion for determining the time of separation of a particular part of the range from a single array (divergence of features) was the value of the index of geographical differentiation of the syntaxon (Id), which is the ratio of the number of endemic species of a particular area to the number of plant species that differentiate the syntaxon currently represented in this area. The decrease in the value of this indicator for different regions of the Arctic which is reflected in the cladogram corresponds to a consistent process of disintegration of the single original area of the union of lichen-shrub tundras.

For the process of phylogenesis in the Arctic, it is crucial, on the one hand, to cover glaciation and the subsequent development of vegetation in areas that were freed from the glacier, and on the other — the presence of large not-glaciated areas of land, which could be preserved not only certain taxa, but also communities, the formation of which took place long before the epoch of glaciation. Such sites existed within the Eoarctic or ancient Arctic, which was the scene of the formation of the Arctic biota.

To create a biogeographic history of lichen-shrub tundras, the paleogeographic situation in the Arctic and Eastern Siberia is crucial for several time sections of the Cenozoic and, in particular, the time of the starting point, when the largest consolidated land masses existed in this region on the one hand, and vegetation dominated, which could become the basis for the formation of lichen-shrub tundras on the other. In addition to this time, the paleogeographic situation in the intermediate epochs between the original time point and the present, which corresponds to the zero mark of the ocean level, is of significant importance for this work.

Consideration of the biogeographic situation in such epochs allows us to assess the dynamics of the distribution of communities of lichen-shrub tundra against the background of the maximum regression of the ocean, followed by transgression and again-regression. The data of historical Geology accumulated to date allow us to conclude that the largest land area of the Arctic reached at the very end of the Miocene-the beginning of the Pliocene, in the time period 5.0–6.0 million years ago, corresponding to the maximum regression of the ocean (in particular, the time of the Messinian crisis, dated 5.8 million years ago). It is at this time that the beginning of the formation of tundra vegetation, which existed against the background of the dominant Arctic-tertiary mixed coniferous (pine)-small-leaved forests, dates back.

All types of communities included in the Loiseleurio-Arctostaphylon Kalliola ex Nordhagen 1943 union, both at present and in past geological epochs, are formed in the conditions of gravelly substrates on derivatives of chemically acidic rocks. Such substrates are especially typical for highly destroyed, usually low, mountain ridges, composed of various versions of shale, sandstone, siltstone with a minimum content of calcium carbonate and subjected to intensive denudation during the Quaternary time. In addition, the arena of formation or consolidation of lichen-shrub tundras could be drained sea shelves of the East Siberian sector of the Arctic. A number of species of shrubs and grasses are equally rooted on sandy substrates, which seem to have prevailed on the surface of drained shelves.

The lichen-shrub communities of the Verkhoyano-Kolyma mountain country ($Id = 0.29$) are the most ancient, having been formed already in the middle of the Pliocene. The isolation of this area from the Arctic occurred during mountain formation, when conditions were created for the formation of mountain tundras with arctoalpine (arctoholz) shrubs (*Empetrum subholarcticum*, *Diapensia obovata*, *Rhododendron parvifolium*, *Cassiope tetragona*). At the same time, this complex also included hypo-arctomontane races of the genus *Vaccinium*, whose ancestors came from mixed-type arctotretic forests that continued to occupy large areas on the periphery of the circumpolar land. Near the ocean shore, already in the Miocene, large-shrub and small-wood formations of the type of modern alders and willows were formed. Somewhat later, probably in the mid-to late Pliocene, the communities currently represented on Wrangel island ($Id = 0.27$) were formed; this is one of the most continental variants among all the communities of the union. This type probably formed parallel to the tundra communities that dominated the drained shelf of the East Siberian sea. Wrangel island, on the mountain

slopes of which these communities are currently distributed (with a large role in them *Dryas punctata*), was isolated from the rest of the Arctic (most likely forest) by a shelf treeless plain with grassy communities. Lichen-shrub communities may have had some distribution on the shelf, where they were displaced by glacial tundra in the warm interstadial Pleistocene. Much to the west are isolated communities of the Polar Urals ($I_d = 0.25$). Located to the east of the Urals, the West Siberian plain provides very few habitats suitable for spreading communities of lichen-shrub tundras. Elements of these latter could only have entered the Polar Urals from the Altai-Sayan mountain country, and accordingly the number of endemic species could have been greater than at present. However, this area during the Pleistocene period was repeatedly subjected to cover-type glaciations: these could be shields, both the North — Polar-Ural and Novaya Zemlya ones. Under these conditions, the area where pre-glacial vegetation could be preserved was extremely narrowed. Species displaced from their usual habitats by the glacier could not find shelter on the plain: parallel to the glaciation of the Ural range, the surrounding plains — the north-east of the East European and West Siberian — were subjected to a powerful transgression. The factor that most contributed to the impoverishment of the vegetation composition of the Polar Urals was the forest moving to the lower levels of the mountains in the next Pleistocene interstadial. In the north-west of the North American continent, the formation of communities of this type finally occurred in the Pleistocene epoch: at this time, there is a sharp impoverishment of Alaskan ($I_d = 0.21$) communities, both during the periods of glaciation, when powerful glaciers of mountain-valley and cover type were formed within the Brooks range, and in the interstadials, when forest vegetation was approaching from the south. Tundrosteps, in contrast to the north of Eastern Siberia, were fragmentary here: in any case, there was probably no isolation of lichen-shrub communities from forest vegetation by grass communities. In contrast to the Asian sector of Beringia (Chukotka and Wrangel island), the American sector was affected by abrupt climate changes during the Pliocene-Quaternary period: these were repeated draining and sinking of the Beringian land bridge and, in addition, repeated glaciation. This led to the fact that the connection of Alaskan vegetation with the rest of Beringia and the Verkhoyano-Kolyma mountain country was repeatedly interrupted. The vegetation of Alaska was strongly influenced by low-arctic elements throughout the Pleistocene, but even these elements were constantly destroyed during periods of glaciation and sea transgressions. All this together led to the fact that the composition of the lichen-shrub tundra of this territory was very little enriched with endemic elements.

**WHAT DO ROCK MICROBES
IN THE ARCTIC DESERT TEACH US?***Y.K. Lee*, Y.H. Choe, M. Kim**Korea Polar Research Institute, Incheon, Republic of Korea***yklee@kopri.re.kr*

The rock seems to be far from life, but it is a cozy reservoir for some microbes. Especially in extreme conditions, rocks are important habitats for microbes, but diversity and metabolism of rock-inhabiting microbes are still poorly understood. The diversity and abundance of microbes inhabiting different types of rock of Svalbard were examined using next-generation sequencing techniques. Bacterial and fungal community structures were different among rock types: sandstone, limestone, basalt, granite, and travertine. Bacterial communities were dominated by Actinobacteria, Proteobacteria, Chloroflexi, Bacteroidetes, and Acidobacteria. Fungal communities consisted of Eurotiomycetes, Lecanoromycetes, Dothideomycetes, and Leotiomycetes. The microbial community structures were significantly correlated with the geochemical characteristics of rocks. It was correlated with Mg and Ca in the bacterial community, and Fe in the fungal community. Most dominant bacteria and fungi were closely affiliated to those found in other cold regions such as Arctic, Antarctic, and Alpine areas. The cold and dry environment may lead to convergence in microbial community composition. Then, which factors further influenced the microbial community, either the characteristics of rocks or the external climatic environment? The microbial communities of two types of rock (limestone and sandstone) and their soil samples in the same climate regime were examined to understand the influence of rocks' characteristics. There were common dominant phyla among limestone, sandstone, and their soil samples: Proteobacteria, Actinobacteria, Acidobacteria, Cyanobacteria, Bacteroidetes (bacteria); Thaumarchaeaota (archaea); Ascomycota (fungi); and Chlorophyta (other eukaryotic microbes). The community structure and relative abundance, however, differed each other at the lower taxonomic levels. Network analysis of the bacterial and fungal communities revealed that lichen-forming fungi, such as Capnodiales, Verrucariales, and Lecanorales played an important role as a hub in the community in cold deserts. This study shows that under the same climate condition, the characteristics of rocks can affect the composition of the microbial communities.

**COMPLEX BOTANICAL STUDY OF SHOKALSKY ISLAND
(GYDANSKYI RESERVE)**

L.N. Beldiman (BIN RAS), I.N. Urbanavichene (BIN RAS),
V.E. Fedosov (MSU), E.Yu. Kuzmina (BIN RAS).*

**КОМПЛЕКСНОЕ БОТАНИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ
О-ВА ШОКАЛЬСКОГО (ГЫДАНСКИЙ ЗАПОВЕДНИК)**

Л.Н. Бельдиман^{1}, И.Н. Урбанавичене¹, В.Э. Федосов², Е.Ю. Кузьмина¹*

¹ — *Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург,
Россия*

² — *Московский государственный университет им. Ломоносова,
г. Москва, Россия*

** beldiman@yandex.ru*

Гыданский государственный природный заповедник охватывает только самые северные территории Гыданского п-ова на территории Западно-Сибирского сектора Российской Арктики: п-ов Явай (к северу от 72-й параллели), северную и северо-западную части п-ова Мамонта, п-ов Олений, побережье Юрацкой губы, о-ва Олений, Шокальского, Песцовые, Проклятые и Ровный. Общая его площадь — 898 174 га. Вся территория заповедника лежит за полярным кругом (73°10'–71°40' с.ш., 79°30'–74° в.д.) и занята зональными тундровыми сообществами. Большая часть из них относится к подзоне арктических тундр, характеризующихся сомкнутым или почти сомкнутым лишайниково-моховым или кустарничково-травяным покровом.

Обследованный о-в Шокальского характеризуется небольшими отметками высот — до 27 м над ур. м., сетью рек, ручьев, озерами и заболоченными участками, расчленяющими остров на пологие, полигонально-трещиноватые увалы. Согласно статусу ООПТ заповедник изъят из хозяйственного использования, поэтому, мониторинг природных комплексов о-ва Шокальского может дать ценную информацию об их динамике в отсутствии антропогенного пресса.

Современные сведения о флоре и растительности заповедника крайне ограничены. В 1926 г. А.И. Толмачевым опубликован предварительный очерк растительности северо-восточного побережья Гыданского п-ова по данным экспедиции Комитета Северного Морского Пути 1926 г., ставшей исторической (Толмачев, 1926). Отдельные сборы Толмачева наиболее массовых видов лишайников с территории Гыдана хранятся в гербарии БИН РАН.

В 1984 г. отрядом II Полярной экспедиции Ботанического института им. В.Л. Комарова АН СССР проведено ботанико-географическое изучение территории островов Белого и Шокальского. По результатам экспедиции опубликованы две статьи характеризующие лишенофлору (Андреев, Добрыш, Ребристая, 1987) и флору сосудистых (Ребристая, 2002). К началу наших исследований эти публикации были первыми и единственными работами, посвященными растительному миру о-ва Шокальского.

В августе 2019 г. Л.Н. Бельдиман проведено геоботаническое обследование юго-западной оконечности о-ва Шокальского, одной из задач которого стало изучение флористического и фитоценотического разнообразия этого участка. Геоботанические пробные площади (4×4 м; 37 площадок), закладывались в характерных формах рельефа. Мера обилия — проективное покрытие в процентах от пробной площади. Каждое описание сопровождалось сбором справочного гербария сосудистых (46 гербарных листов), мхов (162 пакета) и лишайников (22 пакета). Выявлены и обследованы основные местообитания: 1) дренированные перегибы и склоны увалов; 2) пологие склоны увалов к их вогнутому центру; 3) вогнутый центр увалов; 4) овраги; 5) водосборные цирки с группами бугров пучения у истоков временных водотоков; 6) дельты речек, затопляемые морскими водами во время приливов; 7) песчаные пляжи; 8) абразионный уступ.

Наиболее дренированные участки заняты травяно-кустарничковыми мохово-лишайниковыми и лишайниково-моховыми сообществами. Общее покрытие растительностью от 25 до 90 %. Сосудистые растения занимают от 15 до 70 % пробной площади. Сообщества характеризуются комплексом видов *Dryas punctata*, *Salix nummularia*, *S. polaris*, *Polygonum viviparum*, *Luzula confusa*, *Poa arctica*, *Alopecurus alpinus*, *Pedicularis hirsuta*, *Minuartia macrocarpa*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Carex bigelowii ssp. arctisibirica*. Обилие мхов до 60 %. Сообщества характеризуются комплексом видов *Hylocomium splendens*, *Racomitrium lanuginosum*, *Aulacomnium turgidum*, *Sanionia uncinata*, *Polytrichum juniperinum*, *Dicranum elongatum*. Лишайники в лишайниковых вариантах занимают до 50 % площадки. Доминируют *Cladonia macroceras*, *C. mitis*. Постоянно присутствуют *Dactylina arctica*, *Cetraria islandica*, *Flavocetraria cucullata*, *Thamnia vermicularis*, *Ochrolechia frigida*, *Sphaerophorus globosus*. Реже встречаются *Stereocaulon rivulare*, *Nephroma expallidum*, *Gowardia nigricans*, *Bryocaulon divergens*, *Peltigera spp.*, *Parmelia omphalodes*, *Alectoria ochroleuca*. Единичны находки *Stereocaulon alpinum*, *Dactylina ramulosa*, *Ochrolechia androgyna*, *O. inaequatula*, *Cladonia arbuscula*, *Peltigera canina*.

Пологие склоны увалов заняты заболоченными полигональными тундрами. Сомкнутость растительности на полигонах 55–75 %. Это тра-

вяно-моховые сообщества со сфагнами. Характерно присутствие комплекса видов *Carex stans*, *Dupontia psilosantha*, *Saxifraga cernua*. Реже встречаются *Eriophorum russeolum*, *Luzula confusa*, *L. nivalis*, *Saxifraga foliolosa*. Покрытие мхами достигает 75 %. Постоянно присутствуют и часто доминируют виды рода *Sphagnum*. Встречаются *Dicranum elongatum*, *Polytrichum spp.*, *Aulacomnium palustre*. Лишайники единичны: *Cladonia macroceras*, *C. arbuscula*, *C. amaurocraea*, *C. uncialis*, *Peltigera scabrosa*, *Cetraria islandica*, *Cetrariella delisei*. Заболоченные берега озер заняты подобными травяно-моховыми со сфагнами сообществами. В них также отмечены *Arctophila fulva*, *Dupontia fischeri*, *Eriophotum scheuchzeri*, *Hierochloë pauciflora*.

Бугры пучения на болотах и у истоков рек имеют высокую сомкнутость растительности (до 95 %) при небольшом участии сосудистых (до 20 %). Они заняты травяно-лишайниково-моховыми сообществами с *Polygonum viviparum*, *Dupontia psilosantha*, *Luzula confusa*, *L. nivalis*, *Arctagrostis latifolia*, *Eriophorum russeolum*, *Saxifraga foliolosa*, *Carex bigelowii ssp. arctisibirica*, *Cardamine pratensis*. На высоких и хорошо дренированных буграх преобладают *Polytrichum juniperinum* и *Dicranum elongatum*, на низких — сфагны (до 95 %). Лишайники немногочисленны и необильны (5 %): *Cladonia macroceras*, *C. coccifera*, *C. rangiferina*, *C. uncialis*. Ложбины между полигонами или буграми пучения заняты травяно-зеленомошными сообществами (90–100 %). Видовой состав сосудистых напоминает сообщества полигонов, но беднее. Постоянно присутствуют *Carex stans*, *Dupontia psilosantha*. Мхи обильны (65–70 %), доминируют *Warnstorfia spp.*, сфагны единичны. Единично отмечены *Cladonia macroceras* и *C. mitis*.

Дельты, периодически затопляемые морскими водами, характеризуются развитием травяно-осоково-злаково-моховых сообществ. Сомкнутость 70–95 %, из них сосудистых 30–90 %. Постоянно присутствуют виды *Dupontia psilosantha*, *Carex subspathaceae*, *Stellaria humifusa*. В наиболее часто затопляемых сообществах высока доля *Puccinellia phryganodes*. Доля зеленых мхов варьирует и зависит от частоты затопления: *Drepanocladus sp.*, *Sanionia uncinata*, *Bryum sp.* Лишайники единичны: *Stereocaulon rivulare*.

Склоны оврагов заняты травяно-кустарничковыми моховыми сообществами. Сомкнутость от 35 до 100 %. Доля сосудистых до 40 %. Постоянно присутствуют *Salix nummularia*, *S. polaris*, *Polygonum viviparum*, *Poa arctica*, *Cerastium regelii*, *Saxifraga cernua*, *Oxyria digyna*, *Ranunculus nivalis*, *R. hyperboreus*, *Juncus biglumis*. Доля зеленых мхов высока и достигает 95 %. Лишайники встречаются часто с малым обилием: *Stereocaulon rivulare*, *Cetraria islandica*, *Cetrariella delisei*,

Cladonia macroceras, C. pyxidata, Nephroma expallidum, Ochrolechia frigida, Peltigera leucophlebia, Sphaerophorus globosus.

На песчаных пляжах развиты осоково-злаковые сообщества низкой сомкнутости. Они образованы пятнами *Dupontia fischeri, D. psilosantha, Puccinellia phryganodes, Deschampsia obensis, Carex ursina, C. subspathacea*. Абразионный уступ занят разнотравно-злаковыми сообществами с участием мхов. Сомкнутость 50 %. Видовое разнообразие сосудистых довольно высоко: *Poa arctica, Arctagrostis latifolia, Stellaria ciliatosepala, Calamagrostis holmii, Luzula confusa, Dupontia fischeri, Saxifraga cernua, S. foliolosa*. Лишайники единичны: *Peltigera canina*. В моховом покрове (5 %) *Polytrichum juniperinum, Aulacomnium palustre*.

В результате проведенных полевых и камеральных ботанических исследований проанализированы геоботанические описания для 37 площадок, впервые для о-ва Шокальского выявлено: 77 видов зеленых мхов, 5 видов р. *Sphagnum*; впервые указано 4 вида сосудистых растений и 10 видов лишайников. Список флоры лишайников Гыданского заповедника дополнен до 65 лишайников, мохообразные собраны и идентифицированы впервые.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 18-05-60093 Арктика.

POSTER 5.5

ПОСТЕР 5.5

NOXOLOGICAL ASPECTS OF NATURAL ENVIRONMENT COMPLEX RESEARCH TO ENSURE THE SAFETY OF ARCTIC DEVELOPMENT

V.I. Gumenuk (SPbPU), V.A. Iankina (Research Institute of the NW-N (R) Development Problems), V.V. Ivanov (AARI)

НОКСОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ АРКТИКИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЕЕ РАЗВИТИЯ

В.И. Гуменюк¹, В.В. Иванов², В.А. Янкина³

¹ — Санкт-Петербургский политехнический институт Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

² — ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

³ — Институт проблем развития Северо-Запада и Севера ФПСИ, Санкт-Петербург, Россия

* *acc.spb2018@mail.ru*

Ноксологические аспекты исследований природной среды в настоящее время представляют интерес как для производственных организа-

ций, осваивающих арктические ресурсы, так и для лиц принимающих управленческие решения.

Обсуждается возможность учета рисков управления развивающимися территориями Арктики путем создания и эксплуатации современной системы мониторинга и организации и использования Системы распределенных ситуационных центров (СРСЦ) (В.И.Гуменюк, Е.Ф. Чичкова, В.А. Янкина и др.)

По мнению проф. Н.И. Ильина классификация существующих моделей и методов обработки информации с позиции их использования в Ситуационных центрах (СЦ) для решения функциональных задач управления сводится к следующему.

«В процессе анализа, мониторинга и контроля социально-экономических и общественно-политических процессов и явлений, используются многофакторные модели, построенные на основе методов математической статистики (корреляционный, регрессионный, факторный, кластерный анализ), индексные модели.» При этом «В чрезвычайных ситуациях процесс управления протекает в условиях дефицита времени, неопределенности и неполной информации. Для поддержки принятия решений в такой обстановке полезно использовать когнитивное, сценарное и ситуационное моделирование с привлечением экспертов. Для оценки последствий техногенных и природных чрезвычайных ситуаций используется аппарат дифференциального исчисления.»

Проф. Н.И. Ильиным с коллегами сформулированы основные направления развития интеллектуальных технологий в СРСЦ, которые в части исследований природной среды Арктики могут быть (с нашей точки зрения) уточнены следующим образом

1. Развитие информационной поддержки всех функций управления (прогнозирование, планирование с учетом рисков, контроль, регулирование, отчетность). Для этого необходимо формирование соответствующей современным требованиям сети наблюдений в Арктике. При этом наблюдения должны проводиться не за отдельными гидрологическими и метеорологическими элементами (как это принято в настоящее время в Росгидромете), а за комплексом характеристик природных процессов, развивающихся во времени и в пространстве (В.В.Иванов, В.А.Янкина и др.) Это позволит оценить вероятные результаты их сочетанного воздействия, определить диапазон изменчивости ноксологических параметров.

2. Создание информационно-моделирующей платформы СРСЦ (ИМЦ СРСЦ). Архивы, базы (включая метабазы) и банки данных о со-

стоянии природной среды Арктики и ее изученности, формировавшиеся долгие годы, и современные Базы данных; организованные новым поколением исследователей, владеющих новейшими методами обработки информации. должны быть сопряжены и обобщены для получения представления о возможности этой информации в создающуюся ИМП СРСЦ (В.И. Гуменюк с соавторами).

3. Разработка и внедрение системы экономико-математических моделей ситуационного анализа (ЭММ СА). Для использования информации о природной среде, например, в районах формирования минерально-сырьевых центров в Арктике, при разработке ЭММ СА; прежде всего, придется организовать мониторинг состояния природной среды в этих районах. Использование нерепрезентативных данных существующей сети наблюдений исказит, в первую очередь, нокологические характеристики (из-за явной «разбалансировки» схемы их формирования в условиях изменений климата по типу барических и температурных «пил»)

4. Увеличение номенклатуры собираемой и хранимой разнокатегорийной информации из различных источников. Это коснется и комплексных исследований природной среды Арктики для решения прикладных задач (К.П. Карасев, С.С. Татаурщиков, О.А. Трошичев и др.) Огромные массивы необработанных данных по Арктике отличаются по номенклатуре, в первую очередь, по номенклатуре угроз и опасностей, от принятых для других регионов (номенклатуры ВОЗ, ВМО, Росгидромета). Переработка нормативно-методических материалов, разработка арктических стандартов с учетом нокологических аспектов — первоочередная задача (В.В. Иванов, В.А Янкина, В.И. Гуменюк. М.Н. Григорьев и др.))

5. Обмен разнокатегорийной информацией между органами исполнительной власти в процессе решения функциональных задач не только в режиме on-line, но и в режиме off-line, включая видеоконференцсвязь. Устойчивые коммуникации в Арктике не могут быть достигнуты просто «дублированием». Необходим «тройственный союз» основных разрабатываемых в настоящее время способов информационного обмена с учетом труднодоступности (и не только пространственной) многих территорий Арктики.

6. Разработка специализированного шлюза, обеспечивающего фильтрацию поступающей информации, включая синтаксический и семантический анализ, проверку достоверности, полноты и своев-

ременности поступления перед загрузкой в БД. «Ноксологические компетенции» специалистов, высокая квалификация программистов, обеспечивающих комплексные исследования природной среды Арктики, обеспечение, соответствующее требованиям СРСЦ — обязательные условия решения сформулированной выше задачи. Поэтому необходимо не только формирование «исследовательской элиты» в арктическом научно-техническом социуме, но и введение спецкурсов (например «Арктическая ноксология») и арктических факультативов в программы обучения в ВУЗах РФ, и в первую очередь, в региональных университетах, при этом не только северных регионов (пример — курс С.В.Комонова в Кубанском ГУ)

7. Реализация механизма защиты информации и средств криптографической защиты непосредственно в информационных системах. Это отдельный и трудный для ноксологической информации в Арктике вопрос. Межведомственный и социальный конфликты интересов в этой части уникального (по разорванности информационного поля, по плотности событий) макрорегиона — Арктической зоны Российской Федерации - осложняют решение указанной выше задачи.

При выполнении этих задач ноксологические аспекты прикладных исследований природной среды Арктики будут представлены в объеме достаточном для обеспечения безопасного развития хозяйственной и военно-технической деятельности в Арктике.

Предлагается внести это направление исследований не только в рамках проекта «АКМОН 2020» в МКЦП «Арктические технологии», но и в программы, организуемые НИИ РИНК ЦЭ. Кроме того, представляется целесообразным на данном этапе пересмотреть цели, задачи и сроки финансирования и выполнения раздела, посвященного обеспечению комплексной безопасности программы «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации до 2035 года»

Остается надеяться, что в современной Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации до 2035 года, обсуждаемой в начале 2020 года в Правительстве РФ, будут учтены ноксологические аспекты исследования природной среды макрорегиона с целью включения сведений о них в состав «разнокатегорийной информации» для СЦ, работа которого должна обеспечить комплексную безопасность развития Арктики и Северного морского транспортного коридора.

**THE SPECIES COMPOSITION AND STRUCTURE
OF THE FISHING ICHTHYOFAUNA OF LARGE LAKE SYSTEMS
OF THE NENETS AUTONOMOUS OKRUG**

G.A. Dvoryankin (FCIARctic), A.K. Kozmin (PINRO),
V.I. Timofeev (PINRO)*

**ВИДОВОЙ СОСТАВ И СТРУКТУРА ПРОМЫСЛОВОЙ
ИХТИОФАУНЫ КРУПНЫХ ОЗЕРНЫХ СИСТЕМ
НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА**

Г.А. Дворянкин¹, А.К. Козьмин², В.И. Тимофеев²*

¹ — *Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
им. академика Н.П. Лаврова Уральского Отделения РАН,
г. Архангельск, Россия*

² — *Северный отдел Полярного филиала Всероссийского
научно-исследовательского института рыбного хозяйства
и океанографии, г. Архангельск, Россия*

** dga130157@gmail.com*

Рыбное хозяйство на внутренних водоемах Европейского Северо-Востока России (ЕСВР) — Архангельской области, Ненецкого автономного округа и республики Коми — с начала 90-х годов прошлого столетия вступило в полосу затяжного кризиса, основные черты которого заключаются в снижении общих показателей вылова, сокращении запасов ценных видов рыб. Так, например, в Ненецком автономном округе за последние 50 лет выловы сиговых рыб упали более чем в десять раз. Такая же картина наблюдается и в других промысловых районах ЕСВР. Основных причин здесь две: перелов (включая браконьерский промысел) и ухудшение условий среды обитания рыб (особенно в главных реках региона — Северной Двине и Печоре).

Восстановление рыбохозяйственной отрасли на внутренних водоемах ЕСВР возможно по трем направлениям. Это развитие промышленного рыболовства, реконструкция ихтиофауны за счет вселения ценных видов рыб, озерное товарное рыбководство. Организация озерных товарных хозяйств и акклиматизационные работы требуют вложения значительных денежных средств и окупаемость таких работ не очевидна. В связи с этим, наиболее целесообразным направлением в развитии рыбного хозяйства на озерах региона в настоящее время следует считать развитие промышленного рыболовства,

в частности — поддержание или восстановление промысла на крупных водоемах и озерных системах площадью от 2–3 тысяч га и более, населенных ценными видами рыб. В число таких водоемов входят Индигские и Вашуткины озера, расположенные на территории Ненецкого автономного округа.

Вашуткины озера — самая большая озерная система Ненецкого автономного округа — расположена в восточной части Большеземельской тундры. В ее состав входит 7 крупных озер площадью от 6 до 20 км² и множество малых водоемов. Общая площадь озерной системы — более 80 км².

По данным Коми филиала РАН, полученным в ходе экспедиционных работ 1960–61 гг., в состав ихтиофауны озерной системы входит 15 видов рыб, относящихся к 8 семействам: сиговые — нельма, чир, пелядь, обыкновенный сиг, европейская ряпушка; хариусовые — европейский хариус; щуковые — обыкновенная щука; карповые — плотва, язь, озерный голянь; окуневые — речной окунь, обыкновенный ерш, колюшковые — девятииглая колюшка, тресковые — налим; рогатковые — обыкновенный подкаменщик.

В наших сборах 2004–2007 гг. присутствовало 11 видов (кроме язя, голяна, колюшки и подкаменщика). Полученные в ходе ихтиологического мониторинга данные позволили установить качественную и количественную структуру промысловой ихтиофауны Вашуткиных озер. Так, доминирующими видами в водоемах являлись сиг — 40 % от величины общего вылова, щука — 30 %, пелядь и хариус — по 15 %. В небольших озерах-спутниках уловы на 80–90 % состояли из пеляди. Наши данные практически полностью совпадают со статистикой промысловых уловов 50–60-х гг. прошлого столетия — те же доминирующие виды и примерно в тех же пропорциях.

Популяции других промысловых видов в Вашуткиных озерах малочисленны. Так, чир и нельма встречаются в уловах единично. Налим, окунь, плотва и ерш распространены по всей акватории озерной системы, однако их суммарный улов из контрольных обловов составил менее 12 % общей добычи.

Индигская озерная система — самая большая к западу от р. Печоры — расположена в северо-западной части Малоземельской тундры на территории Ненецкого автономного округа и включает в себя 6 озер расположенных тесной группой и связанных между собой протоками. Общая площадь водоемов превышает 35 км². Проведенные авторами летом–осенью 1980 г. ихтиологические исследования до настоящего времени являются единственными для данной группы озер.

Ихтиофауна Индигских озер представлена 10 видами, принадлежащими к 6 семействам: сиговые — пелядь, обыкновенный сиг; хариусовые — европейский хариус; щуковые — обыкновенная щука; карповые — плотва, елец, озерный голяк; окуневые — речной окунь, обыкновенный ерш, тресковые — налим. Отмечены единичные заходы в водоемы семги.

Наиболее многочисленными видами в Индигских озерах являются пелядь, щука, плотва и окунь, которые были и основными объектами добычи для местного промышленного рыболовства. Промышленный лов на озерах велся в 60–70-х годах прошлого столетия и имел сезонный характер. Основным объектом добычи на водоемах весной являлась щука, в меньшей мере плотва и окунь. Осенью лов ориентировался, в первую очередь, на пелядь. В целом, в течение года озера облавливались не более трех месяцев. Среднегодовой улов составлял 4 тонны. Максимальный — 12 тонн, был в 1979 году. Щука составляла примерно половину добычи рыбы. На пелядь приходилось около 20 % от общего улова (в 1979 г. — почти 36 %). Чуть меньше добывалось плотвы и окуня. Результаты научных уловов в целом совпали с данными промысловой статистики. В выборках доминировали указанные выше четыре вида. При этом в августе–сентябре 1980 г. преобладающую часть улова составили пелядь и окунь. Высокая численность обитающей в Индигских озерах пеляди подтверждается результатами анализа питания хищных рыб: молодь пеляди составляла основу их рациона и встречалась в 60 % обработанных желудков щуки и в 90 % желудков крупного окуня.

Как уже было сказано, практически для всех внутренних водоемов региона, осваиваемых промыслом, основной проблемой является снижение уловов и, главное, резкое падение численности ценных видов рыб. Индигская и Вашуткина озерные системы являются редким исключением. Последние десятилетия промышленный лов на них не велся и местная ихтиофауна восстановила свою естественную природную структуру. При этом ценные виды рыб — сиг, пелядь, хариус, щука доминируют в рыбной части сообществ данных озер, и их масса составляет от 70 до 90 % общей рыбопродукции. В озерах-спутниках доля сиговых рыб (в первую очередь, пеляди) может достигать до 90 % от общего вылова. Таким образом, в настоящее время Индигская и Вашуткина озерные системы представляют уникальный резерват ценных сиговых рыб — сига и пеляди, а также (для Вашуткиных озер) хариуса, которые находят здесь и в истоках рек места нереста, нагула и зимовки.

IDENTIFICATION OF THE REGIONAL BACKGROUND OF HEAVY METAL CONCENTRATIONS IN EPIPHYTIC LICHENS IN THE OLD-GROWTH FOREST COMMUNITY OF THE KOLA PENINSULA UNDER THE NATURAL CONDITIONS OF THE SUBARCTIC

M.N. Kataeva, A.I. Belyaeva, A.S. Evdokimov (BIN RAS)*

ВЫЯВЛЕНИЕ РЕГИОНАЛЬНОГО ФОНА КОНЦЕНТРАЦИЙ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЭПИФИТНЫХ ЛИШАЙНИКАХ В СТАРОВОЗРАСТНОМ ЛЕСНОМ СООБЩЕСТВЕ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА В ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ СУБАРКТИКИ

М.Н. Катаева, А.И. Беляева, А.С. Евдокимов*

Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия

** mkmarikat@gmail.com*

В данной работе использован комплексный подход к изучению и обобщению результатов измерений концентраций тяжелых металлов в распространенных видах эпифитных лишайников в связи со средой их обитания в фоновом районе Кольского полуострова. Данные этой работы получены по результатам полевых исследований 2013 г. и 2019 г. и последующего определения концентраций тяжелых металлов в лишайнике *Hypogymnia physodes* и *Bryoria fuscescens* в двух фоновых районах Кольского полуострова.

В лесных сообществах наиболее чувствительным к действию атмосферного загрязнения являются эпифитные лишайники. Влияние загрязнения выбросами и изучение качества воздушной среды в условиях техногенного загрязнения вокруг городов и промышленных предприятий остается важной проблемой. Основную часть выбросов в атмосферу на Кольском полуострове определяют предприятия цветной металлургии, главным образом, медно-никелевый комбинат «Североникель». На Кольском полуострове индикация атмосферного загрязнения, изучение экологические последствий и влияния на фитоценозы, определение зоны влияния выбросов являются актуальной проблемой.

Эпифитные лишайники являются индикаторами состояния лесов и происходящих в них изменений. Изучение содержания тяжелых металлов в лишайниках необходимо при мониторинге и охране редких видов, для определения регионально-фоновых значений для северной тайги. Современные данные о состоянии фоновых территорий по уровням накопления тяжелых металлов в лишайниках немногочисленны. В рабо-

те были поставлены задачи изучения влияния фактора регионального атмосферного промышленного загрязнения выбросами металлургических производств на процесс биоаккумуляции микроэлементов эпифитными лишайниками разных жизненных форм, растущих на двух видах форофитов. Выявляли закономерности состава эпифитных лишайников сем. Parmeliaceae, обычных для лесной флоры подзоны северной тайги в старовозрастном березово-еловом зеленомошном сообществе. В работе устанавливали изменчивость состава лишайников, растущих на разных форофитах — ели сибирской и березе пушистой в пределах фитоценоза в фоновом районе Кольского полуострова. Определяли содержание микроэлементов — Ni, Cu, Cd, Pb, Mn, Fe и изучали аккумулирующую способность двух видов лишайников сем. Parmeliaceae — *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. и *Bryoria fuscescens* (Gyeln.) Brodo & D. Hawksw. В первом сообществе, сбор образцов лишайников и их субстратов проведен в северной тайге, в среднем течении р. Лива, в западной части Кольского полуострова, в августе 2013 г. на постоянной пробной площади. Древесный ярус сообщества образован *Picea obovata* Ledeb. и *Betula pubescens* Ehrh., формула древостоя 72E23B5C, давность пожара 380 лет. Средний возраст ели в фитоценозе — 208 лет, березы — 145 лет, сосны — 242 года. Высота сообщества в рельефе 210 м. Территория района имеет равнинный лесной характер. Лишайники собирали с деревьев разного возраста, отличающихся морфометрическими показателями. Лишайники и субстраты — корка стволов ели и березы, корки живых и сухих ветвей ели собирали по всей окружности крон на высоте 1,3 м. Выборка составляла: деревьев ели — 7, березы — 9 экз, с каждого из них были собраны лишайники. Образцы лишайников и их субстратов очищали от посторонних примесей и высушивали в термостате. Анализировали сравнимые по размерам талломы лишайников. Концентрации металлов в образцах лишайников и их субстратов определены на атомно-абсорбционном спектрофотометре Квант-АФА, Россия, в лаборатории экологии растительных сообществ.

Для получения более подробной информации в 2019 г. изучено накопление тяжелых металлов в лишайниках во втором старовозрастном ельнике зеленомошном на расстоянии 70 км от источника выбросов — комбината «Североникель».

В результате сравнительного изучения содержания тяжелых металлов в эпифитных лишайниках установлено, что среди факторов, влияющих на накопление тяжелых металлов — Ni, Cu, Pb, Cd, Zn в *H. physodes* и *B. fuscescens* в старовозрастном березово-еловом сообществе, наиболее значимыми являются: влияние форофита, березы пушистой и ели

сибирской, типа местообитания лишайников, расположения местообитания или локализации в кроне, жизненной формы вида. Накопление металлов загрязнителей региона Кольского полуострова Ni, Cu, Pb, Cd в *H.physodes* выше на ветвях ели. На живых ветвях в кроне ели в *H.physodes* средняя концентрация Ni — 9,0 мг/кг, Cu — 15,9 мг/кг, Pb — 4,77 мг/кг, Cd — 0,231 мг/кг. На стволах березы концентрации металлов в лишайнике ниже, в двух группах с разными диаметрами стволов березы, средние в *H.physodes* Ni находятся в пределах 4,7–6,5 мг/кг, Cu 8,0–9,9 мг/кг, Pb 2,7–3,9 мг/кг, Cd 0,210–0,264 мг/кг. Накопление металлов коррелирует с общим содержанием минеральных веществ в талломах лишайников и возрастает при увеличении их зольности; различий средних Mn и Fe на ели и березе в обоих видах лишайников не выявлено.

Накопление цинка в двух видах лишайников определяется их биотическими связями в фитоценозе. Цинк больше накапливается в обоих видах лишайников, растущих на стволах березы пушистой. Средняя концентрация Zn в *H. physodes* на стволах — 98,6 мг/кг, в 1,51 раза больше местообитаний на живых ветвях ели и в 1,40 раза выше, чем на сухих ветвях ели. Различия средних концентраций Zn, Ni, Cu в лишайнике на стволах березы и ветвях ели значимы по t-тесту Стьюдента при $\alpha=0,05$. Вид *B. fuscescens* на стволах березы накапливал Zn больше — 51,9 мг/кг, что в 1,16 и 1,90 раз, соответственно, выше, чем на ветвях ели. На стволах березы в обоих видах также есть тенденция к росту концентраций Cd. Оба вида — ацидофильные в связи с кислой реакцией pH их субстратов, на ели 3,22–4,07, на березе 4,23.

Береза пушистая может использоваться для оценки средних значений накопления всех металлов в лишайниках, кроме цинка. Накопление цинка на березе обычно для лишайников в их природной среде обитания. Результаты анализа двух видов лишайников показали, что оба вида накапливают более низкие концентрации Ni, Cu и Pb на стволах березы.

Средние концентрации Ni, Cu, Cd, Pb в лишайниках субклимаксового березово-елового сообщества Кольского полуострова повышены из-за регионального длительного атмосферного загрязнения тяжелыми металлами относительно средней тайги и их нужно рассматривать как регионально фоновые. В лишайниках в разных типах местообитаний более контрастные средние значения имеют металлы-компоненты выбросов цветной металлургии — Ni, Cu, Cd, Pb. Анализ листьев березы и хвои ели, собранных в местообитаниях лишайников в фитоценозе, выявил обычные концентрации тяжелых металлов. В хвое ели Ni — 1,9, Cu — 5,8, Zn — 67,7 мг/кг. Береза накапливает в листьях близкие концентрации Ni — 2,5, Cu — 5,7 мг/кг, и больше Zn — 97,4 мг/кг, что со-

ответствует составу лишайников. Биоиндикационные свойства лишайников позволяют использовать их для анализа поступления химических элементов с осадками в разных экологических условиях местообитаний, в связи с влиянием древесного полога фитоценоза. Крона ели концентрирует осадки в большей степени по сравнению с другими древесными породами. По сравнению с другими типами леса, в связи с влиянием ели как сильного эдификатора, сложной возрастной структурой, мозаичным характером распределения осадков в ельниках, накопление тяжелых металлов в лишайниках может сильнее варьировать в местообитаниях.

Продолжительность действия выбросов медно-никелевых производств Кольского полуострова на лесные сообщества привела к накоплению металлов-загрязнителей в лишайниках. В качестве геохимического эталона химического состава лишайников, концентрации металлов в них нужно устанавливать при отсутствии влияния региональных факторов загрязнения атмосферы. В пределах зоны 100 км от источника выбросов медно-никелевого комбината «Североникель» обнаружено повышение концентраций тяжелых металлов в лишайниках в старовозрастных фитоценозах.

Исследование выполнено по государственному заданию плановой темы НИР «Разнообразие, динамика и принципы организации растительных сообществ Европейской России» АААА-А19-119030690058-2.

POSTER 5.8

ПОСТЕР 5.8

WILLOW CLASSIFICATION IN THE SUBZONE OF TYPICAL TUNDRA IN THE WEST OF THE BOLSHEZEMELSKAYA TUNDRA

A.G. Kochergina (BIN RAS)

КЛАССИФИКАЦИЯ ИВНЯКОВ В ПОДЗОНЕ ТИПИЧНЫХ ТУНДР НА ЗАПАДЕ БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ

*А.Г. Кочергина**

Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия

AKochergina@binran.ru

Ивовые сообщества занимают около 5 % территории на западе Большеземельской тундры. Ивняки на изучаемой территории формируются, в таких частях склонов и долин, где присутствует проточное увлажнение, в поймах рек и в депрессии на водоразделах. Густые заросли кустарниковых ив являются проводниками для продвижения на север бореальных видов и рефугиумами для таежных растений, сохра-

нившихся в тундре с голоцена, поскольку в них создаются наиболее благоприятные условия для их произрастания. Изучение видового состава и классификация ивовых сообществ может быть актуальным в связи с исследованиями глобальных изменений климата.

Последние исследования растительности ивовых сообществ восточноевропейского сектора Арктики были в 1930–1950-х годах геоботаниками-тундроведами В. Н. Андреевым, О. В. Ребростой и А. А. Дедовым в традициях эколого-фитоценологического подхода.

В полевые сезоны 2016 и 2017 гг. проведены исследования ивовых сообществ в 3-х пунктах в подзоне типичных тундр в континентальных условиях на возвышенности Вангуреймуссур, в приморских условиях в устьях рек Хыльчуню и Большая Двойничная, впадающих в Печорскую губу.

Геоботанические описания (83) выполнены в естественных сообществах (площадь описания около 100 м²), или на площадках 10×10 м заложенных на участках с однородной растительностью. Геоботанические описания проводили по стандартной методике, обилие видов давали в баллах по шкале Браун-Бланке.

Согласно полученным данным ивняки типичных тундр относятся к 3-м выделенным предварительно ассоциациям в рамках подхода к классификации Браун-Бланке: *Hylocomio splendentis-Salicetum glaucae*, *Equiseto arvensis-Salicetum lanatae*, *Carici stantis-Salicetum phyllicifoliae*.

В местах с наибольшим скоплением снега в зимний период формируются ивовые сообщества с развитым моховым покровом (*Hylocomio splendentis-Salicetum glaucae*). Эти ивняки являются наиболее распространенными и богатыми видами в исследуемых пунктах. Общее проективное покрытие в них 100 %. Ярус кустарников образован *Salix glauca*, *S. lanata*, *S. philicifolia*, высота 1,5, сомкнутость в 60–90 % (в среднем 70 %). Ярус кустарничков не выражен в его проективное покрытие менее 1%. Высота яруса трав и полукустарничков ≈ 40 см, сомкнутость варьирует 20–80 %. В континентальных условиях травяной ярус образуют *Achillea millefolium*, *Cardamine pratensis subsp. angustifolia*, *Carex aquatilis subsp. stans*, *Equisetum palustre*, *Ranunculus propinquus*, *Trollius europaeus*. В приморских районах — *Carex aquatilis subsp. stans*, *C. rariflora*, *Chamaepericlymenum suecicum*, *Comarum palustre*, *Eriophorum angustifolium*, *Trientalis europaea*.

Моховой ярус образован *Hylocomium splendens*, *Rhizomnium pseudopunctatum*, *Sanionia uncinata* сомкнутость варьирует 50–90 %. Лишайники встречаются редко, развиваются на лежащих стволах и комлях кустарников.

Вдоль склонов ложин и озерных впадин, по бровкам пойменных склонов формируются разнотравные ивовые сообщества с не сомкнутом моховым покровом и доминированием *Equisetum arvense* (*Equiseto arvensis-Salicetum lanatae*). Общее проективное покрытие в них 100 %. Ярус кустарников образован *Salix glauca*, *S. lanata*, *S. philicifolia*, высота 2,3 м, сомкнутость в среднем 70 %. Ярус кустарничков не выражен в его проективное покрытие менее 1 %. Ярус трав образован *Equisetum arvense*, *Geum rivale*, в некоторых вариантах присутствуют злаки *Alopecurus pratensis* subsp. *alpestris*, *Calamagrostis neglecta*, в более влажных местообитаниях — *Carex aquatilis* subsp. *stans*, *Comarum palustre*. Высота \approx 40 см, сомкнутость варьирует 30–90 %. Моховой ярус образован *Rhizomnium pseudopunctatum*, *Sanionia uncinata* сомкнутость варьирует 1–50 %. Лишайники встречаются редко, развиваются на лежащих стволах и комлях кустарников. Горизонтальная структура мозаичная, обусловлена нанорельефом (бугорки, образованные прикомлевыми частями и лежащими стволами ив).

По берегам озер, рек, в местах с избыточным, часто застойным, увлажнением почвы формируются осоковые ивняки (*Carici stantissalicetum philicifoliae*) с доминированием гигрофитов *Comarum palustre*, *Carex aquatilis* subsp. *stans*. Общее проективное покрытие в них 100 %. Ярус кустарников образован *Salix glauca*, *S. lanata*, *S. philicifolia*, высота 1,2 м, сомкнутость в среднем 65 %. Ярус трав образован *Carex aquatilis* subsp. *stans*, *Comarum palustre*, *Epilobium palustre*, *Equisetum fluviatile*, *Equisetum palustre*, *Eriophorum angustifolium*, *Rubus chamaemorus*, *Viola epipsila*, высота \approx 50 см, сомкнутость варьирует 20–80 %. Моховой ярус образован *Rhizomnium pseudopunctatum*, *Sanionia uncinata*, *Sphagnum warnstorffii*, сомкнутость варьирует 5–90 %. Лишайники встречаются редко, развиваются на лежащих стволах и комлях кустарников. Горизонтальная структура мозаичная, обусловлена нанорельефом (бугорки, образованные прикомлевыми частями и лежащими стволами ив, осоковыми кочками).

Описаны три крупных ассоциации, в которых сосредоточено 42 % видов относительно локальных флор. В них сконцентрировано 46 % бореальных видов от общего видового состав.

В последствии изученный видовой состав синтаксонов с учетом обилия, выделенных в рамках школы Браун-Бланке, позволит проследить изменения в сообществах при последующем мониторинге.

**DISTRIBUTION OF WATER MOSS *DREPANOCLADUS LONGIFOLIUS*
ON KING GEORGE ISLAND (SOUTH SHETLAND ISLANDS,
ANTARCTICA)**

L.E. Kurbatova (BIN RAS)

**О РАСПРОСТРАНЕНИИ ВОДНОГО МХА
DREPANOCLADUS LONGIFOLIUS НА О. КИНГ ДЖОРДЖ
(ЮЖНЫЕ ШЕТЛАНДСКИЕ О-ВА, АНТАРКТИКА)**

*Л.Е. Курбатова**

Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия

korablik-l@mail.ru

К настоящему моменту в озерах Антарктики обнаружено 14 видов мохообразных, но из них только *Drepanocladus longifolius* (Mitt.) Broth. ex Paris является в полной мере водным растением и не встречается в сухопутных местообитаниях. Этот водный мох широко распространен в высокогорьях Южной Америки, встречается на Фолклендских островах, на некоторых субантарктических островах и островах морской Антарктики, а также известен из южной части Австралии.

В Антарктике *Drepanocladus longifolius* впервые был обнаружен в 1967 году в озере на о. Сигни (Южные Оркнейские острова). В дальнейшем этот вид был найден в озерах о. Ливингстон (Южные Шетландские острова), о. Деймса Росса и о. Вега в районе Антарктического полуострова. Первые образцы *Drepanocladus longifolius* с о. Кинг Джордж были собраны в апреле 1970 г. участником САЭ А. Орловым в озерах Глубокое и Китеж. Длинные, более 30 см, и многочисленные побеги водного мха были обнаружены на глубинах 14,5 м (оз. Глубокое) и 8 м (оз. Китеж). К сожалению, эти уникальные сборы остались неопределенными и значились в отечественных работах как *Drepanocladus sp.* Только в 2008 году *Drepanocladus longifolius* был повторно собран китайскими учеными в протоке оз. Длинное и эта находка была опубликована (Ochya, 2009).

В 2009 и 2013 гг. в ходе 54 и 57-й РАЭ были выявлены новые местонахождения, изучено распространение и оценен размер популяций *Drepanocladus longifolius* на п-ове Файлдс о. Кинг Джордж. Обнаружено, что этот вид на полуострове встречается в большинстве крупных непромерзающих олиготрофных озер, имеющих глубину не менее 5 метров (озера Китеж, Глубокое, Длинное, Балленес), а также в рукотворном во-

дозаборном водоеме на территории станции Беллинсгаузен и на стоке из оз. Длинное. В придонной части озер *Drepanocladus longifolius* образует чистые, без примеси других мхов, маты толщиной более 10 см и площадью до нескольких десятков квадратных метров. Наибольшая по площади популяция вида находится в оз. Китеж. В верхней части мата *Drepanocladus longifolius* формирует длинные (до 40 см) ветвящиеся побеги, с хорошо развитыми листьями, с богатой хлоропластами клеточной сетью. Спорофитов в имеющихся на данный момент образцах не обнаружено, не упоминаются они и в литературных источниках для других антарктических популяций этого вида. Однако наличие *Drepanocladus longifolius* в рукотворной лагуне на стоке с о. Китеж говорит об успешном распространении этого мха вегетативными частями побегов. В настоящий момент популяция *Drepanocladus longifolius* на п-ове Файлдс о. Кинг-Джордж является наиболее многочисленной в Антарктике. Кроме того, побеги этого мха были выявлены в торфах ледниковых морен полуострова по южному и юго-западному краю ледника Коллинз и в районе мыса Неблес Пойнт, где они встречаются в голоценовых озерных отложениях. Таким образом, на п-ове Файлдс о. Кинг-Джордж *Drepanocladus longifolius* присутствует на протяжении последних 2–4 тысяч лет и его современные популяции, по-видимому, имеют весьма значительный возраст. В тоже время, на о. Джеймса Росса *Drepanocladus longifolius* был обнаружен в отложениях возрастом 9525 л.н. Поэтому для морской Антарктики в целом *Drepanocladus longifolius* известен в течение последних 10 тысяч лет.

POSTER 5.10

ПОСТЕР 5.10

STABILITY OF THE COMPOSITION AND STRUCTURE OF TUNDRA COMMUNITIES IN A CHANGING CLIMATE

O.V. Lavrinenko, I.A. Lavrinenko (BIN RAS)*

СООБЩЕСТВ В ИЗМЕНЯЮЩЕМСЯ КЛИМАТЕ

О.В. Лавриненко, И.А. Лавриненко*

Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия

** lavrino@mail.ru*

Начиная с 70-х годов прошлого столетия наблюдается потепление климата. По данным Росгидромета наиболее быстрыми темпами температура росла в Северной полярной области: на ряде метеостанций побережья арктических морей России рост среднегодовой температуры в

последние три десятилетия превысил $1.0^{\circ}\text{C}/10$ лет (Доклад..., 2019). С потеплением до недавнего времени связывали «позеленение» тундры, измеряемое дистанционными методами как возрастание усредненного значения нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI). Рост NDVI связывают с увеличением запасов зеленой биомассы трав, кустарничков, кустарников и мхов в разных типах растительных сообществ и с расширением площадей более продуктивных сообществ (заросли кустарников и луга). Получаемые со спутников изображения земной поверхности еще недавно свидетельствовали о возрастании MaxNDVI (по данным GIMMS-3g) на протяжении последних трех десятилетий (Bhatt et al., 2010; Walker et al., 2010), хотя изменения не были пространственно однородными по всей Арктике. Однако, уже в период с 1982 г. по 2011 г. положительные тенденции MaxNDVI оказались в основном слабее, по сравнению с тенденциями 1982–2008 гг. (Bhatt et al., 2013), а в 2014 г. MaxNDVI в Евразийской Арктике и в Арктике в целом был ниже среднего показателя за 33 года (1982–2014 гг.) (Epstein et al., 2017). Интегрированная во времени «зеленость» (TI-NDVI) в 2014 г. имела самое низкое значение за всю историю наблюдений для Евразии и второе самое низкое значение для Арктики в целом. Долгосрочные тренды MaxNDVI и TI-NDVI (1992–2014 гг.) показали, что большие территории охватывает «побурение» тундры. В пределах российской Арктики тренды изменения NDVI (по MODIS от 2000 и 2014 гг.) оказались разнонаправленными — конкретные территории по-разному реагировали на повышение температуры воздуха, и соотношение площадей, увеличивших и снизивших запасы зеленой фитомассы, было примерно одинаковым (Тишков и др., 2015, 2016, 2018). В тундрах Западносибирского сектора Арктики в период 1982–2015 гг. тренды NDVI (по данным GIMMS) в летние месяцы зависели от широтного положения: в подзоне арктических тундр они были отрицательными на всей территории в период с июня по август, в типичных тундрах — положительными на большей части территории только в июне, в южных тундрах и лесотундре — положительными на всей территории в июне и июле, а в районе Тазовской губы и в августе (Зуев и др., 2019).

Что же показывают результаты наземных исследований? Анализ состава и структуры растительности, проведенный в рамках международных проектов ITEX (International Tundra Experiment) и BTF (Back to the Future) на 160 модельных площадках в тундрах Аляски в период с 1989 по 2008 гг., свидетельствовал об увеличении проективного покрытия и высоты растительного покрова, усложнении структуры сообществ, а также о повышении относительного обилия травянистых растений, при

снижении — лишайников и мхов (Gould et al., 2009). С помощью анализа аэрофотоснимков в северной Аляске за 50 лет установлено, что происходит распространение кустарниковой растительности, особенно на склонах холмов и в долинах рек (Sturm et al., 2001; Tape et al., 2006). В других публикациях (Prach et al., 2010; Callaghan et al., 2011; Daniëls, de Molenaar, 2011), напротив, показано, что, несмотря на климатические изменения, флора и растительность в целом остались довольно стабильными в течение последних 40 лет в западной и юго-восточной Гренландии, и 70 лет в центральном Шпицбергене. Повторное через 40 лет описание многих, в том числе и зональных сообществ даже в условиях сильно трансформированного ландшафта в западном Таймыре (полигонизация увалов и опускание валиков в полигональных болотах) также вывило стабильность растительного покрова, состава и структуры флоры и активности видов в ландшафте (Матвеева и др., 2014). Неизменность зональной растительности констатируется и для восточного Таймыра (Поспелова и др., 2017), несмотря на изменение ландшафтной структуры в тундровой зоне. Усиление процессов криогенной деградации приводит к увеличению площади тундроболотных комплексов в результате увеличения термокарста. Развитие оползневых процессов способствует формированию свободного пространства для колонизации его видами-эксплерентами, группировки которых сменяются более продуктивными луговыми и кустарниковыми сообществами.

Тот факт, что запасы зеленой фитомассы трав сильно зависят от погодных условий летом, было показано нами для ивово-пушицево-осоково-моховых сообществ, занимающих обширные участки на заболоченных террасах о-ва Вайгач. В сырое и холодное лето 2010 г. они походили на болота: под ногами выступала вода, а у осок и злаков было много сухих листьев, а в августе сухого и теплого лета 2004 г., выглядели зелеными лугами с цветущим разнотравьем (Лавриненко и др., 2016).

В докладе мы обобщили результаты мониторинга растительности восточноевропейских тундр за последние 20 лет с использованием метода повторных геоботанических описаний и модельных площадок, заложенных в разных сообществах и разных районах.

На мысе Болванский Нос (северо-запад Большеземельской тундры) мониторинговые площадки (10×10 м) были заложены в 1999 г. Место интересно тем, что здесь с 1938 до 2001 г. находилась метеостанция «Болванский Нос» (№ 209460), а с 1983 по 1993 гг. и с 1999 г. по настоящее время — стационар «Болванский», где учеными Института криосферы Земли СО РАН осуществляется геокриологический мониторинг (Малкова и др., 2018). По прошествии 15–18 лет, несмотря на ин-

струментально фиксируемое увеличение температуры воздуха и грунтов, состав и структура зональных и заболоченных сообществ в целом не изменились. На площадках со сложной горизонтальной структурой покрова, рисунок остался прежним. Набор доминантов и значимых видов, высота ярусов растительного покрова остались теми же самыми. Некоторая вариабельность состава объясняется, с одной стороны, появлением/исчезновением единичных/случайных видов, с другой, — более полным выявлением мохообразных. Незначительные изменения в обилии видов могут быть объяснены как субъективными факторами, так и погодными условиями вегетационного периода. В пятнистых тундрах новых пятен-медальонов не появилось, на некоторых площадках пятна суглинка, где происходит «морозное кипение», не позволяющее растениям закрепиться, так и остались голыми, на других, где пятна мельче и более стабильны, отмечено их зарастание криптогамными корочками, что может быть объяснено вполне закономерной сукцессией. Аналогичное зарастание пятен в междуречье тундры отмечено и на восточном Таймыре (Поспелова и др., 2017).

Второй район мониторинга расположен на северо-востоке Малоземельской тундры (окрестности Кузнецкой губы). Описание растительности выполнено в 2001 г. и по аналогичной методике повторено в 2019 г. В кустарничково-лишайниковых сообществах на хорошо дренированных песчаных морских террасах существенных изменений в видовом составе и горизонтальной и вертикальной структуре не отмечено. И даже воронично-печеночниковые сообщества на закрепленных песках сохранились практически без изменений, на том же уровне состава и структуры. Это очень интересный факт, поскольку наличие свободного, не занятого растительной дерниной пространства, предполагало его зарастание сосудистыми растениями, однако этого не произошло. В то же время, разрушение берегов привело к физическому уничтожению некоторых площадок, заложенных вблизи моря.

На о-ве Долгий в Баренцевом море изучение растительности было проведено в 2003–2004 гг. и повторно в 2019 г. В сообществах на разных субстратах (щебнисто-суглинистых и торфяных), расположенных вдали от морского побережья, изменения в составе и структуре оказались незначительными и укладывающимися в рамки естественной сукцессии. В то же время, за 15–16-летний период растительность морского побережья испытала катастрофическое воздействие со стороны моря, штормовая деятельность которого в последние десятилетия усилилась, в том числе в связи с глобальными изменениями климата. Особенно губительными шторма и нагоны воды оказались для сообществ низменных

участков побережий — маршей. Растительность самых низких их уровней была уничтожена штормами и нагонами морской воды полностью и ее восстановление находится на самой начальной стадии — это водорослевые группировки, иногда с редкими травянистыми галофитами. На маршах более высокого уровня сообщества сильно трансформированы. Гибель растительности и изменение состава ценозов обуславливает дефицит кормов для водоплавающих травоядных птиц. В сообществах над всеми прочими галофитами преобладает *Plantago schrenkii* — неподдаемый, и в то же время отзывчивый на азот, привносимый с пометом, а основная кормовая осока *Carex subspathacea*, обилие которой резко снизилось, почти полностью съедена.

Таким образом, наземные исследования в разных районах российской Арктики, в том числе в восточноевропейском секторе, в целом свидетельствуют о медленном отклике растительности на потепление и о стабильности состава и структуры тундровых сообществ, за исключением тех участков, где непосредственно происходит физическое уничтожение ландшафтов (штормами и нагонами морской воды, оползневыми процессами, антропогенным вмешательством и пр.).

POSTER 5.11

ПОСТЕР 5.11

**LARGE-SCALE TRANSFORMATION OF WATERSHEDS
DUE TO ICE-WEDGE DEGRADATION IN THE ARCTIC**

N.V. Matveyeva (BIN RAS)

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТИПИЗАЦИИ
МАСШТАБНАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ВОДОРАЗДЕЛЬНЫХ УВАЛОВ
В СВЯЗИ С ДЕГРАДАЦИЕЙ ЖИЛЬНЫХ ЛЬДОВ
В АРКТИКЕ**

*Н.В. Матвеева**

Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия

nadya_mat@mail.ru

В рамках международного проекта «Back to the Future» в 2010 и в 2012 гг. были осуществлены повторные наблюдения за состоянием растительного покрова в двух районах Западного Таймыра — пос. Тарей и морской порт Диксон — спустя, соответственно, 40 и 32 года после завершения в них многолетних комплексных биологических исследований в рамках программ «Международная биологическая программа» (МБП) и «Человек и биосфера» (МАБ). Идея посетить места проведения работ,

в первую очередь по МБП, и оценить современное состояние экосистем возникла в умах арктических исследователей в связи с популярной концепцией глобального потепления климата. Во многих районах зарубежной Арктики это было осуществлено в преддверии Международного Полярного года (2008). Задачей нашей первой (в 2010 г.) краткосрочной поездки в район небольшого рыбацкого пос. Тарей (правобережье р. Пясины в ее среднем течении) было оценить и зафиксировать изменения в составе флоры и растительности. Не ожидалось какие-либо серьезные сюрпризы, поэтому увиденные трансформации в ландшафте, на Таймыре вполне типичном для небольших (15–20 м над ур. м.) высот на первой надпойменной речной террасе, в деталях знакомом автору сообщения, которая работала на биокомплексном стационаре в течение 5 полевых сезонов (последний раз в 1970 г.), без преувеличения вызвали шок. На в прошлом выровненной поверхности суглинистых водораздельных увалов со сплошным (в мелкобугорковых сообществах) или разорванным (в т. н. пятнистых тундрах) растительным покровом образовалась система плоских бугров 7–10 м (в основном) в поперечнике и ложбин 2–5 м шир., с превышением по высоте 0,5–1,0 м. Картина спокойная, все выглядит, как будто так и это и было всегда (таковой была реакция участников экспедиции, которые ранее в этом районе не бывали: для них это был всего лишь «своеобразный» ландшафт). По возвращении из поля и консультаций с коллегами, работавшими в этом районе после 1970 г., было установлено, что ничего подобного никто не фиксировал вплоть до 1994 г. На снимке высокого разрешения (Quick Bird, Google Earth от 08.11.2003 г.) результат фрагментации, или полигонизации, увалов, очевиден, и не только на территории стационара, но и на всем пространстве космоснимка 2003 г. Аналогичную картину через 2 года (2012 г.) мы увидели в окрестностях морского порта Диксона, где последним годом 3-летних комплексных полевых работ был 1980 г. В этом районе небольшие скопления бугров, разделенных ложбинами, начали формироваться в 1930-х гг. (Тихомиров, 1948) во время т. н. «теплой Арктики». В 1980 г. они (в больших количествах нежели в 1937 и в 1946 гг.) имелись только на склонах долин распадков (коротких долин ручьем снегового питания), в водосборных депрессиях в их истоках и по морским берегам, но не на увалах. В 2012 г. система бугров и ложбин (сходных по размерам с выявленными в окрестностях пос. Тарей, но с выпуклой поверхностью бугров, из-за чего они более, нежели в Тарее, напоминают массивы байждарахов (якутское название систем таких бугров) повсеместно зафиксирована на водораздельных увалах между распадками.

В XX веке полигонизацию водораздельных увалов на Таймыре не фиксировали, это — современный процесс. О том, что подобная трансформация — события недавние (последние десятилетия прошлого века и начала нынешнего) поддержано в ряде публикаций зарубежных коллег, которые обобщили аналогичные данные по всей Арктике. Но пока только для 4 мест (на Таймыре (2 района), Аляске, в Канадском Арктическом архипелаге) есть свидетельства очевидцев, непосредственных участников работ в прошлом, что это произошло, во-первых недавно, во-вторых быстро. Просмотр многочисленных снимков высокого разрешения в общедоступной системе Google Earth позволяет сделать заключение о масштабе этого явления: оно повсеместно на суглинистых грунтах на небольших (от 50 до 100 м) высотах над уровнем моря в азиатской и североамериканской Арктике.

Объяснение причин почти тотальной трансформации огромных пространств за пределами компетенции автора, у которой иная специализация (геоботаник, флорист). Доклады в разных аудиториях не прояснили, как и почему и, особенно, почему так быстро, произошла полигонизация увалов. Наиболее обоснованно это связывают с современными процессами в многолетнемерзлых грунтах. В деталях этот тезис рассмотрен в статье международного коллектива авторов (Liljedahl et al., 2016). На основе анализа значительных изменений в состоянии полигональных болотных системах на Аляске и в Сибири прогнозируется дальнейшая деградация ледяных клиньев в грунтах и, как следствие этого, гидрологические изменения (в частности, усиление поверхностного стока) не только в заболоченных депрессиях, но и на водоразделах. Все это в обозримом будущем может привести к масштабным изменениям, как в ландшафте, так и в растительном покрове на всем пространстве циркумполярной Арктики. Последний пока достаточно стабилен. Однако и в поле, и на космоснимках видно, что в обоих районах на Таймыре продолжается фрагментация бугров на меньшие отдельные разной, в том числе треугольной, формы. Существенные изменения в микрорельефе произошли без разрывов в растительной дернине и обнажения грунта (последнее неминуемо провоцирует эрозионные процессы). Как долго растительность останется неизменной — прогноза нет, что-то вероятно прояснится летом 2020 г. в поездке в окрестности пос. Тарей спустя 10 лет после последнего посещения.

Важно осознать, что масштабная деградация жильных льдов (включая ледяные клинья) — очевидный современный циркумполярный феномен; время их образования — сотни–тысячи лет, таяния — немногие десятки. Образование сети соединенных ложбин и их вклад в перерас-

пределение снега в зимний период потенциально: а) значительно усилит гидрологический цикл через существенно возрастающий поверхностный сток, независимо от каких-либо изменений в количестве твердых (снег) и жидких осадков (дожди); б) дренирует водораздельные увалы, что приведет к увеличению глубины сезонного оттаивания вечномёрзлых грунтов. Появление таких систем было быстрым, не только без нарушений, но и изменений в растительном покрове; образование новых и расширение/углубление имеющихся ложбин (и изменения в их растительности) будет более продолжительным.

На чем особо необходимо заострить внимание, это то, что: 1) все изменения произошли за очень короткий (не более 10 лет) период времени: в одних районах, начиная с конца прошлого столетия (Таймыр — после 1998 г.), в других — в начале нынешнего (о-в Элlef-Рингнес, Канадский арктический архипелаг — после 2005 г.; 2) при отсутствии публикаций по материалам прежних лет, такие измененные ландшафты не вызывают у исследователей, ранее их не видевших, какого-либо удивления, и полигонизация поверхности водоразделов может быть воспринята как давно (всегда) существующая данность; 3. феномен формирования третьей полигональной системы на водоразделах в дополнение к широкому распространению полигональных/валиково-полигональных болот в депрессиях рельефа (приозерных котловинах, на речных террасах низкого уровня) и болотно-тундровых полигональных комплексах в верховьях ручьев может иметь продолжение, что в перспективе приведет к кардинальной трансформации арктического ландшафта на равнинных территориях, неизвестная на протяжении прошлого столетия.

Регистрация и мониторинг феномена полигонизации в мезоусловиях на водоразделах на всем циркумполярном пространстве актуальны, как с позиций фундаментальной науки, так и последствий его проявления и развития (так, «полигонизация» зафиксирована (с гарантией очевидца, что этого не было в конце 1980-х гг.) в непосредственной близости в/п полосы важнейшего в Заполярье а/порта на о-ве Диксон). Очевидна важность как непрерывных долговременных, так и периодических наблюдений за состоянием растительного покрова и динамикой мерзлотных процессов в разных районах Российской Арктики. Особенно жизненно это в районах подвергаемых антропогенному воздействию, которое может многократно усилить естественный процесс и привести не просто к трансформации, но и нарушению почвенно-растительного покрова (и в результате этого к усилению эрозионных процессов) на больших площадях, включая территории поселений, строительства и эксплуатации аэропортов.

MONITORING FLOATING MARINE DEBRIS IN THE BARENTS SEA

M.P. Pogozheva (IO RAS, SOI), E.V. Yakushev (IO RAS, NIVA),
P.N. Tersky (SOI), D.M. Glazov (IPEE RAS), O.V. Shpak (IPEE RAS),
G. Khanke (JRC, Italy)*

**МОНИТОРИНГ ПЛАВАЮЩЕГО МОРСКОГО МУСОРА
В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ**

М.П. Погожева^{1,3}, Е.В. Якушев^{1,2}, П.Н. Терский³, Д.М. Глазов⁴,
О.В. Шпак⁴, Г. Ханке⁵*

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

² — *Норвежский институт водных исследований (NIVA). Осло, Норвегия*

³ — *Государственный океанографический институт им. Н. Н. Зубова,
г. Москва, Россия*

⁴ — *Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН,
г. Москва, Россия*

⁵ — *Объединенный научный центр (JRC), Испра, Италия*

** pogojeva_maria@mail.ru*

В настоящее время морской мусор, особенно пластик, является одной из наиболее актуальных проблем воздействия на морскую среду в глобальном масштабе. Существуют большие расхождения, связанные с мировыми оценками проблемы морского мусора, попадающего в океаны каждый год. По текущим оценкам количество макропластика, поступающего с суши в морскую среду ежегодно, варьируется от 4,5 до 12,7 млн тонн, а 1,75 млн тонн происходит из так называемых морских источников, таких как рыболовство, аквакультура (рыбоводство) и судоходство.

Несмотря на то, что Арктические районы представляются мало населенными с практически отсутствием какой-либо активной промышленной и производственной деятельности, наличие активного рыболовного промысла и добыча полезных ископаемых и, соответственно, активное судоходство создает существенную нагрузку на экосистему Баренцева моря.

Целью данной работы была предварительная оценка уровня загрязнения плавающим мусором, его потенциальных источников, путей и мест скопления в Баренцевом и Белом морях на поверхности моря. Данные были получены в результате комплексной научно-исследовательской экспедиции «Трансарктика-2019» в мае–июне 2019 г. Экспедиция про-

ходила в Восточной части Баренцева моря и в части Белого моря, маршрут проходил от г.Архангельска до Земли Франца-Иосифа.

Мониторинговые наблюдения выполнялись специалистами Государственного океанографического института (ГОИН) и Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук (ИПЭЭ РАН). Наблюдения велись по ходу движения судна двумя разными методами. Проводилось тестирование европейской методики института JRC (г. Испра, Италия) согласно которой при помощи специального приложения, заранее установленного на планшет на базе Андроид фиксировались встречи морского мусора на поверхности моря. Исходя из высоты наблюдателя над урезом воды выбиралась ширина полосы учета, в которой наблюдатель гарантированно различает объекты более 2,5 см согласно методике. Приложение позволяет записывать трек учета с привязкой каждого объекта к GPS координатам и идентифицировать объекты морского мусора по установленным общепринятым категориям. При встрече больших скоплений мусора, и фактах подтверждения источников поступления мусора или взаимодействия его с морской фауной производилась фотофиксация. Все встреченные объекты антропогенного мусора дополнительно фиксировались в полевом дневнике, в который также записывались погодные условия, волнение, видимость и прочая важная информация.

Параллельно с этими наблюдениями проводились непрерывные 24-часовые наблюдения за встречаемым мусором другими сменяющимися наблюдателями. Все встречаемые объекты фиксировались в бумажном протоколе с привязкой каждого объекта к GPS координатам. Наблюдения включали идентификацию категорий мусора по составу согласно методике.

Плавающий морской мусор встречался в течение всей экспедиции. Результаты наблюдений показали, что концентрация плавающего мусора сильно варьировала вдоль маршрута следования судна от обширных участков чистой воды без мусора до районов с очень значительными скоплениями. В данном исследовании представлены первые данные о загрязнении района исследований плавающим морским мусором, что является дополнением к общей оценке состояния окружающей среды Баренцева и Белого морей.

Экспедиция организована в рамках программы «Трансарктика–2019» с целью проведения комплексных экспедиционных исследований экосистем Баренцева моря на научно-экспедиционном судне «Михаил Сомов» в соответствии со Стратегией развития Арктической зоны РФ и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года и вы-

полнения программы работ на морях, омывающих берега Российской Федерации и в соответствии с Приказом Росгидромета о проведении экспедиции №84 от 26 февраля 2019 года во исполнение Распоряжения Правительства РФ от 23 февраля 2019 года № 276.

POSTER 5.13

ПОСТЕР 5.13

**LOCAL FLORAS OF POLAR BASIN ISLANDS AND COASTS
AS PHYTOGEOGRAPHIC REFERENCE POINTS**

*I.N. Pospelov** (IPEE RAS), *V.V. Petrovsky* (BIN RAS),
T.M. Koroleva (BIN RAS), *E.B. Pospelova* (Zapovedniki Taimyra),
O.V. Khitun (BIN RAS), *S.V. Chinenko* (BIN RAS), *A.A. Zverev* (TSU)

**ЛОКАЛЬНЫЕ ФЛОРЫ ОСТРОВОВ И ПОБЕРЕЖИЙ
ПОЛЯРНОГО БАСЕЙНА
КАК ФИТОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ РЕПЕРЫ**

*И.Н. Поспелов*¹, *В.В. Петровский*², *Т.М. Королева*², *Е.Б. Поспелова*³,
*О.В. Хитун*², *С.В. Чиненко*², *А.А. Зверев*⁴

¹ — Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН,
г. Москва, Россия

² — Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург,
Россия

³ — ФГБУ Заповедники Таймыра, г. Норильск, Красноярский край, Россия

⁴ — Национальный исследовательский Томский государственный
университет, г. Томск, Россия

* pleuropogon@gmail.com

Современное состояние природной среды в Российской Арктике неразрывно связано с историческим прошлым Полярного бассейна. Ретроспективная проблематика составляет крупный сегмент в комплексе исследований природы Арктической зоны и неизменно привлекает внимание и усилия специалистов многих научных дисциплин. Постоянно пополняющаяся информация о флоре различных регионов Арктики и Субарктики дает богатый материал для научных разработок, касающихся современного состояния и истории формирования (реконструкции) растительного покрова этой территории. Растительный мир современной Арктики сформировался в процессе эволюции биоты на северных окраинах Евразии и Америки и на осушавшихся в разные периоды территориях обширного арктического шельфа. Особенно масштабным этот процесс был в сибирско-дальневосточном секторе Арктики, где обводнение и осушение шельфовых пространств в верхнем плейстоцене не-

однократно чередовалось. На осушавшихся шельфах, куда мигрировали растения с соседних участков суши, шло интенсивное видообразование, формировались своеобразные растительные сообщества, занимавшие определенные экологические ниши, о чем свидетельствует, например, наличие в горах севера Таймыра изолированных популяций восточноазиатских тундростепных видов (*Potentilla anachoretica*, *Artemisia arctisibirica* и др.). Остатки шельфовых флористических комплексов по сути составляют основу современных локальных флор большинства арктических островов и побережий, а сохранившиеся или преобразованные фрагменты растительных сообществ стали частью местной растительности. Есть и прямое свидетельство миграции видов в результате раннеголоценовой трансгрессии – произрастание приморских галофитов в глубине материка на приозерных отмелях (например *Puccinellia bruggemanii*, *Cochlearia groenlandica*, *Carex subspathacea* в бассейне оз. Таймыр). Именно локальные флоры — один из базовых объектов, характеризующих состояние окружающей среды в любой географической точке Арктики. Сотрудниками БИН РАН с коллегами из других институтов была создана и постоянно пополняется электронная база данных по сети локальных флор (ЛФ) Российской Арктики и Субарктики, на пространстве от архипелагов Шпицберген, ЗФИ и Мурманского побережья до Берингова пролива, насчитывающая сейчас более 300 ЛФ. Анализ данных этой сети позволил структурировать ЛФ по разным параметрам (видовое разнообразие, таксономические спектры, широтная и долготная географическая структура, эколого-ценотическая структура и т. д.). По итогам иерархического кластерного анализа и наложения его результатов на картографическую основу выявились территории со сходными по разным показателям ЛФ и распределение определенных типов ЛФ в пределах Арктики. Так, анализ широтной структуры ЛФ позволил провести их типологию по этому признаку и получить уточненные количественные показатели для флор арктического типа (арктическая фракция > 40 %) и их подразделение на высокоарктические (таковых более 70 %), среднеарктические (61–70 %) и низкоарктические (40–60 %), и проанализировать размещение ЛФ разных подтипов по территории островов и побережий Полярного бассейна.

Ботанические объекты с зафиксированными географическими координатами являются ячейками флористических и геоботанических данных, они могут быть систематизированы по разным показателям и адекватно экстраполированы на близлежащие территории. Эти объекты можно рассматривать как своеобразные фитогеографические реперы (ФГР), индицирующие современное состояние растительного покрова или отдельных его элементов. В качестве ФГР могут быть использованы реликтовые сообщества, популяции эндемичных и редких видов, флористические комплексы, изолированные местонахождения отдельных таксонов и др. ФГР в географической интерпретации – это

точки или пространства, обозначающие наличие ботанического объекта, несущего конкретную биологическую, экологическую и историческую информацию. Среди всех категорий ФГР наиболее универсальным и максимально информативным объектом могут считаться ЛФ, поскольку они отражают одновременно таксономические, географические и экологические характеристики исторически сложившихся флористических комплексов, насчитывающих десятки и сотни видов. В ходе обследования территории каждой ЛФ выявляется основная масса ботанических объектов, каждый из которых и сам по себе является ФГР. Множественность реперных функций, которые может выполнять каждая отдельно взятая ЛФ, безусловно, превосходит по объему функции других видов ФГР, так как обычно включает в себя, как минимум, некоторые из них. Использование сети ЛФ в качестве ФГР обеспечивает информацию о реальном наборе видов в каждом географическом пункте или регионе, позволяет выявить редкие виды и определить их значимость как пионерных ФГР для последующих исследований. Это дает возможность сопоставления флористических комплексов с географическими координатами территорий, что позволяет прогнозировать вероятность наличия сходных комплексов за пределами сравниваемых ЛФ. При этом мы ориентируемся на поиск конкретных таксонов и сообществ в смежных районах, находящихся в экологической обстановке, аналогичной реперной ЛФ. В совокупности с другими видами ФГР ЛФ создают оптимальную базу для реконструкции истории формирования растительного покрова в предшествующие эпохи на пространствах осушавшегося арктического шельфа. Анализ флористических комплексов, сохранившихся на островах и на сопредельных участках материковой суши, позволяет по принципу аналогий создавать модели возможных комбинаций флористических комплексов и их растительных сообществ в определенных частях шельфа на разных этапах его осушения или погружения (затопления).

Территории изученных ЛФ могут использоваться как базовые ФГР при установлении границ выделов в системе флористического районирования Арктической области на уровне районов, округов, подпровинций и провинций. Важным критерием обособленности территории принимаются дифференциальные и редкие таксоны, присущие отдельным ЛФ. Как правило, наличие серии таковых в ЛФ близлежащих территорий дает основание для отграничения их от тех, где таковая отсутствует, и границы между ними можно считать границами низкого ранга (районов или подрайонов), но такая реперная функция ЛФ эффективна только при наличии достаточно густой сети обследованных ЛФ.

Детально обследованные ЛФ — оптимальные объекты и для мониторинга изменений растительного покрова, происходящих на протяжении любых отрезков времени, поскольку здесь имеются строго фиксированные и максимально учтенные флористические объекты. Островные тер-

ритории наиболее удобны для этих целей, так как имеют естественные, четко очерченные границы и проведение мониторинга их ЛФ (тщательное обследование через 10–20 лет) особенно актуально на фоне современных климатических колебаний.

Количественные характеристики ЛФ также являются параметрами, выполняющими реперную функцию. Малочисленность любой исследованной ЛФ на фоне более богатых соседних может быть сигналом для более тщательной ее инвентаризации. Если же на близлежащих территориях имеется несколько ЛФ, заметно отличающихся по богатству, то возможно, что в полосе их контакта проходит рубеж, фиксирующий флористический выдел.

Накопление новых фактических данных позволяет уточнять и исправлять предложенные ранее модели. К сожалению, огромные территории островов и побережий Российской Арктики еще остаются белыми пятнами для ботаников. Одна из целей этого сообщения — подчеркнуть необходимость целенаправленного изучения и систематизации ботанической информации для конкретных территорий (в нашем случае — для Российской Арктики).

POSTER 5.14

ПОСТЕР 5.14

**MICROALGAE OF AQUATIC AND TERRESTRIAL HABITATS
FROM THE AREAS OF THE RUSSIAN ANTARCTIC EXPEDITION**

T.V. Safronova, R.M. Gogorev, S.V. Smirnova, A.F. Luknitskaya,
O.Ya. Chaplygina, V.M. Andreeva (BIN RAS).*

**МИКРОВОДОРОСЛИ ВОДНЫХ И НАЗЕМНЫХ МЕСТОБИТАНИЙ
ИЗ РАЙОНОВ РАБОТ
РОССИЙСКОЙ АНТАРКТИЧЕСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ**

T.B. Сафронова, Р.М. Гогорев, С.В. Смирнова, А.Ф. Лукницкая,
О.Я. Чаплыгина, В.М. Андреева*

Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия

** safronova.tania@mail.ru*

С 1956 года в Антарктиде начались работы советских ботаников. Первые коллекции поступили в 1956 г. из района ст. Мирный и оазиса Бангера от Е.С. Короткевича, О.С. Вялова и К.К. Маркова и в 1957 г. от М.М. Голлербаха, Е.Е. Сыроечковского и М.Е. Виноградова. Позднее были получены сборы И.М. Симонова из оазиса Ширмахера. Изучение водорослей Антарктики российскими исследователями долгое время не имело планомерного характера и касалось отдельных таксономи-

ческих групп и регионов Южного океана. В конце 1970-х гг. исследования морских водорослей были проведены у о-ва Кинг-Джордж (ст. Беллинсгаузен). Были изучены распределение на шельфе макрофитов и состав диатомовых (Николаев, 1975, 1980, 1989), синезеленых (Авдеева, 1980), бурых (Петров, 1984), зеленых (Виноградова, 1980). Исследованиями флоры ледовых водорослей были охвачены восточная Антарктика, моря Уэдделла и Дейвиса, зал. Алашеева, оазис Бангера, окрестности ст. Новолазаревская, Молодежная, Мирный. Краткая библиография по данным исследованиям приведена Р.М. Гогоревым (2006). Планктологические исследования были проведены в морях Лазарева, Рисер-Ларсена, Космонавтов, Содружества и Дейвиса, заливах Прюдс и Адмиралтейства, районах ст. Новолазаревская, Молодежная, Прогресс, Мирный. Краткая библиография работ по фитопланктону дана Зерновой (2005). Собственные данные по изучению планктонных и ледовых водорослей получены в 52-й и 58-й РАЭ. В 2006–2007 и 2011 гг. в районах ст. Беллинсгаузен, Молодежная, Прогресс, Мирный и Новолазаревская. Список насчитывает 183 таксона из 5 отделов водорослей, преобладают диатомовые (145 таксонов из 44 родов) и динофлагелляты (28 видов). Представители других отделов водорослей малочисленны: из золотистых 2 вида *Dictyocha* и 1 вид *Dinobryon*, 1 вид примезиевых и неидентифицированные представители из сем. *Phormidiaceae* (Суанопрокарйота) (Гогорев, 2009). Позднее проведено изучение отдельных таксономических групп диатомовых: по роду *Fragilariopsis* (Гогорев, 2010), порядку *Chaetocerotales* (Гогорев, 2012), порядкам *Thalassiosirales*, *Melosirales*, *Coscinodiscales* и *Asterolamprales* (Гогорев, 2013). В целом, флору именно морских водорослей Антарктики составляют следующие таксономические группы: 1) диатомовые водоросли льдов — более 100; 2) диатомовые планктона — более 200; 3) динофлагелляты — более 135.

Начиная с 2009 г. В.М. Андреевой был опубликован ряд статей по почвенным водорослям. Позднее к обработке почвенных образцов присоединились О.Я. Чаплыгина, С.В. Смирнова и сотрудница СПбГУ Н.Б. Балашова. Р.Н. Беляковой в середине 1980-х годов опубликовано 2 статьи, посвященные морским и пресноводным цианопрокарйотам острова Кинг-Джордж. В сезон 61-й РАЭ было положено начало систематическому сбору и изучению пресноводных водорослей и цианопрокарйот сотрудниками БИН РАН. На настоящий момент подробно изучены окрестности ст. Прогресс (Сафронова в 2016 г., Сафронова, Смирнова в 2017 г.), ст. Новолазаревская (Смирнова в 2018–2019 гг.), есть сборы окрестностей ст. Беллинсгаузен (Сафронова, Смирнова в

2017 г., Смирнова в 2019 г.) и имеются сборы нашего коллеги из лаборатории Лихенологии М.П. Андреева.

Цианопрокариоты или Синезеленые водоросли — самая разнообразная группа первичных продуцентов Антарктиды, они часто доминируют в сообществах как по видовому составу, так и по обилию. По литературным данным в водоемах оазиса Холмы Ларсеманн (ст. Прогресс) обитают 43 вида цианопрокариот (Ellis-Evans et al., 1998; Sabbe et al., 2004; Taton et al., 2006). В пробах, собранных в 2017 г., учитывая сомнительные и требующие проверки виды, обнаружен 51 вид цианопрокариот, а суммарный список теперь насчитывает 79 видов. Для оазиса Ширмахера (ст. Новолазаревская) в публикациях дано 178 видов и внутривидовых таксонов (Pandey et al., 1995; Richter, 1995; 2004; Shukla et al., 1999; Singh et al., 2008; Huang et al., 2010; План ..., 2015). В собственных пробах выявлено 64 вида синезеленых водорослей. Общий список этого оазиса получился довольно большим — 209 видов и внутривидовых таксонов цианопрокариот, что, возможно, связано не только с богатством флоры, но и с хорошей ее изученностью. Для острова Кинг-Джордж в статье указано 63 вида (Unrein, Vinocur, 1999; Vinocur, Pizzaro, 2000; Komarek, 2007; 2014, Jancusova et al., 2016). Из проб, собранных в окрестностях ст. Беллинсгаузен нами выявлено 45 видов цианобактерий, а итоговый список составляет 88 видов. В разных локалитетах встречались эндемичные для Антарктики виды цианопрокариот, такие как: *Dactylothamnos antarcticus*, *Leptolyngbya antarctica* и др.

Материалом для исследования наземных водорослей послужили пробы, собранные М.П. Андреевым в ходе работ РАЭ за период 2008–2014 г. Впервые исследован грунт ряда наземных биотопов станций: Ленинградская, Русская, Беллинсгаузен, Новолазаревская, Молодежная, Прогресс, а также массива Клеменс. Выявлен 71 таксон, представленный 52 видами зеленых (Chlorophyta), 14 видами синезеленых (Cyanophyta = Cyanoprokaryota), 5 видами желтозеленых (Xanthophyceae) почвенных и аэрофильных микроводорослей. Наибольшее количество видов отмечено в грунтах массива Клеменс (36 видов), что отчасти объясняется тем, что в данном регионе, как и в окрестностях станции Прогресс (21 вид) изучены все выявленные группы водорослей. В грунтах станций Беллинсгаузен (25 видов), Новолазаревская (22 вида), Ленинградская (2 вида) и Русская (4 вида) изучена только группа неподвижных зеленых микроводорослей. Бедность почвенной альгофлоры нунатаков районов ст. Ленинградская и Русская обусловлены, по-видимому, их небольшими площадями, а также исключительно суровыми климатическими условиями. Более половины

выявленных видов водорослей ранее встречались в различных районах Антарктиды. Впервые в грунтах Антарктического региона нами обнаружены 32 вида микроводорослей.

На данный момент исследованы золотистые водоросли (Chrysophyta) в районе трех антарктических станций: Прогресс, Новозазаревская и Беллинсгаузен. Золотистые водоросли — широко распространенная группа микроводорослей, характерной особенностью которой является способность формировать эндогенные кремнистые цисты (стоматоцисты), представляющие собой покоящиеся стадии жизненного цикла хризофитовых. Цисты обеспечивают выживание этой группы в неблагоприятных условиях, например, в суровом климате Антарктиды. Морфология стоматоцист является видоспецифичной, описание морфологии цист — это важный раздел флористического изучения золотистых водорослей, который служит дополнительным критерием для оценки их разнообразия. По итогам многолетних исследований в пресноводных водоемах Антарктики было обнаружено 6 видов золотистых водорослей на стадии вегетативных клеток из 5 родов *Dinobryon* (1), *Paraphysomonas* (2), *Mallomonas* (1), *Synura* (1), *Hydrurus* (1) и около 30 морфотипов стоматоцист. Анализ литературных данных по изучению пресноводных водорослей из группы конъюгат (Charophyta, Conjugatophyceae) Антарктиды показал, что специальных исследований, посвященных этой группе водорослей, не проводилось, есть только отдельные упоминания в общих флористических работах. Полные списки видов конъюгат в водоемах Антарктиды, основанные на анализе литературных источников, часто определенных только до рода (Ellis-Evans et al., 1998; Unrein, Vinocur, 1999) и собственных данных (пробы, 2016–2017 гг. из окрестностей ст. Прогресс и Беллинсгаузен) приводятся впервые. Обнаруженные виды относятся к 6 родам: *Mougeotia*, *Closterium*, *Actinotaenium*, *Cosmarium*, *Staurastrum*, *Gonatozygon*. Род *Mougeotia* представлен 3 видами (идентификация видовой принадлежности затруднена без наличия зрелых репродуктивных органов — зигоспор); *Closterium* — 1 вид (*C. moniliferum*); *Actinotaenium* — 1 вид (*A. cucurbitinum*); *Cosmarium* — 9 видов (*C. dentiferum*, *C. binum*, *C. constrictum*; *C. cyclicum*; *C. granatum*; *C. hammeri*; *C. margaritatum*; *C. venustum*; *C. sp.*); *Staurastrum* — 2 вида (*S. coarctatum*, *S. lapponicum*); *Gonatozygon* — 1 вид (*G. brebissonii*). Следует отметить, что эта группа водорослей не отличается большим разнообразием, только род *Cosmarium* представлен 9 видами.

За организацию работ и постоянную помощь выражаем искреннюю благодарность А.В. Неелову, М.П. Андрееву, сотрудникам РАЭ, экипажу НЭС «Академик Федоров».

THE ROLE OF THE ARCTIC INSTITUTE EXPEDITIONS IN THE ECHINODERM STUDY OF THE ARCTIC OCEAN*A.V. Smirnov*, I.S. Smirnov, S.A. Nazarova, E.A. Stratanenko (ZIN RAS)***РОЛЬ ЭКСПЕДИЦИЙ АРКТИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
В ИЗУЧЕНИИ ИГЛОКОЖИХ
СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА***А.В. Смирнов*, И.С. Смирнов, С.А. Назарова, Е.А. Стратаненко
Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия*** smiris@zin.ru*

Первые данные о донном населении морей Северного Ледовитого океана были получены исследователями Российской Академии наук во второй половине XVIII века. Вновь изучение арктических морских беспозвоночных было проведено лишь в 1837 году экспедицией Академии наук, организованной К.Э. фон Бером на Новую Землю. Позже изучение донной морской фауны продолжает носить отрывочный характер. В 80-х годах позапрошлого века начинается изучение донной фауны Баренцева моря и накопление данных о видовом составе и распределении морских беспозвоночных. В 1898 году при Комитете для помощи поморам русского севера была организована Экспедиция для научно-промысловых исследований у берегов Мурмана.

В первые годы после Октябрьского переворота возникает большое число новых научных институтов обществ, журналов. Не остались в стороне и области науки, занимавшиеся изучением северных морей. Новые организации возникают как в Москве, так и в Петрограде.

В 1919 году в Петрограде организуется Северная научно-промысловая экспедиция Научно-технического отдела Высшего совета народного хозяйства (Севэкспедиция), преобразованная позже в Институт по изучению Севера, а затем во Всесоюзный Арктический институт. Работы по изучению морской фауны возглавлялись в Петрограде-Ленинграде Константином Михайловичем Дерюгиным. Петроградская школа К.М. Дерюгина, (согласуясь с его установкой, что каждый специалист, изучающий жизнь моря, хорошо должен знать хотя бы одну группу морских животных), уделяла большое внимание классическим зоологическим исследованиям (систематике, фаунистике, зоогеографии). В определенной степени, это было также связано с тем, что в Ленинграде были расположены Зоологический (ЗИН) и Арктический институты, первый

из которых имел кадры высокопрофессиональных зоологов, а второй возможность организации экспедиций и сбора материала. После реорганизации в 1925 году Севэкспедиции в Институт по изучению Севера объем исследовательских работ был значительно расширен. В 1925 году на парусно-моторном судне «Эльдинг» была организована экспедиция на Новую Землю, посетившая Карское море.

С 1929 года проводится интенсивное изучение Карского моря, а со второй половины 1930-х гг. начинается изучение ранее недоступных высоких широт Арктики, и, в меньшей степени, морей Лаптевых и Восточно-Сибирского.

В 1930 году Институт по изучению Севера преобразуется во Всесоюзный Арктический институт, в ведение которого переходят основные работы по изучению Арктики. 17 декабря 1932 года было организовано Главное управление Главсевморпути, которому подчинялся Арктический институт и в ведении которого относились работы как по хозяйственному освоению морей советской Арктики, так и по научному их изучению. Работы института носили комплексный характер.

Всесоюзным Арктическим институтом были организованы рейсы на ледорезе «Ф. Литке» (1955 г.) и дизель-электроходах «Обь» (1956 г.) и «Лена» (1957–1958 гг.) в северную часть Гренландского моря и прилегающие районы Северного Ледовитого океана, и в области, лежащие к северу от Шпицбергена и Земли Франца Иосифа.

В общей сложности, с 1925 г. по 1960 г. было проведено более 30 комплексных экспедиций, в которых участвовали, кроме упомянутых выше, следующие суда: «Георгий Седов» (1926, 1929, 1930, 1934, 1937), «Ломоносов» (1931), «Русанов» (1931, 1932), «Сибиряков» (1931, 1932), «Арктик» (1933, 1934), «Красин» (1932, 1934, 1935), «Садко» (1935–1938), «Северный Полюс» (1946), «Шторм» (1960).

Сборы донных животных осуществлялись также со льдин дрейфующих станций Северный Полюс-2 (1950/51), СП-3 (1954/55), СП-4 (1954/56), СП-5 (1955), СП-6 (1957/58), СП-7 (1957/58).

Сборщиками донных животных в тяжелых арктических условиях трудились известные зоологи и океанологи: Г.П. Горбунов, П.В. Ушаков, В.Л. Вагин, Л.О. Ретовский, Н.Н. Кондаков, Г.С. Сластников, В.К. Есипов, Т.С. Пергамент, В.В. Макаров, Ю.К. Чернявский, А.П. Андрияшев, В.М. Колтун, М.М. Никитин, М.М. Сомов, З.М. Гудкович, А.И. Кузьмина, З.С. Горюнова, М.В. Петровская, Л.И. Щербакова, А.С. Чечулин, Н.М. Демьянов, Н.И. Теляев, В.И. Шильников, Н.И. Блинов, М.С. Кривоногов, В.А. Харитонов, В.А. Шамонтьев.

В 1977 году в Арктике дрейфовали СП-22 и СП-23, на которых сборы бентоса проводили сотрудники Института океанологии И.Ф. Афанасьев, И.М. Белкин, Л.И. Москалев и И.А. Мельников.

В Зоологический институт поступили материалы с более чем 1000 станций, с большим объемом донных животных, в том числе массовых форм иглокожих.

В 1958 г. Всесоюзный Арктический институт был преобразован в Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт (ААНИИ). Основная масса зоологических коллекций, доступных для исследования, хранится в Зоологическом институте РАН. Здесь собраны материалы почти всех экспедиций XIX — начала XX веков, сборы Всесоюзного Арктического института, значительная часть сборов Пловучего морского научного ин-та (МНИ, ГОИН), сборы экспедиций Зоологического института и ряда экспедиций других организаций. Весьма интересно проследить судьбу коллекций, собранных в экспедициях Арктического института. В 40–60-е гг., когда был упразднен гидробиологический отдел в Арктическом институте, сбор бентоса проводился в основном сотрудниками Зоологического института, участвовавшими в экспедициях ААНИИ. Сложившаяся в 90-х гг. позапрошлого века структура исследовательских работ по изучению арктической донной биоты просуществовала довольно долго и показала свою жизнеспособность.

Сокращение в наше время одного из ее основных звеньев — сбора, сохранения и обработки бентоса в крупных экспедициях, требующих значительных затрат и наличия исследовательских судов ледового класса, привело к образованию пробела в наших знаниях об арктической донной биоте, особенно в условиях меняющегося климата. До сих пор не выявлен до конца состав и распределение фауны моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря, не выяснена биоценотическая структура этих акваторий. В меньшей степени это относится к Чукотскому морю, но и здесь предстоит много работы. Что касается Карского и Баренцева морей, то имеющиеся необработанные материалы, еще ждут своего часа и не всегда доступны. По-видимому, вновь встает вопрос о координации усилий всех заинтересованных в изучении Арктики организаций и создании центра по сохранению добываемой с таким трудом информации, которая была бы доступна для специалистов из разных областей.

Работа была выполнена как часть исследования по государственной теме «Таксономия, биоразнообразие и экология беспозвоночных российских и сопредельных вод Мирового океана, континентальных водоемов и увлажненных территорий» (Номер АААА-А19-119020690072-9), частично поддержана фондами РФФИ и NSFC проекта № 19-54-

53028 «Сравнительный анализ популяций *Ophiura sarsii* Lütken, 1855 (Echinodermata: Ophiuroidea) в морях Арктического и Тихоокеанского бассейнов: морфология, генетика, линейный рост» и программой фундаментальных исследований Президиума Российской академии наук «Биоразнообразии природных систем и биологические ресурсы России» (Подпрограмма «Биологическое разнообразие», проект: «Таксономический и эколого-фаунистический аспекты изучения разнообразия животного мира России»).

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
Международной научной конференции
Комплексные исследования
природной среды Арктики и Антарктики

Подписано в печать 25.02.2020
Печать офсетная
Тираж 220 экз.

Формат 60 × 84 1/16
Печ. л. 25,5
Заказ № ..

Отпечатано в типографии
ООО «Первый издательско-полиграфический холдинг»,
194044, Россия, Санкт-Петербург, ул. Менделеевская, 9