



Экспедиционные исследования  
в Мировом океане,  
внутренних водах  
и на архипелаге Шпицберген

2018

Материалы конференции  
«Итоги экспедиционных исследований в 2018 году в Мировом океане, внутренних водах  
и на архипелаге Шпицберген»

18–19 февраля 2019 г.  
г. Москва, Российская Федерация

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Итоги экспедиционных исследований  
в 2018 году в Мировом океане,  
внутренних водах  
и на архипелаге Шпицберген

Материалы конференции  
18–19 февраля 2019 г.  
г. Москва, Российская Федерация

Севастополь  
ФГБУН ИМБИ  
2019

УДК 551.46.07(26+268)(063)

ББК 26.221:26.89(9)

И93

И93

**Итоги экспедиционных исследований в 2018 году в Мировом океане, внутренних водах и на архипелаге Шпицберген** [Электронный ресурс] : материалы конференции, г. Москва, 18–19 февраля 2019 г. / Министерство науки и высшего образования РФ. – Севастополь : ФГБУН ИМБИ, 2019. – 241 с. – URL: <https://repository.marine-research.org/handle/299011/6034>

ISBN 978-5-6042938-1-2 DOI: [10.21072/978-5-6042938-1-2](https://doi.org/10.21072/978-5-6042938-1-2)

В сборнике представлены материалы конференции «Итоги экспедиционных исследований в 2018 г. в Мировом океане, внутренних водах и на архипелаге Шпицберген» (г. Москва, 18–19 февраля 2019 г.). Доклады посвящены исследованиям в 2018 г. на судах неограниченного района плавания во всех морях России и на судах малого научно-исследовательского флота на внутренних реках и водоемах. Особое внимание уделено научным исследованиям на архипелаге Шпицберген и в омывающих его водах, а также результатам многолетней международной научно-образовательной программы «Обучение-через-исследования (Плавучий университет)».

УДК 551.46.07(26+268)(063)

ББК 26.221:26.89(9)

*Редакционная коллегия:*

*академик РАН Адрианов А. В.; чл.-корр. РАН Коновалов С. К.; к. г. н. Голубева Н. И.;*

*чл.-корр. РАН Филатов Н. Н.; д. г. н. Зайцева Н. А.*

*Материалы опубликованы в авторской редакции*

*с минимальными корректорскими правками.*

ISBN 978-5-6042938-1-2

© Министерство науки и высшего образования РФ, 2019

© ФГБУН ИМБИ, 2019

# Содержание

Предисловие . . . . .	9
<b>Экспедиционные исследования в Мировом океане и внутренних водах</b>	
Бердников С. В. <b>Экспедиционные исследования Южного научного центра РАН в 2018 г. . . . .</b>	<b>12</b>
Боровков А. Б., Бурдиян Н. В., Гулин С. Б. <b>Оценка экологического состояния и биоресурсного потенциала экосистем российско-го сектора Черного и Азовского морей . . . . .</b>	<b>28</b>
Босин А. А. <b>Изучение современных природных условий и палеоокеанологии голоцена моря Лаптевых. Вторая российско-китайская арктическая экспедиция Arctic Silk Way – 2018 в 83-м рейсе НИС «Академик М. А. Лаврентьев» . . . . .</b>	<b>32</b>
Валитов М. Г., Ли Н. С., Сергеев А. Ф., Сагалаев С. Г., Легкодимов А. А., Захарков С. П., Пермяков П. А., Рязанов С. Д., Лобанов В. Б., Шакиров Р. Б., Салюк П. А., Колпащикова Т. Н. <b>Комплексные геолого-геофизические, газогеохимические, океанографические и биологические исследования в Японском и Охотском морях в 55-м рейсе НИС «Академик Опарин» . . . . .</b>	<b>37</b>
Валитов М. Г., Шакиров Р. Б., Яцук А. В., Прошкина З. Н., Ли Н. С., Аксентов К. И., Обжиров А. И., Съедин В. Т., Пономарева А. Л., Карнаух В. Н. <b>Комплексные геолого-геофизические, газогеохимические и океанографические исследования в Японском море и Татарском проливе в 81-м рейсе НИС «Академик М. А. Лаврентьев» . . . . .</b>	<b>44</b>
Герасимов Ю. В. <b>Итоги комплексного исследования структуры и функционирования экосистем каскада Волжских водохранилищ и Цимлянского водохранилища (р. Дон) в 2018 г. . . . .</b>	<b>50</b>
Гладышев С. В., Гладышев В. С., Артемьев В. А., Гавриков А. В., Гагарин В. И., Глуховец Д. И., Демидов А. Б., Ключевиткин А. А., Колоколова А. В., Морозов Е. Г., Новигатский А. Н. <b>71-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш»: климатический мониторинг субполярного круговорота Северной Атлантики и водообмена между Арктикой и Северной Атлантикой . . . . .</b>	<b>57</b>

Захарков С. П., Лобанов В. Б. <b>Комплексные прибрежные океанографические исследования ТОИ ДВО РАН в заливе Петра Великого (2018 г.)</b> . . . . .	67
Зацепин А. Г. <b>Результаты натурных исследований состояния водной среды и биоты прибрежной зоны Черного моря в 2018 г. с использованием МНИС «Ашамба» и катера «Мерри Фишер»</b>	69
Здоровеннов Р. Э., Толстиков А. В., Филатов Н. Н. <b>Отчет об экспедиционных исследованиях ИВПС КарНЦ РАН в 2018 г. с использованием НИС «Эколог». Исследования на Белом море</b> . . . . .	70
Зимин А. В., Атаджанова О. А., Жегулин Г. В., Коник А. А., Репина И. А., Дебольский А. В. <b>Гидрологические условия в юго-западной части Баренцева моря в октябре — ноябре 2018 г. (по материалам 74-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш»)</b> . . . . .	79
Калинкина Н. М., Белкина Н. А., Потахин М. С., Теканова Е. В. <b>Отчет об экспедиционных исследованиях ИВПС КарНЦ РАН в 2018 г. на Онежском озере и Выгозерском водохранилище с использованием НИС «Эколог»</b> . . . . .	81
Коновалов С. К., Артамонов Ю. В., Гармашов А. В. <b>Экспедиционные исследования океанологических процессов Черного моря</b> . . . . .	89
Крек А. В., Ульянова М. О., Бубнова Е. С., Ежова Е. Е. <b>Результаты мониторинга пространственно-временных изменений экосистемы Балтийского моря в 2018 г. (43-й рейс НИС «Академик Борис Петров»)</b> . . . . .	94
Латушкин А. А., Ли М. Е., Суслин В. В., Кудинов О. Б. <b>Результаты исследований гидрооптической структуры деятельного слоя Черного моря</b>	100
Лобанов В. Б., Сергеев А. Ф., Марьина Е. Н., Воронин А. А., Горин И. И., Щербинин П. Е., Сагалаев С. Г., Семкин П. Ю., Чаркин А. Н., Шлык Н. В. <b>Исследование состояния и изменения водной среды Японского моря (рейсы НИС «Академик М. А. Лаврентьев» № 80 и 84)</b> . . . . .	102
Макаревич П. Р., Ишкулов Д. Г., Валуйская Д. А., Горяев Ю. И., Духно Е. И., Дружкова Е. И., Ежов А. В., Зимина О. Л., Ишкулова Т. Г., Ильин Г. В., Максимовская Т. Н., Моисеев Д. В., Олейник А. А., Пастухов И. А. <b>Морские экспедиционные исследования ММБИ КНЦ РАН в 2018 г.</b> . . . . .	103
Мирзоева Н. Ю., Егоров В. Н., Гулин С. Б. <b>Экспедиционные исследования по радиационной и химической биологии ФГБУН ИМБИ на НИС «Профессор Водяницкий» (1986–2018)</b> . . . . .	108
Мирошников А. Ю. <b>Покровный ледник Северного острова (архипелаг Новая Земля) — новый источник радиоактивности в Арктике</b> . . . . .	111

Моисеева Н. А., Чурилова Т. Я.	
<b>Спектральные биооптические показатели вод Черного и Азовского морей как основа развития региональных алгоритмов оценки качества и продуктивности водоемов на основе данных дистанционного зондирования для задач оперативного мониторинга</b> . . . . .	112
Мордухович В. В., Адрианов А. В., Галкин С. В., Денисов В. А., Ивин В. В., Крылова Е. М., Малютин А. Н., Михайлик П. Е., Полоник Н. С., Санамян Н. П., Шилов В. А., Даутова Т. Н.	
<b>Комплексные исследования глубоководных экосистем в западной части Берингова моря (по материалам экспедиции 2018 г.)</b> . . . . .	113
Морозов Е. Г.	
<b>Отчет о гидрофизических работах в 46-м рейсе НИС «Академик Сергей Вавилов» (28 сентября — 2 ноября 2018 г.)</b> . . . . .	122
Никифоров С. Л.	
<b>Геолого-геофизические исследования в Баренцевом море в 38-м рейсе НИС «Академик Николай Страх» в августе — сентябре 2018 г.</b> . . . . .	124
Новигатский А. Н., Гладышев С. В., Ключиткин А. А., Козина Н. В., Артемьев В. А., Коченкова А. И.	
<b>Геологические исследования в Северной Атлантике и прилегающей Арктике в 71-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш»</b> . . . . .	126
Обжиров А. И., Валитов М. Г., Шакиров Р. Б., Аксентов К. И., Яцук А. В., Швалов Д. А., Пономарева А. Л., Марьина Е. Н., Василенко Л. Н., Цой И. Б., Плетнев С. П., Нестерова О. В., Бовсун М. А.	
<b>Аннотация выполнения исследований в Японском море в экспедиции на НИС «Академик М. А. Лаврентьев» (81-й рейс), 04–27 мая 2018 г.</b> . . . . .	131
Пака В. Т., Крек А. В.	
<b>Результаты исследований в 44-м рейсе НИС «Академик Борис Петров» в Балтийском море и проливе Скагеррак</b> . . . . .	147
Пузанов А. В., Безматерных Д. М.	
<b>Комплексные гидроэкологические исследования в бассейне реки Оби (2018 г.)</b> . . . . .	150
Русаков В. Ю., Зверев А. С.	
<b>Измерение потока газов и результаты непрерывного сейсмопрофилирования в районах метановых сипов моря Лаптевых (73-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш»)</b> . . . . .	152
Семилетов И. П., Дударев О. В., Дмитриевский Н. Н., Рубан А. С., Русаков В. Ю., Русанов И. И., Даутова Т. Н., Ильинский Д. А., Якушев Е. В., Росляков А. Г., Космач Д. А., Черных Д. В., Ананьев Р. А., Салюк А. Н., Спивак Э. А., Овсенев А. Е.	
<b>Изучение климатической роли деградации подводной мерзлоты как фактора массированных выбросов основных парниковых газов в атмосферу над восточно-арктическими морями России (78-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш»)</b> . . . . .	157

Федирко А. В., Артамонов Ю. В., Шутов С. А., Скрипалева Е. А., Дерюшкин Д. В., Колмак Р. В., Завьялов Д. Д., Шаповалов Р. О., Шаповалов Ю. И., Щербаченко С. В.	
<b>Проявление сезонной и синоптической изменчивости в гидрологической структуре вод северной части Черного моря . . . . .</b>	<b>174</b>
Федотов А. П.	
<b>Экспедиционные работы Лимнологического института СО РАН на озере Байкал в 2018 г.</b>	<b>176</b>
Флинт М. В.	
<b>Морские экосистемы сибирской Арктики. 72-й научный рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш» (16 августа — 20 сентября 2018 г.) . . . . .</b>	<b>182</b>
Халаман В. В.	
<b>Исследования сообществ обрастания в Белом море. Экспедиционные работы Зоологического института РАН . . . . .</b>	<b>185</b>
Юрченко А. Н.	
<b>Совместная российско-вьетнамская научно-исследовательская экспедиция № 50 в Южно-Китайском море на НИС «Академик Опарин» (июнь — август 2018 г.) . . . . .</b>	<b>188</b>
 <b>Исследования на архипелаге Шпицберген</b>	
Белишева Н. К., Мартынова А. А., Пряничников С. В., Соловьевская Н. Л., Завадская Т. С., Мегорский В. В.	
<b>Изучение медико-биологических эффектов высокоширотного экстремального воздействия геокосмических агентов на организм человека в условиях архипелага Шпицберген . . . . .</b>	<b>192</b>
Гонтарь О. Б., Жиров В. К., Константинова Н. А., Шмакова Н. Ю., Кашулина Г. М.	
<b>Растительно-почвенные ресурсы, совершенствование методов управления охраняемыми природными территориями в условиях климатических изменений и антропогенного воздействия и оптимизация среды обитания человека на архипелаге Шпицберген . . . . .</b>	<b>194</b>
Державин В. Л.	
<b>Мониторинг археологических памятников Западного Шпицбергена в 2018 г. . . . .</b>	<b>196</b>
Григорьев В. Ф., Козелов Б. В.	
<b>Проведение стационарных наблюдений за магнитными и оптическими явлениями на архипелаге Шпицберген, исследование геофизических процессов в высокоширотной атмосфере Земли . . . . .</b>	<b>198</b>
Моисеев Д. В., Берченко И. В., Воскобойников Г. М., Зимина О. Л., Лебедева Н. В., Мещеряков Н. И., Салахов Д. О., Усягина И.С.	
<b>Комплексные исследования морских и наземных экосистем в районе архипелага Шпицберген в 2018 г. . . . .</b>	<b>200</b>

Осокин Н. И., Зазовская Э. П., Сосновский А. В.	
<b>Исследование изменчивости природных и антропогенных ландшафтов архипелага Шпицберген в условиях современного климата . . . . .</b>	<b>205</b>
Репина И. А., Артамонов А. Ю., Гречушникова М. Г.	
<b>Исследование энерго- и газообмена атмосферы с поверхности сложной структуры в прибрежных районах Шпицбергена . . . . .</b>	<b>207</b>
Федоров А. В.	
<b>Развитие методов и аппаратных средств сейсмоинфразвукового мониторинга процессов деструкции арктической криосферы и опасных геодинамических явлений на архипелаге Шпицберген . . . . .</b>	<b>209</b>
 <b>Плавучий университет</b>	
Ахманов Г. Г., Хлыстов О. М., участники проекта Class@Baikal	
<b>«Обучение-через-исследования» на Байкале: развивая традиции Плавучего университета ЮНЕСКО-МГУ . . . . .</b>	<b>224</b>
Милкус А. Б.	
<b>Основные направления развития Ассоциации плавучих университетов России . . . . .</b>	<b>230</b>
Сабуров А. А., Меркулов В. А., Прохорова У. В., Весман А. В., Сорокина Т. Ю., Трофимова А. Н., Попов А. Н., Матушкин Н. Ю., Брагин В. Ю., Ясакова Е. В., Пржиборо А. А., Нехаев И. О., Никитин Д. А.	
<b>О результатах научно-исследовательских работ экспедиции «Арктический плавучий университет — 2018» . . . . .</b>	<b>233</b>
Степанова Н. Б.	
<b>«Плавучий университет ИО РАН» — итоги первого года . . . . .</b>	<b>238</b>

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В 2018 г. в соответствии со сводным планом выполнено более 26 морских экспедиций, в которых участвовали сотрудники научных групп подведомственных Министерству научных организаций и высших учебных заведений, а также зарубежные специалисты. Размер финансирования научного флота и экспедиционных исследований в 2018 г. составил более 1200 млн рублей.

В морских экспедиционных работах были задействованы научно-исследовательские суда неограниченного района плавания «Академик Мстислав Келдыш», «Академик Борис Петров», «Академик Сергей Вавилов», «Профессор Водяницкий», «Академик Опарин», «Академик Николай Страхов», «Дальние Зеленцы», «Профессор Владимир Кузнецов».

Особое внимание было уделено научным исследованиям в водах, омывающих архипелаг Шпицберген, так как он является одним из опорных районов для оценки изменений климата, гидрометеорологической обстановки в Арктике, функционирования больших морских экосистем Северной Атлантики и Северного Ледовитого океана, эволюции криосферы. Океанографические работы включали системные исследования в области взаимодействия Северного Ледовитого и Атлантического океанов, биогеохимические, литологические и радиохимические исследования донных осадков в шельфовых морях российского сектора Арктики, исследование особенностей динамики фронтальных разделов и фронтальных зон в Белом море, экосистемы моря Лаптевых, Карского и Восточно-Сибирского морей, донных экосистем Печорского моря.

Большое количество исследований выполнено и в дальневосточных морях России. Здесь проводились работы по всем направлениям океанологии и прежде всего — связанные с загрязнением морской среды и с опасными океанскими явлениями, часто проявляющимися в этом регионе нашей страны.

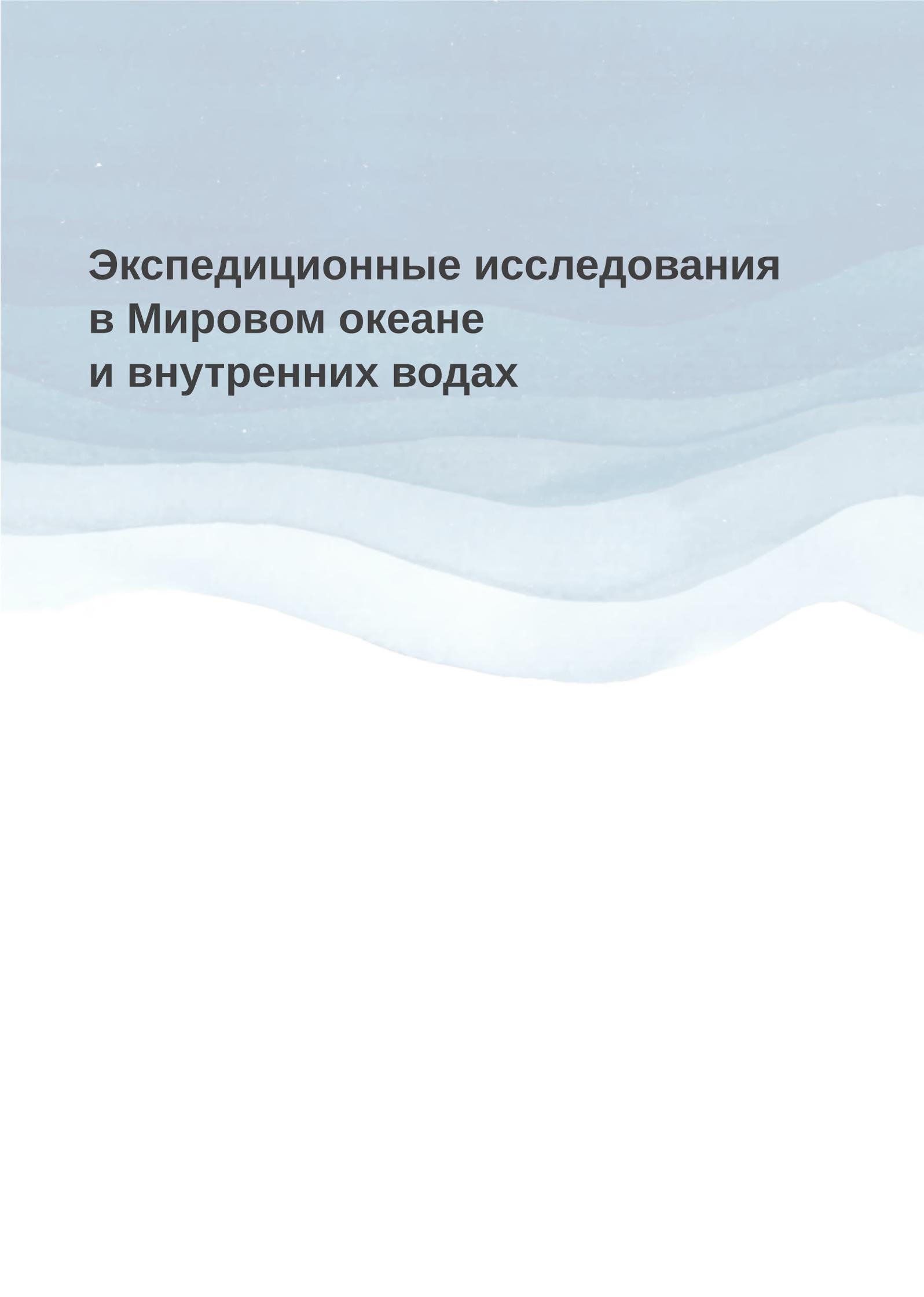
Не оставлены без внимания и наши внутренние моря. Широкий комплекс работ осуществлен в экономической зоне Черного моря и в Азовском море. В Балтийском же море работы были связаны с изучением состояния экосистемы моря, а также состояния захороненного там после Второй мировой войны химического оружия.

Экспедиционные исследования во внутренних водоемах страны проводились с использованием малого научно-исследовательского флота. Прежде всего это исследования озера Байкал, в которых задействовано 5 судов ограниченного района плавания. В течение года здесь выполнен большой комплекс работ по оценке состояния экосистемы озера и его загрязнения. Экспедиционные исследования проводились на Ладожском, Онежском озерах, Волге и расположенных на ней водохранилищах, а также в других районах. Общая продолжительность проведенных в 2018 г. работ составила более 1600 судосуток, в том числе морских экспедиционных работ — 556 судосуток.

Большое значение для обеспечения работ имела деятельность Совета по гидросфере Земли ФАНО России. В Совете решались важнейшие вопросы по разработке планов экспедиционных исследований, по проблемам содержания и обслуживания научных судов. Для решения всех этих ключевых задач Минобрнауки создана Рабочая группа по формированию и утверждению сводного плана экспедиционных исследований научно-исследовательских судов организаций, подведомственных Минобрнауки России, которая уже начала активную деятельность.

Адрианов А. В.,  
вице-президент РАН, академик РАН





**Экспедиционные исследования  
в Мировом океане  
и внутренних водах**

## ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЮЖНОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН В 2018 Г.

С. В. Бердников

Южный научный центр РАН

[berdnikov@ssc-ras.ru](mailto:berdnikov@ssc-ras.ru)

В 2018 г. при выполнении государственного задания на транспортное экспедиционное обслуживание проведены экспедиционные работы на научно-исследовательских судах «Денеб»<sup>1</sup> и «Профессор Панов» продолжительностью 180 судосуток.

На НИС «Денеб» в период с мая по декабрь проведено 9 экспедиций. Район работ — Черное, Азовское и Каспийское моря, попутно — р. Дон, р. Волга, Цимлянское водохранилище (рис. 1). На НИС «Профессор Панов» в период с апреля по декабрь проведено 7 экспедиций на Нижнем Дону (от устья Дона до Кочетовского гидроузла) и в восточной части Таганрогского залива (рис. 2).



Рис. 1. Маршруты экспедиционных исследований НИС «Денеб» в 2018 г.

Всего в ходе экспедиционных работ на НИС «Денеб» и НИС «Профессор Панов» в 2018 г. выполнено 390 комплексных станций и отобрано 1797 проб по более чем 10 показателям (табл. 1).

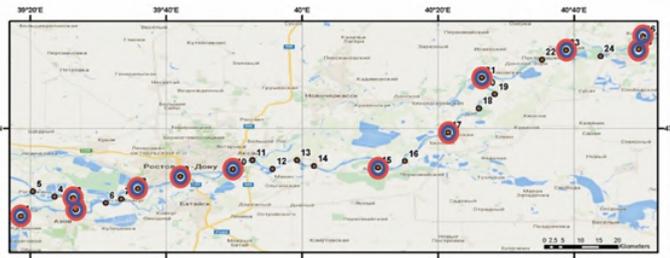
Экспедиция в Азовское море в конце мая — начале июня была приурочена к пику паводка р. Дон, а в конце августа — к меженному донскому стоку; 2018 — первый за последние 10 лет многоводный год.

<sup>1</sup>На основании уведомления Российского морского регистра судоходства № 185-343-1/14979 от 22.01.2018 о приостановке класса НИС «Денеб», в феврале — марте 2018 г., был проведен доковый ремонт судна на сумму 4,3 млн руб. Работы выполнены согласно п. 28 «Положения о классификации и об освидетельствовании судов», утвержденного приказом Министерства транспорта РФ от 14 апреля 2016 г., в соответствии с которым судно должно проходить доковое освидетельствование перед третьим ежегодным освидетельствованием. Бюджетных средств, запрошенных ЮНЦ РАН у ФАНО, выделено не было. Доковый ремонт был оплачен из внебюджетных средств.



Таганрогский залив

**Выполнено ТЭО  
7 экспедиций (90 судосуток)  
в период апрель-декабрь  
Нижний Дон**



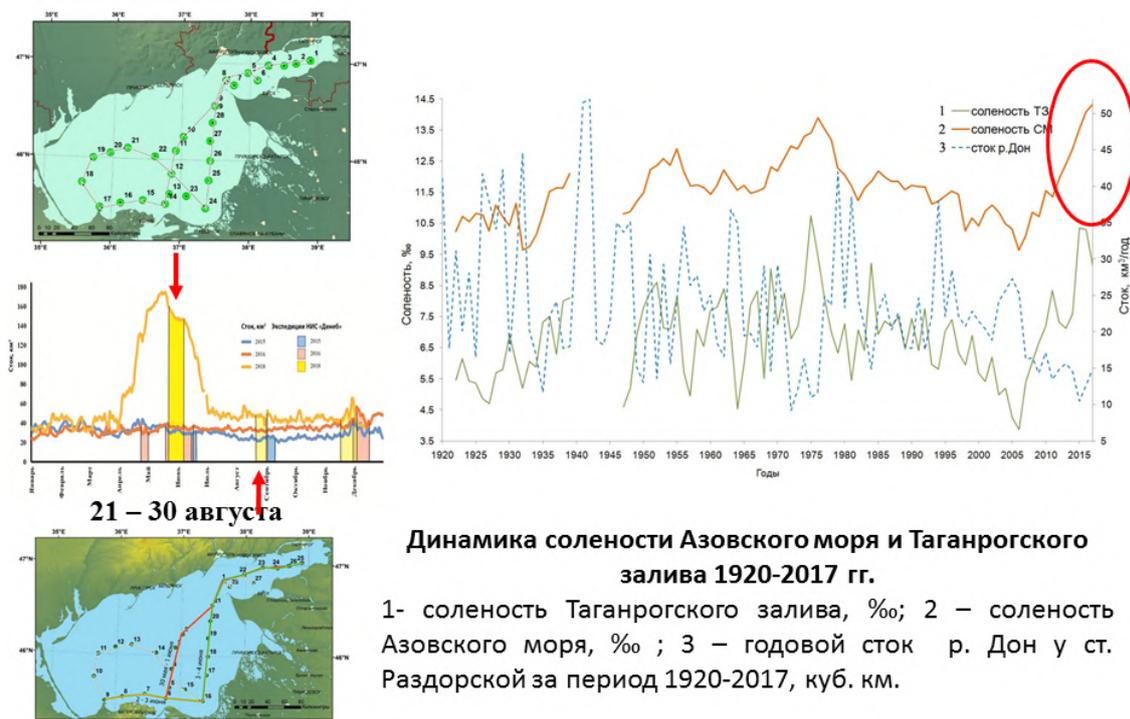
№	станции	№	станции	№	станции	№	станции
1	г. Довжой	9	р. Токмаки, устье, 500м ниже	17	ст-ца Елагинская	25	г.Семвогаровск
2	г. Азов, водозбор МП Володарка	10	г. Ростов-на-Дону, водозбор Володарка	18	г.Калемин	26	ст-ца Кичеловская
3	г. Дубово, рукав Большая Калашка	11	г. Азов, устье р. Аваши	19	р.Сулак, устье		
4	Костиня яма, новый водозбор г. Ростов-на-Дону	12	р. Черкасская, устье	20	р.Авский, восток		
5	г. Рогожино (рукав Б. Кутурма)	13	пос. Старочеркаска ривьера	21	ст-ца Мелитовская		
6	г. Шмак	14	ст-ца Старочеркаска	22	г. Пузыровский		
7	р. Ковлуг, устье	15	г. Артемов	23	ст-ца Радогорская		
8	г. Ростов-на-Дону, водозбор Володарка	16	р. Мамля, устье	24	р.Сал, устье		

- Комплексные станции (гидрохимия, гидрология, бентос, планктон)
- Станции СТД-зондирования

Рис. 2. Район экспедиционных исследований НИС «Профессор Панов» в 2018 г.

Таблица 1. Сводная таблица изученности морских и водных экосистем Юга России в ходе экспедиционных работ (морских научных исследований) на судах ЮНЦ РАН

Метеорология	390
Гидрология	378
Гидрохимия	290
Ультрафитопланктон	91
Фитопланктон	201
Зоопланктон	180
Ихтиопланктон	36
Зообентос	180
Ихтиология	20
Орнитология	21
Териология	61
Литология	32
Хлорофилл	306
Взвешенное вещество	253
Растворенное органическое вещество	214
Первичная продукция	33
Растворенный кислород в воде	214



**Рис. 3.** Экспедиции на НИС «Денеб» в период паводка и межени на Дону. Средняя по Азовскому морю и Таганрогскому заливу среднегодовая соленость в сопоставлении с речным стоком за период 1920–2017 гг. (по [1])

В 2017 г. на фоне малой водности р. Дон в течение предшествующих лет соленость центральной части Азовского моря приблизилась к критической отметке — 14 ‰ (рис. 3).

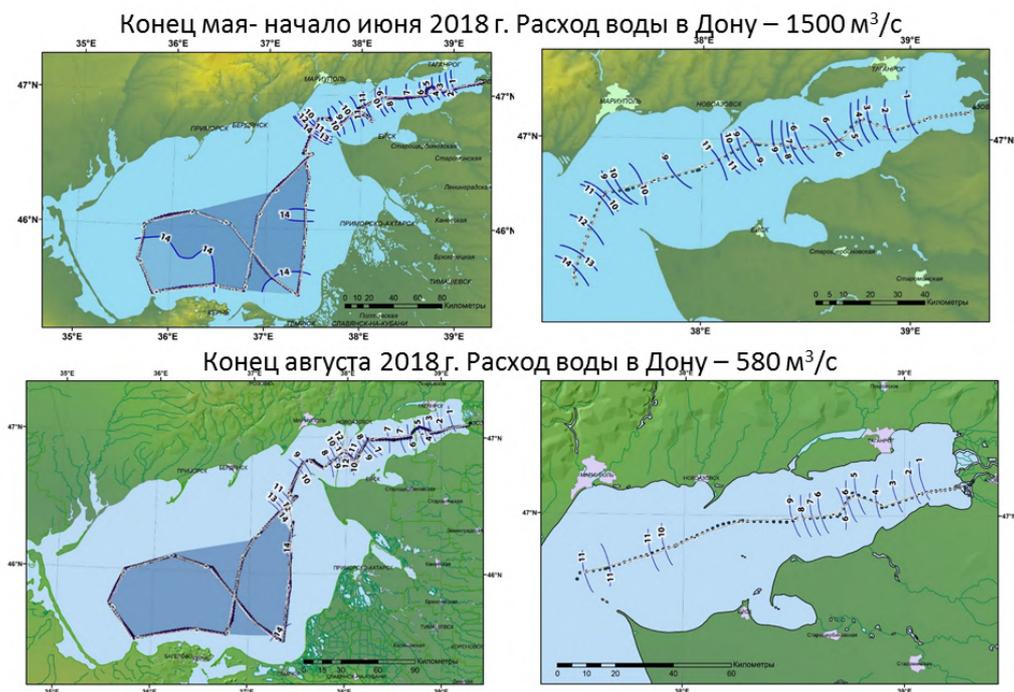
Вместе с тем многоводный для Дона сток в 2018 г. изменил гидрологический режим Таганрогского залива, но практически не повлиял на соленость центральной части моря (рис. 4). Гидрологические измерения были проведены к. б. н. Е. П. Олейниковым и К. С. Григоренко.

В экспедиции на НИС «Денеб» в ноябре 2018 г. продолжено изучение условий осадконакопления Азовского моря в голоцене. Грунтовой трубкой отобрано 8 колонок для последующего комплексного литологического, палинологического, диатомового и радиоуглеродного анализа (рис. 5). Отбор проб ударной грунтовой трубкой выполнен к. г. н. В. В. Польшиным.

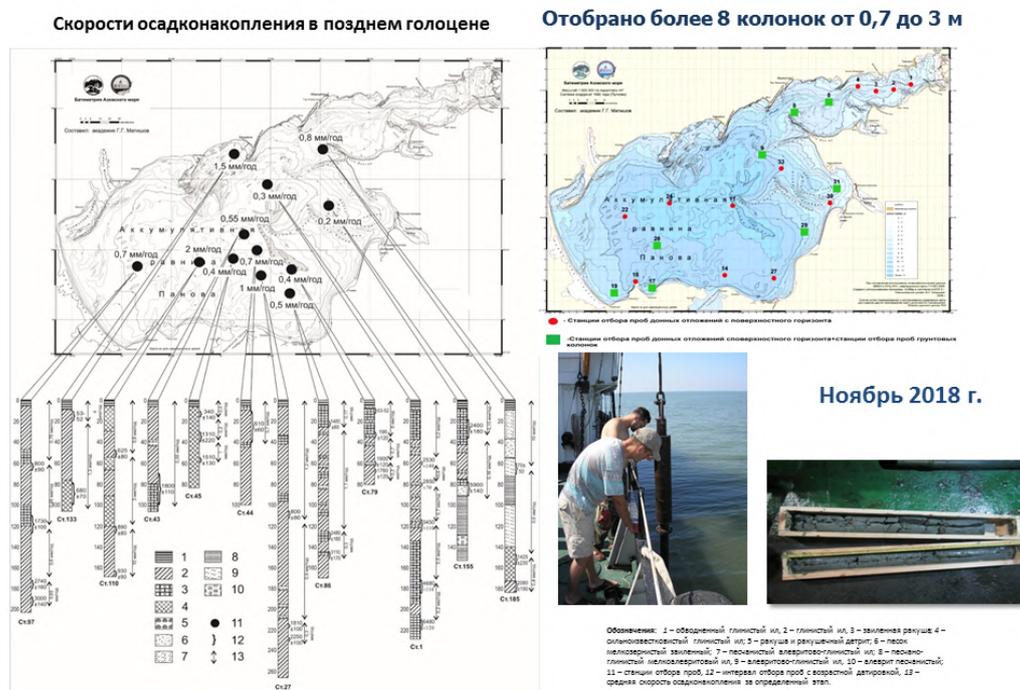
По результатам экспедиционных исследований на НИС «Денеб» в июне, июле, сентябре 2016 г., апреле, июле 2017 г., мае — июне 2018 г. завершена калибровка и валидация алгоритма оценки концентрации хлорофилла *a* в Азовском море по данным сканера OLCI, установленного на спутнике Европейского космического агентства Sentinel-3 (рис. 6). Результат опубликован в [9]. Этот алгоритм является аналогом алгоритма для оценки концентрации хлорофилла *a* в Азовском море по данным сканера MERIS и может быть использован для продолжения многолетнего спутникового мониторинга этого показателя [5].

В ноябре — декабре 2018 г. выполнен комплекс работ по изучению течений в Азовском море с применением регистратора течений Aanderaa RCM 9LW (рис. 7).

Получены фактические данные затока черноморских вод через Керченский пролив с соленостью более 18 ‰ и скоростью до 16 см·с<sup>-1</sup>, свидетельствующие об исключительной роли вод Черного моря при формировании термохалинного режима Азовского моря. Гидрологические измерения проведены к. б. н. Е. П. Олейниковым и К. С. Григоренко.



**Рис. 4.** Соленость Азовского моря (по результатам экспедиционных исследований в 2018 г.)



**Рис. 5.** Изучение скоростей осадконакопления. Слева представлены результаты исследований в прошлые годы по [4]. Справа — станции отбора грунтовых колонок и донных отложений в экспедиции в ноябре 2018 г.

## Региональный алгоритм мониторинга хлорофилла «а» в Азовском море

ОКЕАНОЛОГИЯ, 2019, том 50, № 5, с. 1–22

МОРСКАЯ БИОЛОГИЯ

ХК 591.526.725.526.08242.546

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА «а» В АЗОВСКОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ СПЕКТРОМЕТРА MERIS

© 2018 г. В. В. Сапрыгин<sup>1</sup>, С. В. Бодунов<sup>2</sup>, В. В. Кузмин<sup>3</sup>, Л. В. Данкевич<sup>4</sup>, Л. М. Местечкий<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия  
<sup>2</sup> Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, факультет математической статистики и информатики, Москва, Россия  
<sup>3</sup> Физико-математический институт им. П. Л. Чебышева, Пенза, Россия  
<sup>4</sup> Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия  
<sup>5</sup> Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

Поступила в редакцию 23.08.2018 г.  
 После доработки 19.01.2019 г.



Рис. 6. Спациально-временное распределение концентрации хлорофилла «а» в Азовском море по данным спутниковых снимков (2014–2017 гг.)

Two-Band MERIS NIR-red Algorithm:  
 $Chl-a = 61.324(R_{665}^{-1} \times R_{709}) - 37.94$

Three-Band MERIS NIR-red Algorithm:  
 $Chl-a = 232.29((R_{665}^{-1} - R_{709}^{-1}) \times R_{753}) + 23.174$



**OLCI SENTINEL-3**

Two-Band:  $Chl-a = 45.597(R_{665}^{-1} \times R_{709}) - 26.451$

Three-Band:  $Chl-a = 153((R_{665}^{-1} - R_{709}^{-1}) \times R_{754}) + 18.728$

Environmental Research Communications  
 LETTERS  
 OLCI-based NIR-red models for estimating chlorophyll-a concentration in productive coastal waters—a preliminary evaluation  
 Vasily V. Saprygin<sup>1</sup>, Vadim V. Bodunov<sup>2</sup>, Vasily V. Kuzmin<sup>3</sup>, Lyubov L. Dankevich<sup>4</sup>, and Lyubov M. Mestechkiy<sup>5</sup>  
 1. Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia  
 2. Moscow State University, Faculty of Mathematical Statistics and Informatics, Moscow, Russia  
 3. Institute of Mathematics and Mechanics of the Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia  
 4. Institute of Oceanography of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia  
 5. Institute of Oceanography of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia  
 Received 23 August 2018  
 Accepted 19 January 2019

Июнь, июль, сентябрь 2016, апрель, июль 2017, май-июнь 2018



Рис. 8. An OLCI image showing the study region and the station locations (June 2016 (n = 9), July 2016 (n = 5), June 2017 (n = 7), August 2017 (n = 4), July 2017 (n = 7), May 2018 (n = 1), June 2018 (n = 1)).

калибровка

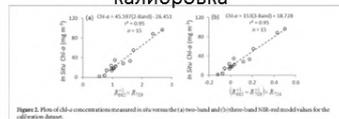


Рис. 9. Plot of Chl-a concentrations measured in situ versus the Chl-a concentrations estimated using the OLCI-based NIR-red model values for the calibration dataset.

валидация

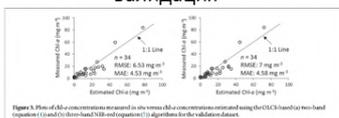


Рис. 9. Plot of Chl-a concentrations measured in situ versus Chl-a concentrations estimated using the OLCI-based NIR-red model values for the validation dataset.

Рис. 6. Новый региональный алгоритм мониторинга концентрации хлорофилла а в Азовском море по данным OLCI Sentinel-3

В юго-восточной части Черного моря в июне и сентябре 2018 г. Д. А. Бухминым выполнены ихтиологические исследования (рис. 8) Отмечены виды, имеющие промысловое значение: шпрот, хамса, мерланг, камбала-калкан, кефали (лобан, сингиль и пиленгас), барабуля, ставрида, акула-катран, скаты (морская лисица и морской кот), сарган, луфарь. Выявлено, что в уловах доля шпрота ежегодно (с 2015 г.) возрастает, что свидетельствует о благоприятном состоянии популяции этого вида промысловых рыб, так как основная часть стада формируется за счет двухлетних особей.

После длительного перерыва (с 2011 г.) в октябре 2018 г. на НИС «Денеб» выполнен рейс в Каспийское море (рис. 9). Последний раз научное судно РАН и Минобрнауки РФ работало в Каспийском море в 2013 г.

На всем пути от устья Дона до Каспийского моря и обратно на НИС «Денеб» функционировал разработанный в ЮНЦ РАН приборный комплекс для непрерывной регистрации солёности, температуры и флуоресценции хлорофилла а. Параллельно проводился отбор проб для калибровки прибора. Отобраны пробы и измерена концентрация РОВ в Дону, Цимлянском водохранилище, в Волге и Северном Каспии.

Необходима поддержка со стороны Минобрнауки РФ работ по созданию отечественных научных морских приборов.

Отметим, что проточный флуориметр (разработчик — к. ф.-м. н. П. С. Пляка) объединен в единый комплекс с проточным термосоленографом зарубежного производства (группа инженеров ЮНЦ РАН под руководством к. ф.-м. н. Г. В. Валова).

В ходе экспедиционных работ на Азове и Каспии проводилось изучение вселенцев-гребневиков (рис. 10). В Северном и Среднем Каспии *Mnemiopsis leidy* представлен молодыми особями. Размеры пойманных гребневиков на всех станциях колебались от 0,5 до 7,0 мм; основная часть исследованных особей имела размеры от 1,0 до 3,5 мм. Биомасса на отдельных станциях достигала 60 г сырого веса · м<sup>-3</sup>.

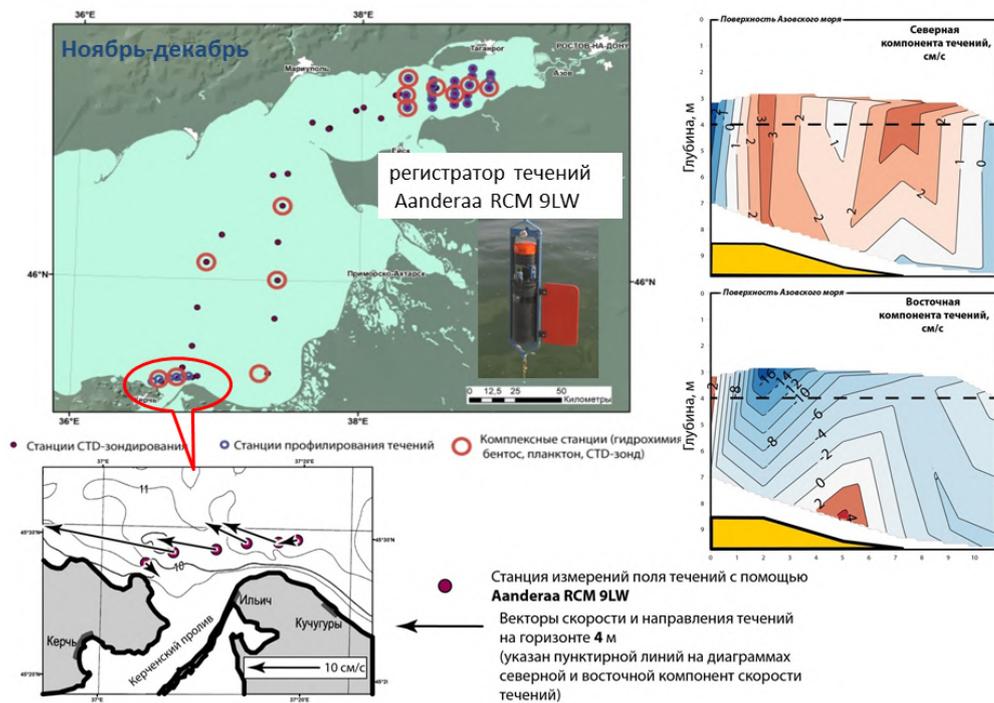


Рис. 7. Исследование течений в Керченском проливе в ноябре — декабре 2018 г.

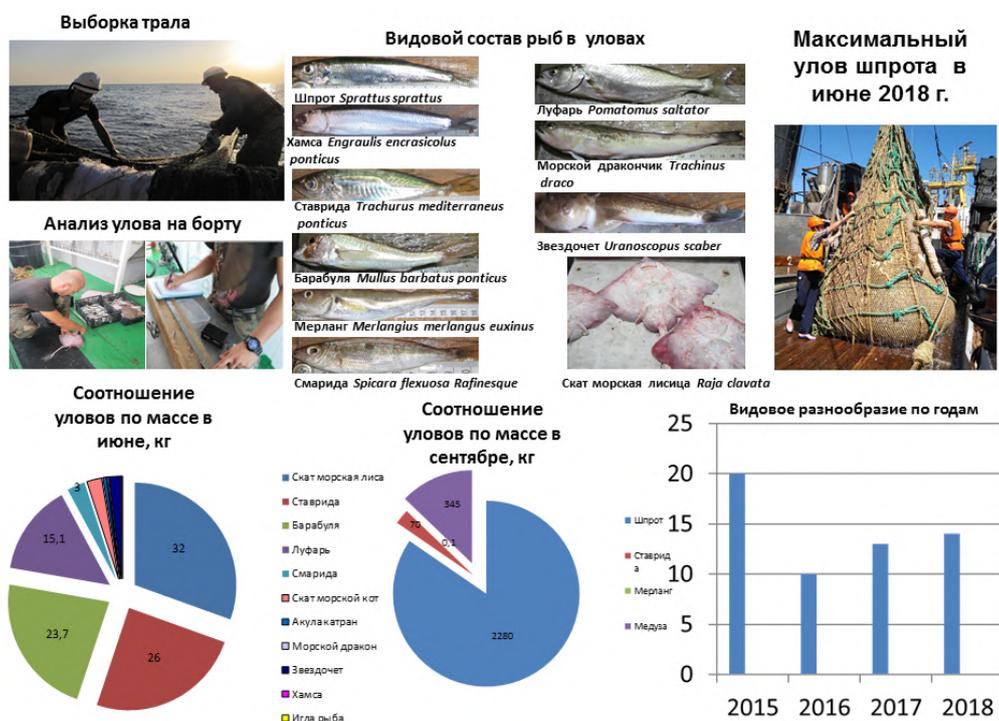


Рис. 8. Икhtiологические исследования в Черном море в 2018 г.

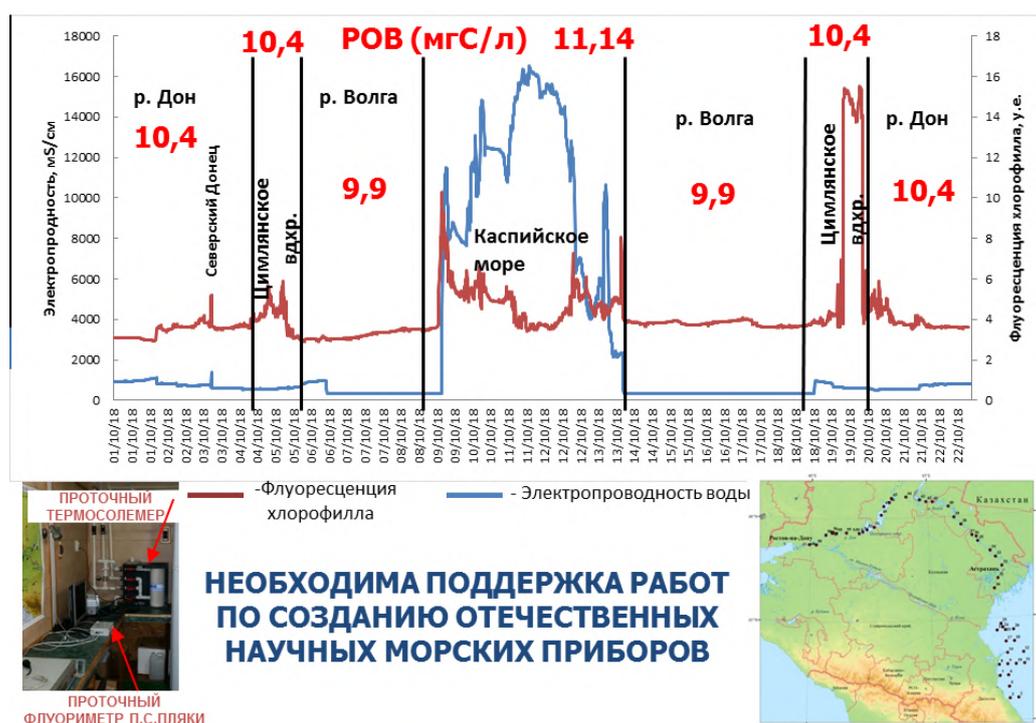


Рис. 9. Экспедиция на НИС «Денеб» из Азова в Каспий и обратно

В Таганрогском заливе биомасса мнемнопсиса в августе достигала  $215 \text{ г сырого веса} \cdot \text{м}^{-3}$ . Гребневик был представлен в основном особями размерами от 1,5 до 7,7 мм. При этом в центральной части моря мнемнопсиса в уловах не было. Отбор и обработка проб выполнены к. б. н. В. В. Саяпиным.

В ходе орнитологических исследований к. б. н. Р. М. Савицкого в Каспийском море на большом удалении от берега (до 70 км) наблюдались редкие и краснокнижные виды птиц (рис. 11). В дельте р. Волга встречен кудрявый пеликан. Эта гнездящаяся перелетная птица — вид, занесенный в Красную книгу Международного союза охраны природы со статусом «уязвимый».

Многолетние экспедиционные исследования на НИС «Профессор Панов» позволили зафиксировать значительные изменения в структуре сообщества инфузорий Таганрогского залива. Повышение солености в маловодный период, начавшийся в 2007 г., привело к снижению количественных характеристик цилиатопланктона [8].

В результате интенсивного весеннего половодья 2018 г. в вегетационный период (с мая по сентябрь) произошла перестройка трофической структуры сообщества инфузорий (рис. 12). Доля микрофагов и хищников резко возросла, а доля альгофагов уменьшилась с 38 до 15 %. Это связано с тем, что весной в Таганрогский залив попало большое количество органики, что вызвало повышение уровня развития бактериопланктона и активное цветение воды колониальными цианопрокариотами родов *Microcystis* и *Aphanizomenon*. Доминирование в период цветения крупных видов фитопланктона создало неблагоприятные условия для развития инфузорий-альгофагов и благоприятные — для развития инфузорий-микрофагов, вследствие чего увеличилась доля хищных инфузорий, питающихся мелкими микрофагами (по данным к. б. н. К. В. Кренивой).

В Таганрогском заливе в условиях роста солености в сообществе полихет широко представлены дальние вселенцы, в частности полихета *Marenzelleria neglecta* Sikorski & Bick, 2004 (рис. 13). По сообщению к. б. н. В. Л. Семина, выполнившего отбор и обработку проб, для маренцеллерии все еще не объяснен тот факт, что, заняв в кратчайшие сроки доминирующее положение в Таганрогском заливе, она

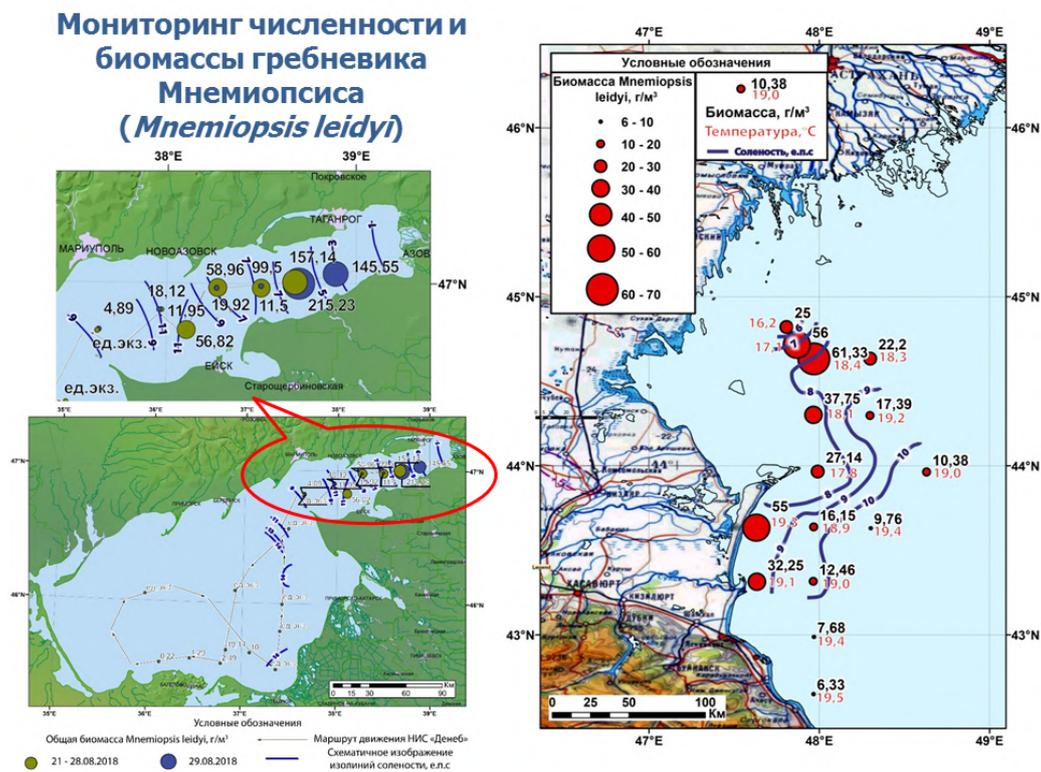
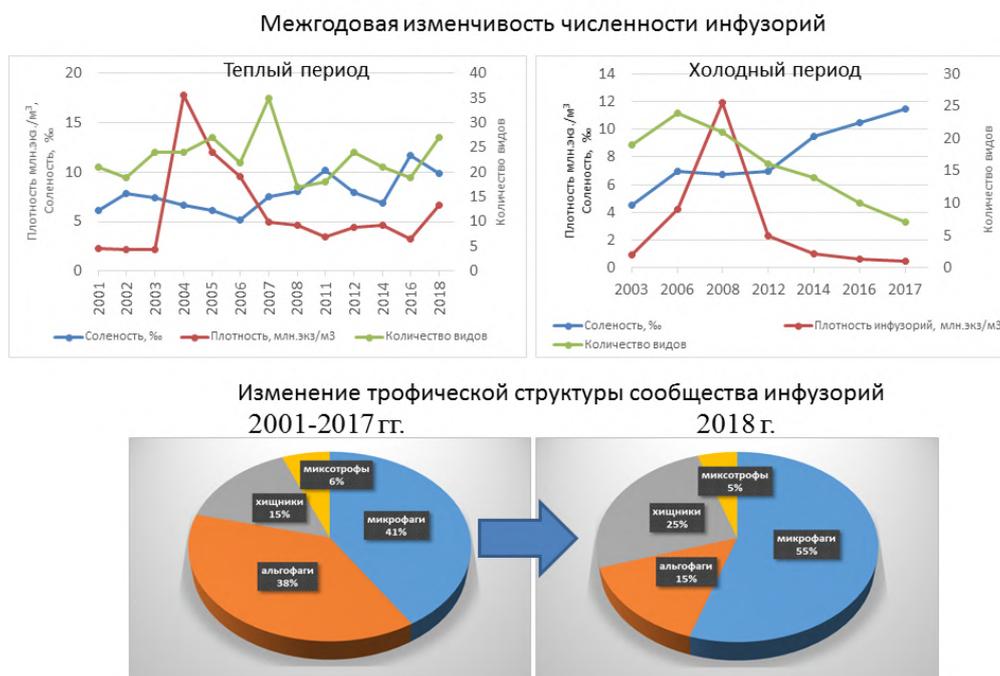


Рис. 10. Исследования видов-вселенцев в Азовском и Каспийском морях в 2018 г.



Рис. 11. Орнитологические наблюдения в Каспийском море в 2018 г.



**Рис. 12.** Многолетние наблюдения за изменением сообщества инфузорий Таганрогского залива

остается случайным элементом в составе сообществ центральной части Азовского моря и прибрежных районов Черного моря. Предположительно, успешность вселения маренцеллерии в Таганрогский залив обусловлена наличием недоиспользованного ресурса. Доминирующей трофической группировкой в плоских эпиконтинентальных водоемах являются собирающие детритофаги, и в центральной части Азовского моря эта ниша занята моллюсками *Hydrobia ventrosa* (= *H. acuta*). В Таганрогском заливе соленость слишком низкая для этих гастропод; наиболее массовыми детритофагами здесь, как и в пресноводных водоемах, являются личинки хирономид. Между тем их численность испытывает очень сильные периодические колебания в связи с массовым вылетом имаго, в результате чего ниша собирающих детритофагов оказывается временно «пустующей».

Личинки хирономид многочисленны только на мягких грунтах; ракушечный грунт им подходит значительно меньше. В то же время полихеты рода *Marenzelleria* существенно менее требовательны к грунту (и в целом эврибионтны по отношению к большинству параметров среды). Возможности расселения полихеты-вселенца велики благодаря наличию долгоживущей планктонной личинки.

*Laonome* aff. *calida* вселилась в Таганрогский залив и дельту Дона на год раньше *M. neglecta*, однако до 2017 г. оставалась случайным элементом сообществ, приуроченных к районам с более активной гидродинамикой, встречаясь единично на Нижнем Дону и в наиболее восточной части залива. Летом 2017 г. отмечена вспышка численности этого вида, на ряде станций в заливе зафиксировано кодоминирование лаономе и маренцеллерии. Поскольку в местах своего массового обитания она способна улучшать газовый режим в придонном слое воды, именно ее массовое развитие в Таганрогском заливе подготовило, предположительно, наблюдаемую отсроченную вспышку численности *L. aff. calida* [6].

Показано, что сильный сгон воды в дельте Дона при восточном ветре приводит к резкому росту минерализации воды в рукавах (рис. 14) (измерения выполнены инженерами А. Ю. Московцом и Е. Г. Аlesiной). При сгонах воды происходит рост минерализации в дельте Дона в основном за счет увеличения доли подземного стока в питании. В южной части дельты Дона на этот процесс накладывается усиление

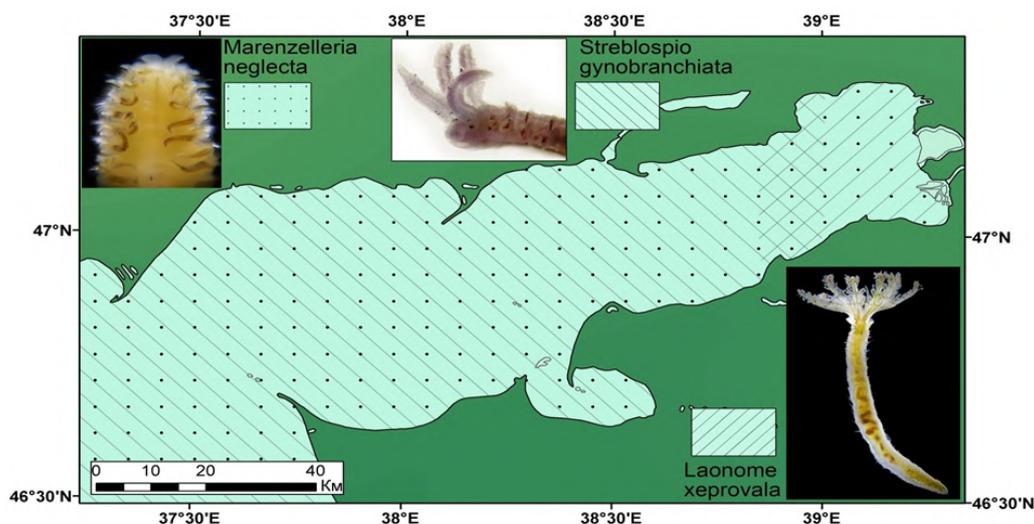


Рис. 13. Полихеты-вселенцы в Таганрогском заливе в 2018 г.

влияния стока р. Кагальник (она имеет иной ионный состав по сравнению с Доном и более высокую минерализацию). Наиболее значительно рост минерализации проявляется в малых рукавах и ериках: в Свином гирле и в центральной части дельты (ерик Кабачный, немного слабее — ерик Дугинчик). В крупных рукавах при сгоне минерализация в среднем повышается на  $0,1 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$  — с  $0,74$  до  $0,84 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ , то есть на 14 %.

По результатам экспедиционных исследований 2018 г. на НИС «Профессор Панов», в условиях многоводного стока р. Дон, концентрация РОВ в нем и в Таганрогском заливе значительно уменьшилась в апреле — мае по сравнению со средними значениями для периода маловодья (2006–2017 гг.), но практически вернулась к этому уровню в межень (рис. 15). Отбор проб осуществлен К. С. Григоренко, к. б. н. Е. П. Олейниковым, А. Ю. Московцом, В. С. Герасюк. Определения выполнены на анализаторе углерода multi N/C 3100 фирмы Analytik Jena к. х. н. В. Г. Сойером.

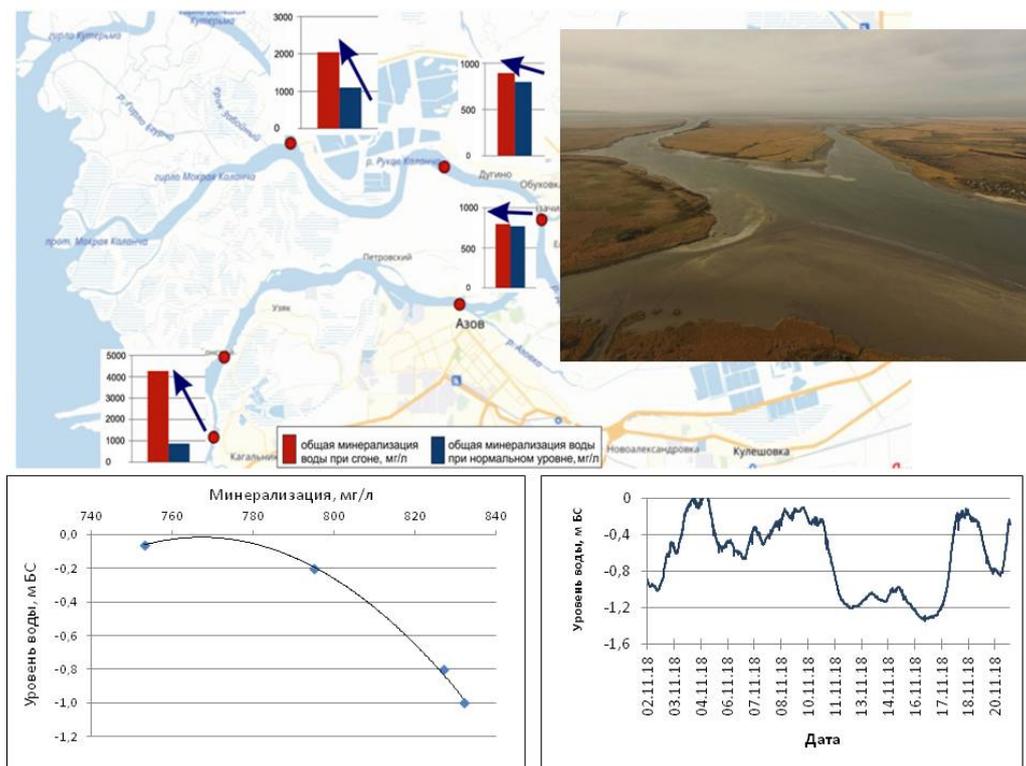
Данные измерений, полученные в ходе экспедиционных работ на НИС «Профессор Панов» 26–28 июля 2018 г. с помощью доплеровского измерителя течений Aanderaa RCM 9LW, позволили установить основные закономерности развития течения во времени (рис. 16). При действии восточных и северо-восточных ветров формируются компенсационные течения в восточной части Таганрогского залива в придонном слое, способствующие затоку относительно более соленой водной массы. Измерения выполнены А. Ю. Московцом.

В 2003–2004 гг. проведена тотальная бентосная съемка Азовского моря (рис. 17). Результаты представлены в ряде публикаций [7]. Необходимо и планируется в 2019 г. повторить это исследование для понимания изменений, произошедших в донных сообществах моря после 10-летнего периода маловодья.

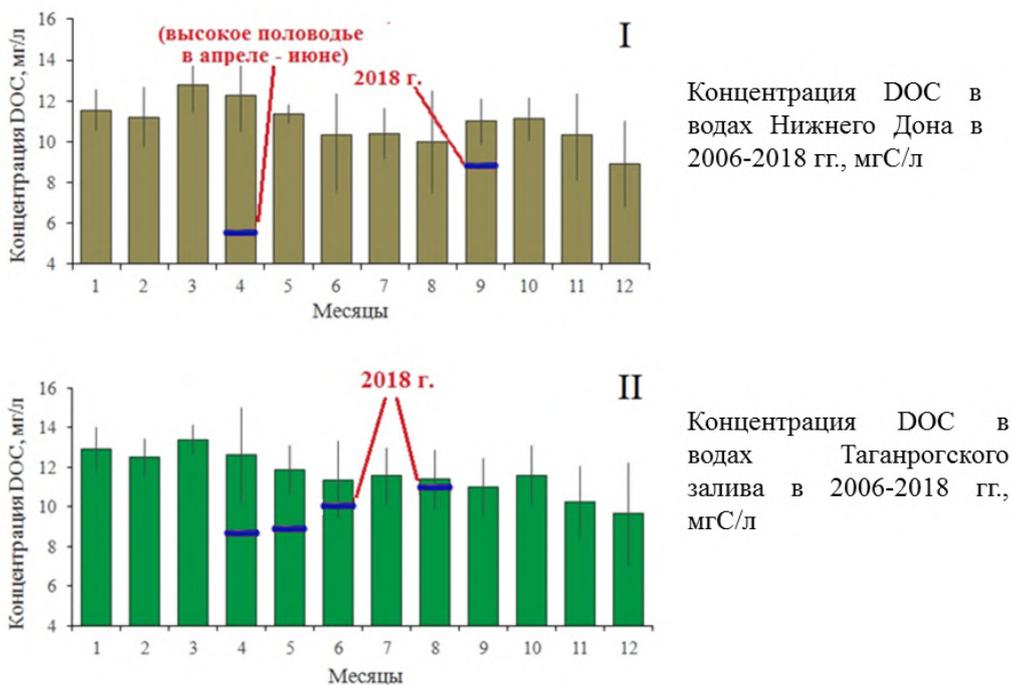
Интенсивное движение судов в районе Керченского пролива создает дополнительные риски аварийных ситуаций (рис. 18). Имеются ограничения на проведение исследований в этом районе после строительства моста. Необходимы организационные мероприятия для получения разрешения на выполнение работ.

Если в 2004–2013 гг. экспедиционные исследования на НИС «Денеб» ЮНЦ РАН проводил по всей акватории моря, то в настоящее время проводит восточней рекомендованного судового хода (рис. 19) [3].

Первичные данные по результатам экспедиционных исследований 2017 г. подготовлены (в соответствии с рекомендациями ФАНО) для передачи в ЕСИМО (рис. 20).



**Рис. 14.** Гидрохимический режим в рукавах дельты Дона при сильных восточных ветрах, приводящих к сгону воды (по результатам экспедиционных исследований 2018 г.)



**Рис. 15.** Влияние паводка 2018 г. на концентрацию растворенного органического вещества в водах Нижнего Дона (I) и Таганрогского залива (II).

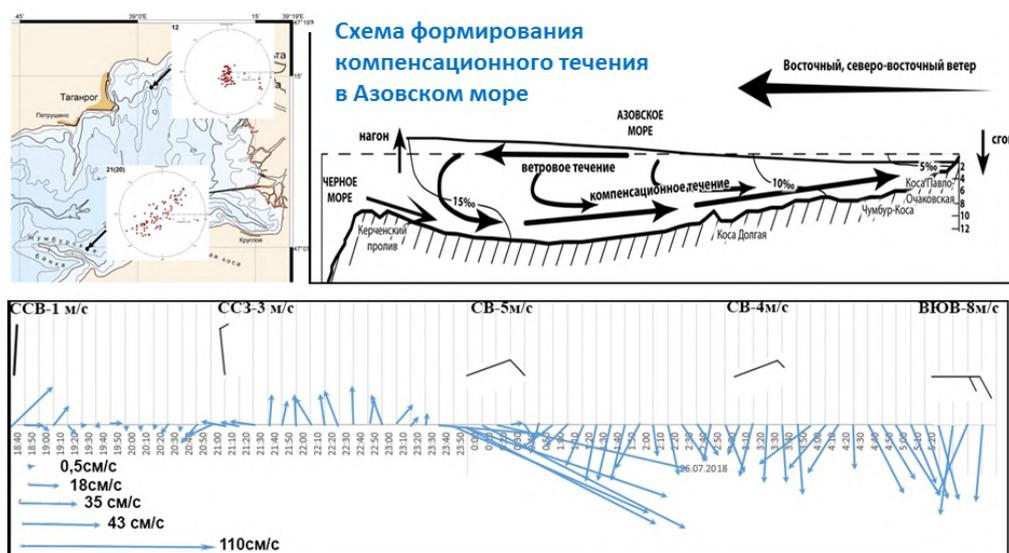


Рис. 16. Измерение скоростей течений в Таганрогском заливе в 2018 г.



Рис. 17. Исследования ЮНЦ РАН донных сообществ Азовского моря



**Рис. 18.** Аварийный разлив мазута в ноябре 2007 г. в Керченском проливе (по: [2]). В правом нижнем углу — суда в Керченском проливе по данным спутниковой системы мониторинга в октябре 2018 г.

Результаты экспедиционных исследований широко освещаются в федеральной и региональной прессе, на радио и телевидении (рис. 21). Но существуют препятствия, вплоть до угрозы судебного преследования из-за такой деятельности.

Особую благодарность автор выражает научным сотрудникам, принявшим участие в экспедициях, и командам НИС «Денеб» и НИС «Профессор Панов».

---

Исследования выполнены в рамках государственного задания «Перевозка пассажиров и (или) грузов внутренним водным транспортом при обеспечении проведения научных исследований», тем НИР № АААА-А18-118122790121-5, № 01201363186, № 01201354245, № 01201363188.



Рис. 19. Экспедиционные исследования на НИС «Денеб» ЮНЦ РАН

### Подготовка данных экспедиционных исследований ЮНЦ РАН в 2017 г. для Центра ЕСИМО

Во исполнение письма ФАНО от 26.03.2018 № 007-1811-08/АМ-132 подготовлена информация об экспедициях ЮНЦ РАН за 2017 г. в форматах, установленных Центром ЕСИМО:

- форма описания данных экспедиционных наблюдений (ФОДЭН);
- формат ODV4 для данных наблюдений морских экспедиций.

#### Количество экспедиций за 2017 г.

8 экспедиций на НИС "Денеб"  
(всего 107 станций)

7 экспедиций на НИС "Профессор  
Панов" (всего 145 станций)



Рис. 20. Обмен первичными данными

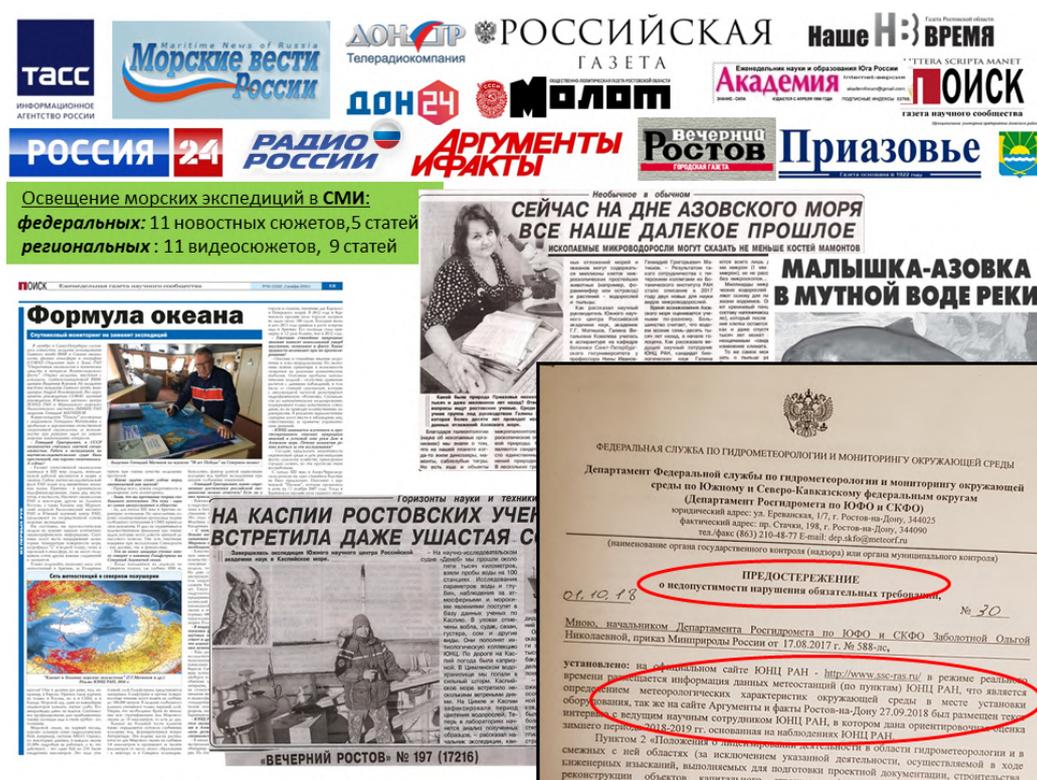


Рис. 21. Популяризация морских экспедиционных работ ЮНЦ РАН и Предостережение со стороны Росгидромета РФ

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Дашкевич Л. В., Бердников С. В., Кулыгин В. В. Многолетнее изменение средней солёности Азовского моря // Водные ресурсы. 2017. Т. 44, № 5. С. 563–572. <https://doi.org/10.7868/S0321059617040046>
- [2] Матишов Г. Г., Бердников С. В., Савицкий Р. М. Экосистемный мониторинг и оценка воздействия разливов нефтепродуктов в Керченском проливе. Аварии судов в ноябре 2007 г. Ростов-на-Дону : ЮНЦ РАН, 2008. 80 с.
- [3] Матишов Г. Г., Бердников С. В., Степаньян О. В. Морские научные исследования на НИС «Денеб» и НИС «Профессор Панов» в Азовском и Черном морях в 2017 г. // Экспедиционные исследования на научно-исследовательских судах ФАНО России и архипелаге Шпицберген в 2017 г. : По результатам отчетной сессии Федерального агентства научных организаций, Совета по гидросфере Земли. Севастополь : ФГБУН МГИ РАН, 2018. С. 147–149.
- [4] Матишов Г. Г., Дюжова К. В., Ковалева Г. В., Польшин В. В. Новые данные об осадконакоплении и биостратиграфии древне- и новоазовских отложений (Азовское море) // Доклады Академии наук. 2016. Т. 467, № 4. С. 463–467. <https://doi.org/10.7868/S0869565216100194>
- [5] Сапрыгин В. В., Бердников С. В., Кулыгин В. В., Дашкевич Л. В., Местецкий Л. М. Пространственное распределение и сезонная динамика концентрации хлорофилла *a* в Азовском море по данным спутниковых снимков спектрометра MERIS // Океанология. 2018. Т. 58, № 5. С. 751–762. <https://doi.org/10.1134/S0030157418050131>

- [6] Семин В. Л., Сикорский А. В., Коваленко Е. П., Булышева Н. И. Вселение представителей рода *Marenzelleria mesnil*, 1896 (Polychaeta: Spionidae) в дельту Дона и Таганрогский залив // Российский журнал биологических инвазий. 2016. № 1. С. 109–120.
- [7] Экологический атлас Азовского моря / гл. ред. акад. Г. Г. Матишов ; отв. ред. Н. И. Голубева, В. В. Сорокина. Ростов-на-Дону : ЮНЦ РАН, 2011. 328 с.
- [8] Kreneva K., Filatova T., Kleschenkov A., Korshun A. Change of hydrogen-hydrochemical conditions of Azov sea Taganrog gulf and their influence on microzooplankton in winter period // Научный альманах стран Причерноморья. 2018. Т. 13, № 1. С. 95–103. <https://doi.org/10.23947/2414-1143-2018-13-1-108-117>
- [9] Moses W. J, Saprygin V., Gerasyuk V., Povazhnyy V., Berdnikov S., Gitelson A.A. OLCI-Based NIR-red Models for Estimating Chlorophyll-a Concentration in Productive Coastal Waters – A Preliminary Evaluation // Environmental Research Communications. 2019. Vol. 1, no. 1. Article 011002. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/aaf53c>

## ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И БИОРЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА ЭКОСИСТЕМ РОССИЙСКОГО СЕКТОРА ЧЕРНОГО И АЗОВСКОГО МОРЕЙ

А. Б. Боровков\*, Н. В. Бурдиян, С. Б. Гулин

Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН

\*[borovkov@imbr-ras.ru](mailto:borovkov@imbr-ras.ru)

Сотрудниками ФГБУН ИМБИ в 2018 г. было выполнено 3 экспедиции на научно-исследовательском судне «Профессор Водяницкий» (рис. 1) в территориальных водах и экономической зоне Российской Федерации Азово-Черноморского региона. Общая продолжительность этих экспедиций составила 70 суток.



Рис. 1. НИС «Профессор Водяницкий»

Основной задачей экспедиционной деятельности ФГБУН ИМБИ в рамках государственного задания на 2018 г. было проведение фундаментальных и прикладных исследований биологического разнообразия, ресурсного потенциала и экологического состояния Азово-Черноморского бассейна. Экспедициями были охвачены три сезона, станции располагались в северной глубоководной части Черного моря, а также на Крымском и Кавказском побережьях. Пройдено около 10 000 морских миль. Всего выполнено более 400 станций в диапазоне глубин 10–2000 м (рис. 2).

### Состояние среды

Превышение ПДК нефтяных углеводородов (НУ) в морской воде исследуемой акватории отмечено в 14 пробах из 40. Большинство станций с превышением ПДК (10 из 14) наблюдались у Крымского побережья западнее м. Сарыч, что может быть связано со стоком европейских рек. Превышение ПДК НУ

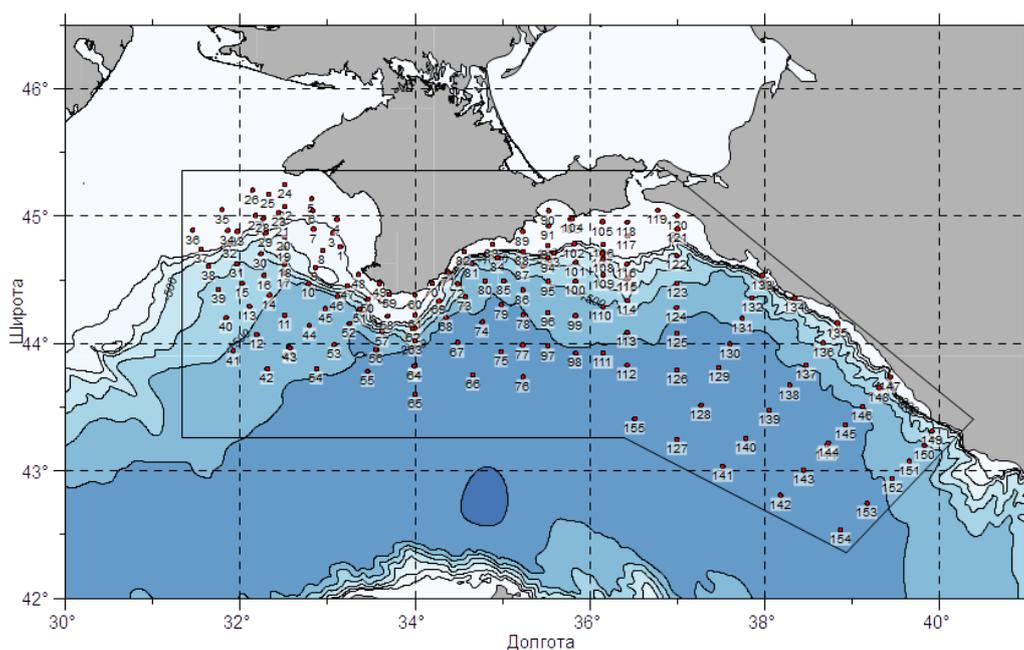


Рис. 2. Карта станций 102, 103, 105-го рейсов НИС «Профессор Водяницкий»

в Кавказском районе отмечено на траверзе Новороссийской бухты, являющейся местом интенсивного судоходства, в том числе прохода нефтеналивных судов. Данные по нефтяному загрязнению морской воды Кавказского побережья России демонстрируют экологическое благополучие данного региона в сравнении с Крымским побережьем.

Отмечается хроническое вторичное поступление  $^{90}\text{Sr}$  в морские экосистемы, вызванное сбросами вод Днепра в Азовское море и Каркинитский залив Черного моря после закрытия Северо-Крымского канала. Концентрации  $^{90}\text{Sr}$  в Азовском море соответствовали уровням 1986 г., в Черном море — превышали в 1,2–16 раз доаварийные значения с наибольшим содержанием в акватории г. Сочи (ремобилизация послеаварийного  $^{90}\text{Sr}$  из почв, перенос с речным стоком). При этом концентрации  $^{90}\text{Sr}$  в морской воде не превышали УВ (уровни вмешательства, НРБ–99/2009). Результирующий поток выноса  $^{90}\text{Sr}$  из Азовского моря в Черное в период 2017–2018 гг. составил  $3,9 \text{ кБк}\cdot\text{год}^{-1}$ , т. е. воды Азовского моря являются источником загрязнения вод северо-восточной части Черного моря поставарийным  $^{90}\text{Sr}$ .

Выявлено, что величины концентраций тяжелых металлов (Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb) в воде не превышали норм, установленных для водоемов рыбохозяйственного назначения. Исключение составила концентрация цинка в слое скачка температуры на станции у м. Херсонес. В среднем во всех горизонтах на прибрежных станциях Крыма западнее м. Сарыч концентрации Zn, Cu и Ni были несколько выше, чем на станциях восточнее мыса.

Наибольшая концентрация общей формы ртути ( $180 \text{ нг}\cdot\text{л}^{-1}$ , выше ПДК в 1,8 раза) определена в летний период в северо-восточной части моря, что объясняется накоплением ртути взвешенным веществом. В осенний и зимний периоды содержание ртути было ниже. Минимальная концентрация составила  $42 \text{ нг}\cdot\text{л}^{-1}$  (зима). Получены новые данные: зависимость коэффициентов накопления ртути взвешенным веществом крымского шельфа от изменения ее концентрации в водной среде описывается уравнением Фрейндлиха. Определено, что основным фактором седиментационного самоочищения вод в интервале низких концентраций ртути в воде является концентрирующая способность взвесей, а с повышением загрязнения вод ртутью относительное влияние концентрирующей способности взвесей снижается.

По данным 102-го рейса концентрация метана в поверхностной воде Черного моря изменялась от 1,28 до 39 нмоль·л<sup>-1</sup>, удельный поток составлял от 0,1 до 20,3 мкмоль·м<sup>-2</sup>·сут<sup>-1</sup> (рис. 3). Характер распределения имел мозаичный тип. Максимумы концентрации зафиксированы в районе палеорула Днепра, а также в прибрежье Крыма и Кавказа. В вертикальном распределении метана в толще воды был обнаружен концентрационный подповерхностный максимум, располагающийся на глубинах от 20 м до 40 м, который достигал 132 нмоль·л<sup>-1</sup>.

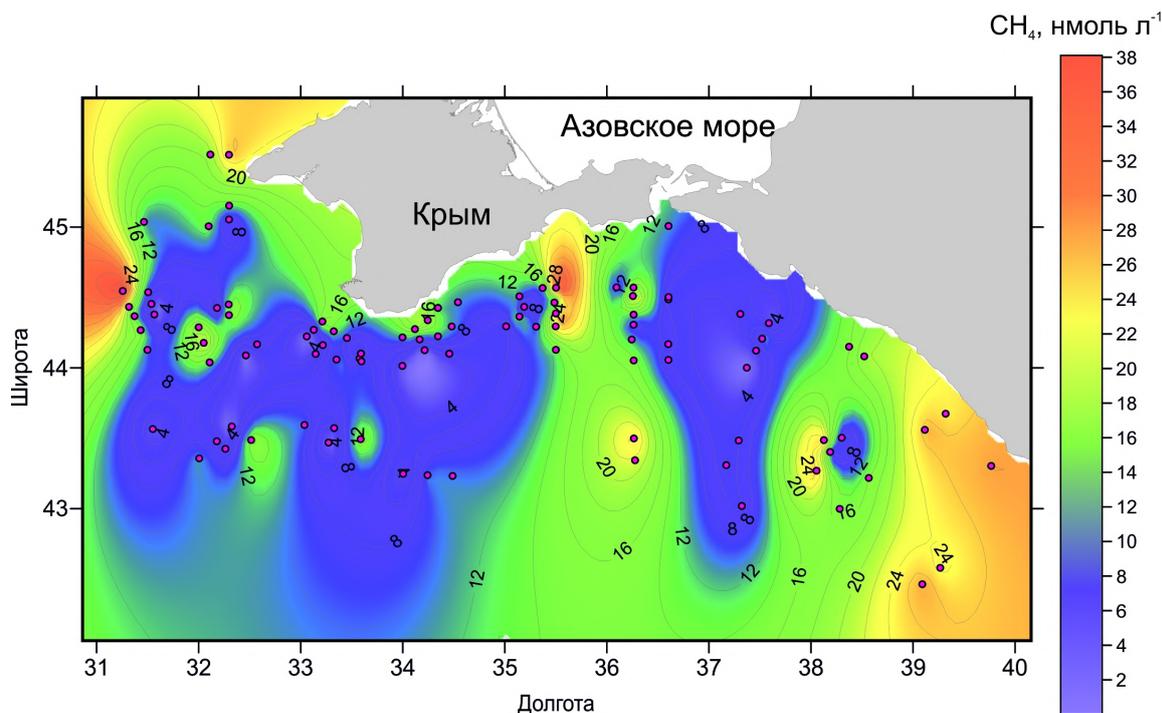


Рис. 3. Концентрация метана в поверхностной воде северной части Черного моря

### Биолюминесценция

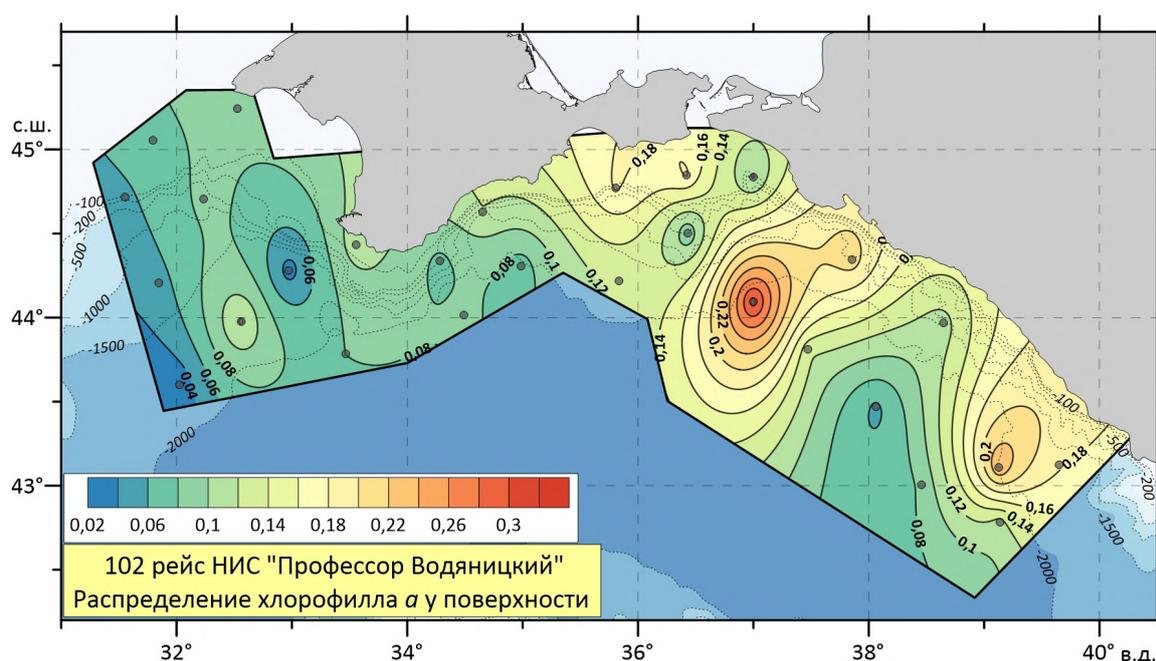
Исследование изменчивости поля биолюминесценции, отражающего структурно-функциональные параметры планктона, способствует более детальному выявлению его пространственно-временной неоднородности и определению связи биотической составляющей с изменчивостью гидрологических полей. Отмечено, что в районах, где зарегистрированы высокие значения интенсивности биолюминесценции, не наблюдалось высокой численности светящихся и условно светящихся гидробионтов. Выявлена суточная ритмика свечения у *P. pileus*, что позволит выбирать оптимальное время для оценки влияния различных факторов на этот вид.

### Биооптические исследования

По данным экспедиционных наблюдений проведено исследование видовой структуры и фотосинтетических характеристик фитопланктонного сообщества в летний период. Установлена общая закономерность для Черного моря: в период сезонной стратификации вод специфические спектральные характеристики света, проникающего на глубину, определяют изменение структуры фитопланктонного сообщества — доминирование цианобактерий с особыми способностями поглощать свет и создавать первичную продукцию в нижней части зоны фотосинтеза.

## Биота

Установлено, что концентрация хлорофилла *a* микропланктона в поверхностных водах показывает, что наиболее продуктивная его часть располагалась в восточной части полигона — в зоне влияния вод Керченского пролива и побережья Кавказа (рис. 4). Здесь концентрации хлорофилла *a* достигали величин мезотрофного значения, в то время как в подавляющей части исследуемой акватории концентрация зеленого пигмента указывала на олиготрофный статус вод. Судя по возросшим величинам концентраций АТФ, в целом для верхнего фотического слоя максимальные показатели метаболически активной биомассы не находились у поверхности, а были заглублены. В целом для полигона в верхнем фотическом слое показатели метаболически активной биомассы микропланктона носили мезо-эвтрофные значения. Значения гетеротрофно-фотоавтотрофного индекса микропланктона исследованных вод показывают глобальное доминирование гетеротрофного микропланктона в поверхностном слое.



**Рис. 4.** Распределение хлорофилла *a* микропланктона в поверхностных водах северной глубоководной части Черного моря, а также Крымского и Кавказского побережья в начале летнего сезона 2018 г.

Научные организации, принявшие участие в морских экспедициях на НИС «Профессор Водяницкий» в 2018 г.:

- Морской гидрофизический институт РАН;
- Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН.

Работа выполнена в рамках тем государственного задания № 0828-2018-0001, 0828-2018-0002, 0828-2018-0003, 0828-2018-0004, 0828-2018-0005, а также тем Президиума РАН № 0828-2018-0006, 0828-2018-0007, 0828-2018-0008.

## ИЗУЧЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ И ПАЛЕООКЕАНОЛОГИИ ГОЛОЦЕНА МОРЯ ЛАПТЕВЫХ. ВТОРАЯ РОССИЙСКО-КИТАЙСКАЯ АРКТИЧЕСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ ARCTIC SILK WAY – 2018 В 83-М РЕЙСЕ НИС «АКАДЕМИК М. А. ЛАВРЕНТЬЕВ»

А. А. Босин

Тихоокеанский океанологический институт имени В. И. Ильичева ДВО РАН  
[bosin@poi.dvo.ru](mailto:bosin@poi.dvo.ru)

Экспедиция выполнялась в рамках госзадания ТОИ ДВО РАН и Соглашения о международном сотрудничестве между Первым институтом океанографии Государственной океанографической администрации КНР и ТОИ ДВО РАН от 05.07.2018.

Финансирование экспедиции осуществлялось в рамках госзадания ТБФ — филиала ИО РАН — при участии Государственной океанографической администрации КНР.

С российской стороны в экспедиции участвовало 19 сотрудников ТОИ ДВО РАН. С китайской стороны — 11 ученых из Первого института океанографии Государственной океанографической администрации, Желтоморского рыбохозяйственного исследовательского института, Китайской Академии рыбохозяйственных наук и Океанологического университета Китая, г. Циндао.

Цель экспедиции — получение осадочных разрезов на участках акваторий Чукотского, Восточно-Сибирского морей и моря Лаптевых с высокими скоростями осадконакопления, а также сведений о современном состоянии природной среды для последующих реконструкций по различным параметрам условий палеосреды (температура и соленость водных масс, биопродуктивность, ледовый режим).

Экспедиция выполнялась на основании разрешения Министерства образования и науки РФ № 14-26/7 от 25.04.2018 на проведение научных исследований в исключительной экономической зоне и территориальных водах Российской Федерации.

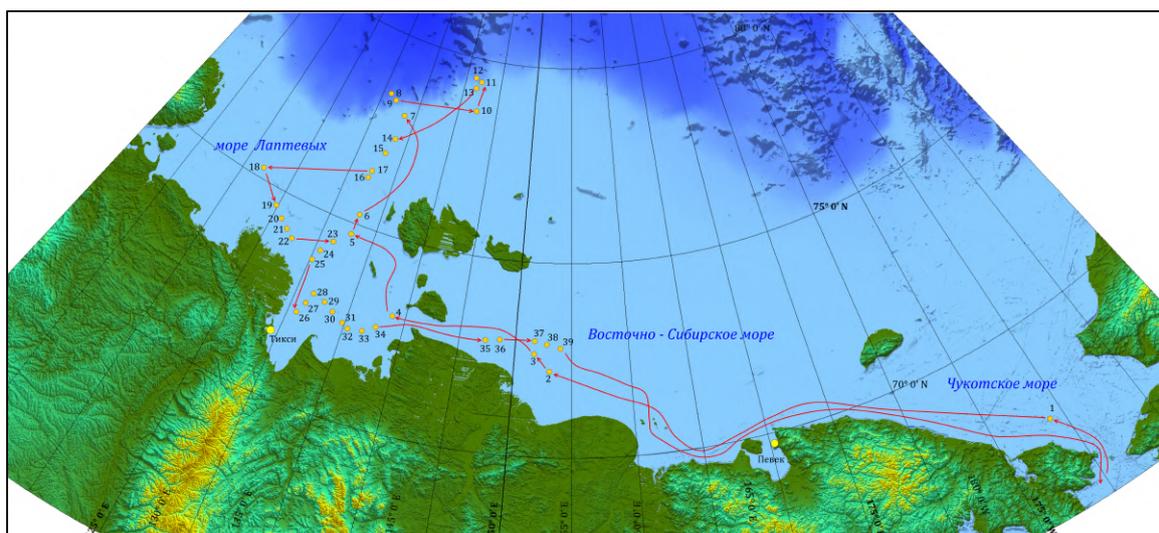


Рис. 1. Маршрут в районе работ и места выполнения комплексных станций

### **Задачи экспедиции**

- 1) сейсмопрофилирование верхней части осадочного чехла, поиск мест для выполнения комплексных станций в местах с ненарушенной стратиграфией осадков и высокими скоростями седиментации;
- 2) отбор как поверхностных осадков, так и длинных осадочных кернов на ключевых станциях;
- 3) проведение океанографических работ с STD-профилированием и отбором проб воды с разных горизонтов;
- 4) исследование распределения характеристик поверхностного слоя воды по ходу судна с использованием проточной системы забора воды Underway;
- 5) исследование метеорологических и газохимических характеристик приповерхностного слоя атмосферы по ходу движения судна.

### **Объем выполненных работ**

Всего за период работы экспедиции выполнено 39 станций. При проведении работ с высокочастотным профилографом в море Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском морях получено 442 км высокоразрешающих сейсмоакустических профилей. Из них 425 км получено при движении судна по профилям и 17 км получено при работах в дрейфе.

Отобрано 26 кернов донных осадков. На основе предварительных литологических исследований осадков выбраны наиболее перспективные колонки для дальнейшего тщательного и комплексного исследования изменений природной среды арктического региона с построением прогнозов изменений климата в будущем для предупреждения катастрофических последствий и для долгосрочного прогноза изменения ледовитости, а также оценки перспектив судоходства в этом секторе Арктики.

Выполнено 35 океанографических станций. Выполненные станции подразделялись на несколько типов: мелкие, до 50 м (с остановкой 0,5–1 м до дна), глубокие, до 500 м, для анализа мезомасштабной динамики водных масс, от поверхности до критической глубины (из-за пластикового корпуса зонда и блока управления батометрами глубина зондирования была ограничена 500 м) при анализе структуры водных масс на распределение химических элементов. Общее количество STD-зондирований составило 84 (из них 12 — до максимальной глубины в 500 м).

Проведено 9 геологических драгирований поверхности морского дна в предполагаемых местах образования железо-марганцевых конкреций. В комплекс газогеохимических работ входили: 1) отбор и на-бортный газохроматографический анализ проб осадков и морской воды; 2) организация непрерывных попутных ртутметрических измерений и измерений парниковых газов (метана и углекислого газа) в системе вода — атмосфера; 3) отбор донных отложений на хромато-масс-спектрометрические анализы в береговых условиях; 4) отбор проб донных отложений для термовакuumной дегазации (ТВД) в судовых условиях; 5) отбор образцов осадка для микробиологических исследований.

По всему маршруту проводился сбор гидрометеорологических данных.

### **Предварительные научные результаты**

Получены новые уникальные данные о современном состоянии природной среды и климата арктического региона. На выделенных ключевых осадочных разрезах на участках акваторий Чукотского и Восточно-Сибирского морей и моря Лаптевых произведен отбор грунтов с разных глубин и из районов с различными океанологическими условиями для изучения и последующих реконструкций условий палеосреды (температура и соленость водных масс, биопродуктивность, течения, воздушный пере-

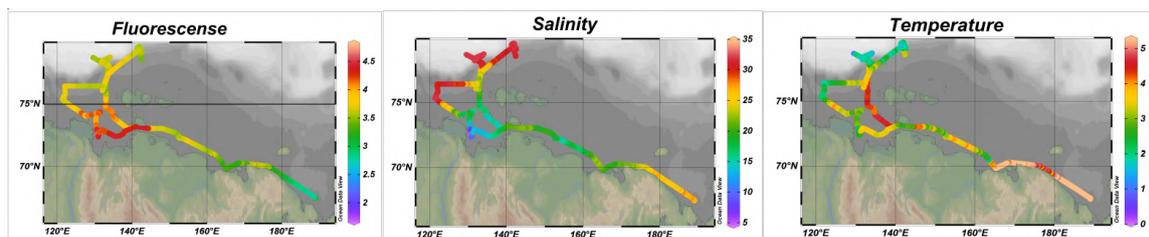


Рис. 2. Характеристики поверхностных вод по данным проточной системы Underway

нос, основные действующие барические центры, гидрология прилегающей суши, ледовый режим и т. д.) и выявления цикличности этих изменений за последние тысячелетия.

В результате проведенных высокоразрешающих сейсмоакустических исследований в Чукотском, Восточно-Сибирском морях и море Лаптевых получены новые данные о строении верхней части осадочных отложений. Установлено, что в верхней части осадочных отложений выделяются два слоя — верхний прозрачный, или хаотический, со слабыми отражениями, и нижний, акустический облик которого изменяется от хаотического до умеренно стратифицированного с интенсивностью отражений от средней до высокой. В Чукотском море в структуре верхнего слоя выделены погребенные покмарки, что свидетельствует о периодических выбросах газа. В Восточно-Сибирском море граница между слоями осложнена акустическими аномалиями типа «покров», «мутность» и «колонна». Высказано предположение, что данная особенность может отражать как локальные внедрения газа, так и наличие очагов подводной мерзлоты, существовавшей здесь во время последнего оледенения и ныне частично сохранившейся после подъема уровня моря. В рельефе дна Восточно-Сибирского моря и в структуре осадочных отложений выделяются многочисленные борозды и сопряженные с ними валы, образованные в результате «перепаживания» дна основаниями айсбергов и ледовых полей в четвертичное и голоценовое время. Изучено строение внешней части шельфа, материкового склона моря Лаптевых и, в пределах материкового подножия, Северного Ледовитого океана до глубин 2850 м. Осадочные отложения на склоне и верхней части подножия состоят из двух толщ. Установлена резкая смена акустического облика осадков в месте перехода от склона к подножию, выраженная в существовании однородной толщи акустически прозрачных отложений, кровля которой (морское дно) сильно изрезана.

Получен массив гидрологических, биологических, химических данных для характеристики водных масс, которые после окончательной обработки позволят дать комплексную характеристику состояния и изменчивости структуры и динамики арктических морей. Выполнена комплексная съемка характеристик поверхностного слоя вод моря по маршруту движения судна, включавшая непрерывные измерения температуры, солености и флуоресценции.

Выполнена гидрологическая съемка стандартных океанологических параметров (температура, соленость, содержание кислорода) для бассейна моря Лаптевых и прилегающих к нему территорий, которые расположены в полигонах, указанных в разрешениях на работы в данном рейсе. Получены данные о физических и химических характеристиках глубинных и придонных вод.

Результаты гидрологической съемки для моря Лаптевых показывают влияние на формирование вод данного региона потоков и водных масс, относящихся к Северному Ледовитому океану, а также стока материковых рек, наиболее активными из которых являются реки бассейна моря Лаптевых (р. Лена, р. Яна).

В ходе геологических драгирований поверхности шельфа моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря были получены образцы железо-марганцевых образований. В судовой лаборатории были проведены исследования полученных донных осадков литологическими, лито-физическими, геохимическими и др.

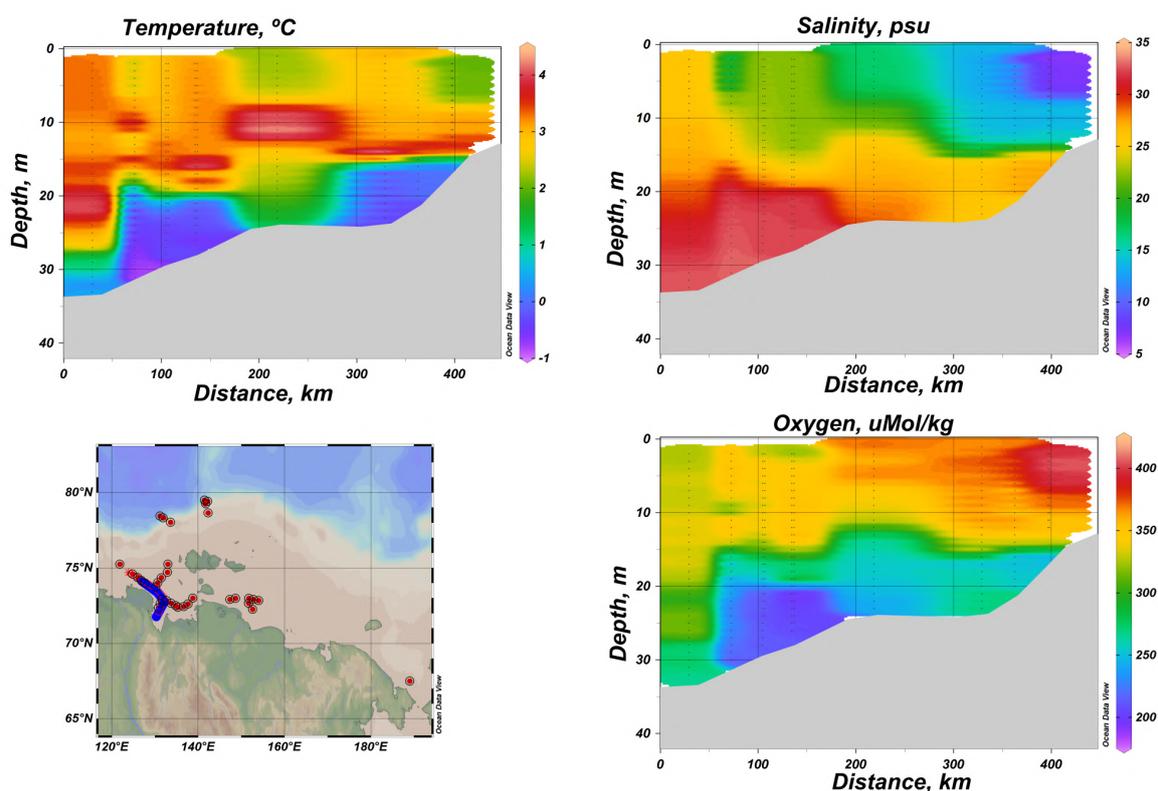


Рис. 3. Гидрологический разрез вдоль устья р. Лена

методами. Практически для каждой вскрытого керна донных грунтов и монолитов бокскореров и мултикореров сделано литологическое описание, для кернов донных осадков также выполнено детальное фотографирование, измерена магнитная восприимчивость, показатели цветности. Из кернов донных осадков и монолитов бокскореров и мултикореров отобраны образцы для измерения плотности, влажности осадка, отобраны образцы для последующей датировки осадков. В целях выяснения элементного состава осадков для отдельных кернов выполнены исследования осадков методом рентгенофлуоресценции (РФА). Полученные пробы поверхностного слоя по химическим показателям можно условно разделить на две группы. Первая — с максимальными содержаниями Zr, Ca, Si, Sr, которые приурочены к подводным отмелям, банкам, где происходит вымывание тонкого материала и вследствие этого накопление алевритовых песков. В противоположность им пелитовые осадки палеодолин рек шельфа и глубоководные осадки обогащены Mn, Fe, Al, P, Pb, Cu, Rb. Концентрации Ti, K, V имеют мозаичную структуру распределения и мало различимы в обеих выделенных группах.

При сканировании кернов обнаруживается зависимость увеличения концентрации Mn в коричневых и темно-коричневых слоях, что также отражается в корреляции с calorиметрическими показателями. Турбидитные слои выделяются по положительным пикам Zr, иногда Sr, по минимальным Rb. Наиболее явно они прослеживаются в отношении Zr к Rb, вследствие этого модуль Zr/Rb можно использовать для выявления невидимых глазу прослоев турбидитов при микросканировании РФА СИ. В некоторых кернах изменение концентрации As вдоль его длины совпадает с изменением магнитной восприимчивости. По максимальным значениям этих показателей можно предположить наличие в керне магнитных диагенетических сульфидов. Использование портативных (ручных) спектрометров на борту судна позволяет выполнять расчленение толщи донных отложения наряду с визуальным описанием и обнаруживать аномальные слои.

Для изучения содержания ртути в арктическом регионе были проведены измерения Hg(0) в приводном слое атмосферы и растворенной Hg(0) в поверхностном слое морской воды, а также измерения потоков Hg(0) между морем и атмосферой.

Выполнен большой объем попутных непрерывных измерений парниковых газов в системе вода — атмосфера, позволяющий впервые по результатам одного рейса в пределах траектории движения судна оценить фактические количественные потоки метана на границе вода — атмосфера во всех морях российского сектора Дальнего Востока и Восточной Арктики.

Проведено изучение газонасыщенности и распределения метана и углеводородных газов в донных отложениях моря Лаптевых и западной части Восточно-Сибирского моря, позволяющее анализировать газоматеринские источники в представленных регионах. В отдельных отобранных представительных глубоководных ядрах континентального склона моря Лаптевых обнаружены повышенные концентрации метана и показатели метанонасыщенности донных осадков, позволяющие говорить о наличии источников газа и о потенциальной газогидратности данных территорий.

В пределах Северо-Омолыйского грабена моря Лаптевых по данным сейсмопрофилирования обнаружены обширные районы распространения газонасыщенных осадков (ГНО). Проведенное в данном районе геологическое опробование на станции LV83-16 показало наличие в донных осадках повышенного содержания метана и аномальной метаноносности  $> 1 \text{ см} \cdot \text{кг}^{-1}$ . В Чукотском море, в пределах прогиба Селавин (станция LV83-1), также были получены подобные результаты, с наличием зон распространения ГНО и высокоаномальными концентрациями метана в донных осадках ( $> 15 \%$ ). Полученные данные показывают эффективность применения геофизических и геохимических методов в рамках единого методического подхода при поиске, картировании площади распространения зон ГНО и изучении источников газа.

Отобраны пробы микробиологических образцов из всех кернов геологических станций для детальных исследований процессов газоокисления и газогенерации в осадочных отложениях и для изучения видового состава микробного сообщества.

## КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ, ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИЕ, ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЯПОНСКОМ И ОХОТСКОМ МОРЯХ В 55-М РЕЙСЕ НИС «АКАДЕМИК ОПАРИН»

М. Г. Валитов\*, Н. С. Ли, А. Ф. Сергеев, С. Г. Сагалаев, А. А. Легкодимов, С. П. Захарков, П. А. Пермяков, С. Д. Рязанов, В. Б. Лобанов, Р. Б. Шакиров, П. А. Салюк, Т. Н. Колпащикова

Тихоокеанский океанологический институт имени В. И. Ильичева ДВО РАН

\*[valitov@poi.dvo.ru](mailto:valitov@poi.dvo.ru)

Согласно Плану комплексных научных исследований Мирового океана на 2017–2022 гг., Тихоокеанский океанологический институт имени В. И. Ильичева Дальневосточного отделения РАН (ТОИ ДВО РАН) продолжает изучение северной части Японского моря и Татарского пролива, выполняя трехлетний план экспедиционных исследований этого района. Экспедиция проходила с 02 по 19 октября 2018 г. на НИС «Академик Опарин» (55-й рейс). Программа экспедиционных исследований была разнообразна и включала геофизические, газогеохимические, гидрологические, гидробиологические и гидрооптические, а также биологические исследования.

Перед экспедицией были поставлены следующие цели:

- исследование условий и механизмов формирования Татарского пролива, определение восточной границы распространения Восточного Сихотэ-Алинского вулканического пояса под акваторию Японского моря;
- изучение корреляции распространения газо-флюидных потоков с сетью тектонических разломов;
- получение новых данных о состоянии и изменчивости термохалинной структуры и биогеохимических характеристик синоптических вихревых систем в северо-западной части Японского моря;
- исследование биопродуктивности и состояния экосистем в северо-западной части Японского моря и южной части Охотского моря в зависимости от гидрологических условий;
- изучение механизмов и закономерностей формирования полей цвета моря, распределения пигментного состава фитопланктона и его продуктивности, растворенной органики и взвеси;
- исследования в области биологии и миграции ластоногих.

Решались следующие задачи:

- изучение аномальных геофизических полей как основы для исследования глубинного строения земной коры исследуемой акватории;
- изучение аномальных газогеохимических полей в водной толще районов исследования;
- поиск и изучение участков газовой эмиссии;
- оценка потока парниковых газов (метан);
- выполнение СТД-разреза через вихревое образование, сформировавшееся в средней части Японской котловины, с отбором проб воды с разных глубин на гидрохимический анализ;

- выполнение гидрохимических измерений (рН) в пробах воды на борту судна и консервация проб для измерений щелочности в береговой лаборатории;
- выполнение СТД-разреза через вихревое образование и зону апвеллинга к югу от залива Петра Великого;
- получение количественных характеристик интенсивности ключевых микробных процессов, циклов углерода и первичной продукции фитопланктона северо-западной части Японского моря и южной части Охотского моря;
- проведение экологического районирования в распределении биогеохимической активности микроорганизмов циклов углерода и первичной продукции фитопланктона в изучаемых акваториях;
- выделение и исследование микробных экотопов с повышенной активностью биогеохимических процессов циклов;
- определение пути миграций у взрослых особей северного морского котика о. Тюлений, а также оценка пострепродуктивной численности сивуча и ларги, использующих о. Тюлений в качестве места остановки;
- исследование встречаемости и распределения морских млекопитающих в акваториях Японского и Охотского морей.

Комплекс методов включал во время движения судна на полигонах: гравиметрические исследования, непрерывное акустическое зондирование морского дна (эхолотирование), магнитометрию, непрерывное измерение температуры и солёности воды, определение пигментов фитопланктона и его первичной продукции, определение продукции бактериопланктона и его численности, а также биологические наблюдения. Дискретно отбирались пробы воды для определения содержания растворенного в них метана и исследования прозрачных свойств воды, ее насыщения кислородом и планктоном. На станциях комплекс методов включал зондирование СТД-зондами и отбор проб воды для гидрохимического анализа (кислород, рН, щелочность, биогенные элементы).

Для проведения мечения и подсчета морских млекопитающих была высажена научная группа на о. Тюлений, где расположено одно из крупных лежбищ этих животных.

Все работы выполнялись в соответствии с известными стандартными методами по проведению геолого-геофизических, океанологических и биологических исследований в море.

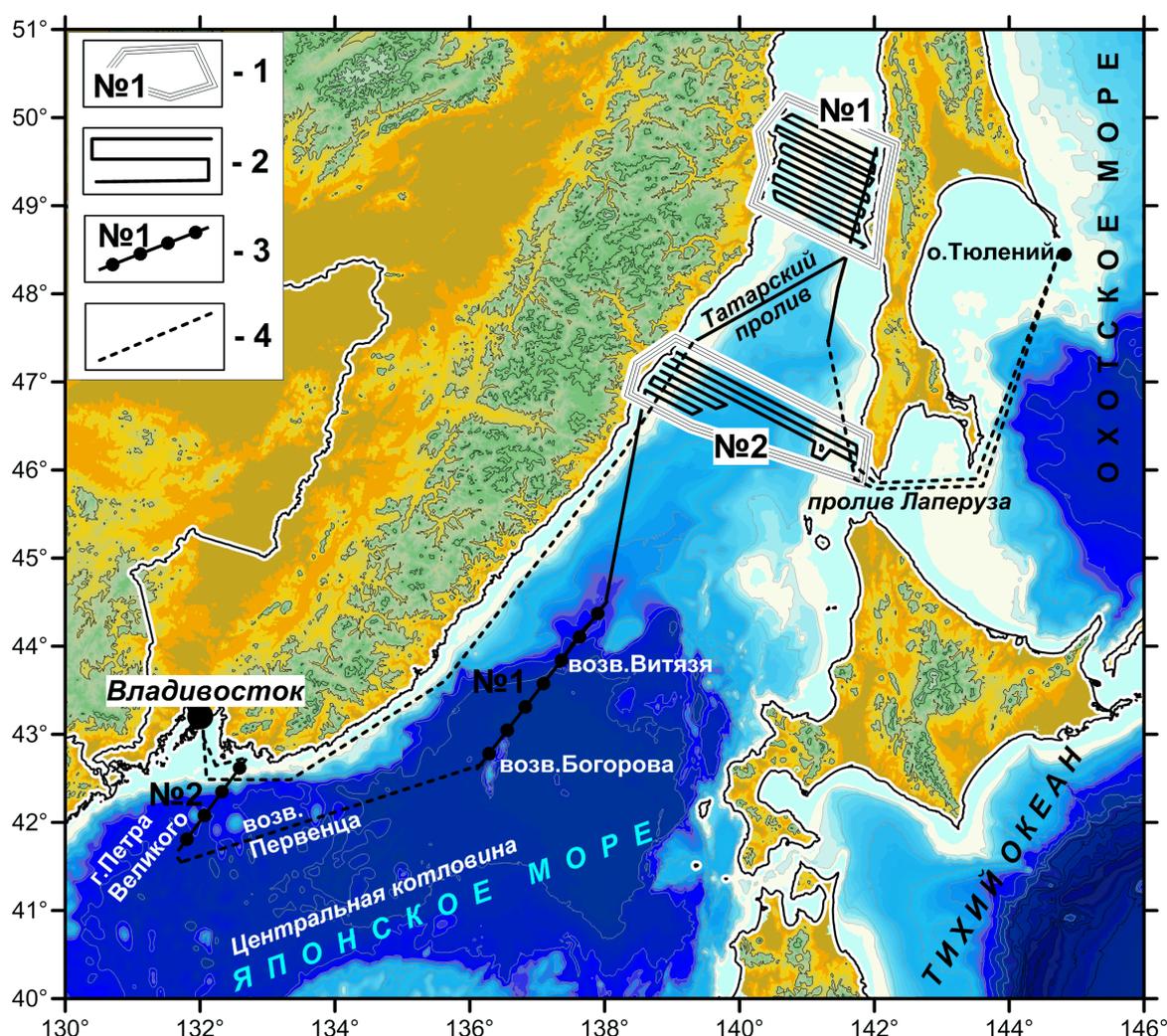
Для проведения исследований в рейсе использовалось следующее научное оборудование:

- гравиметр морской Чекан-АМ;
- буксируемый морской протонный магнитометр-градиентометр МБМ-1;
- судовой эхолот Furuno FCV-292;
- газовый хроматограф SRI 8610С;
- проточный термосалинограф SBE 45;
- СТД-зонд SBE-19 с датчиками давления, температуры, электропроводности и рН;
- многоканальный регистратор океанографических параметров RBR XRX-620;
- батометры Нискина объемом по 5 л;
- надувная моторная лодка ПВХ длиной 4,5 м с подвесным мотором;

- оптические приборы (Pentax Mariner 7X50), ручной механический счетчик (Stayer);
- спутниковые маяки Argos SPOT (SPOT-293A);
- персональные компьютеры;
- судовые лебедки.

Метрологическая проверка приборов была произведена по месту основной работы исполнителей.

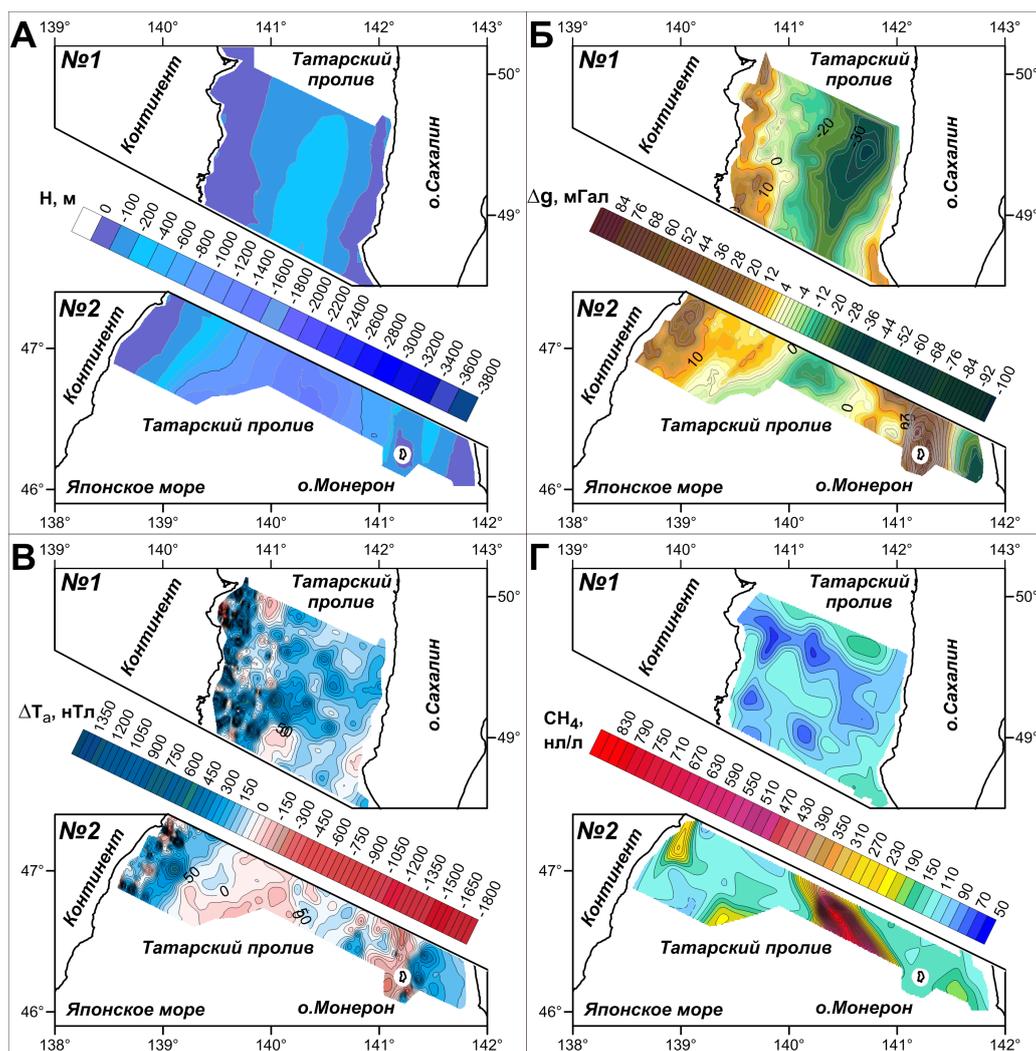
Вначале экспедиционные работы проводились на полигоне, расположенном в Татарском проливе. Комплекс исследований включал геофизическую съемку (гравиметрические и магнитометрические измерения), эхолотирование и непрерывные гидрофизические и атмосферические измерения. Следует отметить, что геофизические и газогеохимические исследования являлись продолжением работ, начатых в 2017–2018 гг. (54-й рейс НИС «Академик Опарин» и 81-й рейс НИС «Академик М. А. Лаврентьев»). Основной объем геофизических исследований был сосредоточен севернее района работ 2017 г. и покрывал акваторию от залива Советская Гавань до мыса Сюркум (рис. 1).



**Рис. 1.** Карта-схема маршрута плавания и районов работ в рейсе 55-м НИС «Академик Опарин», 02–19 октября 2018 г.: 1 — полигоны геофизических и газогеохимических исследований и их номер (№ 1 — Северный, № 2 — Южный); 2 — профили геофизической съемки; 3 — гидрологические разрезы и их номер; 4 — маршрут движения судна

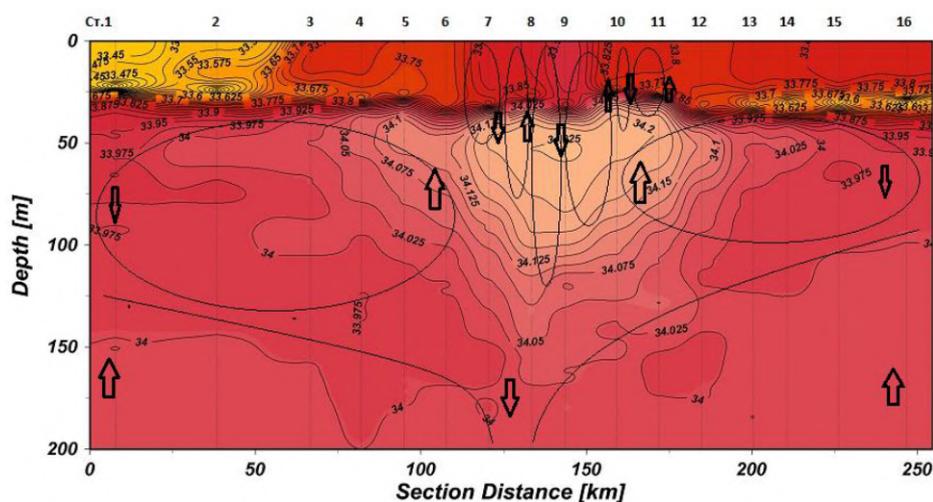
В южной части Татарского пролива исследованная ранее акватория была увеличена тремя протяженными профилями в узкой полосе Сахалинский шельф — о. Монерон — м. Золотой (на континенте) и несколькими профилями на шельфе и склоне континента до глубин 1000 м. Геофизические поля изученной акватории контрастны, хорошо отражают вещественные неоднородности в верхней части земной коры и слабо коррелируют с рельефом (рис. 2 А, Б, В).

В целом полученные новые геофизические данные позволяют изучить выделенные ранее участки развития пород вулканогенно-осадочного комплекса, осадочные депрессии и поднятия кристаллического фундамента, а также проследить тектонические нарушения.



**Рис. 2.** Результаты площадных исследований в центральной части Татарского пролива (№ 1 — Северный полигон, № 2 — Южный полигон): А — карта рельефа дна, Б — гравиметрическая карта (условный уровень); В — карта аномального магнитного поля; Г — карта содержания метана в приповерхностном слое воды

В задачи газогеохимических исследований входило изучение аномальных газогеохимических полей в водной толще районов исследования, поиск и изучение участков газовой эмиссии и оценка потока парниковых газов (метан). Концентрации метана в поверхностном слое воды изменялись от 69 до 400 нл·л<sup>-1</sup> (рис. 2 Г). Выявлены две наиболее контрастные зоны с высокими концентрациями метана в поверхностном слое и повышенной эмиссией в атмосферу: участок с ранее обнаруженными



**Рис. 3.** Схема вертикальной циркуляции на разрезе ст. 1–16 через вихревое образование в северной части Японского моря (рейс № 55 НИС «Академик Опарин», 2–19 октября 2018 г.).

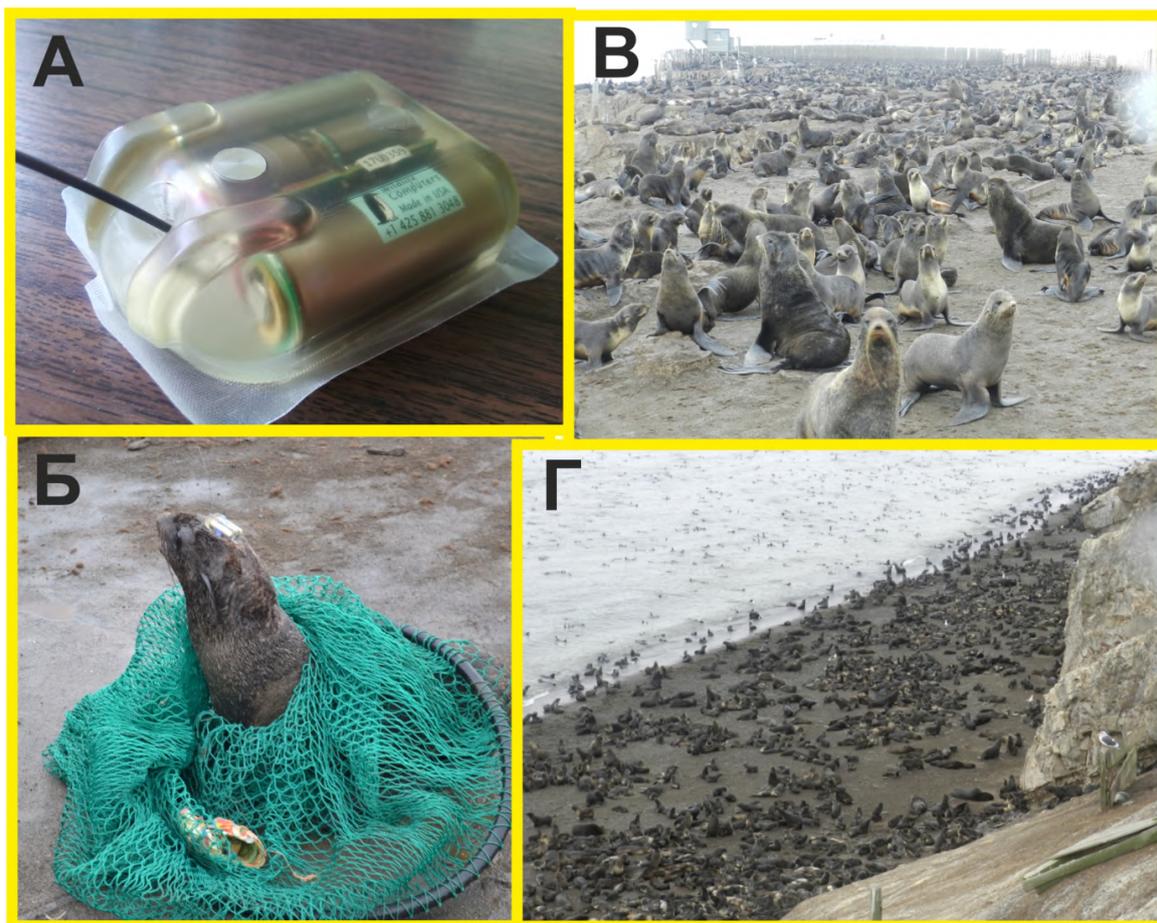
газогидратами и акватория на юго-западном шельфе о. Сахалин. Полученные данные хорошо коррелируют с результатами предыдущих экспедиций. Благодаря этому сформирована представительная база данных по потоку метана в Татарском проливе.

Гидрологические работы проводились с помощью СТД-зондирования от поверхности до 600 м, с отбором проб воды батометрами Нискина с трех горизонтов вдоль двух разрезов через вихревые образования в северной части Японского моря (разрез № 1: возв. Витязя — возв. Богорова — Центральная котловина) и к югу от залива Петра Великого (разрез № 2: Центральная котловина — г. Петра Великого — зал. Восток) (рис. 1). Выполненные исследования показали, что гидрологическая ситуация в районе Южного Приморья в период измерений определялась интенсивным развитием области Приморского апвеллинга и горизонтальной адвекцией вод реверсивного Северокорейского течения с запада и Северо-западной ветви Цусимского течения с востока. Полученные в экспедиции результаты позволяют предполагать, что с областью Приморского апвеллинга связано формирование антициклонических вихрей, являющихся его компенсационным механизмом.

Впервые выполненный детальный разрез через антициклонический вихрь в северо-восточной части моря (рис. 3) показал наличие в нем трех ядер квазиоднородных по солености вод имеющих различное происхождение. Важной особенностью вихря является ядро подповерхностных вод экстремально высокой солености А в слое 40–120 м. Ниже ядра А наблюдается субдукция поверхностных вод пониженной солености и формирование двух квазиоднородных ядер В и С в слоях 160–220 и 270–350 м. В поверхностном слое (0–30 м) воды вихря также имеют повышенную в сравнении с окружающими соленость, что позволяет интерпретировать это в качестве канала, через который воды ядра, трансформируясь, поступают в поверхностный слой, идентифицируя центр вихря.

Впервые получены данные о распределении бактериальной продукции и численности бактерий в больших акваториях северо-западной части Японского моря и, в частности, при пересечении синоптического вихря. Проведены измерения поверхностной первичной продукции фитопланктона и измерение этого параметра в столбе воды при пересечении вихря, а также непрерывные измерения приповерхностных концентраций хлорофилла а и окрашенного растворенного органического вещества с периодической калибровкой стандартными методами по ходу судна на протяжении всего маршрута рейса.

Собран массив новых подспутниковых гидробиологических и гидрооптических данных по результатам измерений в водах различного оптического типа в Японском и Охотском морях, в которых существуют разные механизмы формирования цвета моря за счет непостоянных соотношений основных оптически активных компонентов морской воды и за счет различной стратификации вод. Данные будут использованы для классификации вод по их гидрооптическим и гидрологическим характеристикам, для разработки региональных спутниковых алгоритмов восстановления концентрации хлорофилла *a* и оценки первичной продукции.



**Рис. 4.** Учет и определение путей миграции ластоногих. А — радиометка Argos SPOT-293A; Б — помеченный радиометкой молодой самец северного морского котика; В, Г — лежбище ластоногих на о. Тюлений

Впервые в комплекс геолого-геофизических и океанографических исследований вошли работы в области биологии и миграции ластоногих. Специалисты ТОИ ДВО РАН были высажены на о. Тюлений, где произвели учет численности сивуча (*Eumetopias jubatus*) и ларги (*Phoca largha*) методом прямого поголового подсчета, оценили состав сивучей-мигрантов и определили количество сивучей, травмированных предметами инородного происхождения. Для определения путей миграции северного морского котика на поверхность головы трех животных (2 взрослые самки, сопровождаемых щенками, и 1 самец) установили спутниковые маяки (рис. 4). Координаты места нахождения животных передаются по каналам связи в ТОИ ДВО РАН в момент всплытия тюленей на поверхность моря. К моменту выполнения предварительной камеральной обработки данных получено более 2000 локаций морских котиков. Исследования показали, что обе помеченные самки регулярно совершали кормовые походы в различных

направлениях от о. Тюлений, Каждый раз самки возвращались на о. Тюлений. В отличие от самок, самец-холостяк сразу после установки спутниковой метки ушел с лежбища в северном направлении, прошел над впадиной Дерюгина и сместился к северо-западному побережью Охотского моря.

На всем протяжении маршрута судна в светлое время суток проводились визуальные наблюдения за морскими млекопитающими. Собраны данные по распределению и встречаемости морских млекопитающих. Наиболее часто встречающимися на морских переходах были белокрылые морские свиньи (*Phocoenoides dalli*). Реже встречались малые полосатики (*Balaenoptera acutorostrata*), северные морские котики и обыкновенные морские свиньи (*Phocoena phocoena*). Отмечены также эпизодические встречи сивуча, дельфина-белобочки (*Delphinus delphis*) и косатки (*Orcinus orca*).

Выполненные исследования показали, что комплексирование различных методов исследования акваторий оптимально позволяет использовать судовое время (наиболее ценный экспедиционный ресурс) и получать разносторонние, дополняющие друг друга научные результаты. ТОИ ДВО РАН планирует продолжать комплексное изучение одного из интереснейших мегаобъектов Японского моря — Татарского пролива и зоны его сочленения с Центральной глубоководной котловиной — с целью раскрытия его минералогического, углеводородного, сейсмогенного, климатического и биоресурсного потенциала.

Особо хочется отметить, что экипаж и научный состав работали слаженно и результативно, находили полное взаимопонимание. Научный состав благодарит капитана НИС «Академик Опраин» О. М. Цуканова и экипаж за помощь в выполнении запланированных в экспедиции исследований. Отдельная благодарность — ТБФ ИО РАН и Минобрнауки РФ за содействие в решении вопросов организации экспедиции.

---

Экспедиционные работы проведены при финансовой поддержке Минобрнауки России, в рамках госзадания ТОИ ДВО РАН: тема 0271-2019-0002 (AAAA-A17-117030110032-3); тема 0271-2019-0003 (AAAA-A17-117030110042-2), тема 0271-2019-0004 (AAAA-A17-117030110038-5); тема 0271-2019-0006 (AAAA-A17-117030110035-4), тема 0271-2019-0011 (AAAA-A17-117030110037-8), а также в рамках Приоритетной программы ДВО РАН «Дальний Восток» (грант 18-1-010).

## КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ, ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЯПОНСКОМ МОРЕ И ТАТАРСКОМ ПРОЛИВЕ В 81-М РЕЙСЕ НИС «АКАДЕМИК М. А. ЛАВРЕНТЬЕВ»

М. Г. Валитов<sup>1\*</sup>, Р. Б. Шакиров<sup>1</sup>, А. В. Яцук<sup>1,2</sup>, З. Н. Прошкина<sup>1</sup>, Н. С. Ли<sup>1</sup>, К. И. Аксентов<sup>1</sup>, А. И. Обжиров<sup>1</sup>, В. Т. Съедин<sup>1</sup>, А. Л. Пономарева<sup>1,2,3</sup>, В. Н. Карнаух<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Тихоокеанский океанологический институт имени В. И. Ильичева ДВО РАН

<sup>2</sup>Дальневосточный федеральный университет

<sup>3</sup>Научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии имени Г. П. Сомова

\*[valitov@poi.dvo.ru](mailto:valitov@poi.dvo.ru)

---

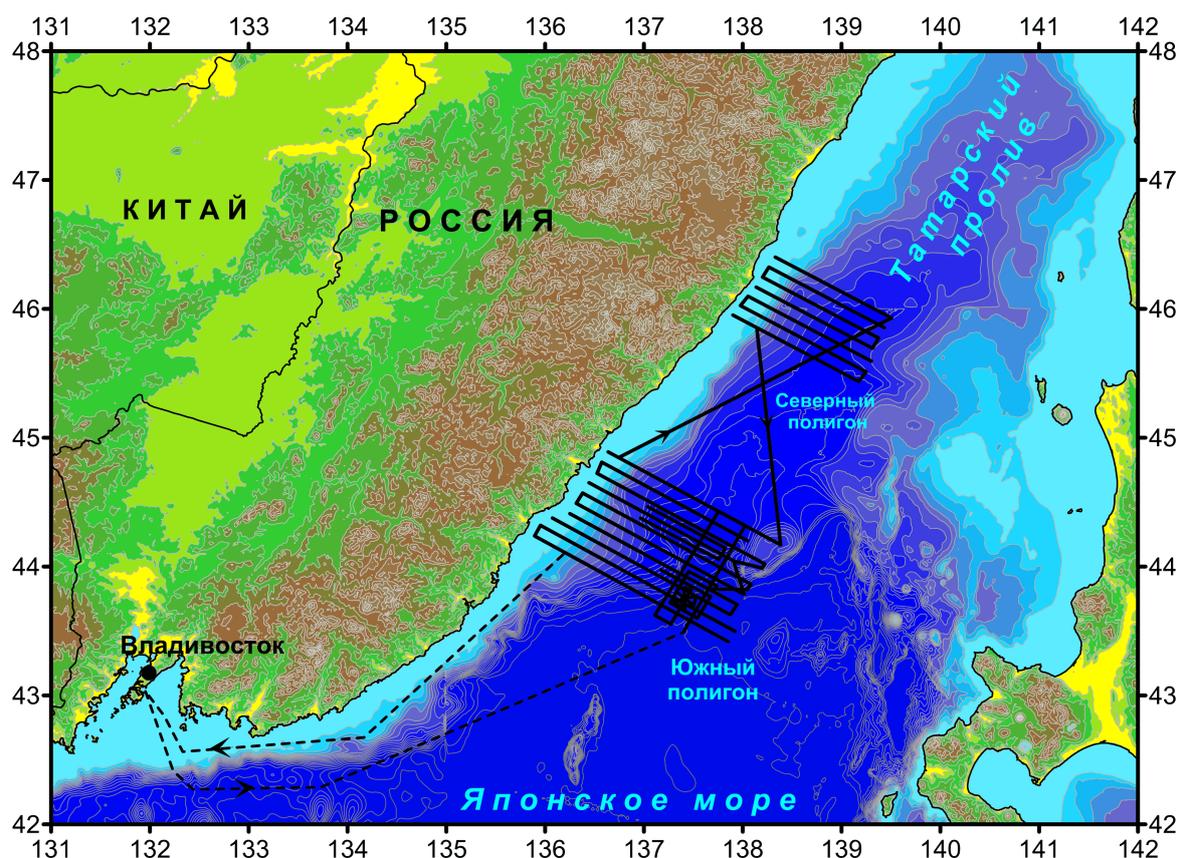
В период с 4 по 27 мая 2018 г. согласно Плану морских экспедиционных исследований, поддержанному Советом по гидросфере Земли Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (ранее – ФАНО), в северную часть Японского моря (район сочленения Центральной котловины с Татарским проливом (подводные возвышенности Алпатова и Витязь) и южная часть Татарского пролива – на траверзе пролива Лаперуза) была организована вторая комплексная морская экспедиция на НИС «Академик М. А. Лаврентьев» (81-й рейс). Основной целью экспедиции являлось выполнение комплексных геолого-геофизических, газогеохимических, гидрохимических, микробиологических и океанографических исследований, направленных на изучение глубинного строения земной коры, выявления закономерностей размещения полезных ископаемых, в том числе условий формирования залежей газогидратов, исследование состояния геосфер (фоновое и аномальное), а также на оценку современной активности геологических процессов.

Научный состав экспедиции состоял из 17 сотрудников ТОИ ДВО РАН, специалиста из ИМГиГ ДВО РАН, специалиста из ФГБУН «ТИНРО-Центр», трех студентов ДВФУ и семи японских исследователей из Лаборатории газовых гидратов Университета Мэйдзи (г. Токио, Япония).

Выполненные работы (рис. 1) включали батиметрическую и геофизические съемки (гидроакустическое зондирование, гравиметрические и магнитометрические измерения, непрерывное сейсмопрофилирование), гидрофизические и атмосферические измерения; на станциях производились: отбор проб осадков и воды, краткое литологическое описание осадков, извлечение газа из проб керна донных осадков, колонок воды, набортный газохроматографический анализ и микробиологические исследования.

Поставленные перед экспедицией задачи выполнены полностью. Получен большой объем новых данных, анализ и интерпретация которых позволят более детально понять глубинную структуру, характер тектонических деформаций консолидированного фундамента в пределах Сихотэ-Алинского шельфа на севере Японского моря и природу газоактивности южной части Татарского трога.

Возвышенности Северного замыкания Центральной котловины Японского моря, характеризующиеся «субконтинентальным» типом земной коры, образуют на границе с Центральной котловиной отчетливый уступ высотой около 1500 м. Возвышенности Витязя и Алпатова известны давно [1], а возвышенность Лаврентьева выделена впервые. Морфологически возвышенность Лаврентьева практически примыкает к материковому склону Приморья, как бы образуя его восточный выступ. Особенности строения и рельефа (наличие крутых склонов, уступов и глубоких каньонов) в районе крупных возвышенностей Северного замыкания свидетельствуют о значительной роли тектонического фактора в формировании их современного рельефа.

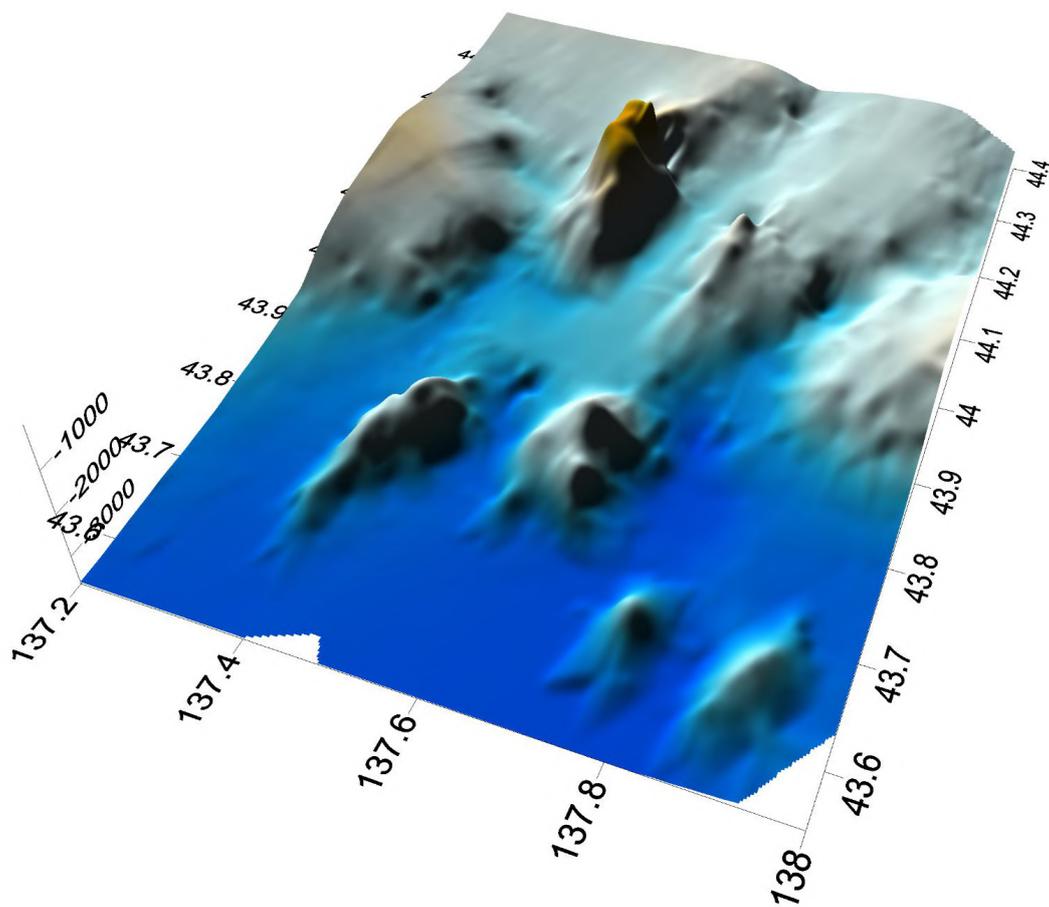


**Рис. 1.** Карта-схема маршрута плавания и расположение полигонов работ в 81-м рейсе НИС «Академик М. А. Лаврентьев», 4–27 мая 2018 г.

Подробно исследована группа из четырех вулканических построек (рис. 2), расположенных в абиссальной части Центральной котловины, которые предлагается назвать горами Алпатова. Расположение гор Алпатова в протяженной линейной цепочке широтного направления свидетельствует о приуроченности этих структур к разломной зоне соответствующего простираения. Скорее всего, они образовались в местах пересечения разлома широтного простираения с разломами других направлений (меридиональное и/или северо-восточное). При драгировании самой западной постройки было поднято небольшое количество обломков пород, представленных слаболитифицированными алевролитистыми песчаниками лепешковидной формы. Аналитические исследования нескольких образцов (аналитик К. И. Аксентов, рентгенофлуоресцентный метод, прибор OLIPUS-Delta) показали, что эти породы характеризуются высокими содержаниями железа ( $Fe$  — 6,3–9,3 %), а также марганца ( $Mn$  — 0,43–3,46 %) и фосфора ( $P$  — 0,15–1,42 %).

Все перечисленные основные структуры зоны сочленения Центральной котловины и трога Татарского пролива (материковый склон, крупные возвышенности, абиссальная котловина и вулканические постройки) находят свое отражение в поле силы тяжести и в аномальном магнитном поле. В геофизических полях контрастно выделилось подводное продолжение Восточного-Сихотэ-Алинского вулканического пояса [2] в виде знакопеременных аномалий магнитного поля и протяженных положительных аномалий в поле силы тяжести (рис. 3).

Впервые поднятые с абиссали Японского моря колонки донных отложений оказались потенциально газогидратоносными (рис. 4) в связи с их аномальным газосодержанием ( $CH_4 > 15$  об. %), характерным градиентом изменения концентраций по глубине керна и термобарическими условиями,



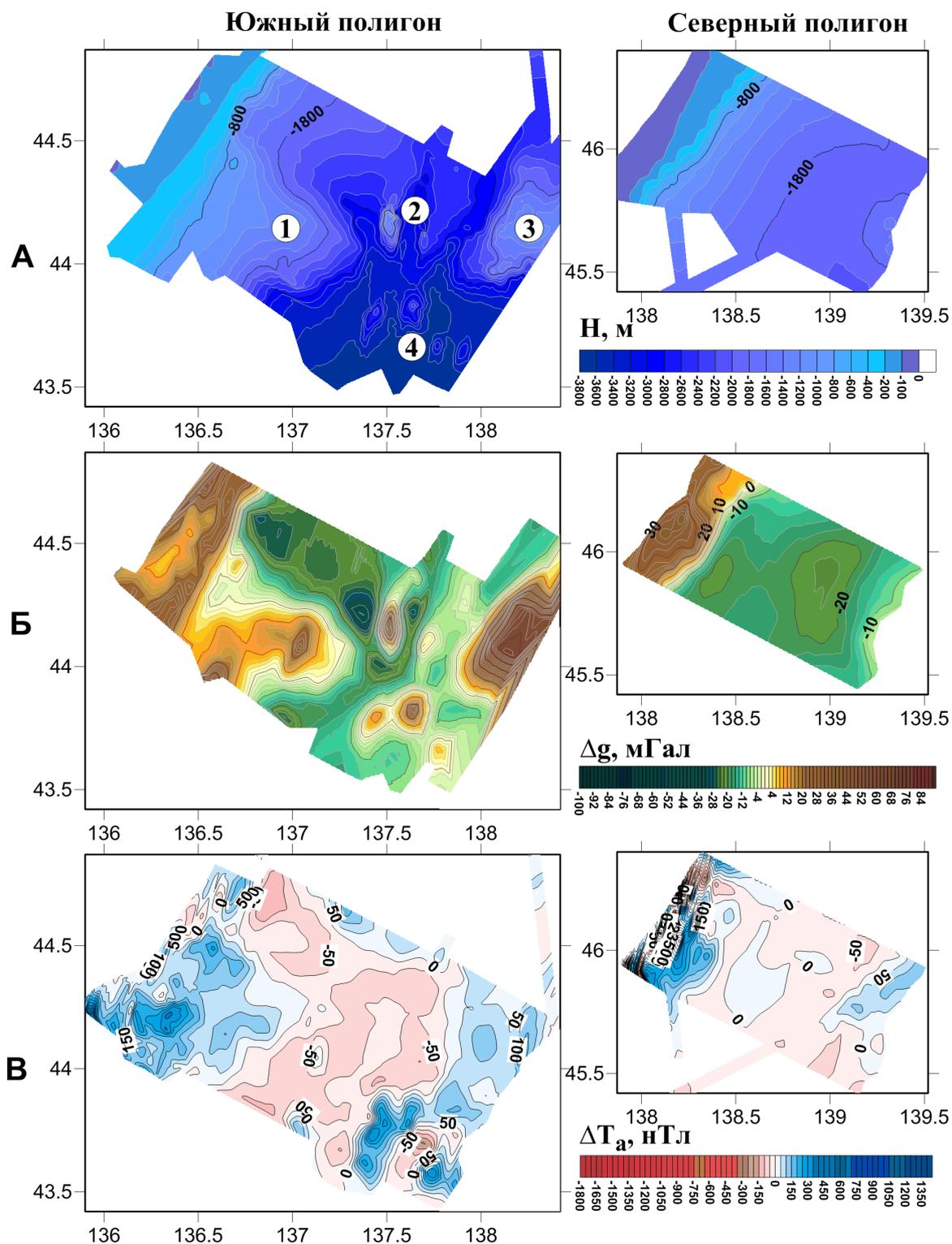
**Рис. 2.** Вулканические постройки (горы Алпатова) в абиссальной части Центральной котловины Японского моря

благоприятными для образования и накопления газогидратов (0–2 °С). В отдельных колонках обнаружены повышенные содержания гомологов метана (этана — до 90 ppm, пропана — до 1 ppm), что может говорить о наличии газоматеринских источников в пределах сочленения глубоководной Центральной котловины и трога Татарского пролива Японского моря.

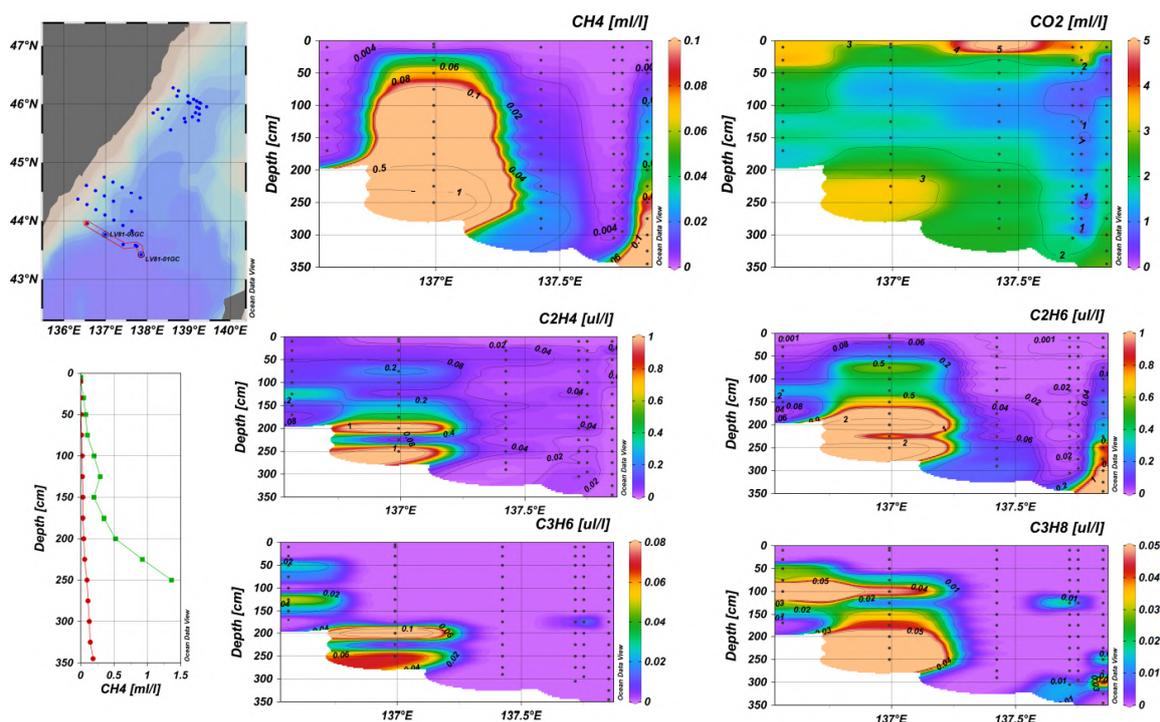
В донных осадках исследованы нефтеокисляющие, метанотрофные и метаногенные микроорганизмы. Впервые обнаружены абиссальные бактериальные сообщества, которые за короткое время в условиях судовой лаборатории оказались способны переработать природную нефть.

Впервые в районе исследований выявлены многочисленные субвертикальные зоны газонасыщенных осадков (chimney), а также другие сейсмоакустические аномалии в осадочной толще южной части Татарского трога. Уточнен газогеохимический фон и закартированы новые аномальные газогеохимические поля, перспективные на наличие глубинных газоматеринских источников и скоплений газогидратов.

Выполнены высокоразрешающие измерения (свыше 50000 дискретных замеров) распределения метана, углекислого газа, паров воды, аммиака, оксида азота и ртути в приводном слое атмосферы в районе работ, намечена корреляция атмосферных аномалий метана и углекислого газа с активизированными по газовой миграции участками морского дна.



**Рис. 3.** Результаты площадных геофизических исследований: батиметрия (А); гравиметрия (Б); магнитометрия (В). Цифрами обозначены возвышенности: Лаврентьева — 1, Алпатова — 2, Витязя — 3; горы Алпатова — 4

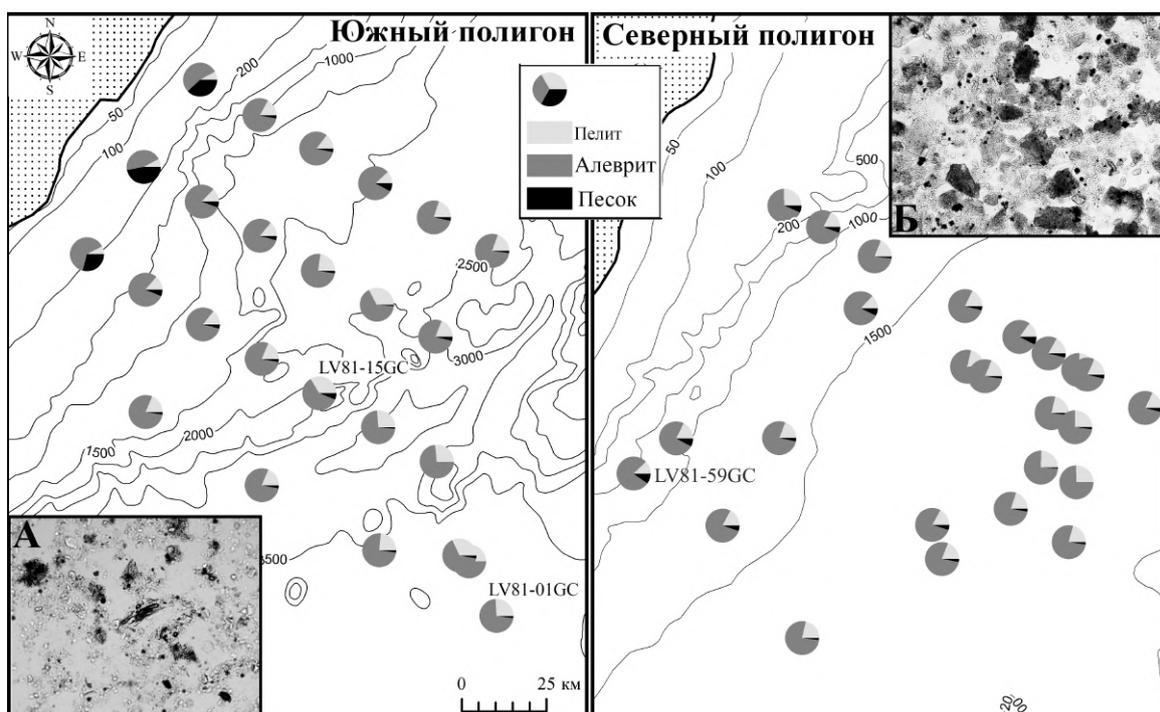


**Рис. 4.** Распределение газов в осадках на профиле 1. Отдельно вынесены две диаграммы по глубоководным станциям (красная диаграмма — LV81-01, зеленая — LV81-05) с повышенным и аномальным содержанием метана в осадках (OceanDataView)

Получены новые данные, касающиеся комплексных лито-геохимических характеристик осадочных отложений района исследований (рис. 5). По гранулометрическим показателям подавляющее большинство проб поверхностного слоя относится к типу чистых алевритов, несколько проб — к алевриту пелитовому. Три станции характеризуются наличием песчанистой фракции до 20 % и более, с обломками пород гравийной размерности. В некоторых кернах обнаружены турбидитные прослои, сложенные частицами песчанистой фракции. Проведенное в полевых условиях сканирование кернов портативным рентгенофлуоресцентным спектрометром показало различные геохимические аномалии в зависимости от цвета и структуры горизонтов. Турбидитные слои характеризовались пиками по цирконию, коричневые слои содержали повышенные слои марганца, пики мышьяка и серы в определенных горизонтах совпадали.

Обнаружена аутигенная минерализация в виде скопления желтовато-беловатых зерен на континентальном склоне в районе Северного полигона. По результатам визуального осмотра, минеральное образование имеет схожие признаки с образцами икаита, которые обнаруживались ранее в Японском или Охотском морях, но не имеет облика бипирамидального кристалла. Образец в настоящее время хранится в морозильной камере, подготавливается серия необходимых анализов (рентгеноструктурный и др.).

Полученные результаты показывают, что некоторые районы Японского моря до сих пор изучены недостаточно в геолого-геофизическом и геохимическом отношении. Результаты экспедиционных исследований показывают, что вопросы тектогенеза, глубинного строения, вулканизма и газоносности в зонах сочленения геоструктур Японского моря нуждаются в существенном уточнении. Полученные данные имеют важное значение для исследования глубинного строения Японского моря, истории его развития и для прогноза распространения газогидратов на российском континентальном склоне.



**Рис. 5.** Гранулометрические характеристики поверхностного слоя донных отложений. На врезках: А — снимок прослоя тефры ядра LV81-01GC; Б — снимок металлоносного осадка в забое ядра LV81-15GC

Научный состав благодарит капитана В. Б. Птушкина и команду НИС «Академик М. А. Лаврентьев», обеспечивших успешное выполнение план-программы экспедиции.

Экспедиционные работы проведены при финансовой поддержке Минобрнауки России (ранее — ФАНО) в рамках госзадания ТОИ ДВО РАН: тема 0271-2019-0002 (АААА-А17-117030110032-3); тема 0271-2019-0005 (АААА-А17-117030110033-0); тема 0271-2019-0006 (АААА-А17-117030110035-4).

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Берсенев И. И., Леликов Е. П., Безверхний В. Л., Ващенко Н. Г., Съедин В. Т., Терехов Е. П., Цой И. Б. Геология дна Японского моря. Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1987. 140 с.
- [2] Геологическая карта Приморского края. Масштаб 1:1000000 / Л. Ф. Назаренко. Москва : Мингео СССР, 1986.

## ИТОГИ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭКОСИСТЕМ КАСКАДА ВОЛЖСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ И ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (Р. ДОН) В 2018 Г.

Ю. В. Герасимов

Институт биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН

Погодно-климатические и гидрологические особенности бассейна Волги в 2017 и 2018 гг. [по данным ФГБУ «Институт глобального климата и экологии» (<http://www.igce.ru/>) и Информационно-аналитического центра регистра и кадастра (<http://gis.vodinfo.ru/>)] имели принципиальные отличия. По сравнению с относительно холодным и влажным 2017 г., когда количество осадков превышало норму в 1,5–2,0 раза в течение практически всех летних месяцев, 2018 г. был более теплым и сухим.

Зима 2017–2018 гг. была теплой: температурные аномалии достигали 5,9 °С в декабре в Центральном регионе и 7,1 °С в январе на Северо-Западе. Начало весны (март) было холодным: по всем исследуемым регионам в бассейне Волги зафиксированы отрицательные аномалии, до -4,6 °С в Северо-Западном регионе. Апрель и май были теплыми: отмечены аномалии до 2,86 °С в Центральном регионе. Начало лета также было прохладным, а уже с июля и по октябрь на всем исследуемом пространстве фиксировались положительные температурные аномалии, при этом сентябрь и октябрь стали самыми теплыми за весь период метеорологических наблюдений.

**Таблица 1.** Средние месячные аномалии температуры, осредненные по регионам РФ в 2018 г.

Регионы	Аномалии температуры (°С)											
	2017	2018										
	дек.	январ.	фев.	март	апр.	май	июнь	июль	авг.	сент.	окт.	нояб.
Северо-Западный	6,08	<b>7,10</b>	0,31	-4,46	1,44	1,94	-0,09	2,84	1,83	<b>2,79</b>	1,93	2,48
Центральный	<b>5,90</b>	4,60	-0,57	-3,36	1,67	2,86	0,37	2,01	2,65	<b>3,44</b>	2,26	-0,14
Приволжский	3,76	2,56	0,31	-3,88	-0,40	0,74	-0,79	2,41	1,24	2,41	2,68	-0,21

\*Красным цветом выделены месяцы с положительными аномалиями температуры, синим — с отрицательными

С конца 2017 г. по апрель 2018 г. количество осадков в бассейне Волги было выше нормы (122 % нормы в среднем по трем регионам), с максимумом в январе 2018 г. (167 % от нормы) и апреле 2018 г. (141% от нормы) для Центрального региона. В Приволжском регионе в январе и феврале наблюдался дефицит влаги.

Запасы воды в снежном покрове приближались к норме, за исключением Верхней Волги и Оки, где влагозапасы превышали норму в 1,5–2 раза. На Нижней Волге зафиксирован дефицит влаги.

В конце весны — начале лета (май — июнь) весь бассейн испытывал дефицит осадков. Следует отметить, что такая ситуация складывается довольно часто и имеет положительную тенденцию развития. В июне в Центральном регионе выпало всего лишь 58 % от нормы, а в Приволжском — 70 %, в июле в Центральном регионе — 142 %, в Северо-Западном — 80 %. С августа по ноябрь в Центральном и Приволжском регионах дефицит влаги был катастрофическим (в августе — 44 %, в ноябре — 36 % от нормы осадков).

Таким образом, вегетационный сезон 2018 г. характеризовался положительными аномалиями температуры и отрицательными — осадков.

**Таблица 2.** Месячные относительные аномалии осадков в регионах РФ в 2018 г.

Регионы	Аномалии осадков (% нормы)											
	2017	2018										
	дек.	январь	фев.	март	апр.	май	июнь	июль	авг.	сентябрь	окт.	ноябрь
Северо-Западный	127	127	93	114	106	79	120	80	105	119	117	84
Центральный	<b>167</b>	130	129	128	141	91	58	<b>142</b>	44	103	93	<b>36</b>
Поволжский	116	78	97	144	134	84	70	104	68	75	98	58

\* Зеленым цветом показаны месяцы, когда осадков выпало выше нормы, желтым — ниже нормы

К началу вегетационного и навигационного периода уровни практически всех водохранилищ были близки к нормальному подпорному уровню (НПУ) или даже ниже его. Для анализа приводим средние по площади уровни Рыбинского, Куйбышевского и Волгоградского водохранилищ как наиболее важных, регулирующих водохранилищ в своих водохозяйственных участках Волжского каскада. В течение практически всего года средний уровень водохранилищ был близок к среднемноголетней норме, пожалуй за исключением предполоводной сработки в конце апреля — начале мае 2018 г., когда уровни воды были ниже нормы, но в пределах уровня мертвого объема, в отличие от таковых 2017 г.

Аналогичная ситуация наблюдалась с приточностью и сбросом воды водохранилищ. Даже несмотря на превышения норм по осадкам, приточность и сбросы водохранилищ сохраняются в пределах среднемноголетних показателей, чего нельзя сказать о предыдущем годе. В 2017 г. эти показатели были существенно выше; в летние месяца сброс через плотины мог достигать уровня половодья или даже быть выше его.

Таким образом гидрологическая ситуация в 2018 г. на водохранилищах Волжского каскада была в пределах среднемноголетних норм.

В период работ (июль — сентябрь 2018 г.) на Волге и Дону отмечены положительные аномалии температуры воздуха (+2...3,4 °С). За 2015–2018 гг. температура воды в Верхней Волге была максимальной в августе 2016 и 2018 гг., а в Средней и, особенно, Нижней Волге — в августе 2017 г. (существенно выше по сравнению с таковой августа 2015 г.).

В летний период 2018 г. характер изменений суммы ионов по каскаду водохранилищ сохраняется независимо от объемов водного стока. Количество атмосферных осадков и объем водного стока могут влиять на концентрацию главных ионов (абсолютные значения средних величин суммы ионов в 2018 г. несколько выше, чем в предыдущем). Цимлянское водохранилище, расположенное в другой географической зоне, отличается вдвое большей минерализацией воды от Волжских водохранилищ.

Изменение соотношений между главными ионами (%-эквивалент) сверху вниз по каскаду водохранилищ обусловлено сменой физико-географических условий на водосборе. В Волге выше Чебоксарской ГЭС в составе анионов преобладали гидрокарбонаты (84–90 %). Ниже возрастала доля сульфатов и хлоридов, их вклад достигал 58–64 % в Нижней Волге и 54 % — в Цимлянском водохранилище. В составе катионов с севера на юг отмечено увеличение в 3–4 раза вклада натрия (до 20–31 %).

Цветность воды снижалась от Верхней к Нижней Волге и Дону. В Волге с ней положительно связано содержание общего железа ( $R = 0,61, p < 0,05$ ), но в канале Волго-Дон и Цимлянском водохранилище количество  $Fe_{общ}$  вновь возрастало до уровня верхневолжского ( $0,2–0,3 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ ), несмотря на низкую (< 30 град.) цветность воды.

В августе содержание фосфатного фосфора возрастало с севера на юг и достигало очень высоких значений ( $> 100 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ ), начиная с Куйбышевского водохранилища; в Цимлянском достигало  $220 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ . Количество нитратного азота было наибольшим в Верхней Волге (до  $115 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ ) и на незарегулированном участке Нижней Волги ( $170 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ ). В целом общее содержание биогенов и их минеральных, доступных для растений форм было очень высоким. Между тем отношение N/P, отражающее доступность биогенов для водорослей, отличалось в разных водоемах. В Верхней Волге фитопланктон был лимитирован фосфором ( $N/P > 15$ ), а в Средней и Нижней Волге, канале Волго-Дон и Цимлянском водохранилище — азотом ( $N/P < 10$ ).

Летом 2015–2018 гг. исследованы термическая структура и кислородный режим 12 водохранилищ Волго-Камского каскада (Иваньковское, Угличское, Рыбинское, Шекснинское, Горьковское, Чебоксарское, Куйбышевское, Саратовское, Волгоградское, Нижнекамское, Воткинское и Камское) и незарегулированного участка Волги до г. Астрахани. Установлено, что прогрев поверхности воды чаще всего превышал норму августа на  $1,5\text{--}6 \text{ }^\circ\text{C}$ ; особенно сильно вода повсюду прогревалась летом 2016 и 2018 гг.

Кислородный режим в июне был благоприятным для гидробионтов по всей Волге, а в августе — на Средней и Нижней Волге и в Каме ниже плотины Воткинской ГЭС. Опасно низкое для животных содержание  $\text{O}_2$  ( $< 5 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ ) у дна зарегистрировано в двух водохранилищах (Иваньковское и Угличское) в августе 2015 и 2017 гг., в пяти (Иваньковское, Угличское, Рыбинское, Камское и Воткинское) — в августе 2016 г., в шести — в августе 2018 г. Слой с  $\text{O}_2$  от  $< 1$  до  $5 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$  локально занимал  $10\text{--}60 \%$  столба воды, встречаемость дефицита  $\text{O}_2$  варьировала от  $15\text{--}30 \%$  станций в Рыбинском до  $40\text{--}90 \%$  в Иваньковском и Угличском водохранилищах. В 2016 г. при прогреве вод до  $23\text{--}25 \text{ }^\circ\text{C}$  формировались анаэробные условия в гипolimнионе самых глубоких участков водохранилищ вблизи плотин ГЭС, в некоторых (Иваньковское и Угличское) низкое содержание  $\text{O}_2$  локально наблюдалось во всем столбе воды. Протяженные участки от  $35$  до  $> 200$  км русла Волги и Камы были заморными.

Пигменты фитопланктона. В последние годы (2015, 2016) Иваньковское, Угличское, Рыбинское и Чебоксарское водохранилища характеризуются как эвтрофные, Горьковское и Куйбышевское — как умеренно эвтрофные, Саратовское и Волгоградское — по-прежнему как мезотрофные. Прохладным многоводным летом 2017 г. содержание хлорофилла *a* соответствовало таковому в водах мезотрофного типа в Рыбинском, Саратовском водохранилищах, в водах умеренно эвтрофного типа — в Горьковском, Чебоксарском, Куйбышевском и Волгоградском водохранилищах, в водах эвтрофного типа — в Иваньковском и Угличском водохранилищах.

В 2018 г. (летом) содержание основного фотосинтетического пигмента хлорофилла *a* в воде водохранилищ волжского каскада было выше, чем в прохладном 2017 г. Средние величины соответствовали таковым вод мезотрофного типа в Куйбышевском, Саратовском, Волгоградском водохранилищах и незарегулированном участке Нижней Волги, вод умеренно эвтрофного типа — в Рыбинском и Горьковском, вод эвтрофного типа — в Иваньковском, Угличском и Чебоксарском водохранилищах. Полученные величины укладываются в пределы межгодовых колебаний развития фитопланктона Волги. Для каскада в целом сохраняется тенденция к снижению содержания хлорофилла *a* от Верхней Волги к Нижней Волге. Подъем хлорофилла в Чебоксарском водохранилище объясняется его расположением в районе с высокой антропогенной нагрузкой. Во всех водохранилищах локальное увеличение хлорофилла отмечено в устьевых участках притоков.

Следует отметить стабильно высокий трофический статус (эвтрофия) Угличского водохранилища в последние годы; ранее водоем был мезотрофным. Рост трофности отражается на кислородном режиме Волжского плеса Рыбинского водохранилища (именно там чаще всего наблюдается дефицит  $\text{O}_2$ ) и на развитии на данном участке зоопланктона и зообентоса (обилие зоопланктона возросло, а моллюсков — снизилось).

На участке Волго-Донского канала, для которого получены первые данные по содержанию хлорофилла, отмечается его резкое увеличение от акватории Нижней Волги, Варварского и Бреславского водохранилищ к Карповскому и Цимлянскому водохранилищам. Первая группа станций характеризуется как мезотрофная, вторая — как высоко эвтрофная.

В целом рост обилия водорослей отмечается в маловодные годы при штилевой погоде, повышенной инсоляции и температуре воды. Стимулом для роста количества хлорофилла в водохранилищах Волги и, соответственно, повышения их трофического статуса послужили, в частности, условия аномально жаркого лета в 2010 г. Отметим, что при неизменном пигментном составе фитопланктона в настоящее время в фонде зеленых пигментов наблюдается увеличение относительного содержания хлорофилла *a*, что указывает на усиление роли цианопрокариот (синезеленые водоросли), свойственное повышению трофии водоемов в условиях глобального потепления.

Продукция гетеротрофного бактериопланктона и ее выедание гетеротрофными нанофлагеллятами. В августе — сентябре 2018 г. в водохранилищах Волги и на незарегулированном участке в ее низовьях, Волго-Донском канале и Цимлянском водохранилище определяли продукцию гетеротрофного бактериопланктона и ее потребление гетеротрофными нанофлагеллятами. Наиболее высокие темпы бактериальной продукции зарегистрированы в эвтрофных водохранилищах (Цимлянское, Горьковское и Чебоксарское), а также в Волго-Донском канале; наименьшие — в мезотрофных Саратовском и Волгоградском водохранилищах. Гетеротрофные нанофлагелляты играли важную роль в потреблении бактерий, выедая в среднем для водного объекта от 30 % (Волгоградское водохранилище) до 62 % (Рыбинское) суточной бактериальной продукции, а на некоторых участках — всю продукцию.

Структура сообщества гетеротрофных жгутиконосцев. В водохранилищах Волги и Дона в августе — сентябре 2018 г. изучены распределение, разнообразие и структура сообщества гетеротрофных жгутиконосцев — важного компонента микробных трофических сетей, главных потребителей бактерий и пикофитопланктона, пищевого ресурса для инфузорий и многоклеточного зоопланктона. Идентифицировано 73 вида жгутиконосцев из 10 крупных таксонов и группы неопределенного систематического положения. Наибольшее видовое разнообразие зарегистрировано в Ивановском водохранилище (52 вида) и других водохранилищах Верхней Волги, наименьшее — в Саратовском (10 видов) и Куйбышевском (12 видов). В остальных водохранилищах число обнаруженных видов гетеротрофных нанофлагеллат (ГНФ) варьировало от 18 до 45.

Основа разнообразия фауны жгутиконосцев большинства водохранилищ — редкие виды, частота встречаемости которых была менее 25 %. Они составляли 36–84 % общего видового богатства, что свидетельствует о высокой степени гетерогенности гетеротрофных жгутиконосцев. При этом 26 видов (> 35 % видового богатства) обнаружены только в одном из водохранилищ. Наибольшее число таких видов (10) идентифицировано в Ивановском водохранилище; по 1–5 видов — в остальных. В Саратовском водохранилище таких видов не обнаружено.

По числу видов доминирующими таксономическими группами ГНФ были эвгленовые и кинетопластыды (14 и 12 видов соответственно). Остальные включали ≤ 11 видов. Всего три вида ГНФ, что составляет 4,1 % общего видового состава, встречались во всех водохранилищах. Эти виды — *Codonosiga botrytis*, *Bodo designis* и *Salpingoeca minor*.

В 2017 г. в водохранилищах Волги идентифицировано 59 видов гетеротрофных жгутиконосцев, а в 2018 г. — 73 вида. Между тем в 2018 г. фауна флагеллат в Чебоксарском, Куйбышевском и Саратовском водохранилищах оказалась беднее, чем в 2017 г. Лидирующей таксономической группой в сообществе жгутиконосцев в 2017 г. были хризифитовые, тогда как в 2018 г. преобладали эвгленовые и кинетопластыды.

В 2018 г. сохранилась тенденция снижения видового разнообразия инфузорий сверху вниз по каскаду Волги. Как и в 2017 г., наибольшим видовым разнообразием и обилием отличались простейшие в Горьковском и Чебоксарском водохранилищах. В августе 2018 г. на отрезке Камское Устье — Волгоград обилие инфузорий было заметно ниже по сравнению с таковым 2017 г. Сообщество инфузорий Волго-Донского канала отличается от сообществ Волги и Дона составом, а также высокими уровнями видового разнообразия и обилия. Возможно, это связано с эффектом экотона или влиянием повышенной (почти в 4 раза) минерализации воды.

Наши данные свидетельствуют о достоверном снижении количества зоопланктона, особенно его биомассы, от верхних в каскаде Волги и Камы водохранилищ к нижним; оно прослеживается для всех таксономических групп. Причины не ясны и требуют дополнительного исследования. Трофический статус изученных водоемов снижается не так сильно, как обилие зоопланктона. По содержанию хлорофилла фитопланктона водохранилища Верхней и Средней Волги и Камы являются эвтрофными или близкими к эвтрофным, а водохранилища Нижней Волги — мезотрофными. Возможно, лимитирующим фактором для развития зоопланктона служат различия гидрологического режима отдельных водохранилищ, в частности разная скорость водообмена.

Биомасса уменьшалась вниз по течению Волги в 3–6 раз, а Камы — менее чем вдвое. Количество ракообразных, определяющее общую биомассу сообщества, снижалось резко (в 1,5–2 раза, до 49 тыс. экз. · м<sup>-3</sup>) в Горьковском водохранилище по сравнению с таковым верхневолжских водоемов (76–89 тыс. экз. · м<sup>-3</sup>), в основном за счет клadoцер, обилие которых уменьшалось в 2,5 раза. Биомасса также резко сокращалась, начиная с речной части этого водохранилища (440–580 км волжского судового хода). Численность копепод сильно уменьшалась в Чебоксарском водохранилище; здесь общее количество ракообразных составляло всего 28 тыс. экз. · м<sup>-3</sup>. В Нижней Волге, начиная с Саратовского водохранилища, их обилие уменьшалось до < 20 тыс. экз. · м<sup>-3</sup>, и здесь, соответственно, биомасса была минимальной. Статистически распределение биомассы летнего метазоопланктона в Волге и ее межгодовые вариации в большей мере зависели от колебаний численности копепод (вклад в общую дисперсию — 60 %), чем клadoцер (4 %). Фактически по всему каскаду в зоопланктоне по биомассе доминировали клadoцеры (45–50 %), на долю копепод приходилось 30–35 %. Более высокий вклад в биомассу копепод (> 50 %) отмечали в Куйбышевском и Воткинском водохранилищах.

Осредненные за несколько лет данные показали значительно более выровненное распределение метазоопланктона, чем то, которое наблюдалось по результатам единичной съемки 2015 г. Выявлено устойчивое снижение доли клadoцер в Ивановском водохранилище, которые в среднем за три года формировали ~ 30 % общей биомассы метазоопланктона. В 1970–1990-х гг. в этом водоеме в конце лета клadoцеры (в основном *Daphnia cucullata*) образовывали > 60 % численности и биомассы. Снижение доли клadoцер в планктоне этого водоема отмечено с начала 2000-х гг. Низкая доля клadoцер, особенно дафний, вызвана заморными явлениями в глубоководной части водоема (на русле Волги).

В 2015–2017 г. нами отмечена тенденция к снижению численности полиморфной дрейссены в водоеме. Численность *D. bugensis* в 2017 г. была минимальной за период наблюдений с 2005 г.

В Чебоксарском водохранилище зафиксировано снижение количественных характеристик дрейссенид в приплотинном глубоководном участке относительно таковых 2009 г. В 2017 г. произошло значительное сокращение численности бугской дрейссены относительно показателя 2015–2016 гг.; зафиксировано снижение встречаемости дрейссенид в водоеме в целом.

В настоящее время более чем на трети исследованных участков Куйбышевского водохранилища дрейссениды представлены только одним видом — *D. bugensis*. В совместных местообитаниях численность *D. bugensis* значительно превышала таковую *D. polymorpha*. В среднем по водоему за три года не было отмечено существенных изменений численности дрейссенид.

В водохранилищах Нижней Волги в 2015–2016 гг. *D. bugensis* в основном формировала монодоминантные сообщества с высокой численностью. В 2017 г. отмечено резкое сокращение как количественных показателей вида, так и встречаемости дрейссенид в целом: в Саратовском водохранилище *D. polymorpha* встречалась единично, а в Волгоградском она присутствовала только в верхней части водоема. В русловой части водохранилищ Нижней Волги зарегистрировано резкое сокращение количественных показателей дрейссенид. В отличие от водохранилищ, незарегулированные участки Волги в 2016 г. характеризовались наличием только *D. polymorpha*. В 2017 г. дрейссениды не обнаружены.

В 2018 г. в Ивановском и Угличском водохранилищах отмечено сокращение встречаемости и количества полиморфной дрейссены; бугская дрейссена вообще отсутствовала. Существует многолетняя тенденция к снижению численности бугской дрейссены в глубоководной части Куйбышевского водохранилища, при этом в целом данный вид продолжает составлять основу сообществ дрейссенид в Волжском плесе Рыбинского водохранилища и в водохранилищах Средней и Нижней Волги. Сокращение встречаемости и обилия дрейссенид в отдельных водохранилищах связано с неблагоприятными условиями, вызванными дефицитом растворенного кислорода в придонных слоях.

В 2015 г. в Горьковском водохранилище обнаружен двустворчатый моллюск — вселенец *Corbicula fluminea*. В 2017 г. установлено его основное место обитания — водоем — охладитель Костромской ГРЭС; подтверждена видовая принадлежность моллюска — *Corbicula fluminea*, форма R, гаплотип митохондриального гена первой субъединицы цитохром с-оксидазы (COI, мтДНК) соответствует FW5. Впоследствии обнаружены спермии, характерные для полиплоидных андрогенетических популяций корбикулы, которые обладают высоким инвазионным потенциалом. В 2018 г. исследована размерно-массовая структура популяции вселенца в водоеме — охладителе Костромской ГРЭС. Преобладали взрослые особи 22–26 мм (40 %) и сеголетки 16–18 мм (25 %). Численность корбикулы — 100–175 экз.·м<sup>-2</sup>, биомасса — 400–700 г·м<sup>-2</sup>. При вскрытии моллюсков (68 экз.) паразиты и эндосимбионты не обнаружены.

Ихтиологические исследования. Сравнение видового состава научно-исследовательских уловов пелагического трала на Волжских водохранилищах в 1980-е гг. и траловых съемок 2015–2018 гг. показало, что в пелагиали всех волжских водохранилищ основу ихтиомассы составляет черноморско-каспийская тюлька, ставшая доминантным видом в пелагических скоплениях рыб. На ее долю в настоящее время приходится 95–100 % от общего числа рыб в пелагиали. Доля в уловах пелагического трала рыб других видов (как крупного, так и мелкого частика) в настоящее время значительно уменьшилась, что обусловило многократное снижение ихтиомассы в пелагиали всех Волжских водохранилищ в 2010-е гг.

Тралово-акустические исследования в слое распространения батипелагических рыб показали, что в открытых плесах Волжских водохранилищ ихтиомасса батипелагических рыб значительно снизилась. Только в Угличском и Ивановском водохранилищах, где в 2000-е гг. был запрещен рыбный промысел, наблюдается повышение численности придонных рыб. На фоне снижения общей ихтиомассы в последние годы произошли изменения и в пространственном распределении рыб. В настоящее время на всех Волжских водохранилищах минимальные ихтиомассы наблюдаются в приплотинных участках и в верховьях речных участков, где условия для озерных и озерно-речных теплолюбивых видов рыб, составляющих основу рыбного населения волжских водохранилищ, менее благоприятны. В 1980-е гг., при высоких ихтиомассах, часть рыб в результате конкурентных отношений была вынуждена осваивать и эти участки. Сейчас, после многократного снижения ихтиомассы, емкость участков в средней части водохранилищ с более благоприятными условиями позволяет основной массе рыб концентрироваться именно на них. Положительные тенденции, наблюдаемые в Ивановском и Угличском водохранилищах, которые обусловлены запретом промысла, указывают на то, что снижение этих показателей в остальных Волжских водохранилищах вызвано чрезмерным промысловым изъятием рыбы в 1990–2000-е гг. вследствие менее эффективного, чем в 1980-е гг., регулирования и контроля за промыслом.

Естественные причины, основной из которых в исследуемый период стало потепление климата, оказали менее значимое воздействие на состояния рыбного населения Волжских водохранилищ. Негативное влияние потепления климата критически сказалось только на численности холодноводных и оксифильных видов, что особенно заметно в верхневолжских водохранилищах, где доля таких видов рыб значительно выше, чем в водохранилищах Средней и Нижней Волги. Потепление способствовало быстрому расселению в 1990-е и 2000-е гг. в водохранилищах Средней и Верхней Волги черноморско-каспийской тюльки, а ее вселение и последующее доминирование обусловили существенное изменение структуры и трофических связей в пелагических скоплениях рыб волжских водохранилищ.

Токсикологические исследования. Разработка и апробация методики определения районов водных объектов, загрязненных СОЗ (ПХБ, ДДТ и его метаболиты, изомеры ГХЦГ) из организованных локальных стоков и диффузных рассеянных источников в рамках приоритетного проекта «Сохранение и предотвращение загрязнения реки Волги». Определено пространственное распределение по содержанию и составу стойких органических загрязняющих веществ (СОЗ: ПХБ, ДДТ, ГХЦГ) в водных объектах озерного (Рыбинское водохранилище, 35 станций) и равнинно-руслового (Горьковское водохранилище, 25 станций) типа. На основе полученных данных разработана и апробирована методика выявления диффузного и локального загрязнения водных объектов, основанная на определении качественного и количественного состава СОЗ в горизонте донных осадков 0–5 см с учетом характера их пространственного распределения в водохранилище, являющемся водным объектом озерного типа, и в Горьковском водохранилище. Использование данной методики позволило на обоих водохранилищах выявить зоны локального и диффузного загрязнения СОЗ и установить границы их пространственного распространения.

Исследовалась активность этоксирезорифин-О-деэтилазы (ЭРОД) в печени леща из водохранилищ Верхней Волги. Уровень активности ЭРОД в печени рыб отражает нагрузку органических ксенобиотиков на водную экосистему. Результаты анализа свидетельствуют о том, что нагрузка органических ксенобиотиков на популяции леща Ивановского и Угличского водохранилищ постепенно снижается вниз по течению р. Волги. Наибольшие величины активности ЭРОД отмечаются в Рыбинском и Горьковском водохранилищах. Корреляция активности ЭРОД в печени леща и содержания стойких органических загрязнителей в донных отложениях следующая: тесная — с ГХБ ( $R = 0,70$ ;  $p = 0,04$ ); средняя — с ПХБ ( $R = 0,57$ ;  $p = 0,04$ ). Кроме того, есть тенденция достоверной связи с суммой ДДТ и его метаболитов ( $R = 0,75$ ;  $p = 0,07$ ).

При сравнении результатов биотестирования проб воды, отобранных в 2018 г. на 4 водохранилищах Верхней Волги, можно заключить, что наблюдается тенденция к уменьшению токсичности воды Ивановского водохранилища по сравнению с показателями 2016 и 2017 гг., Рыбинского — с показателями 2016 г. Доля станций с хронической токсичностью воды Рыбинского водохранилища сократилась в 2018 г. по сравнению с долей 2016 г. и не изменилась по сравнению с долей 2017 г. Токсичность воды Горьковского водохранилища в среднем не изменилась за весь период наблюдений.

Токсичность донных отложений Ивановского водохранилища в 2018 г. сократилась по сравнению с таковой 2016 г. и не изменилась по сравнению с токсичностью в 2017 г. Доля станций с хронической токсичностью донных отложений Рыбинского водохранилища не изменилась за три года наблюдений, Горьковского — увеличилась, Угличского — не изменилась по сравнению с долей 2016 г.

## 71-Й РЕЙС НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»: КЛИМАТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СУБПОЛЯРНОГО КРУГОВОРТА СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ И ВОДООБМЕНА МЕЖДУ АРКТИКОЙ И СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКОЙ

С. В. Гладышев\*, В. С. Гладышев, В. А. Артемьев, А. В. Гавриков, В. И. Гагарин, Д. И. Глуховец, А. Б. Демидов, А. А. Ключиткин, А. В. Колоколова, Е. Г. Морозов, А. Н. Новигатский

Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН

\*[sgladyshev@ocean.ru](mailto:sgladyshev@ocean.ru)

71-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш» направлен на обеспечение работ по государственным заданиям: № 0149-2018-0001 «Крупномасштабные, волновые и вихревые океанские процессы и роль океана в формировании климата: междекадная эволюция циркуляции, гидрофизических полей океана и потоков на границе океан — атмосфера в условиях меняющегося климата», № 0149-2018-0016 «Современные и древние донные осадки и взвесь Мирового океана — геологическая летопись изменений среды и климата: рассеянное осадочное вещество и донные осадки морей России, Атлантического, Тихого и Северного Ледовитого океанов - литологические, геохимические и микропалеонтологические исследования; изучение загрязнений, палеообстановок и процессов в маргинальных фильтрах рек», № 0149-2018-0035 «Морские и океанские экосистемы в условиях меняющегося климата и антропогенного воздействия: структура и биологическая продуктивность экосистемы Арктического бассейна и морей России, экосистемы и потенциальные биологические ресурсы открытого океана»; по программам ПП РАН: № 0149-2018-0023, ПП РАН I.51 «Изменение климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования», № 0149-2018-0027 «Влияние физических процессов на биогеохимию в Мировом океане», № 0149-2018-0028 «Колебательные процессы в атмосфере и океане и их роль в климатической изменчивости», № 0149-2018-0031 «Процессы, влияющие на осадконакопление в Мировом океане»; выполнялся на средства грантов РФ № 14-50-00095 «Мировой океан в XXI веке: климат, экосистемы, ресурсы, катастрофы», РФФИ № 18-05-00194, РФФИ 16-47-02009, РФФИ 14-27-00114-П, РФФИ 16-17-10194, а также программ 1.49П (темы 149-2018-0048, 0149-2018-0033) и 1.3П (149-2015-0058).

Основная цель экспедиции — исследование глобальной межконтинентальной циркуляции и ее Атлантической ветви. Климатический мониторинг Северной Атлантики на трансатлантическом разрезе вдоль 59.5° с. ш. начался в 1997 г. во время проведения международного эксперимента WOCE. По этой программе проведено 25 экспедиций на НИС ИО РАН. Первые наблюдения включали STD-измерения от поверхности до дна, с отбором проб на определение растворенного кислорода и биогенных элементов на гидрологических станциях с пространственным разрешением 40 миль. С 2004 г. на разрезе проводятся измерения течений при помощи акустических профилографов WHS 300 кГц LADCP; с 2005 г. — измерения радиационных и турбулентных потоков энергии на поверхности океана. С 2006 г. пространственное разрешение между станциями поэтапно уменьшилось до 20 миль, а с 2009 г. система западных пограничных течений исследуется с разрешением 2–10 миль. С 2009 г. совместно с университетом Лас-Пальмас (Испания) проводятся исследования карбонатной системы Северной Атлантики и скорости накопления океаном антропогенного CO<sub>2</sub>. С 2013 г. проводятся полномасштабные исследования характеристик биоты, а с 2015 г. — регулярные постановки буйковых станций для непрерывного измерения течений и современного седиментогенеза.

Состав экспедиции включал 8 научных групп и отрядов (гидрологический, гидрохимический, геологический, отряд взвесей и аэрозолей, биооптических исследований, отряд АГОС, группа первичной продукции и метеогруппа); общая численность — 41 человек.

Основные задачи экспедиции включали:

- сбор STD-данных и данных о течениях для оценки состояния Северной Атлантики (ключевой климатообразующий район Мирового океана) летом 2018 г. на зональном трансатлантическом разрезе вдоль 59.5° с. ш.;
- сбор STD-данных и данных о течениях на Гренландско-Исландско-Фарерском пороге для расчета интегрального водообмена между Арктикой и Северной Атлантикой;
- подъем и постановку АГОС для сбора информации о процессах современного седиментогенеза в Северной Атлантике и в Западной Арктике (количественная оценка вклада различных процессов в потоки вещества);
- отбор донных осадков ТБД, мультикорером и дночерпателем для их комплексного анализа;
- сбор данных об аэрозолях приводного слоя атмосферы в районах исследований;
- отбор проб для оценки концентрации хлорофилла *a*, расчета первичной продукции и анализа видового состава фитопланктона на большой акватории Северной Атлантики и Арктики;
- сбор данных об облачности в Северной Атлантике и Арктике при помощи широкоугольных камер для разработки автоматической программно-аппаратной системы наблюдений;
- сбор данных о кокколитофоридном цветении в Баренцевом море.

Маршрут экспедиции в Северной Атлантике показан на рис. 1. Экспедиция состояла из нескольких этапов: I — зональный трансатлантический разрез (28 июня — 10 июля, 79 станций), II — съемка в морях Лабрадор и Ирмингера, (10–20 июля, 43 станции), III — эксперимент в Датском проливе (21–29 июля, 120 станций) и разрезы на Исландско-Фарерском пороге (21 июля — 3 августа, 36 станций).

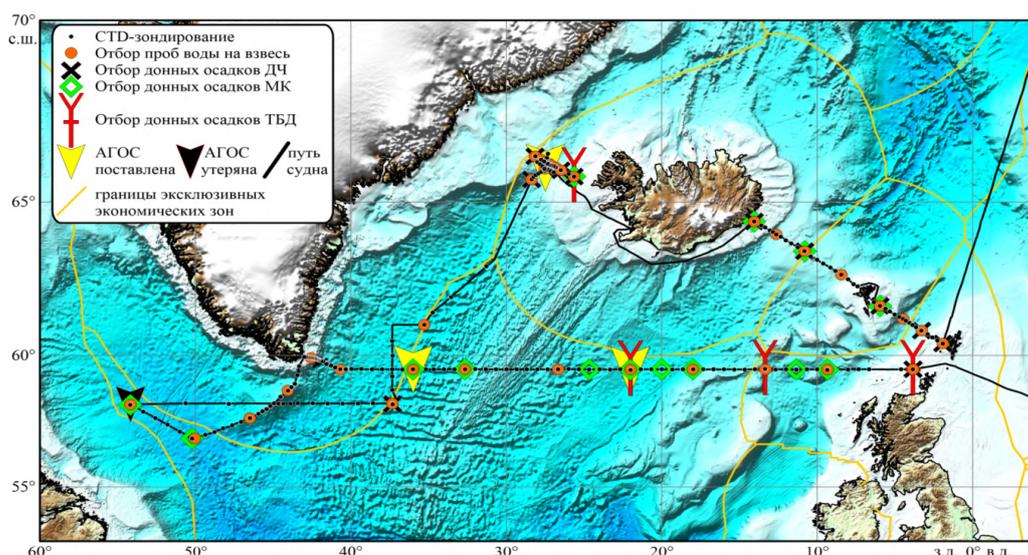


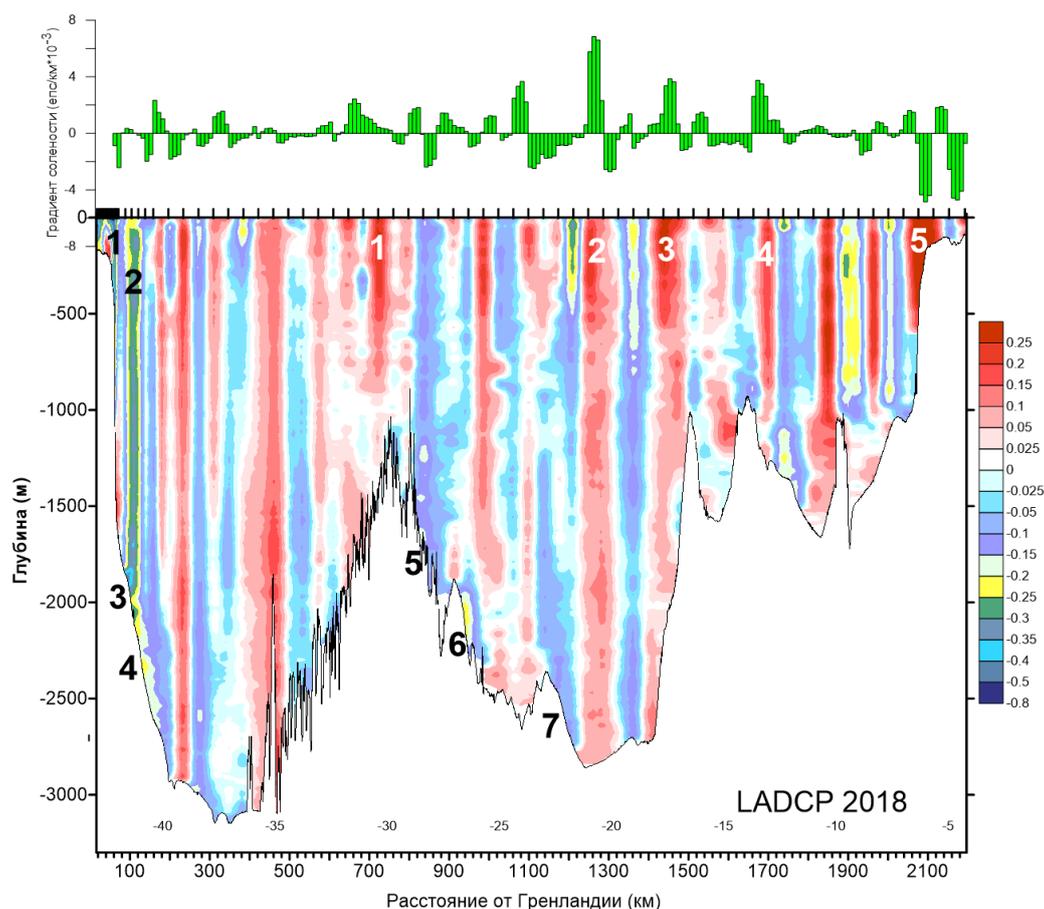
Рис. 1. Маршрут экспедиции 71-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в Северной Атлантике

## Предварительные научные результаты

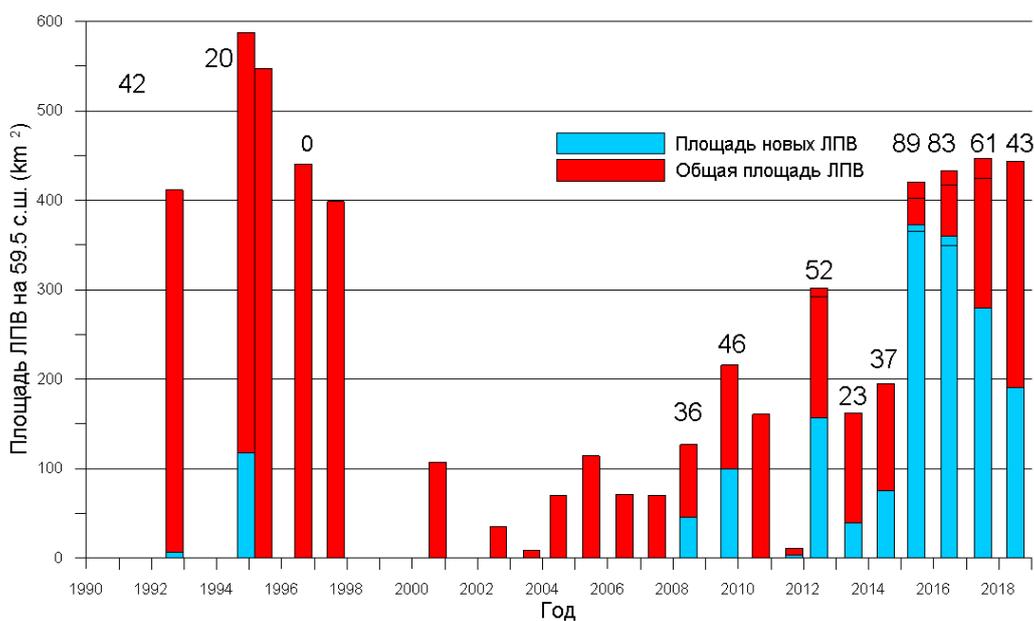
В тезисах представлена часть научных результатов, полученных в экспедиции, так как обработка и анализ большого объема данных продолжают.

1. Измерена структура течений субполярного круговорота Северной Атлантики, основная особенность которой — многоструйность. Теплая ветвь конвейера состоит из стационарных струй Северо-Атлантического течения, отмеченных на рис. 2 цифрами 1–5 белого цвета. Холодная ветвь конвейера представлена системой западных пограничных течений и холодными придонными струями (цифры 1–7 черного цвета). Подповерхностным теплым струям соответствует система термохалинных фронтов (верхняя панель рис. 2), с которыми тесно связана биопродуктивность Северной Атлантики.

2. Продолжился мониторинг зимней конвекции в море Ирмингера, характеризуется аномальным развитием конвекции на современном этапе, которая началась зимой 2014–2015 гг. В 2018 г. наблюдалось затухание аномальной конвекции, которое определялось по насыщению конвективного ядра растворенным кислородом (рис. 3). Термическая структура ядра и его насыщение кислородом показаны на рис. 4: новые воды ядра — синим и зеленым цветом, а воды «старого ядра» — желтым и красным. В 2018 г. наблюдали два очага конвекции в ядре Лабрадорских промежуточных вод (ЛПВ) на 59.5° с. ш. На рис. 3 отчетливо виден процесс рестратификации ядра, обусловленный весенне-летним прогревом. Вместе с тем продолжалось охлаждение ЛПВ, средняя температура которых достигла минимума в XXI веке (3,38 °C).



**Рис. 2.** Структура течений Субполярного круговорота Северной Атлантики, полученная прямыми измерениями течений на станциях. Красным цветом показаны течения северного направления, синим — южного направления



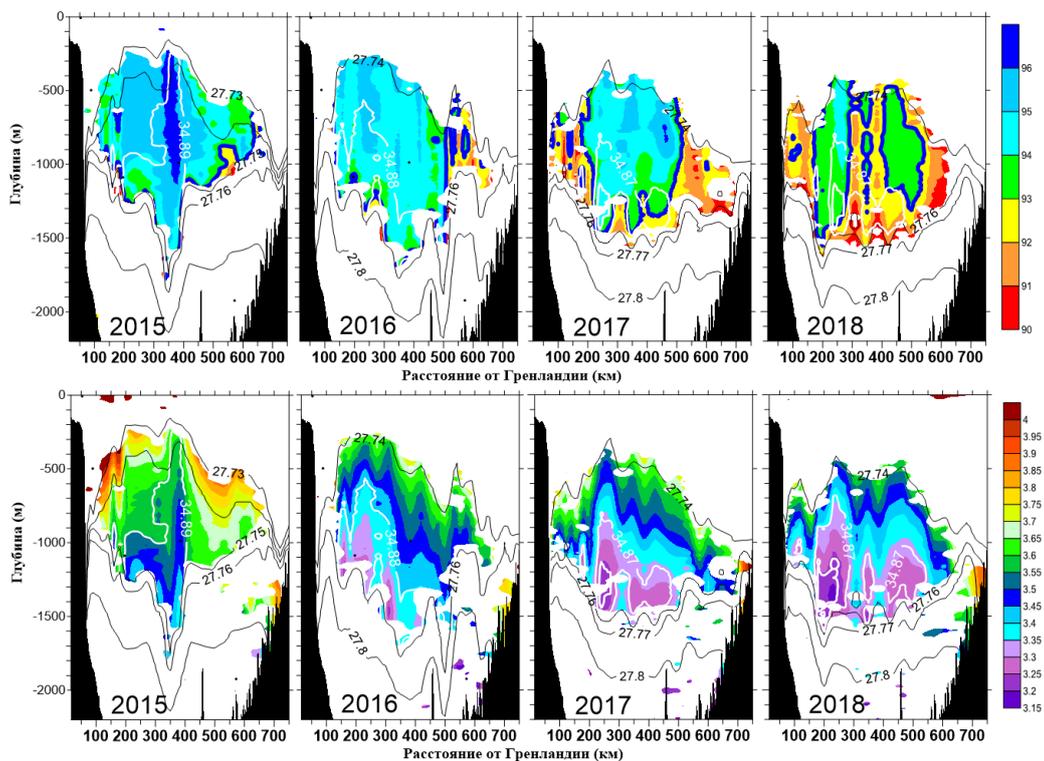
**Рис. 3.** Площадь конвективного ядра в море Ирмингера на 59.5° с. ш. (красным цветом), процент обновления ядра по кислородному индикатору (синим цветом)

3. В результате уникального эксперимента в Датском проливе (рис. 5) получены данные по короткопериодной изменчивости водных масс и течений. Объемный T,S-анализ позволил определить термохалинные индексы основных водных масс (рис. 6), а ОМП-анализ дал возможность провести границы водных масс в глубоководной части пролива (рис. 7). Обнаружено, что в период измерений теплые воды течения Ирмингера преобладали в Датском проливе. Измерения течений показали, что мы наблюдали две стадии (два этапа) водообмена между Арктикой и Северной Атлантикой. Первый этап — струйное теплое течение Ирмингера вдоль исландского склона пролива и струйное холодное Восточно-Гренландское течение вдоль западного (гренландского) склона. Второй этап – рециркуляция течения Ирмингера в проливе (прекращение переноса теплых вод в Арктику), смещение струи в западном направлении и «замена» холодной струи Восточно-Гренландского течения вдоль западного склона на холодную струю вдоль склона Исландии, в которую большой вклад вносит Северо-Исландское течение (рис. 8).

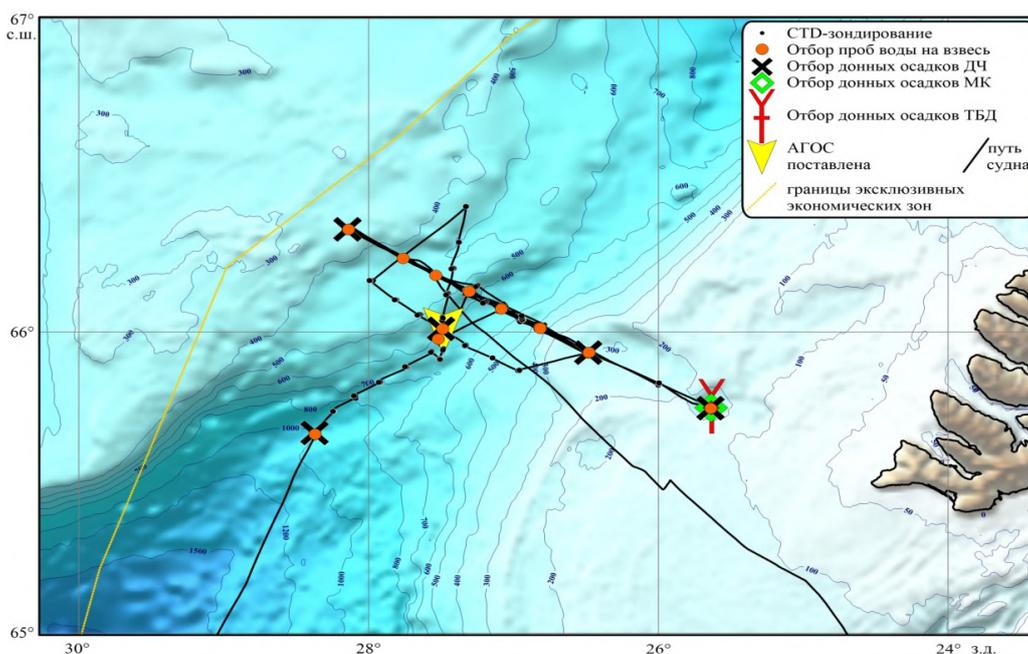
4. Получены новые данные о биопродуктивности Северной Атлантики и Арктики в летний период 2018 г. На рис. 9, 10 показаны станции, на которых проводился сбор данных о хлорофилле *a* и первичной продукции, и полученные значения исследуемых характеристик.

5. В экспедиции получен огромный массив данных об облачности при помощи прямых наблюдений и фотографирования широкоугольными камерами. Облачность – основной регулятор лучистой энергии (приходящей и уходящей), которая приводит в движение океан и атмосферу. Для достоверного описания и прогнозирования динамики атмосферы и океана необходимо достоверное знание об облачном покрове. В экспедиции разрабатывалось новое направление исследований облачности над океанами, а именно обучение нейросети определению типов облачности. Для этого специалистами проводилась разметка полученных снимков облачности, а далее использовалось (и в настоящее время продолжает разрабатываться) программное обеспечение для автоматического анализа облачного покрова (типы, высота) машиной.

6. Получены новые данные о кокколитофоридном цветении в Баренцевом море в августе 2018 г. (рис. 12).



**Рис. 4.** Термическая структура ядра и его насыщение растворенным кислородом в море Ирмингера на 59.5° с. ш. в 2015–2018 г. в период аномально глубокой конвекции



**Рис. 5.** Схема эксперимента в Датском проливе (21–29 июля 2018 г.)

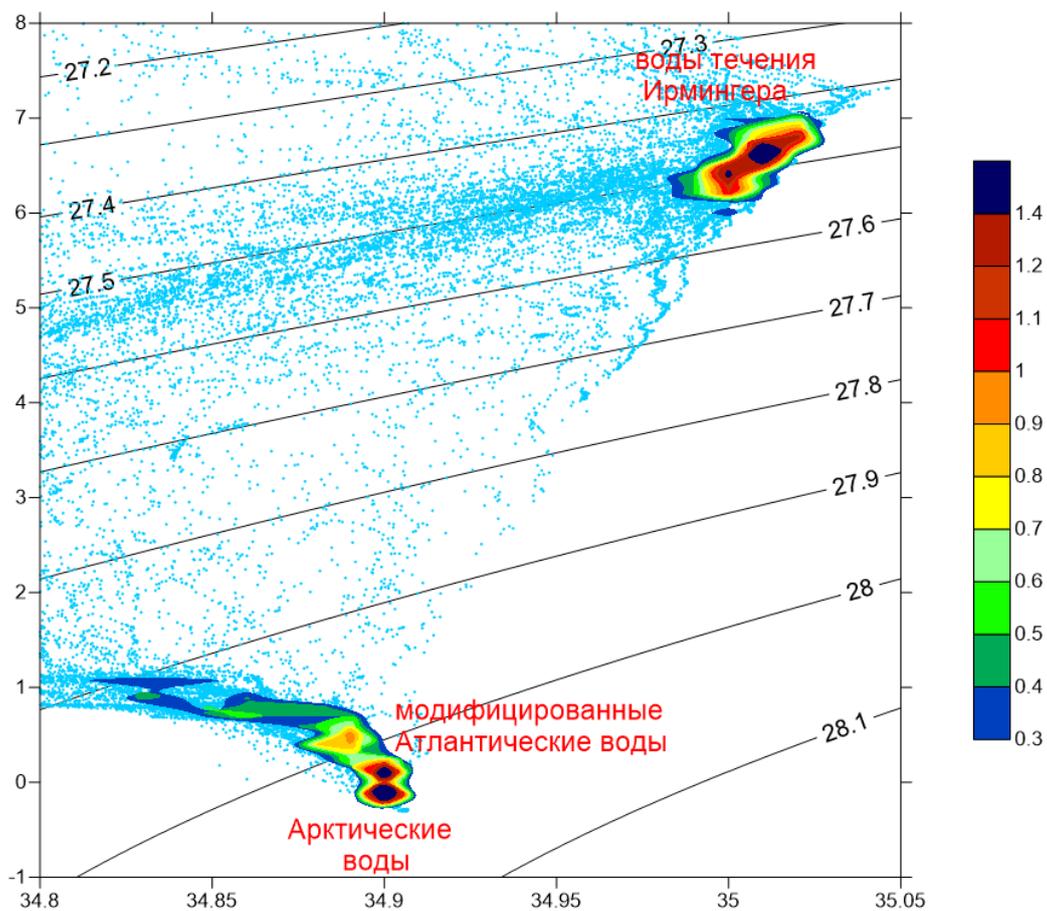
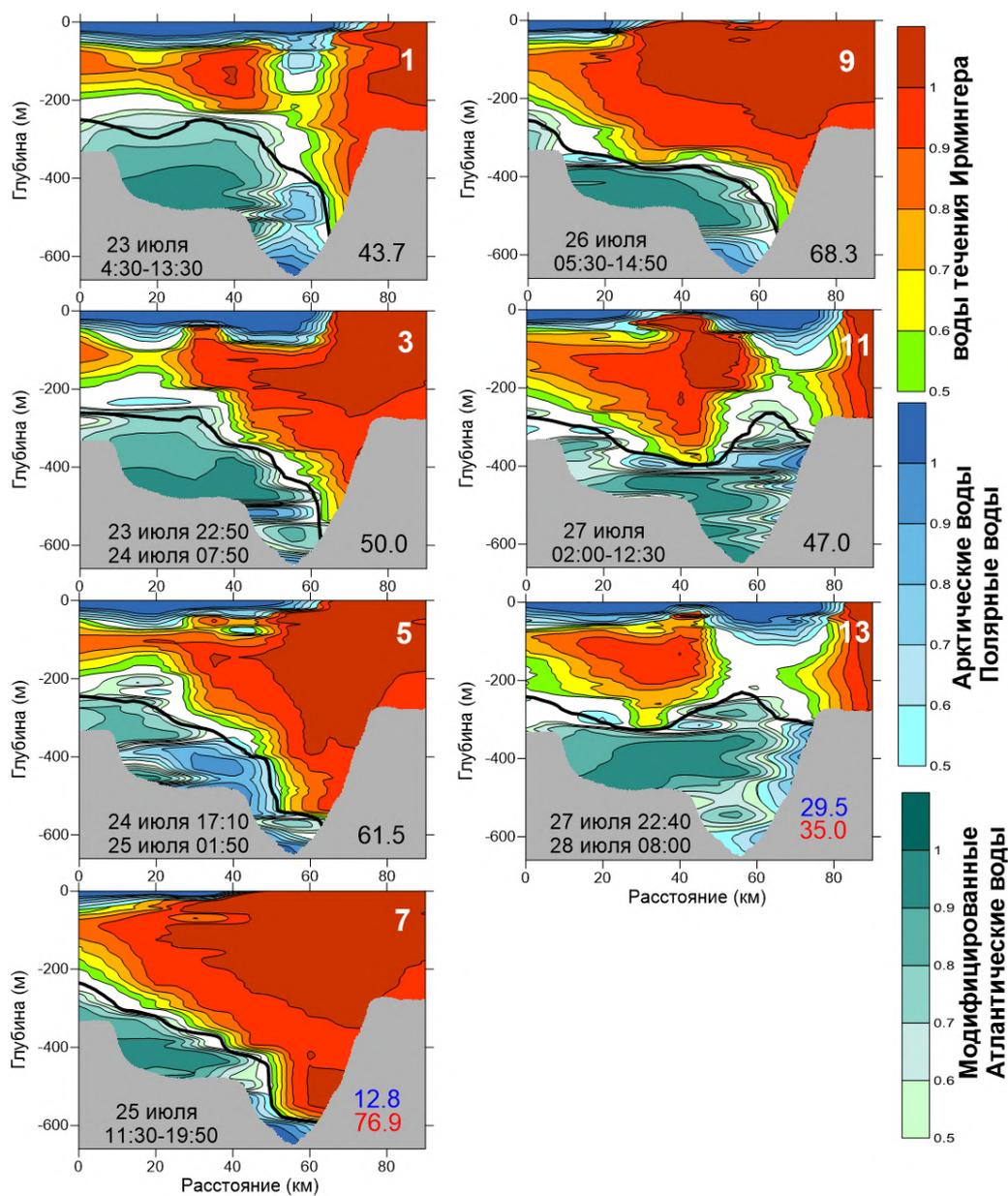
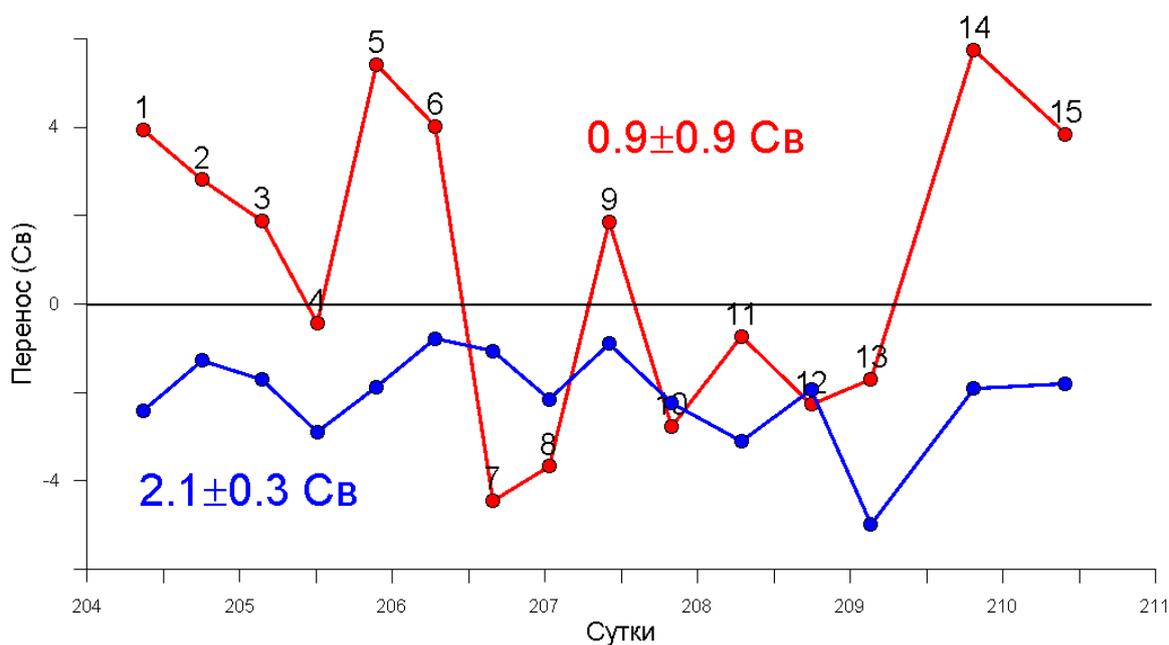


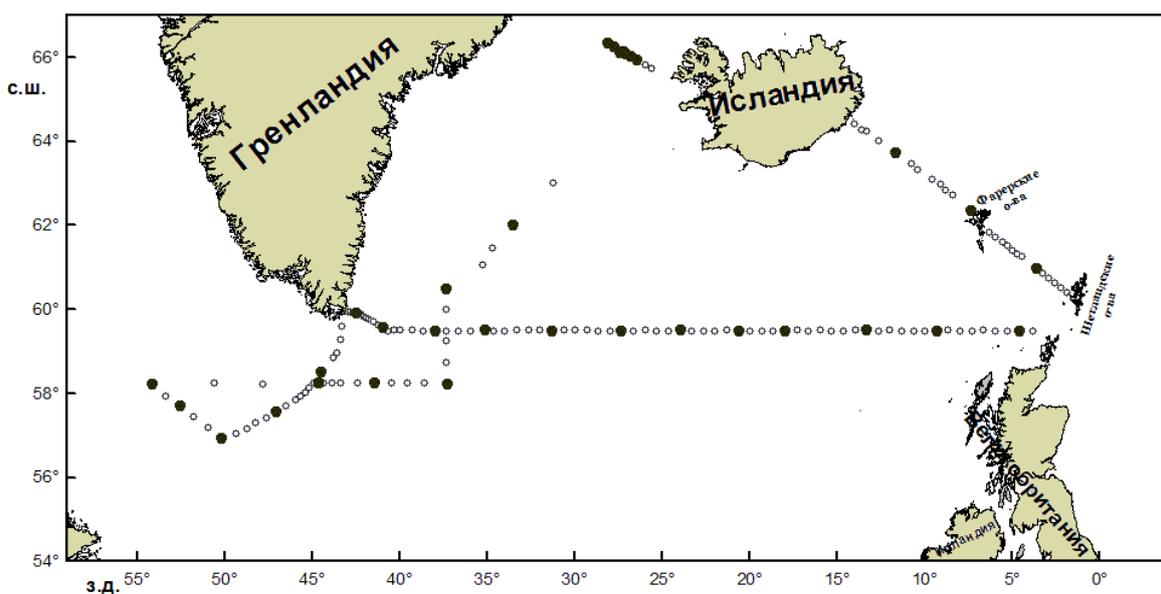
Рис. 6. T,S-индексы основных водных масс в Датском проливе в июле 2018 г.



**Рис. 7.** Границы водных масс в глубоководной части пролива по результатам его многократного пересечения. Красным цветом показаны воды течения Ирмингера, зеленым — модифицированные атлантические воды, синим — арктические и полярные воды



**Рис. 8.** Эволюция переноса вод через Датский пролив течением Ирмингера (красный цвет) и холодными Восточно-Гренландским и Северо-Исландским течениями. Цифрами показаны средние величины переносов во время эксперимента



**Рис. 9.** Станции, на которых производился сбор материала для определения концентрации хлорофилла *a* и первичной продукции в июне — августе 2018 г.

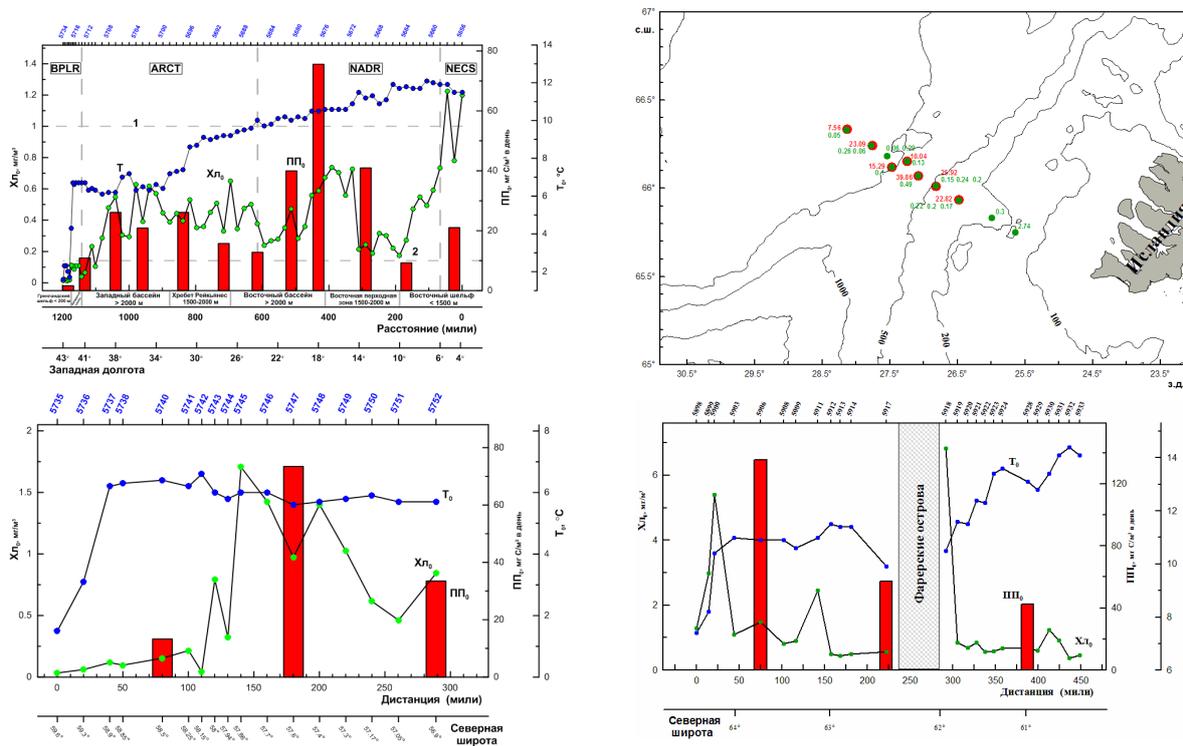


Рис. 10. Распределение концентрации хлорфилла а (зеленые точки) и первичной продукции (красные столбцы) вдоль 59.5° с. ш., в море Лабрадор, в Датском проливе и на Исландско-Фареро-Шетландском порог

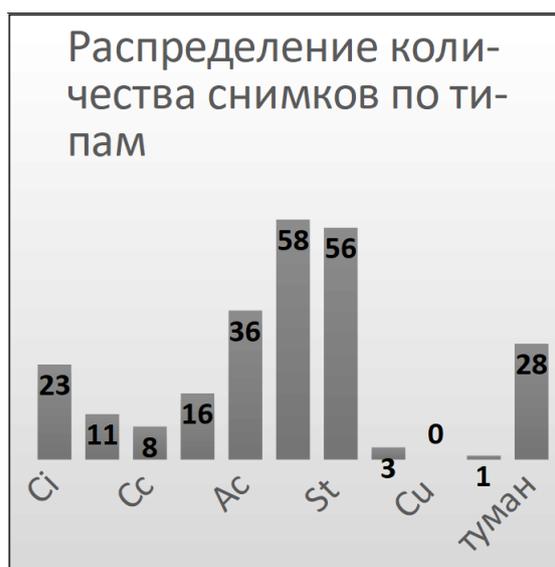
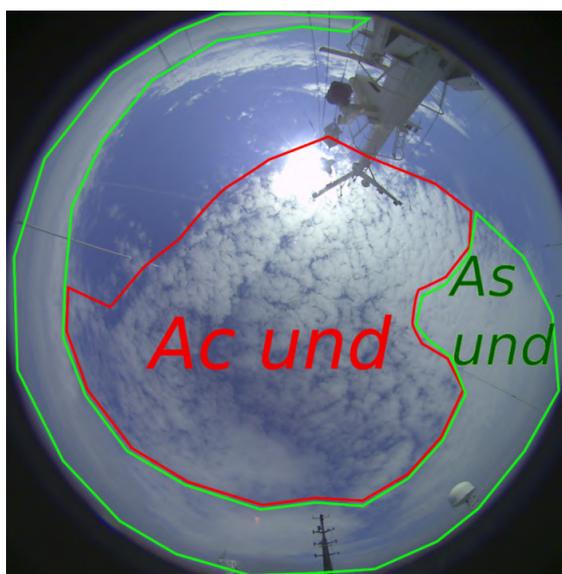
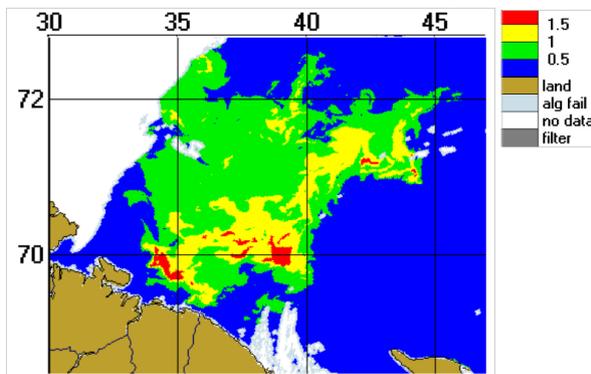


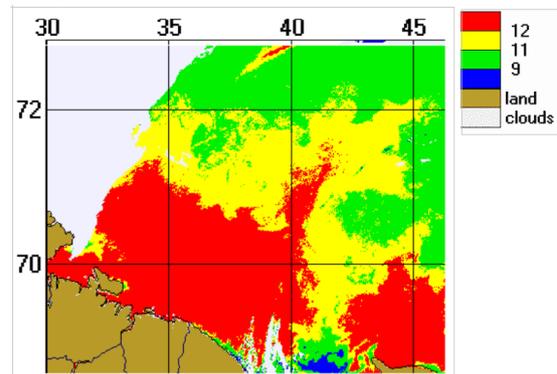
Рис. 11. Пример предварительной дешифровки облачного снимка, полученного в экспедиции метеонаблюдателем (слева), и общая статистика типов облачности, наблюдавшихся в экспедиции 71-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» (справа)



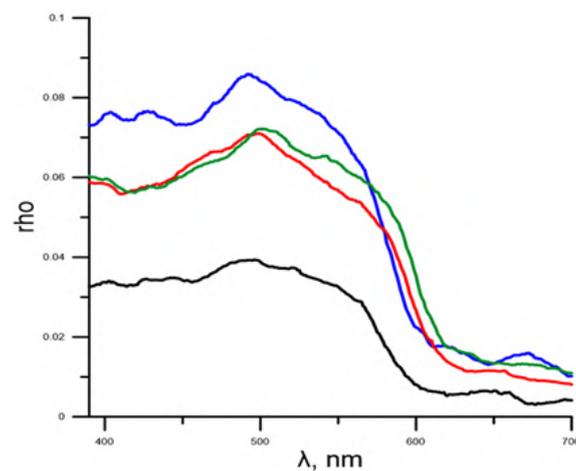
(a) Изображение со сканера MODIS-Aqua 20.07.2018 (в естественном цвете)



(b) Рассчитанное распределение концентрации клеток кокколитофорид,  $N_{coc}$ , млн кл.  $\cdot$  л $^{-1}$



(c) Распределение температуры поверхности моря,  $T$ , °C



(d) Спектры коэффициентов яркости моря на разных станциях: 7105 — черная кривая; 5940 — синяя; 7107 — красная; 7107a — зеленая

**Рис. 12.** Характеристики кокколитофоридного цветения и сопутствующие параметры в Баренцевом море в августе 2018 г.

## КОМПЛЕКСНЫЕ ПРИБРЕЖНЫЕ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОИ ДВО РАН В ЗАЛИВЕ ПЕТРА ВЕЛИКОГО (2018 Г.)

С. П. Захарков\*, В. Б. Лобанов

Тихоокеанский океанологический институт имени В. И. Ильичева ДВО РАН

\*[zakharkov@poi.dvo.ru](mailto:zakharkov@poi.dvo.ru)

Морские научные исследования выполнялись в заливе Петра Великого в соответствии с разрешениями Минобрнауки № 1, № 14-31/22, № 14-35/21.

Основное руководство экспедициями на «Лидер 500», «Лидер 360» осуществлялось научным сотрудником лаборатории физики геосфер С. Г. Долгих, а на «Восток 62» — сотрудником лаборатории морской экотоксикологии А. Н. Касьяненко. Однако, в силу широты комплекса выполняемых работ, в отдельных рейсах работами руководили И. О. Ярощук, В. А. Чупин, Е. А. Бессонова, С. П. Захарков, являющиеся специалистами в конкретных областях исследований. Кроме того, для ряда исследований арендовались маломерные суда. Для выполнения НИР арендовались сторонние суда, например ВРД-571, маломерное судно, водолазный бот проекта 376, регистрационный РПР 965. Это судно использовалось во время профилактических работ с гидрометеорологическим бумом.

Общая численность научного состава, участвующего в исследованиях, — от 4 до 9 человек (в зависимости от решаемых задач). Цели и задачи, заявленные в утвержденных план-программах экспедиционных работ, выполнены полностью.



**Рис. 1.** Маломерное судно ВРД-571, причал МЭС «Мыс Шульца», август — сентябрь 2018 г.

В 2018 г. за период летней навигации выполнено 25 выходов в море на судах ТОИ ДВО (общая продолжительность — более 70 суток); такого количества было явно не достаточно. В связи с этим для выполнения НИР арендовались сторонние суда, такие как ВРД-571 и другие, со временем работы более 20 судосуток. Объем научно-исследовательских работ, выполненных в прибрежных акваториях, существенно снизился по сравнению с таковым 2017 г., несмотря на использование

сторонних судов. Последнее связано со списанием в начале 2018 г. НИС «Малахит» и НИС «Импульс». Так, в 2017 г. за период летней навигации выполнено 19 выходов в море (общая продолжительность — 313 суток), в том числе на НИС «Малахит» РПВ 2375 — 4 выхода продолжительностью 67 суток (рейсы № 158–161), на НИС «Импульс» РПР 2539 — 13 выходов продолжительностью 237 суток (рейсы № 99–110), на с/б «Восток 62» РПВ 1426 — 2 выхода в научные экспедиционные рейсы продолжительностью 9 суток (рейсы № 24 и 27).



**Рис. 2.** Крепление гидрометеорологического буя на оттяжки к катеру во время снятия/постановки в экспедиции на ВРД-571, в августе — сентябре 2018 г.



**Рис. 3.** Проведение натурных испытаний подводного мобильно-робототехнического комплекса по определению химического состава воды в реальном времени в береговых и прибрежных районах Амурского залива для развития сетевых подспутниковых наблюдений и систем многоуровневого мониторинга

## **РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СОСТОЯНИЯ ВОДНОЙ СРЕДЫ И БИОТЫ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ЧЕРНОГО МОРЯ В 2018 Г. С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНИС «АШАМБА» И КАТЕРА «МЕРРИ ФИШЕР»**

**А. Г. Зацепин**

**Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН**

[zatsepin@ocean.ru](mailto:zatsepin@ocean.ru)

---

Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН совместно со своим Южным отделением (г. Геленджик) при поддержке Минобрнауки РФ в размере 1 350 тыс. руб. провел комплексную научную экспедицию на МНИС «Ашамба» и катере «Мери Фишер» в апреле — декабре 2018 г. — 90 судовых выходов в терводах российской части Черного моря.

Экспедиционные исследования были направлены на изучение фундаментальных вопросов взаимодействия экосистем шельфовой зоны и глубоководных районов бассейна, а также на анализ состояния черноморской экосистемы после экстремально теплого для региона зимнего сезона.

Выполненные работы охватывают физическое, химическое, геологическое (литологическое) и биологическое направления фундаментальных исследований в Черном море и являются продолжением цикла многолетних исследований, начатых в 1999 г.

В экспедиционных работах приняли участие более 60 сотрудников Института и его Южного отделения, а также более 20 специалистов и студентов из других научных организаций.

Выполнены практически все запланированные работы.

## ОТЧЕТ ОБ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ИВПС КАРНЦ РАН В 2018 Г. С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НИС «ЭКОЛОГ». ИССЛЕДОВАНИЯ НА БЕЛОМ МОРЕ

Р. Э. Здорвеннов, А. В. Толстиков, Н. Н. Филатов

Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН

---

### Цели

Выявление закономерностей и прогнозирование физических, химических и биологических процессов Белого моря на основе данных наблюдений и моделирования; оценка трансформации экосистем под влиянием климатических и антропогенных изменений.

### Задачи экспедиции

Собрать данные для калибровки создаваемой модели экосистемы, уточнить сезонное положение фронтальной зоны в северной части Онежского залива Белого моря поздней осенью, что важно для верификации моделей программного комплекса JASMINE.

### Результаты

Экспедиционные работы на Белом море проводились в рамках госзадания с 4 по 6 октября 2018 г. и включали гидрофизические исследования, которые были выполнены при помощи мультипараметрического зонда CTD90M Sea&SunTechnology (Германия). Измеряемые параметры и технические характеристики прибора приведены в табл. 1.

**Таблица 1.** Характеристики мультипараметрического зонда CTD90M. Производитель Sea&SunTechnology (Германия)

Параметры	Диапазон	Точность
Давление, бар	20	± 0,1 % fs
Температура, °C	-2...+35	± 0,005
Электропроводность, мкСм·см <sup>-1</sup>	0–60	± 0,020
Мутность, NTU	0...1000	0,1
Хлорофилл а, мг·л <sup>-1</sup>	0–10	0,02

Целью экспедиционных работ в 2018 г. являлись изучение особенностей динамики фронтальных разделов и фронтальных зон под действием полусуточного приливного цикла в Онежском заливе Белого моря и оценка связи между изменчивостью термохалинной структуры вод с содержанием хлорофилла а. Кроме того, впервые для верификации моделей термогидродинамики и экосистемы Белого моря программного комплекса JASMINE были получены данные распределения гидрофизических характеристик в октябре.

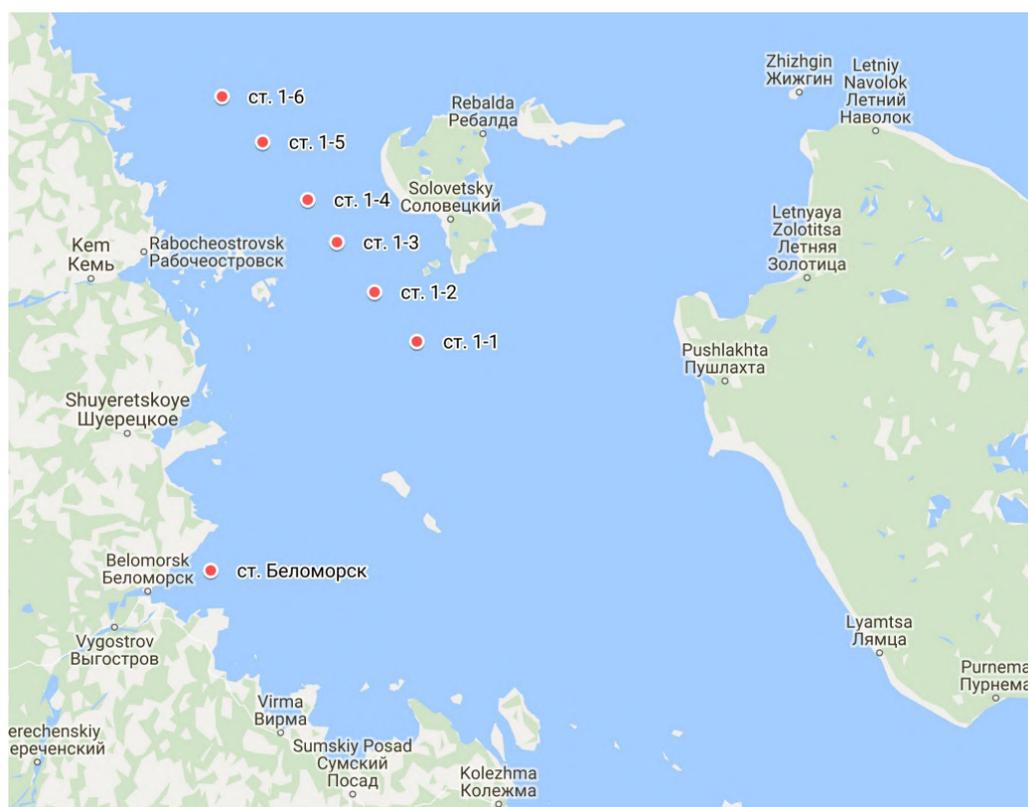


Рис. 1. Схема расположения станций гидрофизических измерений

В ходе экспедиции проведены измерения вертикального распределения температуры, солёности, мутности и хлорофилла *a* в Онежском заливе Белого моря (рис. 1). Сделаны вертикальные зондирования на 6 станциях разреза 1 (ст. 1-1 – 1-6) в Западной Соловецкой Салме, и 1 станция — в Сорокской губе (ст. Беломорск).

В связи с тем, что главную роль в гидродинамическом режиме Белого моря играют приливные процессы, на начальной стадии экспедиционных работ при помощи программы WXTide32 были рассчитаны колебания хода уровня для намеченных районов работ. В качестве расчетных точек выбраны два пункта, ближайшие к району работ, — Соловки и Сорокская губа (рис. 2). Непосредственных приборных регистраций хода уровня во время экспедиции не выполнялось. Измерения на разрезе планировалось выполнить дважды — в фазу прилива и в фазу отлива. На рис. 3 представлен график хода приповерхностной скорости ветра и его порывов в период проведения экспедиции. Видно, что начало работ совпало со значительным усилением ветра с порывами более  $18 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ . Из-за сложных погодных условий и ежедневных штормовых предупреждений время экспедиции пришлось сократить.

Ниже приведены результаты вертикальных зондирований (рис. 4–8), проведенных в основном по погодным условиям в фазу прилива, и предварительный анализ полученных данных. Результаты свидетельствуют о классическом распределении параметров, характерном для поздней осени в Онежском заливе Белого моря. При общей ярко выраженной гомотермии, сформировавшейся благодаря частым сильным осенним ветрам и, как следствие, штормовым явлениям, температура воды колебалась от  $7,5$  до  $8,3 \text{ }^\circ\text{C}$  от поверхности до дна, а солёность составляла порядка  $26 \text{ ‰}$ , то есть отмечалась однородная вертикальная и горизонтальная структура водной толщи без выраженных интрузий, за исключением района ст. 1-2. На рис. 9 видно, что ст. 1-2 отличается более высокой температурой и пониженными значениями солёности от соседних участков разреза, с разницей примерно в  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  по температуре и в  $0,3 \text{ ‰}$

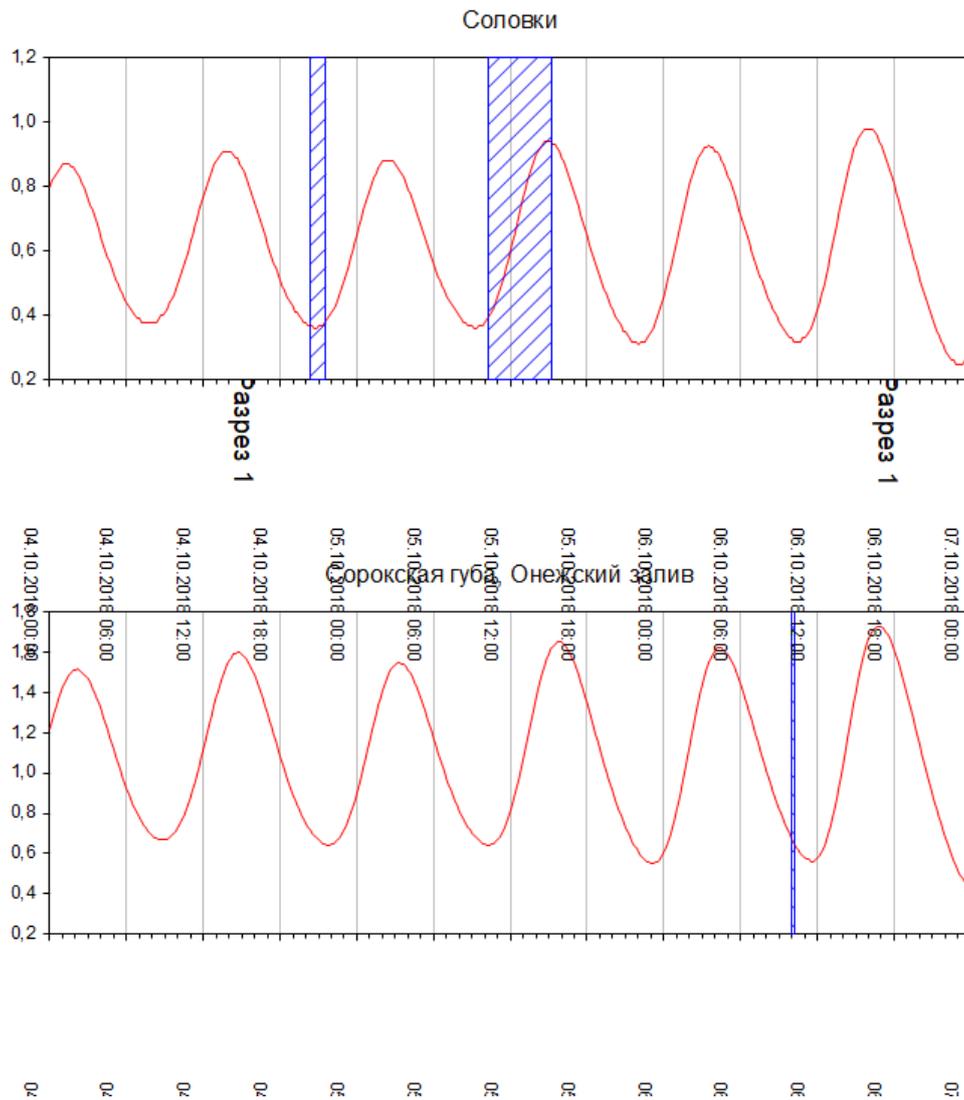


Рис. 2. Ход колебания уровня в период проведения экспедиции

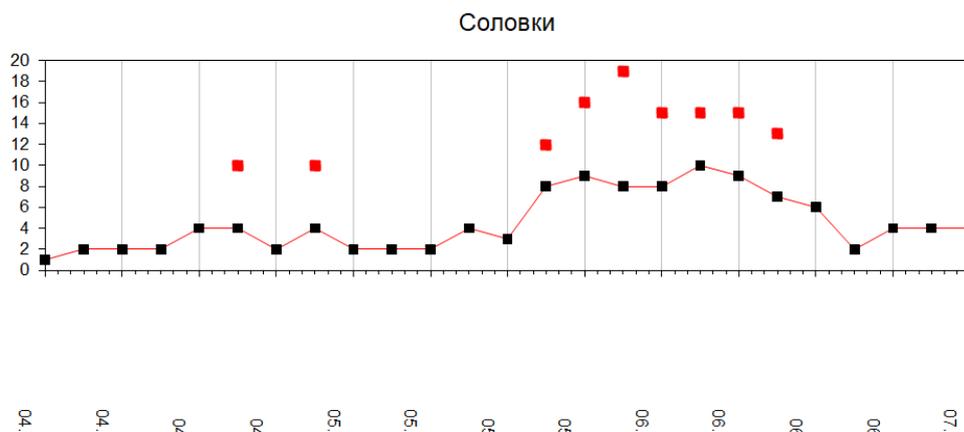


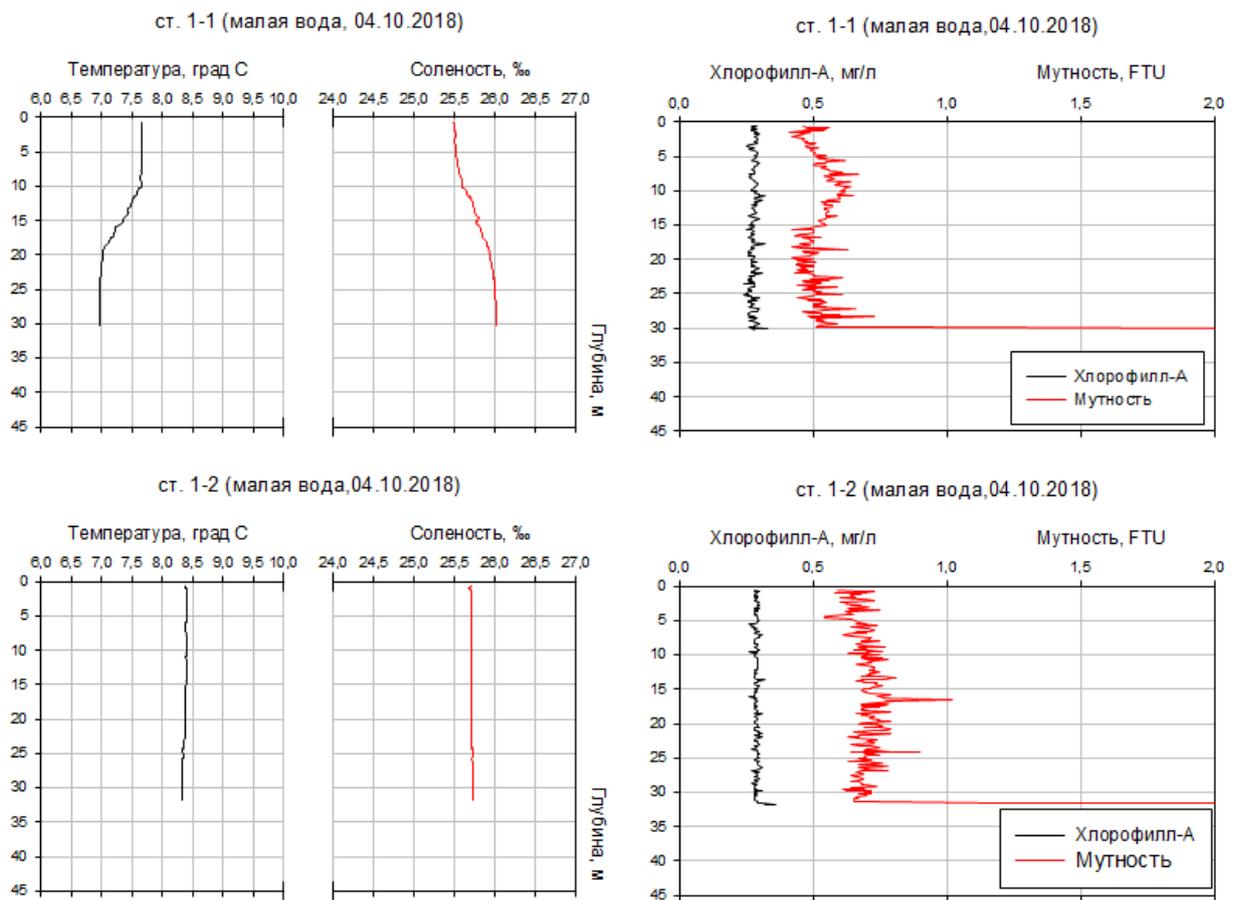
Рис. 3. Скорость и порывы (красные точки) скорости ветра в период проведения экспедиции

— по солености. Температура 8,4 °С на этой станции отмечена не только в фазу прилива, но и в период малой воды. Таким образом, фронтальная зона Западной Соловецкой Салмы в это время года была расположена в районе ст. 1-2, к юго-западу от о. Большой Соловецкий. В целом не было выявлено существенных различий между северной и южной частями разреза.

### Результаты и выводы

- Полученные результаты свидетельствуют о классическом распределении параметров для периода поздней осени в Онежском заливе Белого моря. На фоне общей выраженной гомотермии, сформировавшейся благодаря воздействию частых сильных ветров и, как следствие, штормовым явлениям, температура воды колебалась от 7,5 до 8,3 °С от поверхности до дна, а соленость составляла порядка 26 ‰. Отмечалась однородная вертикальная и горизонтальная структура водной толщи без выраженных интрузий.
- Данные по ст. 1-2 отличаются более высокой температурой и пониженными значениями солености от данных соседних участков разреза. Разница значений составила примерно 1 °С по температуре и 0,3 ‰ — по солености. Температура 8,4 °С на этой станции отмечена и в фазу прилива, и в период малой воды. Вероятно, фронтальная зона пролива Западная Соловецкая Салма в это время года была расположена в районе ст. 1-2 (юго-запад от о. Большой Соловецкий).
- Пространственное и вертикальное распределение содержания хлорофилла *a* было однородным и не превышало 0,5 мг·л<sup>-1</sup>. Стоит отметить незначительное увеличение концентрации хлорофилла *a* в направлении с юга на север, распространяющееся по всей толще воды.

Хотя сокращение количество дней в экспедиции было сокращено, выполненные работы позволили уточнить сезонное положение фронтальной зоны в северной части Онежского залива Белого моря поздней осенью, что важно для верификации моделей программного комплекса JASMINE.



**Рис. 4.** Вертикальное распределение температуры и солености на разрезе 1 в фазу прилива, 04.10.2018

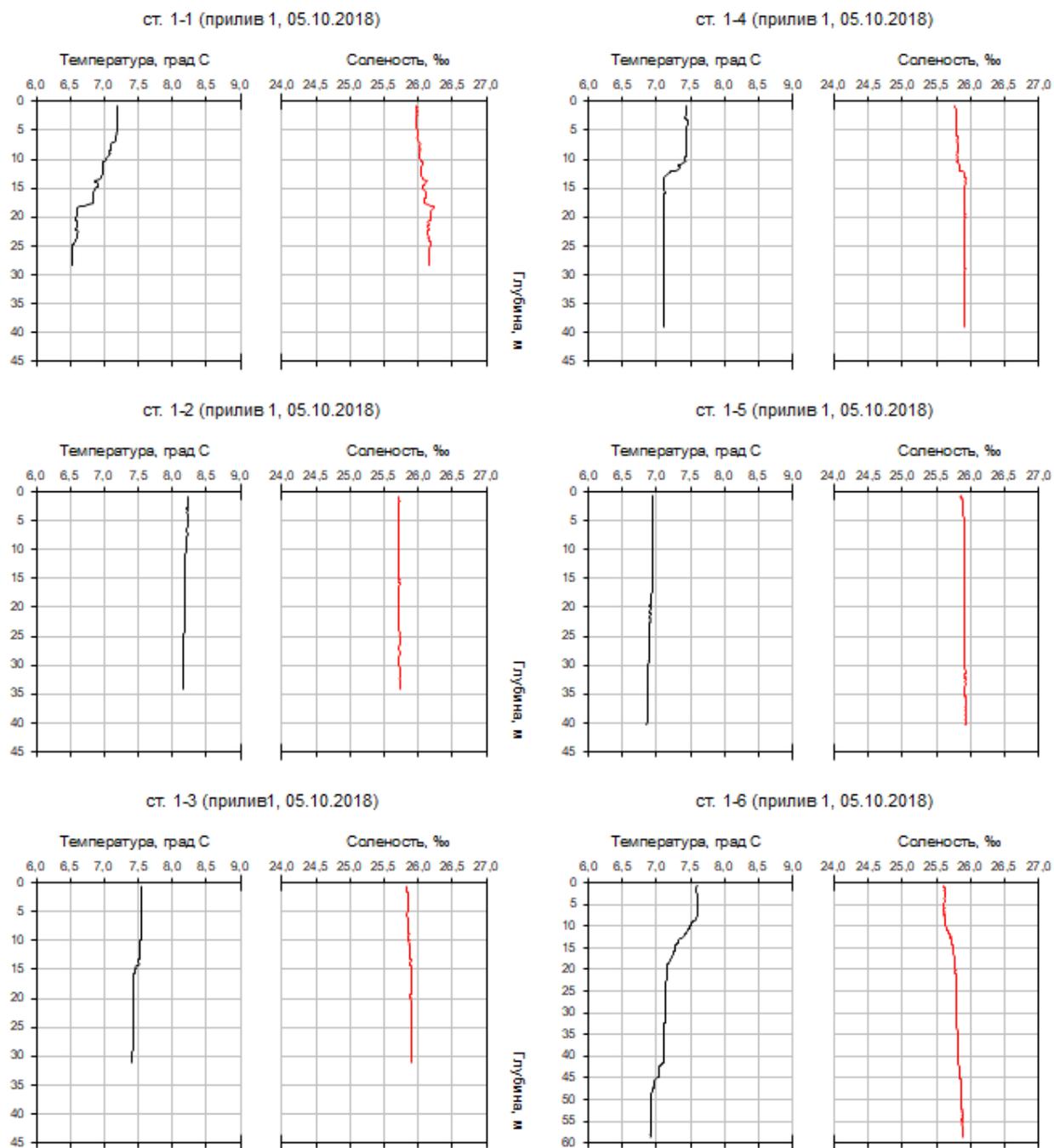


Рис. 5. Вертикальное распределение температуры и солености на разрезе 1 в фазу прилива, 05.10.2018

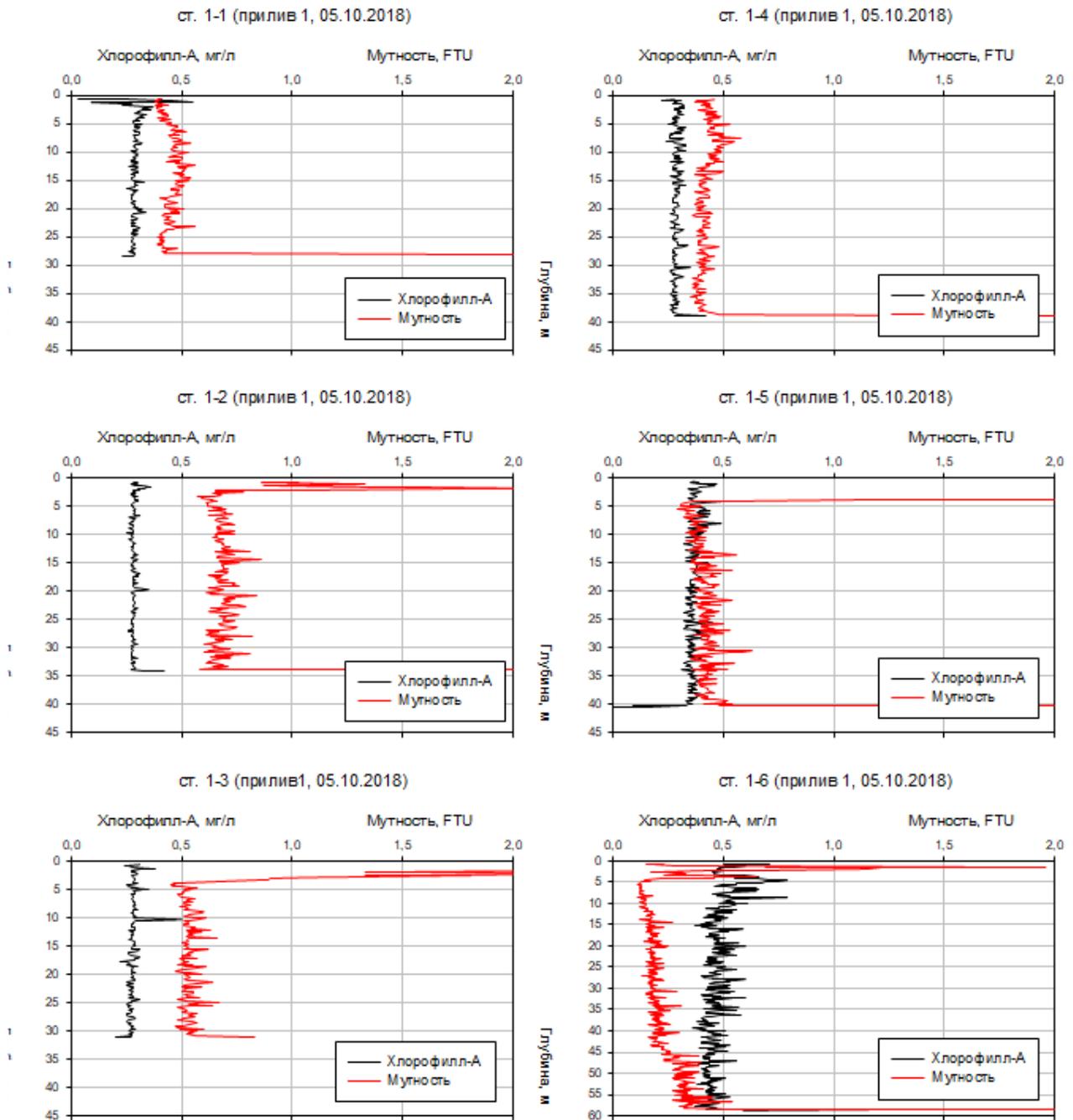
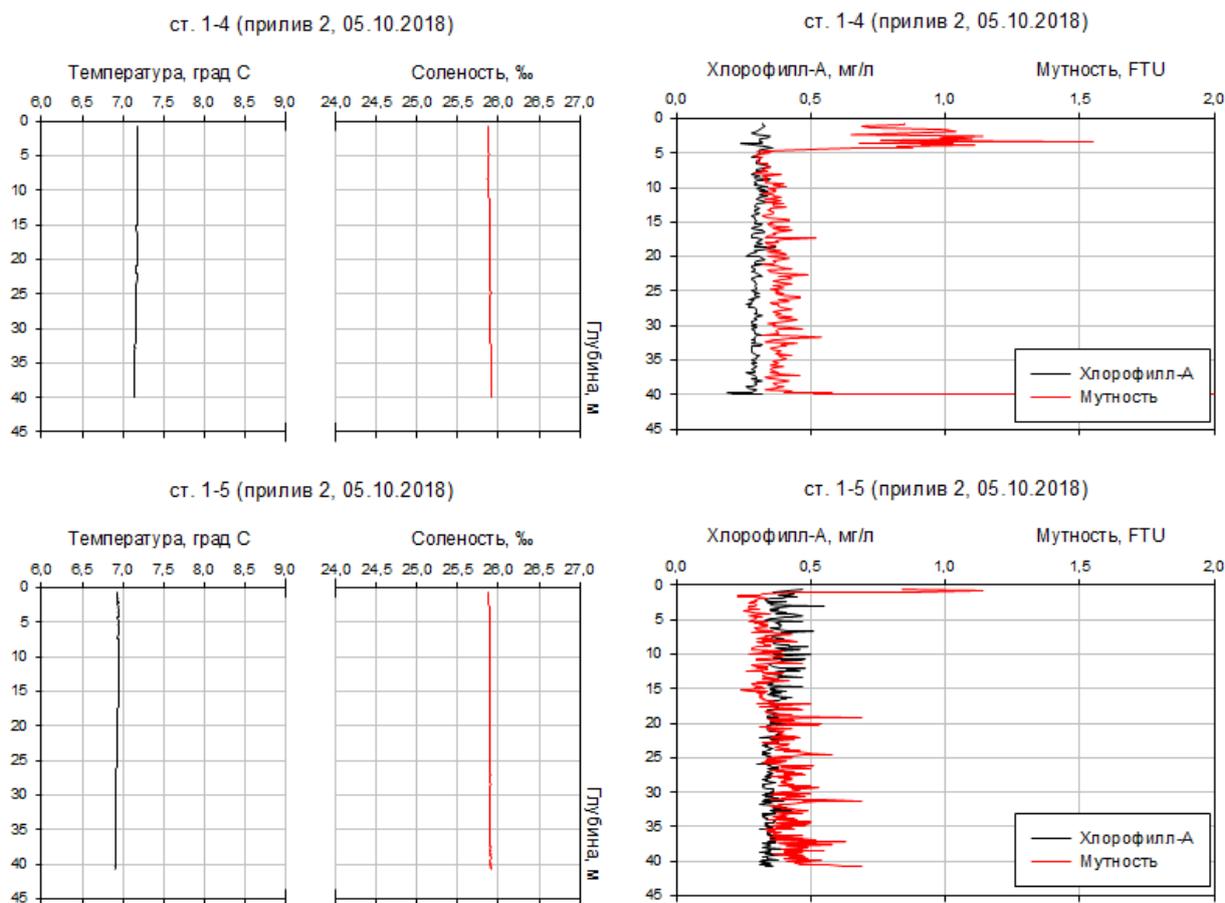
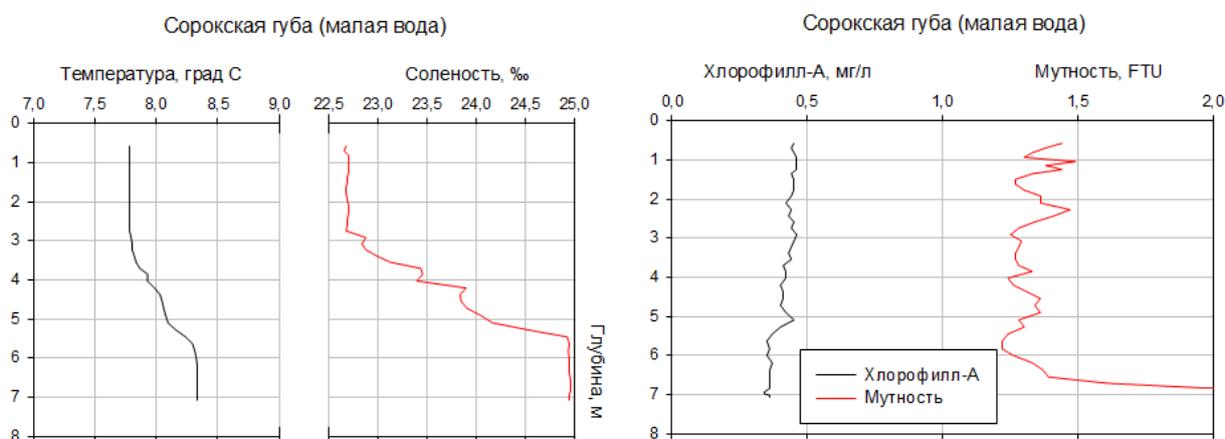


Рис. 6. Вертикальное распределение хлорофилла а и мутности на разрезе 1 в фазу прилива, 05.10.2018



**Рис. 7.** Вертикальное распределение температуры, солёности, хлорофилла а и мутности на ст. 1-4 и 1-5, прилив, 05.10.2018



**Рис. 8.** Вертикальное распределение температуры, солёности, хлорофилла а и мутности в Сорокской губе в фазу отлива

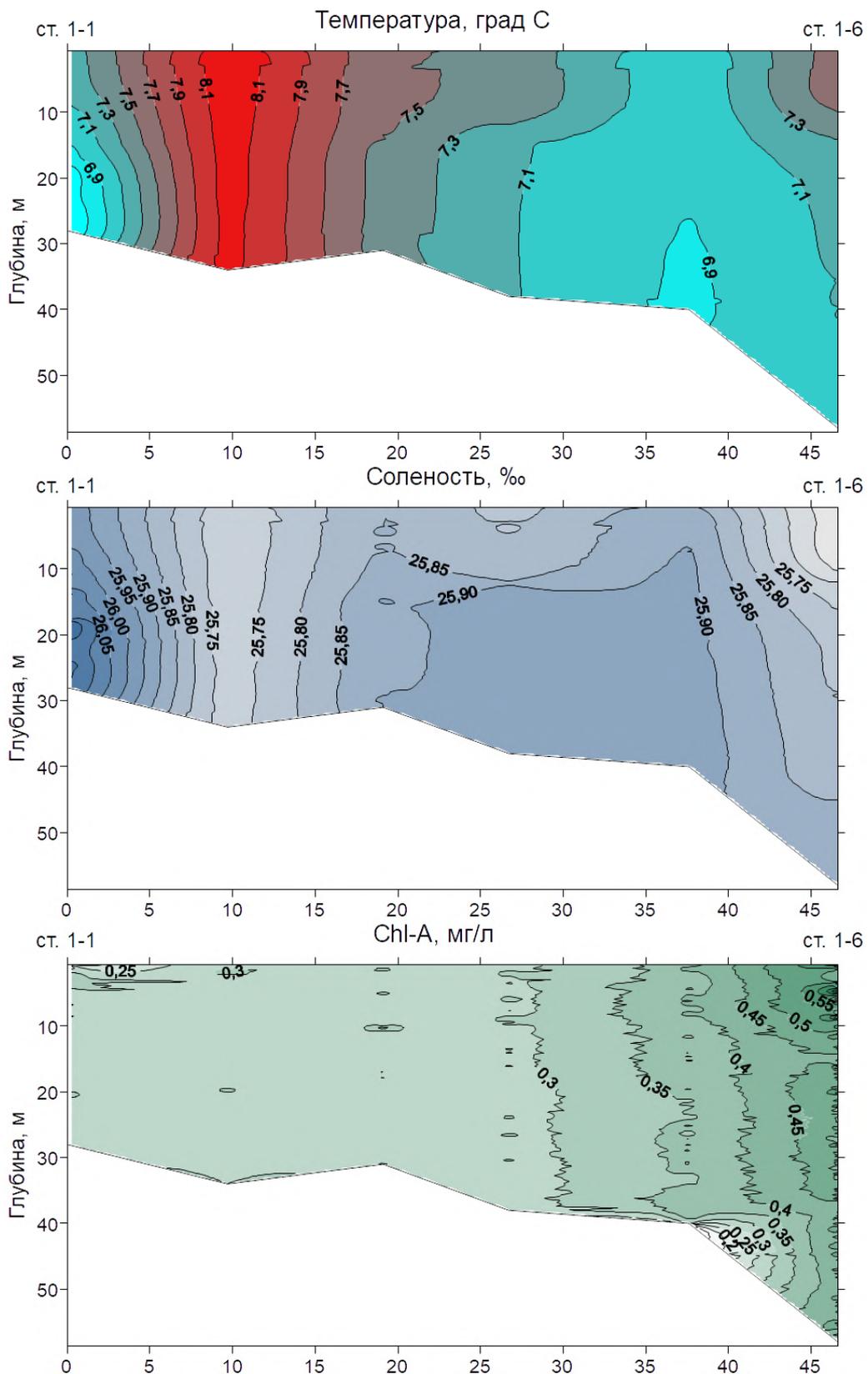


Рис. 9. Вертикальное распределение температуры, солености и хлорофилла а на разрезе 1, 05.10.2018

## ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ В ОКТЯБРЕ — НОЯБРЕ 2018 Г. (ПО МАТЕРИАЛАМ 74-ГО РЕЙСА НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»)

А. В. Зимин<sup>1\*</sup>, О. А. Атаджанова<sup>1</sup>, Г. В. Жегулин<sup>1</sup>, А. А. Коник<sup>1</sup>, И. А. Репина<sup>2</sup>, А. В. Дебольский<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН

<sup>2</sup>Институт физики атмосферы имени А. М. Обухова РАН

\*zimin2@mail.ru

Океанографические условия Баренцева моря определяются его соседством с теплым Норвежским морем и с холодными районами Арктического бассейна [1, 2]. Важнейшей составляющей теплового баланса Баренцева моря является адвекция тепла течениями. Основной приток тепла в море осуществляется в его южных районах. Считается, что 60–65 % тепла, вносимого в Баренцево море между м. Нордкап и арх. Шпицберген, отдается в атмосферу и в окружающие Нордкапское течение воды в пределах южной части моря. В результате формируется значительная пространственная и временная изменчивость течений, температуры и солёности.

Целью экспедиции в юго-западную часть Баренцева моря в октябре — ноябре 2018 г. являлось получение первичных данных о гидрометеорологических условиях для изучения характеристик трансформированной атлантической водной массы в осенний период.

Экспедиционные работы в районе выполнялись в период с 29.10.2018 по 02.11.2018. В ходе этих работ была произведена полигонная гидрологическая съемка на регулярной сетке станций. Работы выполнялись с борта НИС «Академик Мстислав Келдыш» с помощью зонда SBE-25 (США), который был оснащен измерительными каналами давления, температуры и электропроводности. Гидрологические работы осуществлялись путем непрерывного зондирования водной толщи от поверхности до максимально возможной глубины (дна). Всего выполнено 58 океанографических станций. Все данные на каждой станции подвергались осреднению с шагом по глубине 1 м. Полученные измерения используются для построения общего полигона изменчивости гидрофизических характеристик, а также разрезов и графиков отдельных гидрологических станций. Одновременно выполнялись учащенные попутные метеорологические наблюдения. Обработка данных заключалась в построении карт и разрезов, а также в сравнении данных с климатическими данными из баз WOA05, ЕСИМО.

Обобщая результаты исследований, можно сделать следующие выводы:

- в период съемки район находился под сильным воздействием циклонической атмосферной циркуляции;
- установлено преобладание турбулентной составляющей в общем тепловом балансе в приповерхностном слое атмосферы в Баренцевом и Белом морях в рассматриваемый период;
- показано, что распределение температуры и солёности на гидрологическом полигоне имеет слабовыраженную двухслойную структуру, слой скачка залегает на глубинах 70–120 м;
- в центральной части полигона наблюдалась фронтальная зона, связанная с влиянием Нордкапского течения, ее положение отражает взаимодействие атлантических и прибрежных вод и лучше всего прослеживается в поле солёности;

- область полигона характеризовалась значениями температуры, повышенными по сравнению с климатическими на 0,5–1 °С.

---

Данные экспедиции обрабатывались в рамках государственного задания по теме № 0149-2019-0015 «Волновые процессы, явления переноса и биогеохимические циклы в морях и океанах: исследование формирующих механизмов на основе физико-математического моделирования и натуральных экспериментальных работ».

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 1. Баренцево море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия / под ред. Ф. С. Терзиев. Ленинград : Гидрометеоиздат, 1990. 280 с.
- [2] Воды Баренцева моря: структура, циркуляция, изменчивость / В. К. Ожигин, В. А. Ившин, А. Г. Трофимов, А. Л. Карсаков, М. Ю. Анциферов ; ПИНРО. Мурманск : ПИНРО, 2016. 260 с.

## ОТЧЕТ ОБ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ИВПС КАРНЦ РАН В 2018 Г. НА ОНЕЖСКОМ ОЗЕРЕ И ВЫГОЗЕРСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НИС «ЭКОЛОГ»

Н. М. Калинкина\*, Н. А. Белкина, М. С. Потахин, Е. В. Теканова

Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН

\*cerioda@mail.ru

Объектами экспедиционных исследований в 2018 г. стали два крупных водоема Севера России — Онежское озеро (стратегический источник питьевой воды высокого качества) и Выгозерское водохранилище (часть воднотранспортной магистрали — Беломоро-Балтийского канала). На экосистему Онежского озера в настоящее время воздействуют три новых внешних фактора: в результате его более раннего прогревания отмечается изменение температурного режима [10], возрастает сток гумусовых веществ и связанного с ним железа [13], появился новый антропогенный фактор — форелевые хозяйства [9]. В связи с заметным изменением климатической ситуации весьма актуальными являются изучение истории формирования и оценка современного состояния Выгозерского водохранилища. Обозначенные проблемы требуют постоянного наблюдения за состоянием крупнейших озер-водохранилищ Севера России. Большое значение имеет проведение комплексных гидрологических, палеоолимологических, гидрохимических и экологических экспедиционных исследований с целью изучения реакции экосистем крупных озер на действие новых факторов и оценки качества их водных и биологических ресурсов.

В 2018 г. в рамках выполнения тем «Эволюция озерно-речных систем Севера России. Реакция на антропогенные воздействия и изменения климата в Северном полушарии» и «Закономерности формирования биопродуктивности разнотипных озер Северо-Запада России в современных условиях» решались следующие задачи: изучение температурного режима Онежского озера в условиях климатических изменений; подтверждение выявленных трендов в изменении химических состава воды; оценка состояния экосистем северных заливов Онежского озера в условиях функционирования множества форелевых ферм.

Комплексные экспедиции на Онежское озеро в 2018 г. выполнены с использованием НИС «Эколог». В период весеннего нагревания, 25–31 мая, в основных районах Онежского озера (Петрозаводская, Кондопожская губы, центральная и южная часть), на 24 станциях (рис. 1) были измерены температурные профили с использованием зонда Cast-Away и прозрачность воды — с помощью белого диска Секки, проведены гидрохимические и гидробиологические исследования. На химический анализ отобрано 40 проб воды; определяемые компоненты — pH; CO<sub>2</sub>; O<sub>2</sub>; БПК<sub>5</sub>; взвешенные вещество; содержание NH<sub>4</sub><sup>+</sup>; NO<sub>2</sub><sup>-</sup>; NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; N<sub>общ.</sub>; перманганатная окисляемость; органический углерод; минеральный и общий фосфор; кремний; электропроводность; содержание нефтепродуктов. Для 120 проб воды определены цветность и содержание хлорофилла а. Гидробиологические исследования включали: микробиологический анализ воды (общая численность бактерий, количество сапрофитных и олигокарбофильных бактерий, водные грибы — 112 проб, бактериальная продукция — 20 проб); исследование фитопланктона (38 проб); зоопланктона (54 пробы), зообентоса (17 проб); отбор проб донных отложений для биотестирования (10 проб).

Для изучения состояния экосистемы Онежского озера в период максимального прогрева воды организована экспедиция 8–14 августа 2018 г. Исследованиями охвачены основные районы озера



**Рис. 1.** Расположение станций отбора проб в Онежском озере в 2018 г.

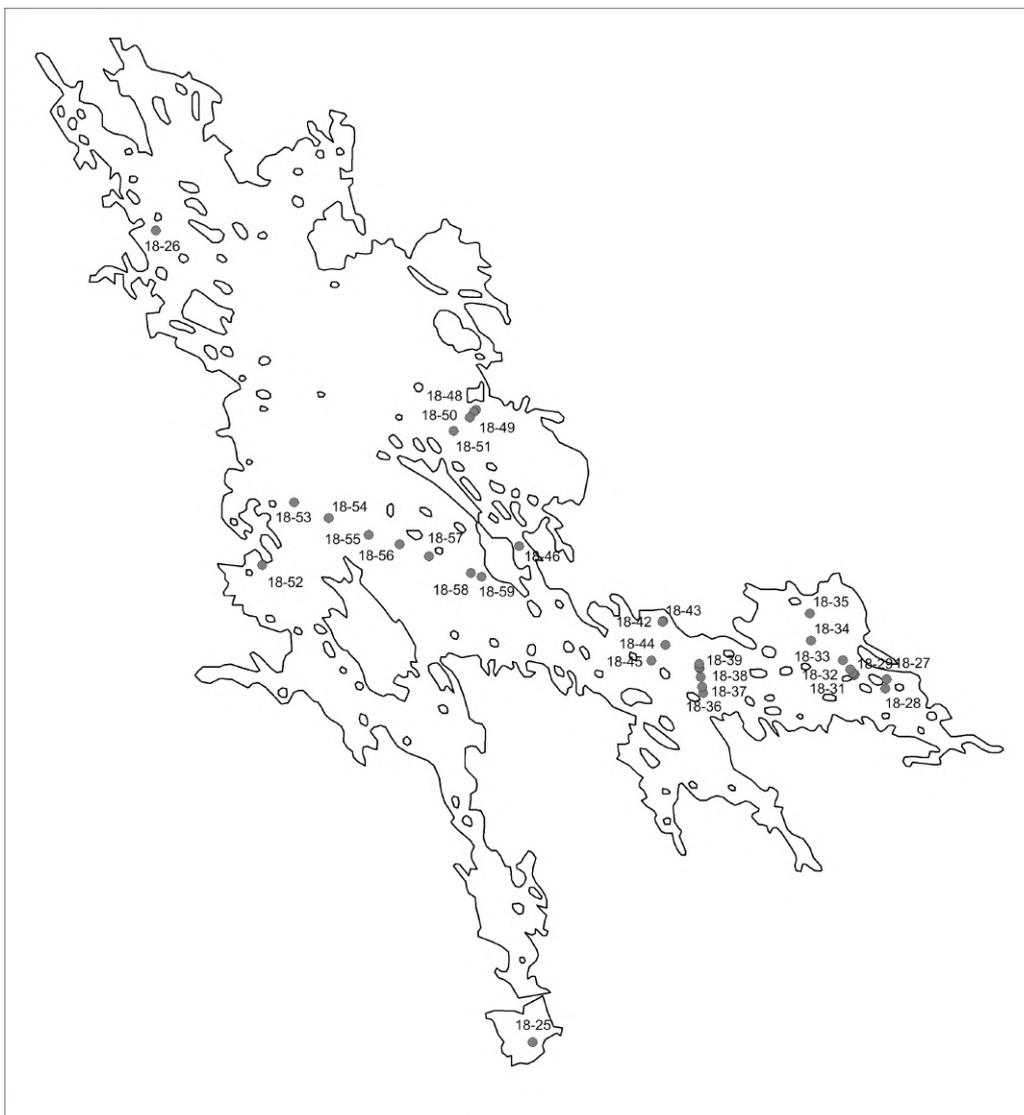
— Петрозаводская, Кондопожская губы, центральная и южная часть. На 25 станциях измерены температурные профили, прозрачность воды; отобрано 52 пробы воды для гидрохимического анализа. Для 130 проб воды определены цветность и содержание хлорофилла *a*. Микробиологические показатели определены для 111 проб воды. Для определения показателей численности, биомассы и видового разнообразия фитопланктона отобрано 34 пробы, зоопланктона — 62 пробы, макрозообентоса — 23 пробы. Для биотестирования отобрано 17 проб донных отложений.

В течение 7–8 сентября 2018 г. состоялась экспедиция на Петрозаводскую губу Онежского озера. На 7 станциях измерены температурные профили, прозрачность воды; отобрано 5 проб зоопланктона и 24 пробы бентоса. Для определения цветности и содержания хлорофилла *a* отобрано 40 проб воды.

В рамках выполнения темы «Эволюция озерно-речных систем Севера России. Реакция озер на антропогенное воздействие и изменения климата в Северном полушарии» в 2018 г. проведены стратиграфические исследования донных отложений Выгозерского водохранилища на 23 станциях (рис. 2) с целью оценки влияния хозяйственной деятельности на процесс формирования донных отложений оз. Выгозера и детализации седиментационного режима водоема под воздействием хозяйственной деятельности за последние 100 лет. Проведено картирование и изучение стратиграфии донных отложений (трубкой ГОИН) в зоне затопления (профили в южной части водоема). В ходе экспедиционных работ отобрано 60 проб донных отложений для дальнейшего изучения физических свойств, химического и гранулометрического состава осадка. *In situ* выполнены анализы физико-химических характеристик донных отложений (рН, Eh) и газового состава придонных вод (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>).

В рамках выполнения темы «Пространственно-временная трансформация озерного седиментогенеза гумидной зоны. Поздне- и послеледниковое время», основной целью которой является изучение основных этапов эволюции гумидной зоны на основе палеолимнологических исследований озерных

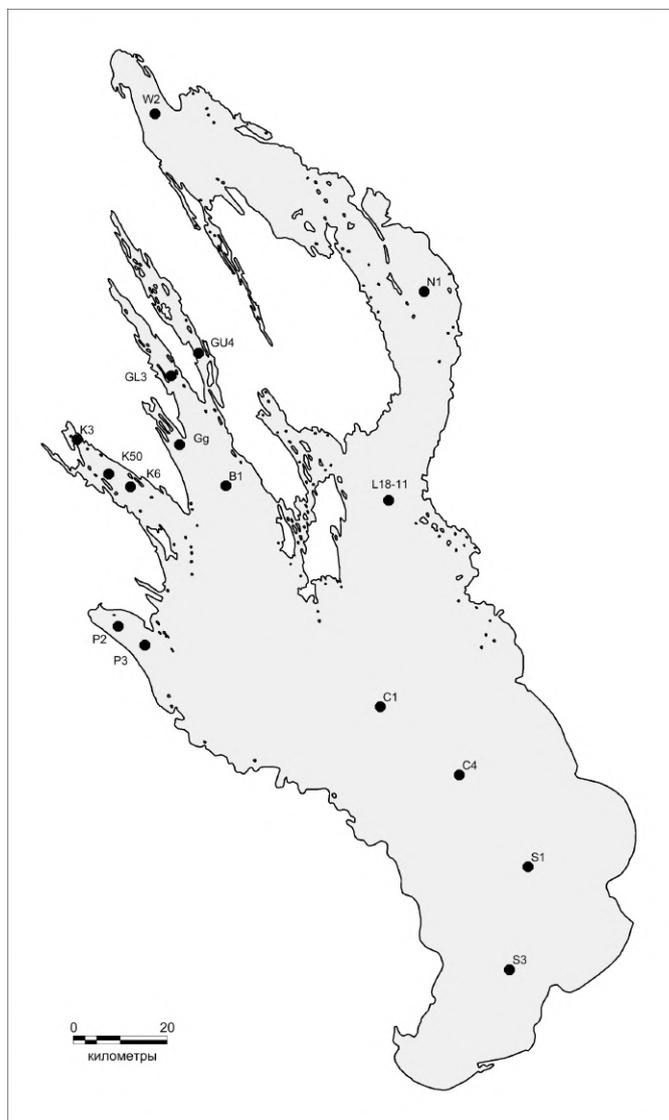
донных отложений, впервые поставлена задача изучения современного седиментационного режима озер региона, в том числе больших водоемов (Выгозерское водохранилище и Онежское озеро). Актуальность исследований связана с изменением седиментационных процессов в озерах гумидной зоны в результате изменения гидрологического, гидрохимического и гидробиологического режимов водоемов под влиянием климатических колебаний и неравномерного антропогенного воздействия [1–4, 6, 7].



**Рис. 2.** Схема расположения станций наблюдения на Выгозерском водохранилище в 2018 г.

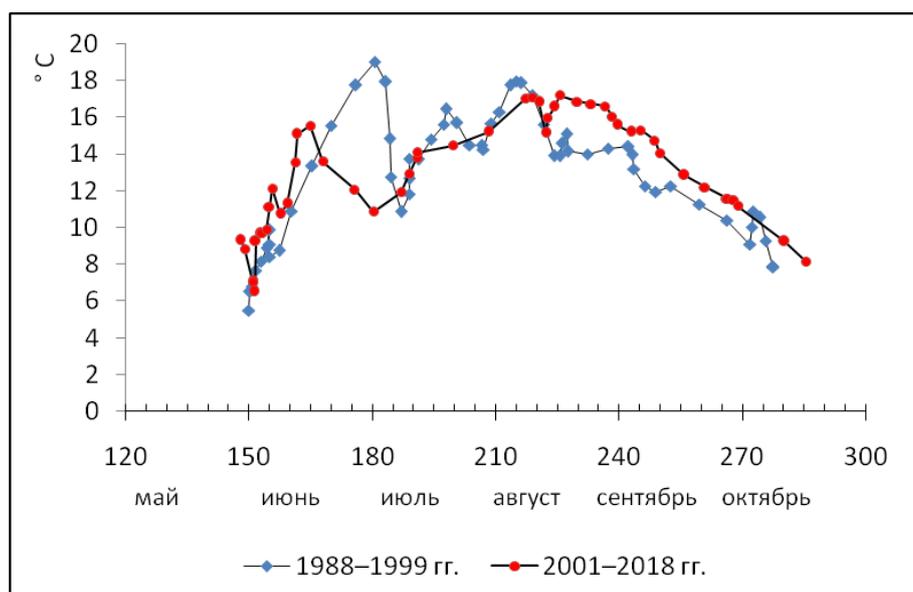
В программу экспедиционных работ на Онежском озере и Выгозерском водохранилище в 2018 г. входили: установка осадкоуловителей с целью оценки пространственно-временной неоднородности поступления и перераспределения взвешенного вещества; зондирование водной толщи для получения профилей температуры, электропроводности и мутности; отбор проб воды для оценки содержания взвешенных веществ, отбор взвесей и донных отложений для изучения гранулометрического и химического состава материала. На Онежском озере проведена установка седиментационных ловушек МСЛ-110 на 16 станциях (Петрозаводская губа, Кондопожская губа, Горская губа, Уницкая губа, залив Большое Онего, Повенецкий залив, Заонежский залив, Челмужская губа, Центральное Онего, Южное

Онего) (рис. 3). Отобраны пробы воды (30) и донных отложений (150) на химический (50 показателей, в т. ч. pH, Eh, ППП<sub>500, 900</sub>, плотность, удельная масса, пористость, влажность, зольность, C<sub>орг</sub>, N-NH<sub>4</sub>, N<sub>орг</sub>, P<sub>общ</sub>, металлы (микро- и макрокомпоненты) и др.) и гранулометрический анализ. На Выгозерском водохранилище переустановлены седиментационные ловушки на 3 станциях. На борту судна выполнялись анализы физико-химических характеристик донных отложений и газового состава придонных вод.



**Рис. 3.** Схема расположения станций установки седиментационных ловушек на Онежском озере 2018 г.

С учетом данных, полученных в экспедиции в 2018 г., установлено изменение сезонного хода температуры поверхностного слоя воды в Петрозаводской губе Онежского озера (рис. 4). В 2001–2018 гг. весной отмечался более ранний и интенсивный прогрев воды, чем в предшествующее десятилетие (1988–1999 гг.). Максимальная температура поверхности воды в заливе (июль — первая половина августа) в течение двух сравниваемых периодов осталась на одном уровне. Температура воды во второй половине августа и сентябре в 2001–2018 гг. стала в среднем на 2,0–2,5 °C выше, чем в период 1988–1999 гг., что свидетельствует о более медленном остывании воды в Петрозаводской губе в последние два десятилетия.



**Рис. 4.** Сезонная динамика температуры поверхностного слоя воды в пелагической части Петрозаводской губы в 1988–1999 и 2001–2018 гг. Эмпирические данные сглажены скользящей средней

Экспедиционные исследования на Онежском озере в 2018 г. подтвердили выявленные ранее достоверные тренды в изменении химического состава воды Онежского озера, связанные с климатическими изменениями на водосборе. В Петрозаводскую губу Онежского озера возросло поступление с водами реки Шуи гумусовых веществ и связанных с ними железа и фосфора, что отразилось на качестве воды залива (рис. 5).

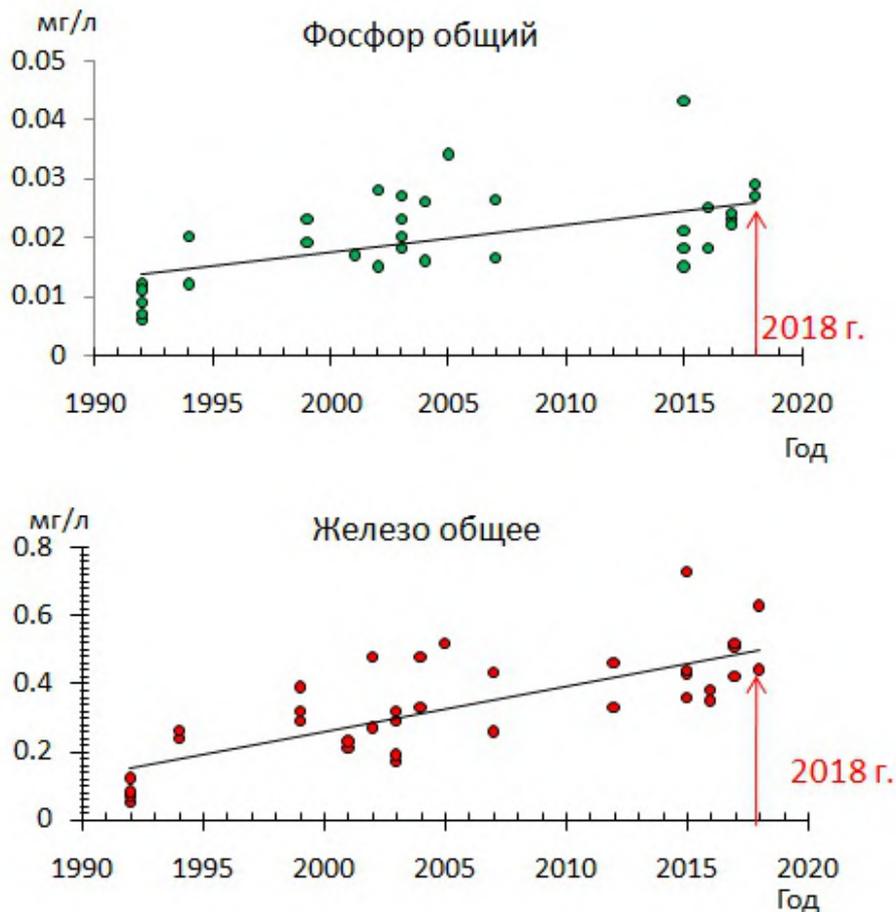
Возрастание поступления аллохтонного органического вещества и железа приводит к усилению их накопления на дне, что может служить причиной масштабного угнетения глубоководного макрозообентоса, наблюдаемого последние 20 лет в различных районах Онежского озера [5].

В Кондопожской губе Онежского озера в местах расположения форелевых ферм выявлены повышенные концентрации хлорофилла *a* (до  $11 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ ) и накопление общего фосфора в придонных слоях воды (до  $130 \text{ мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ ), что свидетельствует о влиянии нового источника загрязнения на гидрохимический и гидробиологический режим залива.

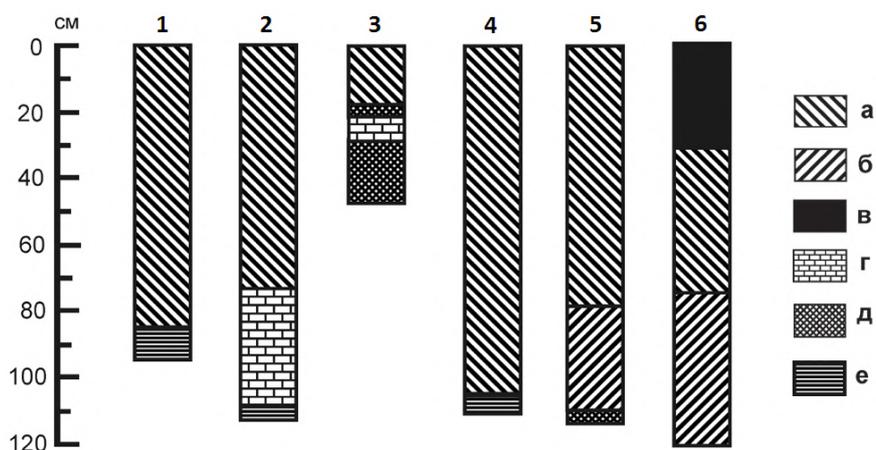
В результате проведенных в 2018 г. исследований получены новые данные о литологическом, гранулометрическом и химическом составе донных отложений Выгозерского водохранилища. Выявлены гранулометрические фракции, являющиеся индикаторами изменения условий осадконакопления; оценены скорости осадконакопления на разных стадиях антропогенной трансформации водоема (рис. 6).

Выводы:

1. С учетом новейших данных, собранных в экспедициях 2018 г., выявлено изменение сезонного хода температуры поверхностного слоя воды Петрозаводской губы Онежского озера в последние 20 лет.
2. Получены новые знания об усилении влияния водосборной территории в условиях потепления климата на экосистему Онежского озера — стратегического источника питьевой воды. Впервые установлено, что за период 1990–2016 гг. в Петрозаводскую губу Онежского озера возросло поступление железа на 35 % и фосфора — на 25 % с водами реки Шуи.



**Рис. 5.** Многолетние тренды содержания общего фосфора и железа в эпилимнионе Петрозаводской губы Онежского озера в весенний период в 1992–2018 гг.



**Рис. 6.** Литостратиграфия разрезов донных отложений Выгозерского водохранилища. 1 — оз. Телекино; 2 — Телекинский плес; 3 — район южной оконечности о. Сиговец; 4 — оз. Боброво; 5 — Сенная губа; 6 — Северное Выгозеро. Тип грунта: а — бурый ил; б — зеленый ил (темно-зеленый, серо-зеленый); в — черный ил; г — торфянистые отложения; д — песок; е — глина (цит. по [8])

3. Увеличение поступления с речными водами аллохтонных веществ в Петрозаводскую губу, привело к достоверному возрастанию цветности, содержания железа и фосфора в воде губы за последние 15 лет. Выявленные изменения отражают ухудшение качества воды в заливе, который является источником снабжения питьевой водой населения г. Петрозаводска. Усиление накопления аллохтонных веществ на дне может быть причиной снижения в заливе количества глубоководного бентоса.
4. Повышенные концентрации хлорофилла *a* и накопление общего фосфора в придонных слоях воды Кондопожской губы Онежского озера свидетельствуют о влиянии форелевых хозяйств на гидрохимический и гидробиологический режим залива.
5. Детализация процессов седиментогенеза Выгозерского водохранилища позволила разделить периоды естественного существования озера Выгозеро, формирования нового ложа водохранилища и функционирования водоема в новых условиях интенсивного антропогенного воздействия.

Результаты исследований представлены в 2018 г. на международных конференциях в России (3<sup>rd</sup> International Conference "Paleolimnology of Northern Eurasia: experience, methodology, current status", 01–04 октября 2018 г., Казань), во Франции ("Big Lakes – Small World" ELLS-IAGLR-2018, 23–28 сентября 2018 г., Evian, France), в Индии ("Lake 2018: Conference on Conservation and Sustainable Management of Riverine Ecosystems", the 11<sup>th</sup> biennial lake conference, 22–24 ноября 2018 г., Moodbidri, India). Материалы, полученные в исследованиях, опубликованы в реферируемых журналах [1, 5, 6, 8, 11–13].

---

Исследования проводились в рамках госзаданий по темам «Эволюция озерно-речных систем Севера России. Реакция на антропогенные воздействия и изменения климата в Северном полушарии» (регистрационный номер АААА-А17-117040610312-0), «Закономерности формирования биопродуктивности разнотипных озер Северо-Запада России в современных условиях» (регистрационный номер АААА-А18-118032290035-2) и «Пространственно-временная трансформация озерно-го седиментогенеза гумидной зоны. Поздне- и послеледниковое время» (регистрационный номер АААА-А18-118032290037-6)

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Белкина Н. А., Ефременко Н. А., Кулик Н. В. Особенности миграции, трансформации и накопления железа в Выгозерском водохранилище // Водные ресурсы. 2018. Т. 45, № 5. С. 505–513. <https://doi.org/10.1134/S0097807818050032>
- [2] Белкина Н. А. Ретроспективная оценка донных отложений Кондопожской губы Онежского озера // Водные ресурсы. 2005. Т. 32, № 6. С. 689–699.
- [3] Белкина Н. А. Роль донных отложений в процессах трансформации органического вещества и биогенных элементов в озерных экосистемах // Труды Карельского научного центра РАН. 2011, № 4. С. 35–41.
- [4] Белкина Н. А. Фосфор в донных отложениях Онежского озера // Известия Российского государственного педагогического университета имени А. И. Герцена. 2015. № 173. С. 97–109.

- [5] Калинкина Н. М., Белкина Н. А. Динамика состояния бентосных сообществ и химического состава донных отложений Онежского озера в условиях действия антропогенных и природных факторов // Принципы экологии. 2018. № 2. С. 56–74. <https://doi.org/10.15393/j1.art.2018.7643>
- [6] Калинкина Н. М., Филатов Н. Н., Теканова Е. В., Балаганский А. Ф. Многолетняя динамика стока железа и фосфора в Онежское озеро с водами р. Шуя в условиях климатических изменений // Региональная экология. 2018. № 2 (52). С. 7–15. <https://doi.org/10.30694/1026-5600-2018-2-65-73>
- [7] Крупнейшие озера — водохранилища Северо-Запада европейской территории России: современное состояние и изменение экосистем при климатических и антропогенных воздействиях / под. ред. Н. Н. Филатова, Н. М. Калинкиной, Т. П. Куликовой, А. В. Литвиненко, П. А. Лозовика. Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2015. 375 с.
- [8] Потахин М. С., Белкина Н. А., Слуковский З. И., Новицкий Д. Г., Морозова И. В. Изменение донных отложений Выгозера в результате многофакторного антропогенного воздействия // Общество. Среда. Развитие. 2018. № 3 (48). С. 107–117.
- [9] Стерлигова О. П., Китаев С. П., Ильмаст Н. В., Комулайнен С. Ф., Кучко Я. А., Павловский С. А., Савосин Е. С. Состояние заливов Онежского озера при товарном выращивании радужной форели // Поволжский экологический журнал. 2011. № 3. С. 386–393.
- [10] Филатов Н. Н., Руховец Л. А., Назарова Л. Е., Георгиев А. П., Ефремова Т. В., Пальшин Н. И. Влияние изменений климата на экосистемы озер севера Европейской территории России // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического института. 2014. № 34. С. 49–55.
- [11] Andronikov A. V., Andronikova I. E., Subetto D. A., Rudnickaitė E. Geochemical records of paleocontamination in late pleistocene lake sediments in West Flanders (Belgium) // Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography. 2018. Vol. 100, iss. 2. P. 204–220. <https://doi.org/10.1080/04353676.2017.1408955>
- [12] Ibragimova A. G., Frolova L. A., Subetto D. A., Belkina N. A., Potakhin M. S. The changes in the composition of Cladocera community in bottom sediments of Lake Maloye Shirozero (Zaonezhsky Peninsula) as a consequence of shifts of environmental and climatic conditions // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 107, no. 1. Article 012029. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/107/1/012029>
- [13] Filatov N. N., Kalinkina N. M., Tekanova E. V. Modern changes in the ecosystem of Lake Onego with climate warming // Limnology and Freshwater Biology. 2018. No 1. P. 15–17. <https://doi.org/10.31951/2658-3518-2018-A-1-15>

## ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЧЕРНОГО МОРЯ

С. К. Коновалов, Ю. В. Артамонов, А. В. Гармашов\*

Морской гидрофизический институт РАН

\*[garmashov@mhi-ras.ru](mailto:garmashov@mhi-ras.ru)

В 2018 г. Федеральным государственным бюджетным учреждением науки «Морской гидрофизический институт РАН» (ФГБУН МГИ) было проведено 3 комплексных экспедиции на НИС «Профессор Водяницкий» (102, 103 и 105-й рейсы) в пределах черноморской экономической зоны РФ. Схемы выполненных станций представлены на рис. 1.

Совместно с ФГБУН МГИ в экспедициях участвовали представители Института морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН (ФГБУН ИМБИ) и Института океанологии имени П. П. Ширшова РАН (ИО РАН).

Сроки проведения экспедиций:

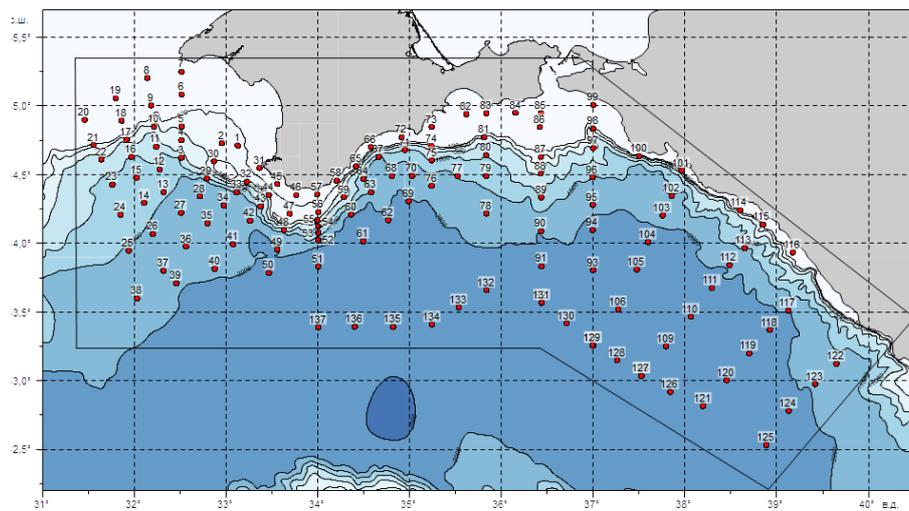
- 102-й рейс: 9 июня — 2 июля 2018 г.;
- 103-й рейс: 28 августа — 20 сентября 2018 г.;
- 105-й рейс: 18 ноября — 10 декабря 2018 г.

Общая продолжительность трех рейсов — 71 сутки.

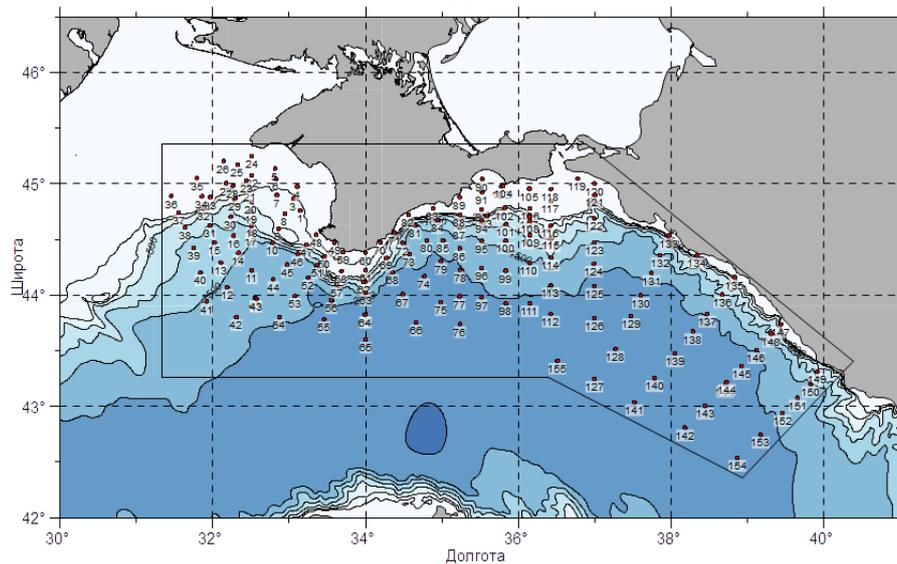
В экспедициях проведен комплексный мониторинг состояния гидрологических, гидрохимических, метеорологических, гидрооптических и биологических характеристик вод Черного моря, а также исследованы седиментационные процессы.

Общий объем выполненных работ в 2018 г.:

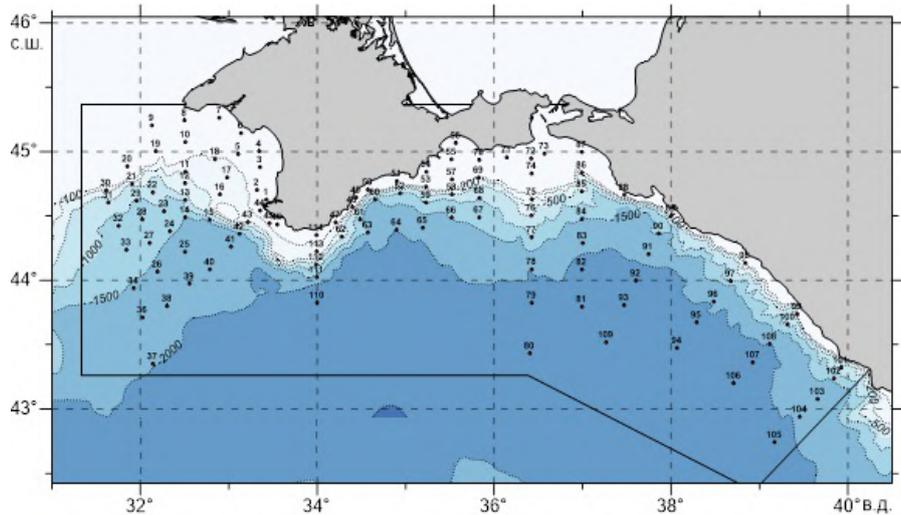
- 406 комплексных океанологических станций;
- 473 зондирования CTD-зондом Sea-Bird 911 plus;
- 387 зондирований измерителем течений Workhorse Monitor 300 kHz ADCP;
- 5737 химических анализов проб воды (в том числе на растворенный кислород, сероводород, рН, щелочность, ТСО<sub>2</sub>, биогенные элементы (нитраты, нитриты, аммоний, силикаты, фосфаты), взвешенное вещество, <sup>137</sup>Cs);
- 90 зондирований комплексом «Сигма-1» (измерение пульсационных характеристик температуры, плотности, скорости течения, электропроводности);
- 406 измерений метеопараметров;
- 292 измерения вертикального распределения показателя ослабления света;
- поднята 1 притопленная буйковая станции (ПБС) с седиментационными ловушками;
- собрано 24 дифференциальные и 3 интегральные пробы осадочного вещества;
- поставлена 1 новая ПБС.



(a)



(b)



(c)

**Рис. 1.** Станции, выполненные в 102-ом (a), 103-м (b) и 105-м (c) рейсах НИС «Профессор Водяницкий» в 2018 г.

## Предварительные результаты

### Гидрологические исследования

Расширение акватории съемки в 2018 г. на восток вплоть до экономической зоны Абхазии с подробной пространственной сеткой измерений позволило получить более полную квазисинхронную картину распределения гидрологических параметров всей северо-восточной акватории Черного моря от берегов Крыма до Кавказского побережья. В целом результаты гидрологических измерений подтвердили основные закономерности проявления сезонной и синоптической изменчивости структуры вод, полученные по данным съемок предшествующих лет. Впервые по данным прямых инструментальных измерений получено, что Севастопольский антициклон на синоптическом масштабе может характеризоваться двумя центрами, которые расположены на разном удалении от Гераклейского п-ова. Над свалом глубин к югу от Таманского п-ова по инструментальным данным зафиксирован антициклонический круговорот, соизмеримый по масштабу с Севастопольским и Крымским антициклонами. Ближе к Кавказскому побережью, примерно на траверзе Туапсе, также выявлен замкнутый антициклонический круговорот, сформировавшийся из крупномасштабного меандра Основного черноморского течения (ОЧТ). Показано, что в зонах антициклонических вихрей, как правило, наблюдаются повышение температуры, понижение солености поверхностного слоя и заглупление всех изоповерхностей. Установлено, что центр Восточного крупномасштабного циклонического круговорота Черного моря может существенно изменять свое положение на синоптическом масштабе, смещаясь к северо-востоку почти на 100 км. Новые результаты, полученные на основе прямых инструментальных измерений течений, принципиально важны для интерпретации распределения биологических и биооптических полей.

В распределениях термохалинных характеристик по данным трех съемок хорошо прослеживался сезонный сигнал. Температура поверхностного слоя в июне изменялась в пределах съемки от 21 до 27 °С, в сентябре — от 19 до 25 °С, в ноябре — декабре — от 11 до 15 °С. Минимальное распреснение поверхностного слоя, вызванное адвекцией ОЧТ азово-керченских вод, наблюдалось в начале лета (июнь). Наибольшее распреснение прослеживалось у Кавказских берегов в осенне-зимний период (ноябрь — декабрь), после сезона осадков, когда воды стока Риони интенсивно переносятся ОЧТ в северо-западном направлении. Следы этого распреснения вдоль Крымского побережья прослеживаются далеко на запад вплоть до Гераклейского полуострова.

Сезонные изменения проявились в характеристиках верхнего квазиоднородного и холодного промежуточного слоев. Минимальная толщина ВКС (менее 20 м) наблюдалась в июне (102-й рейс), в сентябре и ноябре — декабре она увеличивалась до 30 м (103-й и 105-й рейсы). Наибольшие изменения глубины залегания ядра холодного промежуточного слоя (ХПС) выявлены в восточной половине полигона, что связано с сезонными смещениями Восточного циклонического круговорота. В июне здесь наблюдалось заглупление ядра ХПС до 80–90 м (102-й рейс). Осенью и зимой, когда Восточный циклонический круговорот сместился на восток, ХПС заметно приподнялся к поверхности — до глубин 35–45 м (103-й и 105-й рейсы).

В целом по результатам рейсовых измерений показано, что значения гидрологических характеристик и положения изопикны 16,2 усл. ед. (верхней границы сероводородной зоны) в период съемок 2018 г. не выходили за пределы значений климатических параметров. Полученные данные свидетельствуют о том, что динамические процессы и гидрологическая ситуация находились в пределах естественной изменчивости.

### *Гидрохимические исследования*

В ходе экспедиционных исследований были получены новые данные о распределении гидролого-гидрохимических и биогеохимических характеристик морских вод в различные гидрологические сезоны 2018 г. для изучения особенностей вертикального распределения кислорода и сероводорода с высоким вертикальным разрешением, пространственно-временного распределения биогенных элементов, вертикальной структуры распределения величины общей щелочности (Alk) и показателя pH, структуры полей парциального давления диоксида углерода в атмосфере и в поверхностном полуметровом слое вод в центральной глубоководной части Черного моря в различные гидрологические сезоны 2018 г. Получены данные о вертикальном профиле сероводорода в поровых водах донных отложений в северо-восточной части Черного моря. Изучены особенности пространственного распределения поля концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в водах Черного моря.

### *Гидрооптические исследования*

По результатам натурных измерений биооптических параметров изучены крупномасштабные особенности в распределении взвешенного вещества летом и осенью. В летний период в прибрежной части исследованной акватории обнаружено два локальных максимума, где, помимо минимальной солёности, наблюдались повышенные значения концентраций взвешенного вещества. Наиболее выраженный максимум выявлен восточнее Феодосийского залива и связан с наличием в этом районе локального источника поступления более мутных и более пресных вод. Второй максимум, также связанный с наличием локального источника, обнаружен в районе Туапсе. Перенос более мутных вод от Туапсе определялся динамикой вод. Область с ними попала на периферию антициклонического круговорота, наблюдавшегося между Новороссийском и Туапсе, за счет чего произошел их перенос от берега в глубоководную часть. Максимальные значения концентрации взвеси в поверхностном слое, на масштабе всей съемки, выявлены в глубоководной части, напротив Новороссийска. В этой области наблюдалась минимальная глубина залегания термоклина ( $\approx 3\text{--}5$  м), и находящееся в нем более высокое скопление взвешенного вещества проявлялось в поверхностном распределении.

В осенний период поверхностное распределение взвеси (рис. 2) в исследуемой акватории определялось в основном динамикой вод. В результате увлечения ОЧТ более мутных прибрежных вод Кавказского побережья происходил их перенос вдоль берега по направлению движения водных масс, а в областях меандрирования ОЧТ эти воды, но уже разбавленные, перемещались в более глубоководные районы.

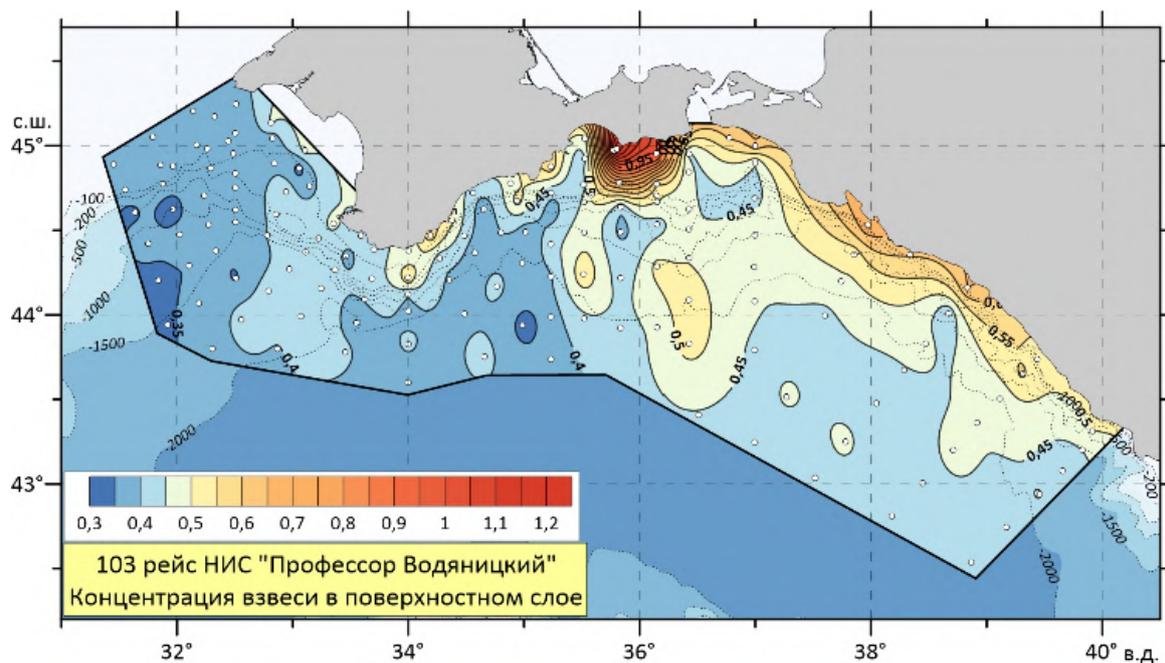
В вертикальном распределении поля концентрации взвешенного вещества, для обоих периодов, наблюдался хорошо выраженный максимум, глубина залегания которого была близка к глубине максимальных вертикальных градиентов температуры и плотности. Распределения максимума концентраций взвешенного вещества и глубины залегания максимума вертикального градиента температуры качественно показывают одинаковые пространственные особенности. Увеличение глубины залегания максимумов обоих параметров наблюдалось, преимущественно в прибрежных акваториях.

### *Исследования турбулентности морских вод*

По натурным измерениям средних и пульсационных величин в деятельном слое изучались характерные особенности вертикального турбулентного обмена в северо-западной части Черного моря и эконо-зоне России вокруг Крымского п-ова. Проведенный анализ данных измерений позволяет судить

о характере вертикального турбулентного обмена в нижней части деятельного слоя, оценивать интенсивность теплообмена и переноса биогенных элементов. Получена эмпирическая зависимость коэффициента вертикальной диффузии от частоты плавучести.

Работы выполнены в рамках тем государственного задания № 0827-2018-0001, 0827-2018-0002, 0827-2018-0003, 0827-2018-0004.



**Рис. 2.** Концентрации общего взвешенного вещества в поверхностном слое в 103-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий»

## РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ЭКОСИСТЕМЫ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В 2018 Г. (43-Й РЕЙС НИС «АКАДЕМИК БОРИС ПЕТРОВ»)

А. В. Крек\*, М. О. Ульянова, Е. С. Бубнова, Е. Е. Ежова

Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН

\*[av\\_krek\\_ne@mail.ru](mailto:av_krek_ne@mail.ru)

43-й рейс НИС «Академик Борис Петров» проводился с 23 июля по 13 августа 2018 г. в Юго-Восточной Балтике и в Финском заливе. Целью экспедиции являлся мониторинг пространственно-временных изменений биотических и абиотических компонентов экосистемы Балтийского моря. Экспедиция сочетала в себе бюджетное (темы № 0149-2018-0012 и № 0149-2018-0005, Программа Президиума РАН № 1.2.49) и внебюджетное (Проект BalticRim, договор о совместной научной деятельности с ФГБНУ «АтлантНИРО») финансирование.

Ключевым фактором, определяющим экологическое состояние придонных вод во впадинах Балтийского моря, является эпизодический водообмен с Северным морем через систему мелководных Датских проливов. Североморские воды характеризуются высокой соленостью и повышенным содержанием кислорода. Поступающая в Гданьскую впадину в результате адвекции через Слупский желоб вода вентилирует придонный слой, изменяя экосистему. Такие затоки для Гданьской впадины достаточно редки (2003, 2015 гг.) и это способствует развитию застойных условий и распространению сероводородного заражения.

Основной задачей экспедиции было изучение экосистемы Гданьской впадины в послезатоковый период. Дополнительные задачи — изучение распространения загрязнения и биотопов, картирование донных ландшафтов, изучение механизмов образования и роста конкреций, реконструкция палеоокеанологических условий в голоцене и позднем плейстоцене в суббассейнах Балтийского моря.

Забортные работы были выполнены на 135 комплексных станциях, 5 полигонах в российском секторе юго-восточной части Балтийского моря и в Финском заливе (рис. 1, 2).

Рейс проводился в два этапа: **1-й этап** — 23–30 июля (работы в российском секторе юго-восточной части Балтийского моря); **2-й этап** — 30 июля — 13 августа (переход в российский сектор Финского залива, работы в Финском заливе, возвращение в Юго-Восточную Балтику). Во время перехода в Финский залив и обратно заборные работы не производились, в период переходов выполнялась камеральная обработка результатов.

### Материалы, методы, объем выполненных работ

Гидрологические работы включали гидрофизические зондирования водной толщи зондами STD90M и Idronaut 316 Plus, отбор проб воды по опорному разрезу, определение содержания растворенного кислорода методом Винклера и выделение взвешенного осадочного вещества фильтрационным методом. Были отобраны пробы планктонных и бентосных сообществ (макрозообентос и мейобентос). Донные отложения отбирались для дальнейшего изучения гранулометрического, химического и минералогического состава. Акустическая съемка дна выполнялась с использованием буксируемого гидролокатора бокового обзора (ГЛБО) Venthos TTV-298. Объем работ приведен в таблице 1.

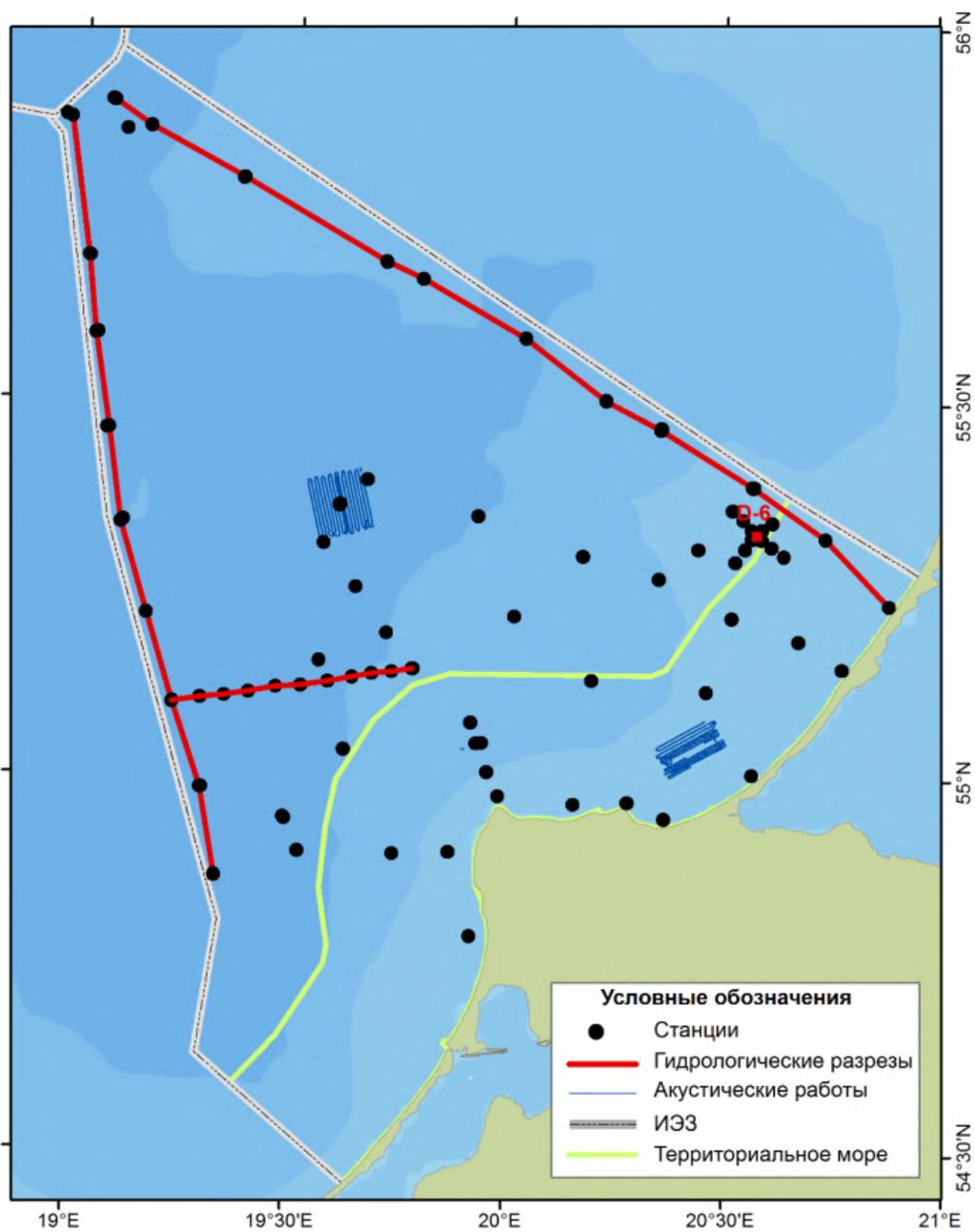


Рис. 1. Схема работ. Юго-восточная часть Балтийского моря

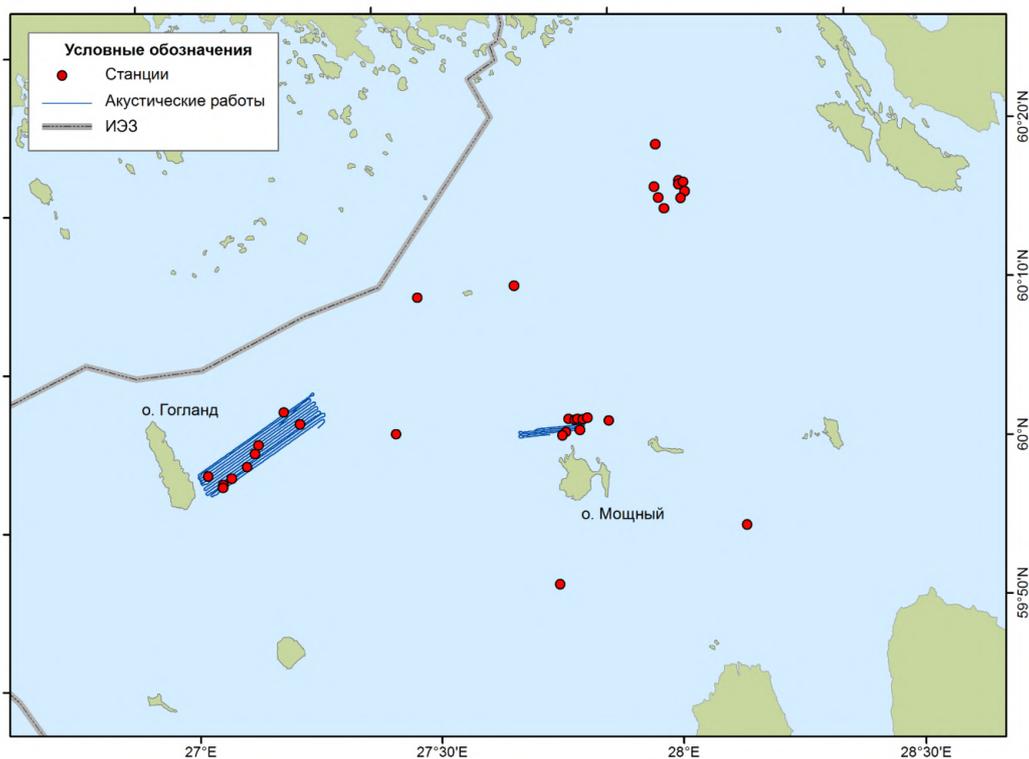


Рис. 2. Схема работ. Финский залив

## Предварительные результаты Юго-Восточная Балтика

### Гидрологические исследования

Отсутствие крупных затоков в придонном слое Гданьской впадины с 2015 г. привело к восстановлению предзатоковых условий, характеризующихся пониженной соленостью и истощением запасов кислорода. На глубинах более 85 м обнаружена обширная зона сероводородного заражения с отсутствием на дне живых организмов. На границе окислительно-восстановительных условий обнаружены придонный и промежуточный био-хемогенные нефелоидные слои. Подтверждением этому послужил анализ вещественно-минералогического состава взвеси в биохемогенных нефелоидных слоях (ст. АБП-43113, горизонт 80 м; ст. АБП-43113, горизонт 75 м).

### Геолого-геофизические исследования

Геоакустические работы выполнены на трех участках:

- 1) в береговой зоне в рамках проекта INTERREG Baltic Sea Region. В рамках проекта BalticRim — с целью поиска признаков культурного наследия на дне;
- 2) в районе распространения газонасыщенных илов Гданьской впадины — с целью выявления новых объектов выхода газа из осадочного чехла;
- 3) в северо-западной части акватории — с целью сплошного покрытия дна акватории российского сектора юго-восточной части Балтийского моря сонарными данными.

**Таблица 1.** Объем выполненных работ (в скобках указано количество станций пробоотбора)

Пройденный путь, км	3953
Непрерывных геоакустических профилей ГЛБО, км	849
Количество станций	135
Количество STD-зондирований	78
Количество точек отбора проб воды	61
Количество определений растворенного кислорода	56
Количество определений концентрации взвешенного вещества	172
Количество определений углеводов, $C_{орг}$ и хлорофилла во взвеси	101
Количество определений содержания микропластика в воде	87 (28)
Количество проб, отобранных дночерпателем Ван-Вина	157 (82)
Количество проб, отобранных боксорером	15 (8)
Количество отобранных проб железомарганцевых конкреций	21 (18)
Количество отобранных проб макрозообентоса	77 (40)
Количество отобранных проб мейобентоса	24
Количество колонок донных осадков, отобранных трубкой системы Лаури — Ниемисте	21 (17)
Количество колонок донных осадков, отобранных трубой большого диаметра	9
Количество проб, отобранных ихтиопланктонной сетью ИКС-80	66 (37)
Количество проб, отобранных зоопланктонной сетью Джеди	31 (30)
Количество проб, отобранных фитопланктонной сетью WP-2	51 (31)
Количество проб зоопланктона, отобранных батометром 30 л	32 (11)

На северо-восточном склоне Гданьской впадины с помощью ГЛБО были закартированы акустические аномалии, соответствующие покмаркам, образующимся при выходе флюидов из донных осадков. Линейно сгруппированные аномалии располагались в западной части Гданьской впадины, их размер варьировал от 1–15 м по малой оси до 2–70 по большой оси, залегание — параллельно линиям изобат (в северо-западной части участка) и вдоль тальвега склона впадины (в центральной части). Отдельные крупные аномалии с высокой интенсивностью отражающего сигнала были характерны для восточного склона (62×48 м, 35×50 м, 31×31 м), вблизи каждой крупной аномалии находился ряд более мелких, что может свидетельствовать о недавних поступлениях газовых флюидов из осадочной толщи. Измеренные концентрации метана говорят о высокой газонасыщенности осадков.

По предварительным результатам, в российском секторе юго-восточной части Балтийского моря загрязнение тяжелыми металлами и нефтепродуктами отсутствует. Полученные показатели находятся в пределах средних многолетних значений. Тем не менее различия в гранулометрическом составе не позволяют однозначно сделать вывод об отсутствии привнесенного загрязнения.

Максимальные наблюдаемые натуральные концентрации Cd и Cr зафиксированы в отложениях, сложенных преимущественно мелкозернистыми песками, алевролитами и илами. Аномалия концентрации Cr наблюдалась в пробах отложений, находящихся в прибрежной зоне, в области развитого вдольберегового потока наносов (станции 43061, 43060, 43057, 43056). Ближайшая станция с аномальным превышением Cr находится к востоку от системы сброса сточных вод ОКОС в направлении вдольберегового потока. Геохимические аномалии ранее наблюдались в данном районе.

В ходе выполнения акустических работ по идентификации и картированию донных ландшафтов обнаружены два затопленных объекта, которые по своей форме и размерам могут быть отнесены потенциально к затопленным морским судам.

#### Гидробиологические исследования

1. Данные по содержанию хлорофилла *a* в фотическом слое соответствовали переходному между мезотрофным и эвтрофным состоянием вод согласно классификации трофического статуса вод Балтийского моря.
2. В позднелетнем фитопланктоне юго-восточной части Балтийского моря в 2018 г. основную роль играли цианобактерии, среди которых по биомассе преобладали потенциально токсичные виды *Aph. flosaquae* и *N. spumigena* — типичные доминанты летнего фитопланктона различных районов Балтики. Данные о количественном развитии указанных видов и фитопланктона в целом согласовывались с аналогичными данными 2000-х гг.
3. В водах российского сектора юго-восточной части Балтийского моря в последней декаде июля 2018 г. наблюдалось интенсивное поверхностное и подповерхностное цветение цианобактерий.
4. Таксономический состав зоопланктона юго-восточной части Балтийского моря обычен для района исследования и летнего сезона. Данные по количественному развитию зоопланктона сопоставимы с летними данными предыдущих лет.
5. Полученные предварительные данные о составе и количественном развитии зоопланктона свидетельствуют об удовлетворительном состоянии кормовой базы рыб-планктофагов в районе исследований в летний период 2018 г.
6. Зообентос района исследования характеризуется составом и количественными показателями, обычными для данной части моря. Наиболее богатый и разнообразный бентос отмечен на глубинах менее 60 м. В Гданьской впадине макробентос отсутствует как в центральной части, так и на склонах, на глубинах более 80–90 м. На южном склоне Готландской впадины на глубинах 80–100 м присутствуют крайне бедные в количественном и качественном отношении сообщества, представляющие собой обедненный вариант сообществ, отмечавшихся в 2015 г.

#### Финский залив

По результатам обработки акустической съемки в июле 2017 г. выполнен отбор кернов, предположительно являющихся отложениями ленточных глин ранних стадий формирования Балтийского моря. Также выполнены заверочный пробоотбор поверхностных осадков и сбор макрозообентоса с различного субстрата.

На ключевом участке в районе о. Гогланд, где в 35-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов» проводилась многолучевая съемка рельефа дна, выполнена съемка ГЛБО. По результатам съемки уточнены границы распространения газонасыщенных донных осадков. Комплексный подход к анализу подстилающей поверхности позволил впервые оценить площади ее распространения. По результатам съемки ГЛБО к востоку от о. Гогланд обнаружен ранее неизвестный затопленный объект, который по своей форме и размерам может быть отнесен к затопленным морским судам.

Многочисленные протяженные узкие линейные углубления, выявленные в результате многолучевой съемки, соответствуют зонам со слабым отраженным сигналом по данным ГЛБО. Такая интенсивность отраженного сигнала характерна для тонкодисперсных илистых осадков. Исследование показало, что не все ареалы распространения газонасыщенных осадков имеют необходимую концентрацию газа для образования покмарков.

Построены ландшафтные карты полигонов «Выборг» и «Мощный». Для первого полигона выделены следующие ландшафтные комплексы: высокодинамичная циркулитораль; среднединамическая литораль; среднединамичная циркулитораль с кислородными условиями; малодинамическая циркулитораль с кислородными условиями; малодинамическая циркулитораль с бескислородными условиями. Для второго полигона — среднединамичная циркулитораль; среднединамичная циркулитораль с кислородными условиями; среднединамичная циркулитораль с кислородными условиями; малодинамическая циркулитораль с кислородными условиями; малодинамическая циркулитораль с бескислородными условиями.

### **Заключение**

- 1) выполнены оценки сезонной и межгодовой изменчивости гидролого-гидрохимических условий; выявлены признаки ассимиляции вод залива в Гданьской впадине;
- 2) изучено пространственное распределение взвешенного осадочного вещества в условиях дефицита кислорода;
- 3) уточнены ареалы газонасыщенных осадков и обнаружены новые покмарки;
- 4) изучено сезонное состояние планктонных и бентосных сообществ; выявлены токсичные виды цианобактерий;
- 5) прицельно отобраны колонки донных осадков, необходимые для палеореконструкций Финского залива;
- 6) выполнена идентификация донных ландшафтов в районах высокого археологического потенциала и обнаружено 2 потенциальных объекта подводного наследия (проект BalticRim);
- 7) изучено текущее состояние среды обитания водных биологических ресурсов Балтийского моря (договор с АтлантНИРО).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ГИДРООПТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ДЕЯТЕЛЬНОГО СЛОЯ ЧЕРНОГО МОРЯ

А. А. Латушкин\*, М. Е. Ли, В. В. Суслин, О. Б. Кудинов

Морской гидрофизический институт РАН

\*[sevsalat@gmail.com](mailto:sevsalat@gmail.com)

---

С 2016 г. крупномасштабные гидрооптические исследования в Черном море регулярно проводятся в рейсах НИС «Профессор Водяницкий». Измерения гидрооптических параметров обеспечиваются благодаря использованию аппаратуры, разработанной в Морском гидрофизическом институте РАН.

Представлены результаты гидрооптических исследований, выполненных в северной части Черного моря в весенне-летний период 2017 г. На каждой станции проводились измерения спектрального показателя ослабления направленного света, по которому было рассчитано содержание взвешенного в воде вещества. Совместный анализ гидрооптических (спутниковых и натуральных) и гидрологических параметров позволил выявить ряд особенностей в формировании биооптической структуры.

Так, в период весенней съемки (22.04.2017 – 06.05.2017) в большей части акватории исследования на поверхности наблюдались относительно низкие содержания общего взвешенного вещества. Исключение составляла северо-восточная часть съемки, где отмечались наиболее высокие содержания взвеси, которые, согласно спутниковым данным, связаны с выносом азовских вод через Керченский пролив. Распределения солёности и векторов инструментально измеренных течений на поверхности показывают, что в этой части съемки преобладали течения на запад, способствующие поступлению распресненных и мутных вод в акваторию съемки к югу от Керченского полуострова. При этом интенсивная поверхностная динамика вод на синоптическом масштабе привела к тому, что конфигурация областей с экстремальными значениями разных параметров не всегда совпадала.

Период летней съемки (14.06.2017 – 04.07.2017) отличался низкой, по сравнению с таковой предшествующего года, прозрачностью вод и высоким содержанием взвешенных частиц, что связано с интенсивным цветением кокколитофорид. Соответствующие коэффициенты яркости моря составляли 4–6 % при обычных 1–1,5 %. Минимальная прозрачность вод отмечена также к югу от Керченского полуострова, где наблюдались воды пониженной солёности. Принципиальным отличием от весенней съемки является то, что эти низкосолёные и мутные воды имели согласно спутниковым данным, не азовское происхождение: они поступали в акваторию съемки от берегов Кавказа. Эти воды, подхваченные струей Основного черноморского течения, следовали вдоль материкового склона на запад и достигали длины Гераклеийского полуострова. Как по контактными измерениям, так и по спутниковым данным получено, что районы Каркинитского и Каламитского заливов, а также район мыса Тарханкут в период проведения съемки отличались минимальным цветением во всем Черном море.

Анализ вертикальной структуры гидрооптических и термохалинных полей в пределах слоя измерений 0–50 м показал существенные отличия в весенний и летний периоды. Весной выраженный максимум взвешенного вещества в вертикальном распределении отсутствовал, в то время как в летний период при общем увеличении количества взвеси появился хорошо выраженный максимум, глубина залегания которого была близка к глубине максимальных вертикальных градиентов температуры и плотности. Распределения максимума концентраций  $C_{\text{ОВВ}}$  и глубины залегания максимума вертикального градиента температуры качественно показывают одинаковые пространственные особенности.

Следует отметить, что комплексные исследования, выполненные с применением современных натурных и дистанционных данных в 2017 г., являются наиболее интересными, т. к. впервые для вод Черного моря удалось изучить горизонтальные и вертикальные особенности крупномасштабного распределения гидрологических и гидрооптических параметров для периода, предшествующего интенсивному цветению кокколитофорид (апрель — начало мая), и времени их максимального цветения (июнь — начало июля).

По результатам измерений спектральной подводной облученности на северо-западном шельфе Черного моря рассчитаны показатели диффузного ослабления света [ $K_d(\lambda)$ ] для поверхностных и глубинных вод (в пределах фотической зоны), которые использовались для сравнения и корректировки региональных спутниковых алгоритмов. Восстановлена спектральная структура нисходящего солнечного излучения, включая изменение с глубиной фотосинтетически активной радиации. Рассчитан ряд первичных биооптических характеристик воды: показатель поглощения света неживым органическим веществом, показатель обратного рассеяния света, их спектральные характеристики, а также концентрация хлорофилла *a*.

---

Работы выполнены в рамках тем государственного задания № 0827-2018-0002.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ ВОДНОЙ СРЕДЫ ЯПОНСКОГО МОРЯ (РЕЙСЫ НИС «АКАДЕМИК М. А. ЛАВРЕНТЬЕВ» № 80 И 84)

В. Б. Лобанов\*, А. Ф. Сергеев, Е. Н. Марьина, А. А. Воронин, И. И. Горин, П. Е. Щербинин, С. Г. Сагалаев, П. Ю. Семкин, А. Н. Чаркин, Н. В. Шлык

Тихоокеанский океанологический институт имени В. И. Ильичева ДВО РАН

\*[lobanov@poi.dvo.ru](mailto:lobanov@poi.dvo.ru)

Экспедиции НИС «Академик М. А. Лаврентьев» № 80 и 84 были организованы и проводились в апреле (4 суток) и декабре (25 суток) 2018 г. Тихоокеанским океанологическим институтом имени В. И. Ильичева с целью исследования изменчивости структуры океанологических полей северо-западной части Японского моря, процессов вертикального обмена и условий вентиляции глубинных и придонных слоев и их межгодовой изменчивости в связи с изменениями климата и растущей антропогенной нагрузкой. Основными задачами экспедиций являлись: подъем автономных донных станций, установленных на континентальном склоне залива Петра Великого для изучения склоновой конвекции (каскадинга) в зимний период; установка (апрель) и подъем (декабрь) гидрометеорологического буя в юго-западной части залива; выполнение комплексных океанографических измерений и отбор проб воды для гидрохимических анализов вдоль разрезов климатического мониторинга Японского моря CREAMS (132°20' в. д.) и NEAR-GOOS (134° в. д.), а также для оценки структуры водных масс в области структур синопического масштаба (антициклонический вихрь, зона апвеллинга), изучения связи физических и биологических полей, процессов продукции и деструкции органического вещества, распределения биогенных элементов, естественных и искусственных изотопов, метана и других химических параметров в водах Японского моря.

Работы выполнялись в рамках госзадания ТОИ ДВО РАН на 2018 г. по темам № 5 «Исследование основных процессов, определяющих состояние и изменчивость океанологических характеристик дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана» (0271-2016-0005) и № 6 «Влияние природных и антропогенных факторов на биогеохимические процессы и состояние биоты в морских экосистемах» (0271-2016-0006), По приоритетной программе ДВО РАН «Дальний Восток» (грант 18-1-10 «Синоптическая и мезомасштабная динамика вод и ее связь с биогеохимическими и продукционными процессами в дальневосточных морях России, северо-западной части Тихого океана и Восточной Арктике»), а также по международным программам «Исследование окраинных морей Азии КРИМС/ПАЙСИС (CREAMS/PICES)» Северотихоокеанской организации по морским наукам (PICES) и «Глобальная система наблюдения океана для региона Северо-Восточной Азии (NEAR-GOOS)» ВЕСТПАК МОК-ЮНЕСКО.

В результате проведения экспедиционных исследований пространственно-временной структуры океанологических полей западной и северо-западной частей Японского моря установлены как общие для всех, так и отдельные для каждого района неизвестные или малоизученные особенности в распределении океанографических параметров и структуре вод, необходимые для создания более совершенных представлений о процессах и явлениях в морской среде экономической зоны РФ. Полученные результаты, в том числе те, что получены впервые, указывают на возможность реализации механизмов обменных процессов во всей толще вод северо-западной части Японского моря, не рассматриваемых и не упоминаемых ранее в литературе.

## МОРСКИЕ ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ММБИ КНЦ РАН В 2018 Г.

П. Р. Макаревич, Д. Г. Ишкулов\*, Д. А. Валуйская, Ю. И. Горяев, Г. Н. Духно, Е. И. Дружкова, А. В. Ежов, О. Л. Зимина, Т. Г. Ишкулова, Г. В. Ильин, Т. Н. Максимовская, Д. В. Моисеев, А. А. Олейник, И. А. Пастухов

Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН

\*[ishkulov@mmbi.info](mailto:ishkulov@mmbi.info)

---

В 2018 г. в рамках выполнения сводного плана экспедиционных исследований на научно-исследовательских судах организаций, подведомственных Министерству науки и высшего образования РФ, Мурманским морским биологическим институтом проведена комплексная экспедиция в Баренцево и Норвежское моря.

Основу маршрута экспедиции составил 1 разрез (6-й разрез «Кольский меридиан»), прикромочная акватория Баренцева моря, прибрежные районы и заливы архипелага Шпицберген.

Маршрут экспедиции, расположение и координаты станций представлены на рис. 1–2.

Экспедиция проведена в период 17 апреля — 29 мая 2018 г.

Цель экспедиции: проведение комплексного геоэкологического мониторинг морских акваторий для комплексного анализа и прогноза океанологических и экосистемных процессов в зоне ледовой кромки, в районе архипелага Шпицберген, а также по всему маршруту следования судна.

В соответствии с вышеуказанной целью в экспедиции решались следующие задачи:

- 1) определение гидрологических и гидрохимических параметров водной среды;
- 2) исследование биотических компонентов экосистем (фито- бактерио- и зоопланктон, зообентос, авиафауна, морские млекопитающие);
- 3) определение концентраций загрязняющих веществ в морской воде и донном осадке.

### Основные результаты

#### *Гидрологические исследования*

Исследуемый район характеризуется наличием полярной фронтальной зоны, разделяющей атлантические (приходящие с юго-запада) и арктические (поступающие с северо-востока) воды Баренцева моря.

Адвекция атлантических вод в воды залива Ис-фьорд в период исследования имела слабовыраженный характер.

Расчет аномалий средней взвешенной температуры на стандартном разрезе «Кольский меридиан» показал, что их относительно высокие положительные значения сохраняются во всех слоях. Наибольшие значения аномалий температуры наблюдаются в слое 0–50 м (средняя величина аномалии составляет 1,21 °С), наименьшие — в слое 0 м — дно (0,97 °С). Максимальная величина аномалии температуры разреза наблюдается в слое 0–50 м станции 7 (1,67 °С), минимальная — в слое 150–200 м станции 9 (0,44 °С).

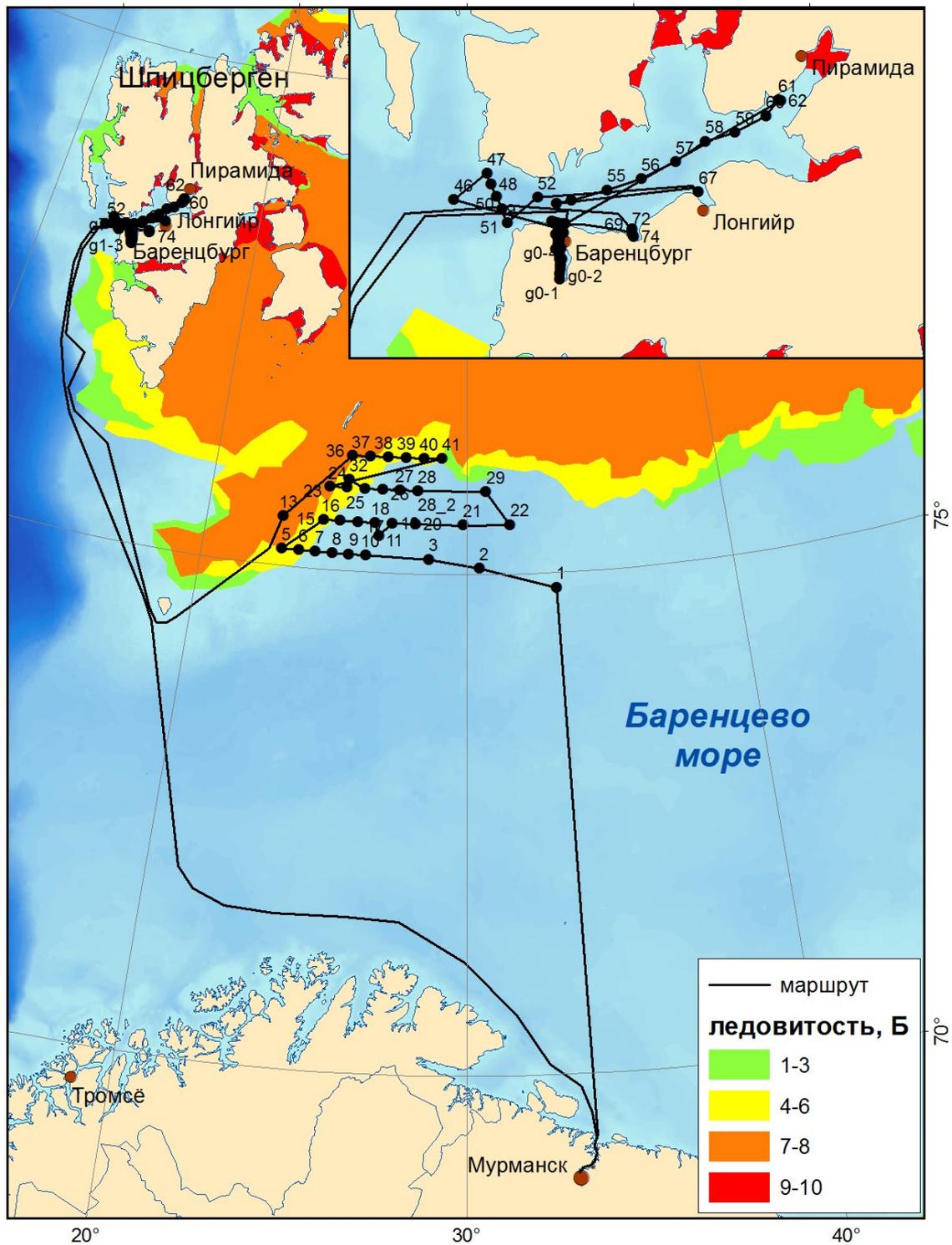


Рис. 1. Карта-схема маршрута первой части экспедиции

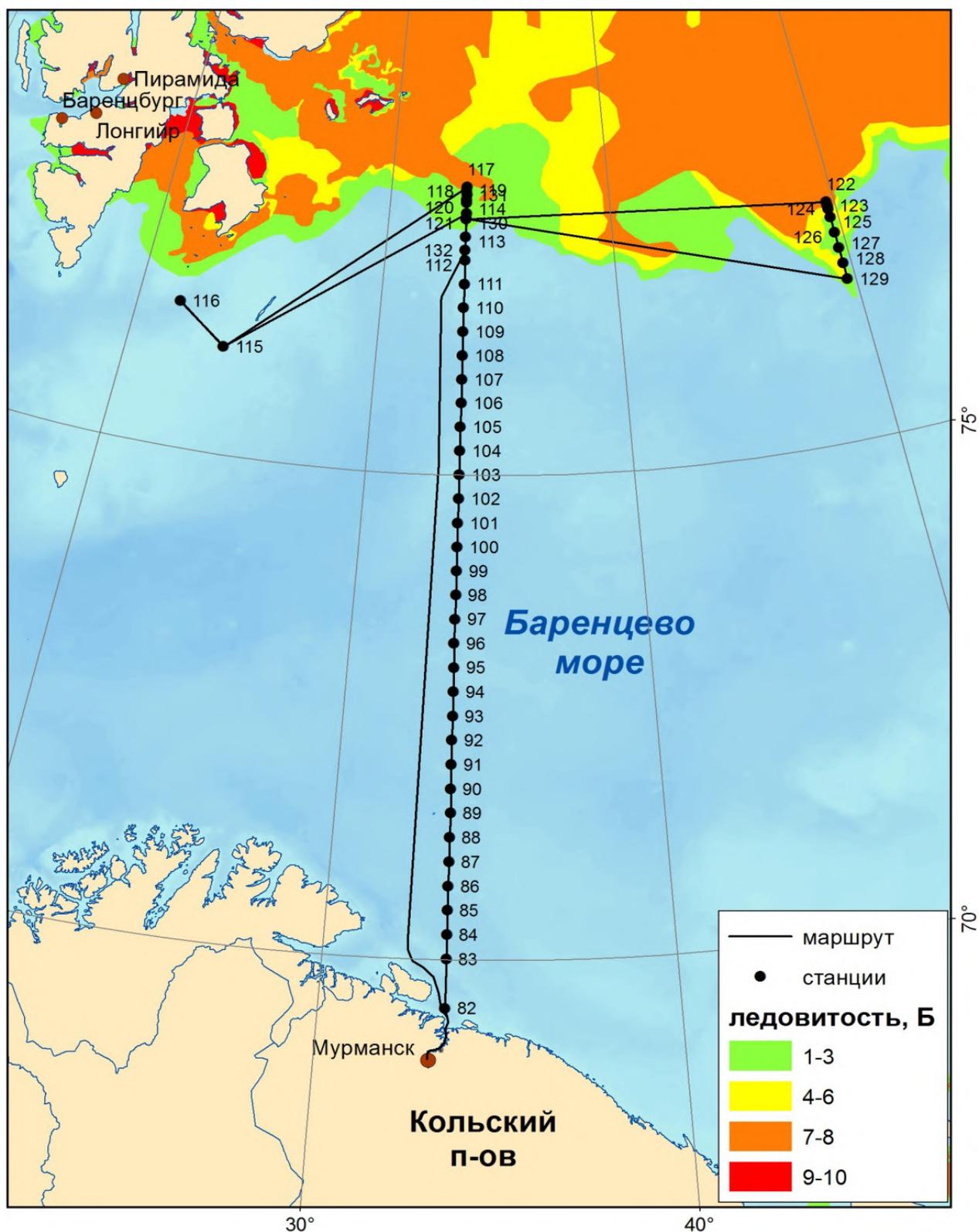


Рис. 2. Карта-схема маршрута второй части экспедиции

### Гидрохимические исследования

В зоне вблизи ледовой кромки сделаны два разреза перпендикулярно кромке отступающего льда. Первый разрез показал отсутствие какой-либо биологической активности, значительно влияющей на вертикальное распределение гидрохимических показателей. А вот на втором разрезе, который находился восточнее первого, отмечена типичная для «цветущих» вод стратификация по кислороду и фосфатному фосфору.

Наибольшая активность биоты в потреблении органических веществ наблюдается в слое 0–25 м; практически равномерно распределена на протяженности всего разреза, что может быть следствием быстро отступающей кромки, поэтому разрыва в начале активности среди биоты не наступает.

### Особенности распространения техногенных радионуклидов в зоне Полярного фронта (на примере $^{137}\text{Cs}$ )

Для исследованной акватории Полярной фронтальной зоны характерен в целом низкий современный уровень радионуклидного загрязнения, соответствующий общему для Баренцева моря радионуклидному фону. Основные взаимодействующие водные массы — полярная и атлантическая — небольшие (в пределах 20 %), но устойчивые различия в содержании радиоцезия в поверхностном слое.

Во фронтальной зоне происходят диссипация концентраций в процессе водообмена при смешивании и генерация разномасштабной неравномерности (очаговости) перераспределения  $^{137}\text{Cs}$  в микро- и мезомасштабе.

### Зообентос

По материалам экспедиций ММБИ 2017–2018 г. впервые описаны видовой состав, биогеографическая структура фауны и количественное распределение полихет и ракообразных (наиболее богатые качественно и количественно группы беспозвоночных в арктических морях) в северо-западной части Баренцева моря, преимущественно в зоне влияния основной и южной ветви Шпицбергенского течения. В этом районе идентифицированы 116 таксонов полихет и 136 таксонов ракообразных. Средние количественные показатели по району составили:  $(61 \pm 3)$  таксона на станцию,  $(43 \pm 6)$  г·м<sup>-2</sup>,  $(2700 \pm 300)$  экз·м<sup>-2</sup>. Доминирующими по биомассе видами на всех станциях являются полихеты *Spiochaetopterus typicus* и *Maldane sarsi*. В биогеографической структуре фауны бореальные виды численно преобладают над арктическими практически на всех станциях в западной части исследованного района, при некотором понижении доли бореальных в восточном направлении. Это свидетельствует о значительном влиянии теплых вод на фауну района даже в восточной части при относительно низкой температуре придонных вод. Таким образом, констатировано расширение ареала отдельных бореальных видов амфипод в северном и восточном направлении. В «холодный» период 1968–1970 гг. они не отмечались севернее 74° с. ш. Ранее эти виды были встречены в основном в районе южных станций Кольского разреза, где формируется специфический атлантический тепловодный фаунистический комплекс. Расширение ареалов обусловлено продолжающимся «теплым» климатическим периодом в Баренцевом море.

### Фитопланктон

При проведении систематических наблюдений, на разрезе «Кольский меридиан» в период с 2012 по 2018 г. зарегистрировано 22 вида микропланктона, которые ранее никогда не были отмечены в водах Баренцева моря. Виды-вселенцы представлены в основном тропическо-бореальными, тропическо-

аркто-бореальными и антарктическо-тропическо-бореальными формами динофлагеллят (18 видов), диатомовых (1 вид) и инфузорий-тинтинид (3 вида). Доля новых видов как в таксономическом разнообразии, так и в общей биомассе микропланктона незначительна; они не дают массового развития в течение года, и в настоящее время их появление не приводит к дестабилизации как сообщества микропланктона, так и экосистемы в целом. Таким образом, можно констатировать, что идет расширение ареала тепловодных пелагических видов в арктическом регионе, не связанное с биологическими инвазиями антропогенного характера.

#### *Наблюдения за морскими птицами и морскими млекопитающими*

По результатам наблюдений фауна птиц западной и северной частей Баренцева моря в весенний период представлена 27 видами. Общее количество птиц всех видов в границах учетных трансект составило 9500 экз. Девять видов относятся к пролетным, встреченным, по-видимому, на пути миграции в направлении арх. Шпицберген, Земля Франца Иосифа, Новая Земля. Прочие виды — типичные морские птицы.

Фауна морских млекопитающих исследованного района представлена 10 видами, в числе которых 7 относятся к отряду китообразных и 3 — к ластоногим. В акватории, свободной от льда, встречены все типичные для западной части моря виды: беломордый дельфин, малый полосатик, финвал, горбач, морская свинья. Отмеченные показатели для большинства видов этой области моря близки к полученным в ходе предыдущего обследования в 2016 г. Явное различие в численности (рост) показал только малый полосатик, что, возможно, связано с улучшением трофики района, важной для этого преимущественно рыбоядного вида (увеличение запасов мойвы). Некоторые виды, вероятные для наблюдения в западной части моря (сейвал, кашалот, высоколобый бутылконос, белобокий дельфин), не встречены, по-видимому, как по сезонным причинам, так и из-за редкости распространения их в исследованном районе.

Фауна, приуроченная к дрейфующим льдам с прилегающей акватории, также представлена типичными для сезона и времени года атлантическим моржом, гренландским тюленем и морским зайцем. Последние два вида были очень редки (в северной части Баренцева моря в прошлом отмечались случаи и значительно большей их плотности), вероятно по причине смещения сезонных сроков концентрации в данном районе (гренландский тюлень) или слишком западного расположения трансект (морской заяц). Наблюдения предыдущих нескольких лет показывают, что последний вид более обычен во льдах северо-восточной части моря (там же неоднократно встречались щенки этих тюленей).

Для зоны льдов особо примечательны встречи редких (согласно Красной книге России это вымирающий вид) гренландских китов шпицбергенского стада в прикромочной зоне при довольно высокой плотности для такой малочисленной популяции, однако незначительный объем наблюдений не позволяет делать выводы о численности вида.

## ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО РАДИАЦИОННОЙ И ХИМИЧЕСКОЙ БИОЛОГИИ ФГБУН ИМБИ НА НИС «ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ» (1986–2018)

Н. Ю. Мирзоева\*, В. Н. Егоров, С. Б. Гулин

Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН

\*natmirz@mail.ru

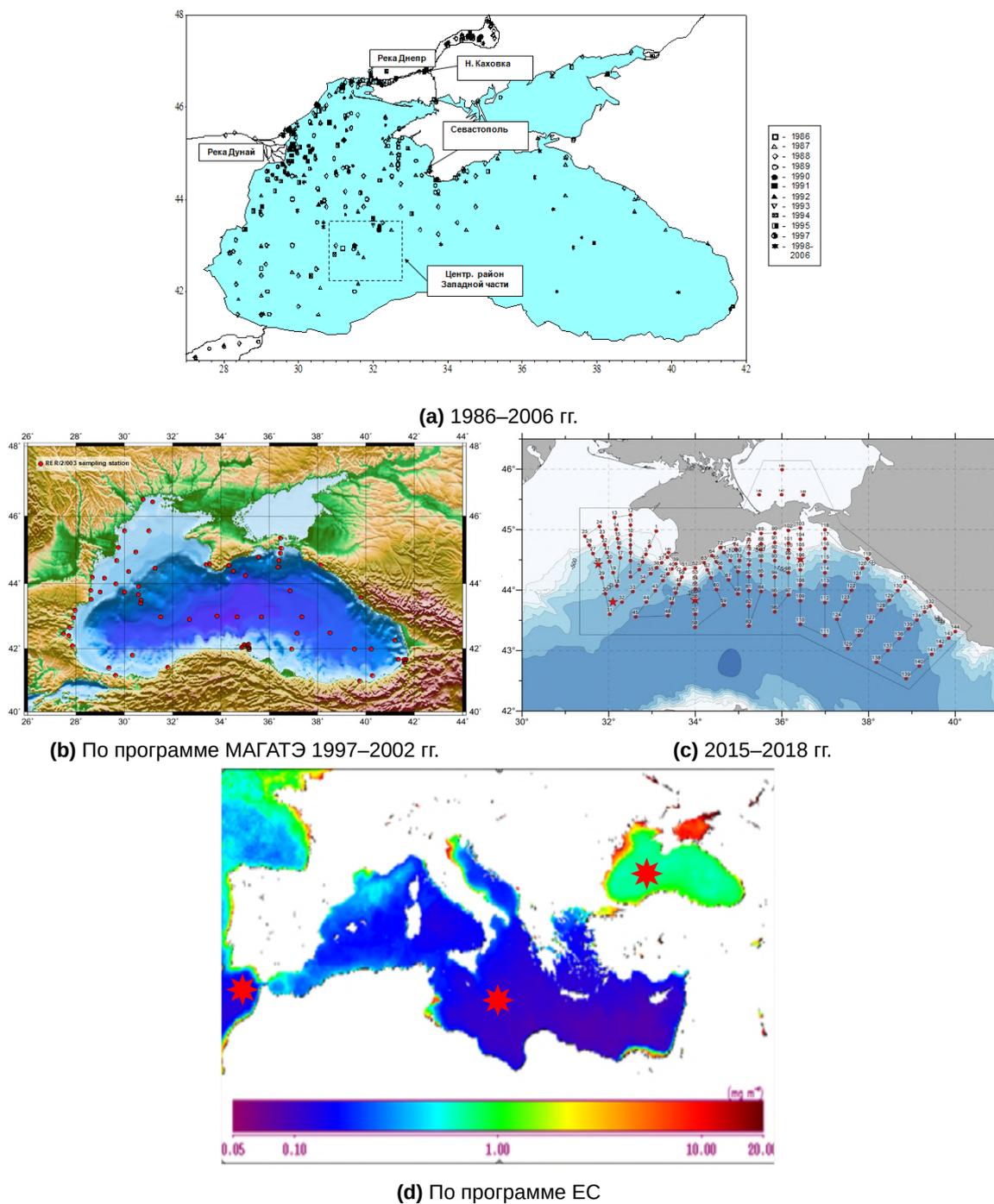
Результаты научных исследований получены на базе отдела радиационной и химической биологии (ОРХБ) ФГБУН ИМБИ, отбор проб произведен сотрудниками ОРХБ при их личном участии в 46 рейсах НИС «Профессор Водяницкий» в период 1986–2018 гг. в акваториях Черного, Эгейского, Средиземного морей, Атлантического океана (рис. 1).

С 1992 по 2005 г. морские экспедиции проведены в рамках 13 международных проектов. Правомочность используемых методов и достоверность полученных результатов подтверждены успешным участием ОРХБ в международной интеркалибрации.

Получены следующие основные результаты исследования. Оценен баланс  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , радионуклидов плутония в Черном море. По результатам мониторинговых исследований и математического моделирования сделан прогноз радиоактивного загрязнения Черного моря, подтвердившийся по настоящее время. Впервые выполнены оценки распределения природного радионуклида  $^{210}\text{Po}$  в донных отложениях Черного моря. Исследовано загрязнение Черного моря хлорорганическими соединениями и ртутью. Определены скорости самоочищения морских вод от послеаварийного  $^{137}\text{Cs}$  (на основе трендов изменения концентраций) в поверхностном слое воды Черного и Средиземного морей, Атлантического океана. Впервые определены концентрации трансурановых элементов  $^{239+240}\text{Pu}$  в поверхностном слое воды Черного моря, Средиземного моря и Атлантического океана. Сделаны прогнозные оценки выноса  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  через пролив Босфор в моря Средиземноморского бассейна. Определено, что радиоактивное загрязнение Средиземноморского бассейна  $^{90}\text{Sr}$  будет продолжаться около 51 года, а  $^{137}\text{Cs}$  — 32 года. Выявлено, что в результате Чернобыльской аварии в Черном море возникают «критические зоны», в которых концентрации долгоживущих радионуклидов значительно выше природных уровней.

Разработаны новые радиотрассерные методы использования постчернобыльских радионуклидов для изучения биогеохимических и океанографических характеристик морской среды. Радиотрассерные методы были применены для: оценки потоков крупномасштабной вертикальной миграции растворенных химических веществ и их радиоизотопных носителей; определения скорости осадконакопления и датировки донных осадков; расчета потоков депонирования радиоактивных и химических веществ в толще донных отложений; ретроспективного исследования антропогенных и климатических изменений. Определены характеристики крупномасштабного водообмена окислительной и сероводородной зон, а также параметры радиоемкости водных масс Черного моря. Установлено (по концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в мягких тканях *Mytilus galloprovincialis* из бассейна Средиземного моря), что радиоактивный след от аварии на ЧАЭС прослеживается на расстояние до 2500 км в зависимости от расстояния от аварийной АЭС. Отмечается периодическое, в том числе в 2018 году, вторичное загрязнение послеаварийными  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  различных районов Черного моря.

Впервые обнаружены в 1989 г. и изучены как экологический фактор струйные метановые газовыделения в Черном море. Обнаружены бактериальные постройки в местах метановой разгрузки недр в Черном море. Определена вероятность экологической опасности от струйных метановых газовыделений со дна Черного моря.



**Рис. 1.** Районы отбора проб в морских экспедициях на НИС «Профессор Водяницкий» в 1986–2018 гг.

В результате участия ОРХБ в морских экспедициях в 2018 г. установлено, что концентрирующая способность и седиментационная функция живого и косного вещества характеризуют ассимиляционную и экологическую емкость морской среды в отношении эвтрофирующих биогенных элементов и загрязняющих веществ. Они реализуют наиболее значимые природные механизмы самоочищения вод, воздействие которых всегда направлено на ослабление влияния негативного антропогенного влияния по принципу отрицательной обратной связи Брауна — Ле Шателье. Закономерности концентрирования Zn, Cu, Cd, Pb и Hg донными отложениями Азовского моря описываются уравнением Фрейндлиха, параметры которого могут использоваться при нормировании предельно допустимых потоков поступления загрязняющих веществ по токсикологическим критериям. Биогеохимические и гидрологические процессы, уменьшают время присутствия  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в морской среде различных районов Черного моря в 2–6 раз, при этом полный биогеохимический цикл радионуклидов составит 25–75 лет. Поглощение химических элементов живым и косным веществом из морской среды описывается уравнением Михаэлиса — Ментен, концентрирующая способность соответствует законам Ленгмюра или Фрейндлиха, коэффициенты накопления лежат в пределах 101–107 единиц, а пул химических элементов в составе взвесей может достигать 80–90 % от их содержания в водной среде. Лимитирование процессов первичного продуцирования фитопланктона биогенными элементами определяется соотношениями Друпа и Дагдейла.

Радиохемозоологический отклик Азово-Черноморского региона на антропогенное воздействие и климатические изменения определяется интенсивностью биогеохимических циклов поглощения радионуклидов, тяжелых металлов, хлорорганических соединений и биогенных элементов из водной среды, их миграции в пределах экосистем, трансформации физико-химических форм и элиминации в геологическое депо — донные отложения морских экосистем.

## ПОКРОВНЫЙ ЛЕДНИК СЕВЕРНОГО ОСТРОВА (АРХИПЕЛАГ НОВАЯ ЗЕМЛЯ) — НОВЫЙ ИСТОЧНИК РАДИОАКТИВНОСТИ В АРКТИКЕ

А. Ю. Мирошников

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН  
[alexey-miroshnikov@yandex.ru](mailto:alexey-miroshnikov@yandex.ru)

---

На радиационное состояние Арктики существенное влияние оказали ядерные испытания, проводившиеся на Северном испытательном полигоне Новая Земля. Полигон был создан в июле 1954 г. для испытаний ядерного оружия мегатонного класса. В период с сентября 1957 г. по декабрь 1962 г. на нем было произведено 88 воздушных ядерных взрывов, суммарное энерговыделение которых составило около 246 Мт в тротиловом эквиваленте и привело к поступлению в атмосферу не менее 20 млн Ки радиоцезия и радиостронция. При этом неизвестная доля радионуклидов в виде локальных (местных) радиоактивных осадков попадала на поверхность ледников архипелага Новая Земля, площадь которых составляет около 20 тыс. км<sup>2</sup>. Часть радиоактивности была депонирована в массу ледника.

В результате работ, проведенных нами в период 2015–2018 гг. на ледниках Северного острова (Северный Ледниковый Купол, Налли, Голубой, Серп и Молот), в различных компонентах окружающей среды в зоне абляции установлены существенные уровни удельной активности <sup>137</sup>Cs, достигающие 8000 Бк·кг<sup>-1</sup> и более высоких значений (новые данные 2018 г.), а также обнаружены горячие частицы. Сравнение с ледниками Шпицбергена (Jotunfonna Glacier, Grønfjord Glacier и Hans Glacier), находящимися в пределах одного широтного интервала и отражающими уровень глобальных выпадений, показало, что уровни активности на ледниках Новой Земли выше почти на порядок.

Таким образом, покровный ледник Северного острова Новой Земли установлен нами как новый современный источник радиоактивности, ранее депонированной в тело ледника в зоне питания, а в настоящее время переместившейся в зону абляции. Радионуклиды поступают в заливы Новой Земли, которые не являются изолированными от Карского моря, что было доказано ранее нашими изотопными ( $\delta D$  и  $\delta^{18}O$ ) исследованиями вод. Существующий водный обмен между заливами и открытым морем предполагает возможный вынос радиоактивности. Следовательно, не вызывает сомнений необходимость дальнейшего изучения этих процессов как с точки зрения радиационной безопасности, так и с точки зрения уникальности сложившейся ситуации.

## **СПЕКТРАЛЬНЫЕ БИООПТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВОД ЧЕРНОГО И АЗОВСКОГО МОРЕЙ КАК ОСНОВА РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА И ПРОДУКТИВНОСТИ ВОДОЕМОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧ ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА**

**Н. А. Моисеева\*, Т. Я. Чурилова**

**Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН**

\*[nataliya-moiseeva@yandex.ru](mailto:nataliya-moiseeva@yandex.ru)

---

Методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) находят все большее применение в океанологии, так как позволяют в отличие от традиционных контактных методов, проводить регулярные наблюдения за динамикой гидрофизических и гидробиологических процессов на разных пространственно-временных масштабах. До настоящего времени остается актуальной проблема корректной оценки первично-продукционных характеристик пелагических экосистем на основе данных о спектре восходящего из водной толщи излучения; она предполагает сложный алгоритм дешифрования, учитывающий специфику биооптических характеристик вод конкретной акватории. Для Черного моря на базе массива полученных ранее данных проведена параметризация связи между концентрацией хлорофилла *a* и поглощением света пигментами фитопланктона и выявлены сезонные отличия между коэффициентами параметризации для верхнего квазиоднородного слоя моря. Ассимиляция полученных закономерностей в созданный для Черного моря алгоритм оценки концентрации хлорофилла *a* по спутниковой информации позволила повысить точность оценки концентрации хлорофилла *a* в течение всего годового цикла, что является основой для использования дистанционных методов в развитии оперативного экологического мониторинга. Исследование спектральных характеристик поглощения света всеми оптически активными компонентами среды дает возможность моделировать спектральный состав света и точно оценивать эффективность поглощения света фитопланктоном. Эффективность поглощения фотосинтетически активной радиации и квантовый выход фотосинтеза являются параметрами, которые требуются для расчета первичной продукции с использованием спектрального подхода. Однако для реализации этого подхода недостаточно данных для определения закономерностей изменчивости квантового выхода фотосинтеза в зависимости от условий в среде. В связи с этим в декабре 2018 г. были проведены комплексные исследования вариабельности биооптических показателей вод и фотосинтетических характеристик фитопланктона в зависимости от гидрофизических условий в верхнем перемешанном слое моря. На основе предварительного анализа данных: (а) выполнена оценка вариабельности поглощения света всеми оптически активными компонентами вод Черного моря в зимний период; (б) проведена параметризация поглощения света всеми компонентами среды; (с) определена закономерность изменения квантового выхода с глубиной. Установленные связи необходимы для дешифровки спутниковых данных и развития спектральных моделей изменения подводной облученности и первичной продукции в Черном море. Региональные модели представляют собой основу для развития оперативного экологического мониторинга с использованием спутниковых данных. Предложенная методология является универсальной и может быть применена для других акваторий Российской Федерации в контексте создания глобальной системы оперативного мониторинга состояния водных экосистем на основе данных ДЗЗ.

## КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЛУБОКОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БЕРИНГОВА МОРЯ (ПО МАТЕРИАЛАМ ЭКСПЕДИЦИИ 2018 Г.)

В. В. Мордухович<sup>1,2</sup>, А. В. Адрианов<sup>1,2</sup>, С. В. Галкин<sup>3</sup>, В. А. Денисов<sup>1</sup>, В. В. Ивин<sup>1,4</sup>, Е. М. Крылова<sup>3</sup>, А. Н. Малютин<sup>1</sup>, П. Е. Михайлик<sup>5</sup>, Н. С. Полоник<sup>6</sup>, Н. П. Санамян<sup>7</sup>, В. А. Шилов<sup>1</sup>, Т. Н. Даутова<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Национальный научный центр морской биологии имени А. В. Жирмунского ДВО РАН

<sup>2</sup>Дальневосточный федеральный университет

<sup>3</sup>Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН

<sup>4</sup>Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства имени Л. С. Берга

<sup>5</sup>Дальневосточный геологический институт ДВО РАН

<sup>6</sup>Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН

<sup>7</sup>Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН

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

---

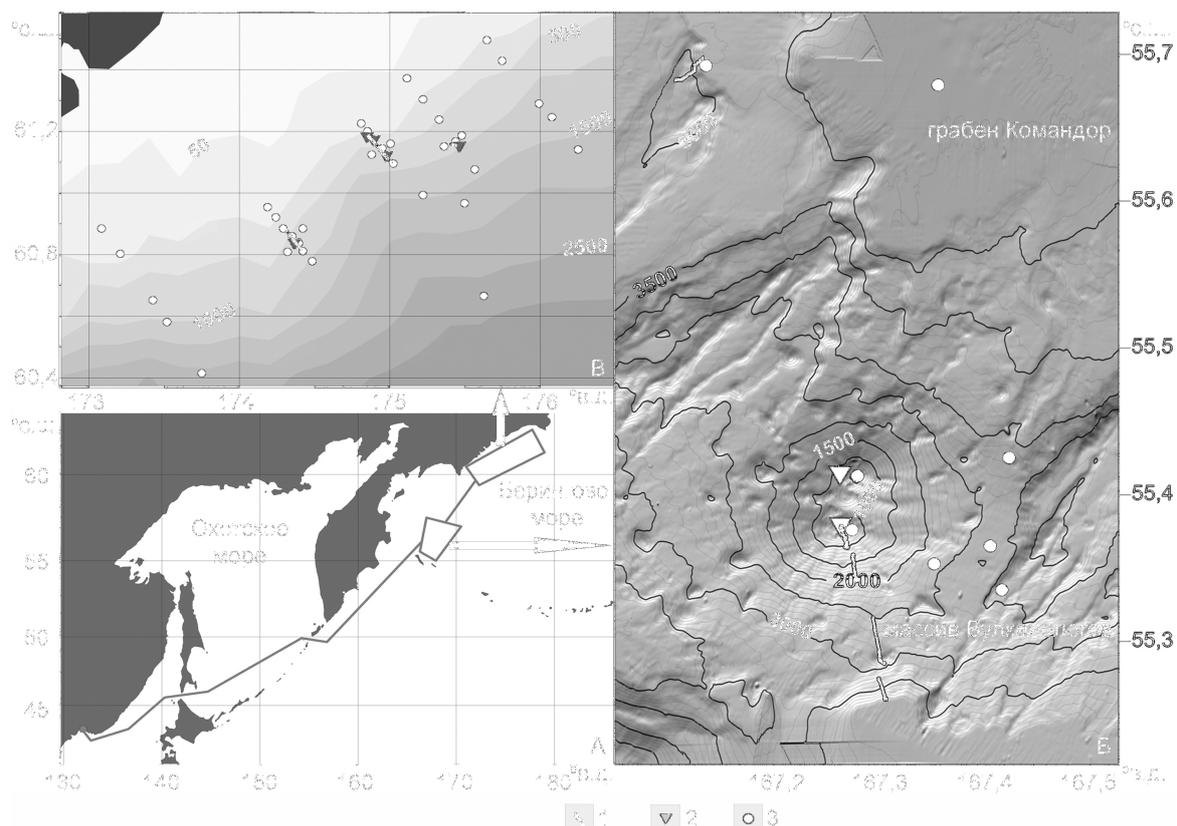
С момента открытия глубоководных экосистем гидротермальных выходов и холодных высачиваний (сипов) в 1976 и 1983 гг. соответственно [5, 7] активно ведется их изучение на различных акваториях Мирового океана. В настоящее время показано, что гидротермы и сипы довольно широко распространены. Их исследование позволяет расширить представления о формировании, составе, структуре, особенностях функционирования морских экосистем, в частности в экстремальных условиях обитания. Районы гидротермальных выходов и холодных высачиваний представляют значительный интерес и с точки зрения добычи полезных ископаемых. В российских территориальных водах глубоководная гидротермальная активность обнаружена в Беринговом море [1, 4]. Кроме того, здесь же найдены представители фауны, характерной для холодных высачиваний [3].

Комплексному исследованию этих экосистем была посвящена экспедиция 82-го рейса НИС «Академик М. А. Лаврентьев», организованная Национальным научным центром морской биологии ДВО РАН имени А. В. Жирмунского. Экспедиция проходила с 2 июня по 16 июля 2018 г. и являлась продолжением работ, проведенных ННЦМБ ДВО РАН в Беринговом море в 2016 г. [2].

Экспедиционные исследования были направлены на решение таких ключевых задач, как:

- локализация гидротермальных выходов и холодных высачиваний в Беринговом море, определение их типов и структурных планов, изучение геологических условий и геохимических процессов в районах гидротерм и сипов, анализ физико-химических параметров донных осадков, флюидов, водной толщи;
- определение состава, структуры и особенностей распределения макро- и мейобентоса, картирование основных биогеоценологических комплексов, исследование разнообразия фито-, зоо- и бактериопланктона, изучение трофических связей и пищевых стратегий массовых видов гидробионтов, оценка вклада хемосинтеза и метанотрофии в общий баланс органического вещества с использованием биомаркерного анализа, отбор гидробионтов для скрининговых исследований биоактивных веществ из глубоководных организмов на противоопухолевую активность;
- проведение радиохемозекологического мониторинга вдоль пути следования судна.

Всего в ходе экспедиции на двух полигонах осуществлено 21 погружение телеуправляемого необитаемого подводного аппарата (ТНПА) «Команч-18» в диапазоне глубин от 356 до 3931 м (рис. 1, 2) Во время погружений выполнено 128 станций для отбора бентосных организмов и донных осадков, 7 станций для отбора воды. Получено 4735 фотографий и более 32 часов видеозаписей глубоководных экосистем, подготовлено более 500 единиц хранения представителей макрофауны, приготовлены экстракты из 148 проб глубоководных гидробионтов для высокопроизводительного скрининга специфической противоопухолевой активности, отобрано 118 проб мейобентоса.

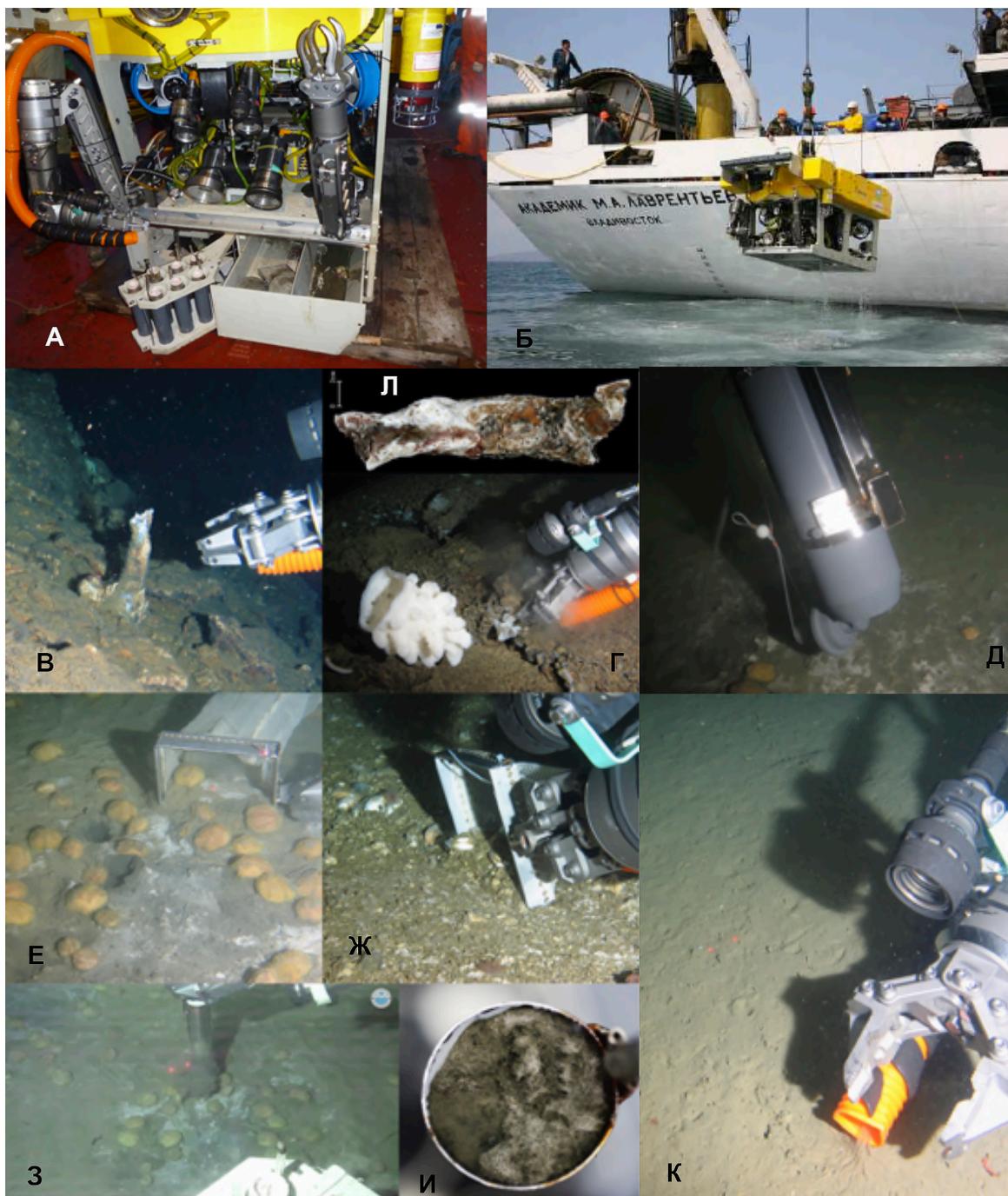


**Рис. 1.** Карта-схема маршрута экспедиции (А), погружений ТНПА «Команч» и станций отбора проб воды на полигоне 1 (Б) и на полигоне 2 (В). 1 — треки погружений; 2 — станции отбора воды с помощью ТНПА; 3 — станции отбора воды с помощью комплекса батометрической кассеты и CTD-зонда

В рамках программы по изучению планктонных сообществ северных окраинных морей России выполнены: 12 станций для отбора проб зоопланктона, 21 станция для отбора проб фитопланктона, 28 станций для отбора микропланктона.

С целью изучения особенностей состава вод в районах разгрузки глубоководных гидротерм и холодных высачиваний выполнена 51 станция для отбора воды в различных горизонтах глубин. Отобраны: 321 проба для установления содержания метана и 434 пробы на определение гидрогеохимических параметров морской воды.

Для проведения радиохемозекологического мониторинга акваторий дальневосточных морей РФ проведены отборы 55 проб воды и 15 проб донных осадков для дальнейшего определения содержания изотопов  $^{239,240}\text{Pu}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ .



**Рис. 2.** Отбор материалов с использованием ТНПА «Команч». А — ТНПА «Команч»; Б — спуск ТНПА «Команч»; В — отбор манипулятором гидротермальной постройки; Г — отбор манипулятором губки; Д — отбор придонной воды; Е — отбор сачком гидробионтов и донных осадков; Ж — отбор сачком гидробионтов; З — отбор донных осадков трубкой; И — бактериальные маты в верхнем слое трубки; К — отбор гидробионтов насосом; Л — неповрежденная гидротермальная постройка

Продолжение экспедиционных исследований 2016 г. в районе массива Вулканологов (Полигон 1) позволило изучить геологическую зональность и распределение донной фауны на южном и северном склонах вулкана Пийпа вдоль батиметрического градиента в диапазоне глубин 475–3931 м. Показаны общие закономерности вертикальной зональности фауны, к характерным особенностям которых можно отнести скопления бентопелагических Trachimedusae на глубинах около 2600 м (рис. 3a) и кишечнодышащих — на глубинах около 1900 м (рис. 3b), а также развитие богатой фауны губчатого рифа на глубинах 1010–760 м (рис. 3c). В районах гидротермальных проявлений вулкана Пийпа впервые на обеих вершинах проведены измерения температуры флюидов в местах их выходов (рис. 4a, 4b). На Северной вершине максимальное зарегистрированное значение температуры составило 132,79 °С, на Южной — 10,59 °С. Фоновая температура морской воды на обеих вершинах варьировала от 3,54 до 3,71 °С.

Наибольшие концентрации метана в воде (387–2364 нл·л<sup>-1</sup>) в районе массива Вулканологов зафиксированы на станциях, выполненных над вершинами вулкана, с максимальными значениями в придонном слое над Северной вершиной. На остальных станциях концентрации метана не превышали фоновых значений, характерных для этого района работ (43–118 нл·л<sup>-1</sup>).

Как уже отмечалось, в Беринговом море выявлена фауна холодных высачиваний [3]. В районе Корякского континентального склона (на глубинах от 360 до 475 м, от м. Олюторского до м. Наварин) в приловах тралений обнаружены свежие створки двустворчатых хемосимбиотрофных моллюсков плиокардиин (*Vesicomysidae*) и солемиид. Эти обстоятельства дали основания предположить наличие в пределах акватории Полигона 2 метановых высачиваний и характерных «сиповых» сообществ.

В результате исследований на всех станциях Полигона 2, выполненных на глубинах от 126 до 1509 м, отмечено превышение средних концентраций метана по сравнению с фоновыми величинами, составляющими 46–113 нл·л<sup>-1</sup>. По предварительным данным, основные места газовой разгрузки в изученной акватории Берингова моря располагаются на глубинах от 332 до 708 м.

Вертикальное распределение макрофауны на Корякском склоне исследовано на участке длиной 68,5 км на трех разрезах в диапазоне глубин от 906 до 356 м. Обнаруженные на Корякском склоне поля холодных высачиваний располагались на разных глубинах, что, вероятно, в определенной степени обуславливает их специфику, и различались по своим проявлениям. Всего обследовано пять более или менее обособленных сиповых полей: самое глубоководное на глубине 693 м на пятом разрезе, на глубинах около 660 м на третьем и четвертом разрезах, на глубинах 428 м и 400 м на четвертом разрезе.

В целом выявленные сообщества можно разделить на три типа:

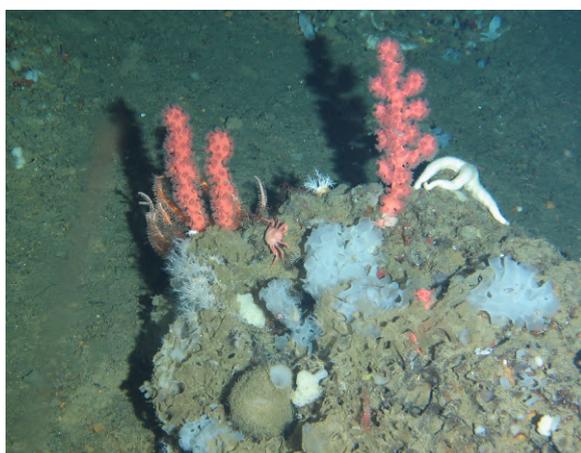
1. Сообщества первого типа встречены на глубинах 695–647 м в окружении фонового сообщества *Ophiuroidea* + *Macrura Natantia* (рис. 5a). Характеризуются развитием многочисленных поселений симбиотрофных двустворок плиокардиин *Calyplogena pacifica* (рис. 5b). Количество и разнообразие фауны в зонах таких высачиваний по сравнению с таковыми фона резко увеличивается. Частично подобная тенденция обусловлена особенностями субстрата, а именно присутствием значительного количества карбонатных образований и материала ледового разноса (рис. 5c, 5d). Карбонатные образования в местах холодной газовой-флюидальной разгрузки имеют самую разнообразную форму от трубок до корок, характеризующихся значительным площадным распространением. В целом с увеличением высоты локальных поднятий рельефа дна наблюдается более интенсивное развитие карбонатной минерализации, вплоть до формирования карбонатных построек причудливой формы, достигающих 1 м в высоту и названных «карбонатными холмами» (рис. 6a). Такие постройки вытянутой формы зафиксированы на пятом разрезе полигона, где протяженность занятой ими площади в юго-западном направлении составляет около 100 м.



(a) Актиния Hormoathiidae, голотурия Synallactidae и бентопелагические Trachimedusae. Южный склон, глубина около 2600 м



(b) Enteropneusta. Южный склон, глубина около 1950 м



(c) Развитие богатого фауной губочного рифа. Южный склон, глубина 950 м

**Рис. 3.** Донная фауна на склонах вулкана Пийпа



(a) Северная вершина

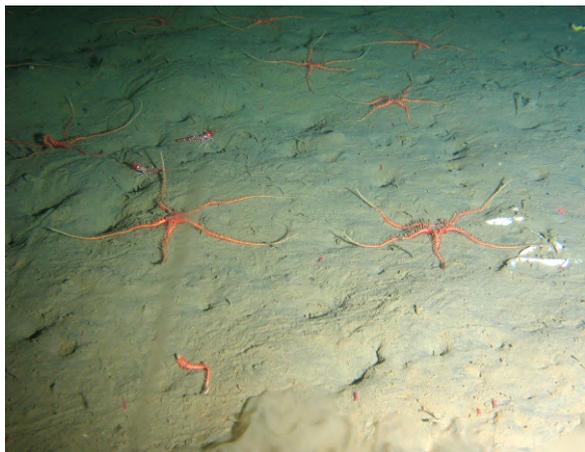


(b) Южная вершина

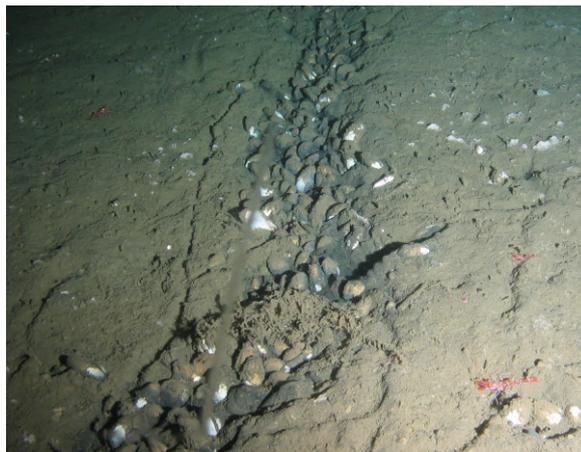
**Рис. 4.** Гидротермальные постройки на вершинах вулкана Пийпа

2. Сообщества второго типа встречены на глубинах 429–417 м в пределах фонового сообщества *Protoptilum* / *Asteronyx* + *Brisaster latifrons* (рис. 6b). Из специализированных форм в небольшом количестве представлена *S. pacifica*. Численность и разнообразие фауны в районе высачиваний по сравнению с таковыми фона несколько увеличивается; здесь, в частности, отмечены виды актиний, не встреченные ранее. Плотность доминирующего вида — морских ежей *Brisaster latifrons* — на участках локальных сипов заметно увеличивается по сравнению с таковой окружающего пространства, в то время как морские перья явно избегают мест высачиваний (рис. 6c).
3. Сообщества третьего типа отмечены на глубинах 400–402 м в пределах сообщества с доминированием актиний *Sagartiidae* gen. sp. Многочисленные и обширные высачивания, размерами часто более 1 м, маркируются развитыми бактериальными матами (рис. 6d). Анализ фотографий свидетельствует о присутствии редких калиптоген на периферии сипов. Видимой реакции макрофауны на такие сипы не наблюдается.

Открытие донных сообществ, ассоциированных с углеводородными высачиваниями, на склоне Чукотки — один из важнейших результатов рейса. Существование специфических сообществ на Чукотском склоне ранее предполагали на основе находок облигатных симбиотрофных двустворчатых моллюсков *Pliocardiinae* (*Vesicomysidae*) [3, 6]. Обнаруженные и исследованные в рейсе углеводородные высачивания на горизонте глубин от 400 до 700 м представляют собой новый район восстановительных биотопов в масштабе Мирового океана. Сообщества сипов Корякского склона являются самыми северными в мире современными восстановительными сообществами, в которых встречены двустворчатые моллюски пλιοкардиины. В бассейне Тихого океана это самое северное сообщество, основанное на хемосинтезе, из известных к настоящему времени.



(a) Фоновое сообщество *Ophiuroidea* + *Mesocera* *Natantia*. Глубина около 670 м



(b) Поселение везикомиид *Calymene pacifica* на глубине 658 м, слева видна крупная раковина *Phreagena* sp.



(c) Использование карбонатных корок как субстрата. Глубина около 670 м



(d) Использование материалов ледового разброса как субстрата. Глубина около 670 м

**Рис. 5.** Макрофауна Корякского склона



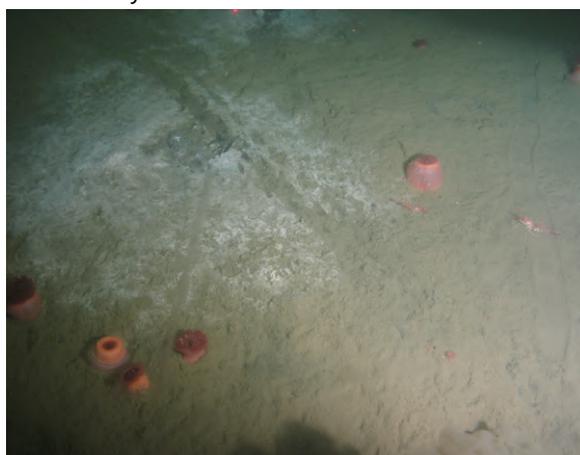
(a) Крабы *Chionoecetes angulatus* на карбонатных корках. Глубина 660 м



(b) Сообщества *Protoptilum* / *Asteronyx* + *Brisaster latifrons*. Глубина 430 м



(c) Морские ежи *Brisaster latifrons* среди бактериальных матов в сипе. Глубина около 430 м



(d) Сообщество с доминированием актиний *Sagartiogeton* cf. *californicus* и бактериальные маты в районе метанового высачивания. Глубина около 400 м

**Рис. 6.** Макрофауна Корякского склона

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Богданова О. Ю., Горшков А. И., Баранов Б. В. и др. Гидротермальные образования подводного вулкана Пийпа (Командорская котловина) // Вулканология и сейсмология. 1989. № 3. С. 49–62.
- [2] Галкин С. В., Ивин В. В. Биологические исследования в Беринговом море с использованием телеуправляемого аппарата «Команч» // Океанология. 2019. Т. 59, № 1. С. 170–172. <https://doi.org/10.31857/S0030-1574591170-172>
- [3] Данилин Д. Д. Двустворчатые моллюски как потенциальные индикаторы районов гидротермальной активности // Вулканизм и связанные с ним процессы: традиц. регион. Науч. конф., посвящ. Дню вулканолога, Петропавловск-Камчатский, 28-29 марта 2013 г. Петропавловск-Камчатский : ИВиС ДВО РАН, 2013. С. 291–294.
- [4] Сагалевич А. М., Торохов П. В., Галкин С. В., Москалев Л. И., Матвеевков В. В. Гидротермальные проявления подводного вулкана Пийпа (Берингово море) // Известия РАН. Сер. Геолог. 1992. № 9. С. 104–114.
- [5] Corliss J. B., Dymond J., Gordon L. I., Edmond J. M., von Herzen R. P. et al. Submarine Thermal Springs on the Galápagos Rift // Science. 1979. Vol. 203, iss. 4385. P. 1073–1083. <https://doi.org/10.1126/science.203.4385.1073>
- [6] Krylova E. M., Kolpakov E. V., Sharina S. N. et al. Distribution patterns of chemosymbiotic bivalves of the subfamily Pliocardiinae (Bivalvia: Vesicomidae) from the North-West Pacific // 15<sup>th</sup> International Deep-Sea Biological Symposium. Monterey (USA), 2018. P. 32–33.
- [7] Paull C. K., Hecker B., Commeau R., Freeman-Lynde R. P., Neumann C. et al. Biological communities at the Florida Escarpment resemble hydrothermal vent taxa // Science. 1984. Vol. 226, iss. 4677. P. 965–967. <https://doi.org/10.1126/science.226.4677.965>

## ОТЧЕТ О ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТАХ В 46-М РЕЙСЕ НИС «АКАДЕМИК СЕРГЕЙ ВАВИЛОВ» (28 СЕНТЯБРЯ — 2 НОЯБРЯ 2018 Г.)

Е. Г. Морозов

Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН

[egmorozov@mail.ru](mailto:egmorozov@mail.ru)

---

Представлены гидрофизические работы в 46-м рейсе НИС «Академик Сергей Вавилов» в октябре 2018 г. Сделано 23 станции зондирования зонтами температуры и солёности совместно с профилографом течений (CTD/LADCP). Велась непрерывная работа бортового профилографа sADCP и эхолота. Выполнено пересечение течения Гольфстрим и ринга Гольфстрима с профилированием скорости течения бортовым профилографом. По данным профилографа, скорости достигают  $218 \text{ см}\cdot\text{с}^{-1}$ . Направление течения — на восток. Результаты соответствуют данным спутниковой карты динамической топографии AVISO. Исследованы разломы Долдрамс и Вернадского Северо-Атлантического хребта. Станции зондирования выполнены в ранее не обследованных частях разломов. Обнаружены более холодные придонные воды, чем это ожидалось. Выполнено пересечение экваториального противотечения Ломоносова с профилированием скорости течения бортовым профилографом. Скорости течения в его ядре течения достигали  $120 \text{ см}\cdot\text{с}^{-1}$  (восточная компонента). Исследованы пути вытекания Антарктической донной воды из канала Вима. Обнаружены малые каналы разветвления течения. Максимальная глубина малых каналов достигает 200 м на фоне плато глубиной 4600–4700 м. В малых каналах обнаружены высокие скорости течения — до  $35 \text{ см}\cdot\text{с}^{-1}$  при толщине струи около 100 м и градиенте температуры до  $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$  на 50 м, что сопоставимо с вертикальными градиентами температуры в сезонном термоклине. Малые каналы вытекания донной воды в Бразильскую котловину не были ранее никем изучены; не были картированы. Выполнен стандартный разрез CTD/LADCP через канал Вима по  $31^\circ$  ю. ш. Это наше 9-е посещение района из 24 посещений района учеными разных стран. Таким образом, продолжается многолетний ряд наблюдений на международном полигоне. При выполнении разреза скорости течения не превышали  $30 \text{ см}\cdot\text{с}^{-1}$ , что является наименьшим из ранее измеренных сечений в канале на стандартном разрезе. Выполнено пересечение Фолклендского течения с профилированием скорости течения бортовым профилографом. Скорости в струе достигают  $40 \text{ см}\cdot\text{с}^{-1}$ .

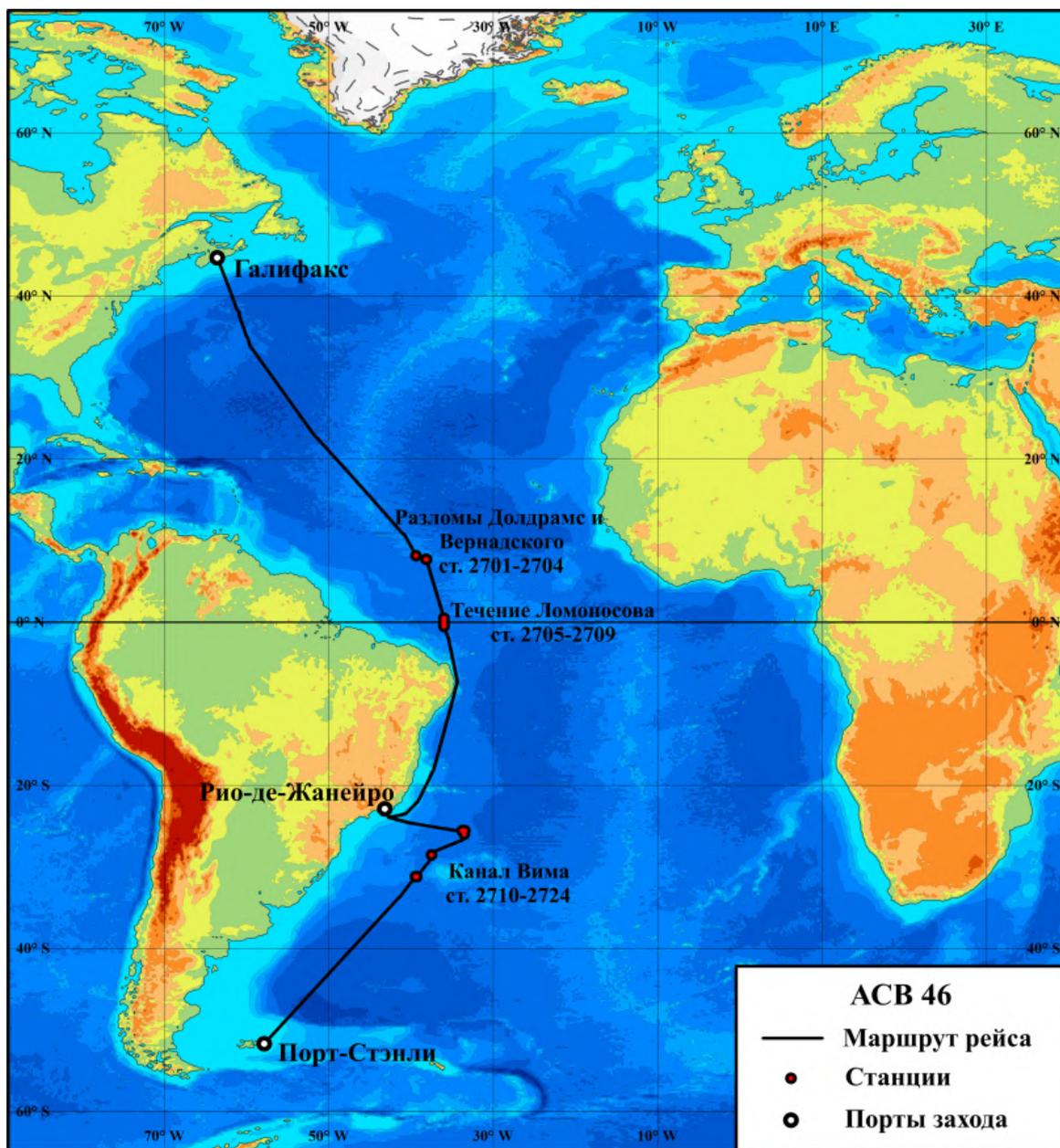


Рис. 1. Маршрут рейса

## **ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ В 38-М РЕЙСЕ НИС «АКАДЕМИК НИКОЛАЙ СТРАХОВ» В АВГУСТЕ — СЕНТЯБРЕ 2018 Г.**

**С. Л. Никифоров**

**Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН**

[nikiforov@ocean.ru](mailto:nikiforov@ocean.ru)

---

В августе — сентябре 2018 г. проведена комплексная морская экспедиция в Баренцево море — 38-й рейс НИС «Академик Николай Страхов» (нач. экспедиции — д. г. н. Никифоров С. Л., ИО РАН). Главным организатором работ являлось Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН (ИО РАН). В экспедиционных исследованиях также участвовали сотрудники ФГБУН Геологический институт Российской академии наук, Геологического института — обособленного подразделения ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук», Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова. Общее количество участников экспедиции — 22, из них из ИО РАН — 16 человек.

Начало экспедиции — 4 августа, порт Калининград, окончание — 10 сентября, там же. Общая продолжительность — 38 суток.

Основным районом работ являлась юго-восточная часть Баренцева моря (Печорское море), где проведены исследования на 9 полигонах, между которыми выполнены попутные геофизические работы по профилям. Кроме того, выполнены морские исследования в юго-западной части Баренцева моря, севернее полуострова Рыбачий. Общий объем выполненных геофизических профилей составил более 7500 морских миль. За период экспедиции выполнено 45 станций комплексных исследований. Установлены 4 донные сейсмические станции сроком на 1 год.

### **Основные результаты**

В Печорском море выявлены моренные отложения, выраженные в рельефе дна отдельными грядами. Наличие этих отложений доказывает то, что в позневалдайскую ледниковую эпоху здесь частично существовало покровное оледенение, в то время как остальная часть Печорского бассейна представляла собой низменную сушу с криоаридным субаэральным ландшафтом. Полученные данные могут быть использованы для решения одной из актуальных фундаментальных задач четвертичной геологии, геоморфологии и палеогеографии — уточнения границ распространения покровных оледенений на шельфе западной Арктики.

Исследования подтвердили широкое распространение современных опасных природных процессов в данном регионе. В восточной части Печорского моря были обнаружены положительные формы рельефа овальной формы — пингоподобные структуры большого размера. Их относительная высота над поверхностью дна — около 15–20 м, диаметр — около 10 метров. Вероятно, эти формы рельефа представляют собой реликты древней криозоны, которая в настоящее время испытывает деградацию. Исследования показывают наличие газовых скоплений в верхней части разреза, дислокации плотных глинистых отложений и прорывов флюида в водную толщу. Продолжающиеся в настоящее время изменения природных обстановок могут представлять собой потенциальные природные риски.

В нижней части склона Новоземельского желоба (юго-западная часть Печорского моря), а также на полигоне вблизи полуострова Рыбачий обнаружены многочисленные кратеры газовых воронок (покмарков) на ряде участков с газовыми факелами в водной толще.

На склоне п-ва Рыбачий на глубинах 125–205 м выявлены многочисленные борозды ледового выпахивания. Ширина борозд достигала 170 м при глубине вреза до 7 м. Данные формы рельефа не являются современными. Их формирование связано с деградацией древнего позднечетвертичного ледового покрова большой мощности. Подтверждается положение о существовании нескольких центров, не связанных между собой, валдайского покровного оледенения, в том числе на Кольском полуострове и в Скандинавии. Преобладающая ориентировка этих борозд позволяет установить основные тренды движения древних айсбергов.

---

Работы проводились в рамках тем государственных заданий отдела геоморфологии, геофизики и биогеохимии (№ 0149-2018-0005) и отдела геодинамики, геоэкологии (№ 0149-2018-0015), а также Программы Президиума РАН I.49 (тема № 0135-2018-0044), гранта РФФИ № 18-05-70040 и с частичным финансированием по гранту РФФИ № 14-50-00095. Планируется опубликование основных результатов исследований в открытых научных изданиях.

## ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ АРКТИКЕ В 71-М РЕЙСЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СУДНА «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»

А. Н. Новигатский\*, С. В. Гладышев, А. А. Клювиткин, Н. В. Козина, В. А. Артемьев, А. И. Коченкова

Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН

\*[novigatsky@ocean.ru](mailto:novigatsky@ocean.ru)

---

### Основные научные цели геологической части 71-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш»

Геологическая часть экспедиции направлена на изучение седиментосистемы Северной Атлантики и Арктики в соответствии со сводным Планом морских экспедиций на научно-исследовательских судах, утвержденном Советом по гидросфере Земли Минобрнауки России (рис. 1).

#### Ключевые цели:

- исследование процессов формирования седиментосистемы Северной Атлантики и Арктики [рассеянное осадочное вещество приводного слоя атмосферы и водной толщи — верхний слой осадка — подстилающая толща донных отложений; количественная оценка процессов и потоков (качественно новый этап в исследовании среды и климата Арктики)];
- получение новых данных о пространственном распределении и вертикальной структуре биооптических характеристик Балтийского, Норвежского, Гренландского и Баренцева морей; анализ их межгодовой изменчивости в зависимости от океанологических и гидрометеорологических условий;
- развитие и усовершенствование комплексного подхода к исследованию морей, сочетающего контактные судовые измерения и спутниковые наблюдения с использованием региональных алгоритмов обработки спутниковых данных, учитывающих региональные особенности этих морей;
- оценка степени загрязнения экосистемы морей антропогенными углеводородами по данным изучения органических соединений донных осадков.

### Предварительные научные результаты и выводы после проведения геологической части 71-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш»

#### Аэрозольные исследования

Проведенные исследования подтверждают низкие значения сажевого углерода в фоновых районах Арктики [1–3]. Высокие концентрации характерны для локальных областей Северного и Балтийского морей в районах добычи углеводородного сырья: локальные максимумы фиксируются в фоновых районах моря Лабрадор, что связано с лесными пожарами в Канаде.

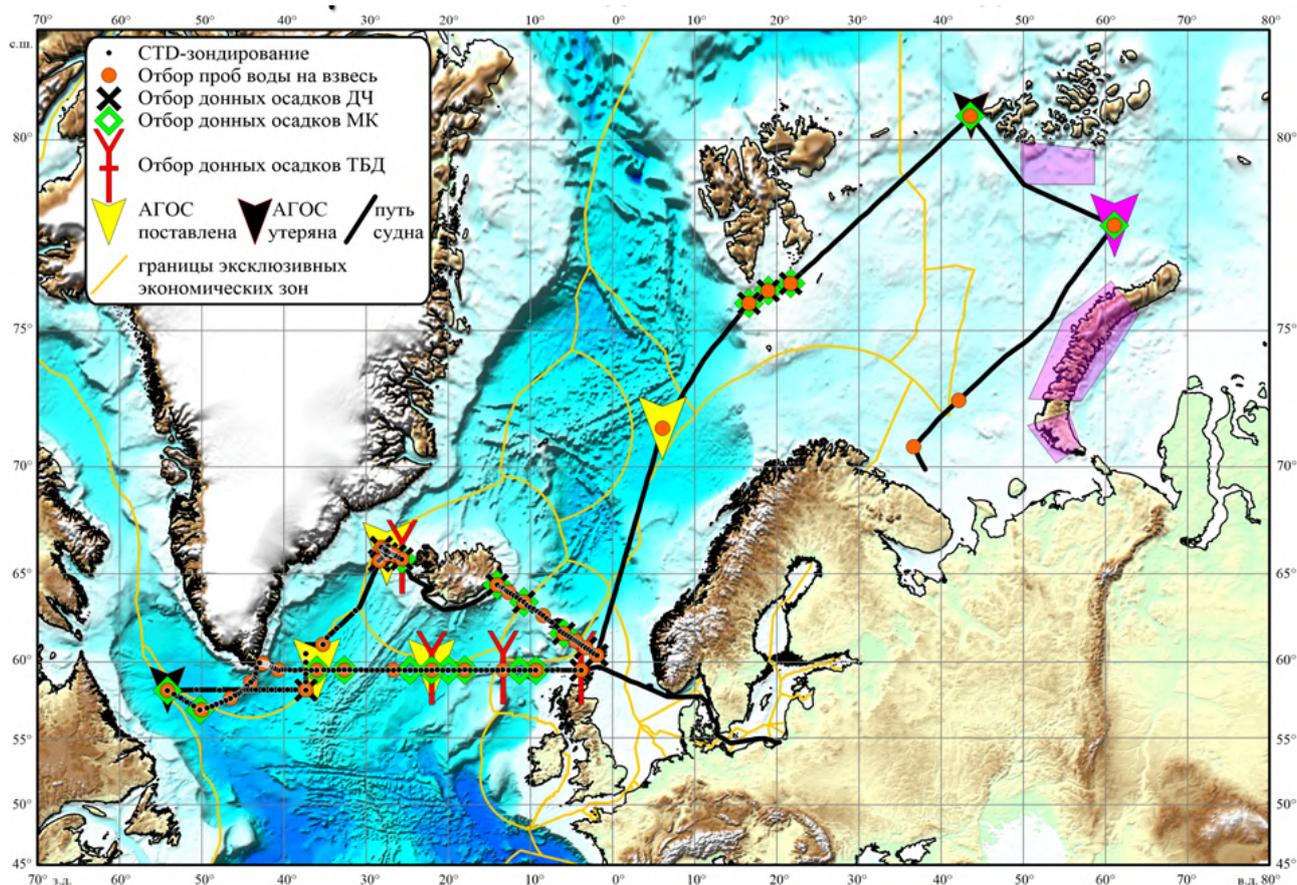


Рис. 1. Маршрут судна и выполненные работы в 71-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш»

#### Взвесь и оптические свойства водной толщи

Отчетливо выделяются области цветения кокколидофоридного фитопланктона в южной и юго-западной части Баренцева моря (границей цветения принято считать концентрацию клеток кокколидофид  $N_{coc} \geq 1$  млн кл·л<sup>-1</sup>). Анализ результатов измерений показателя ослабления света морской водой на разных горизонтах позволил установить, что толщина слоя цветения составляет  $\approx 20$  м. Это совпадает с данными предыдущего, 68-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» [4], где соответствующие значения изменялись в пределах 20–25 м.

#### Данные автоматических глубоководных седиментационных обсерваторий (АГОС)

В течение рейса подняты три АГОС с материалом хорошей сохранности, поставленные в 67-м и 68-м рейсах НИС «Академик Мстислав Келдыш» [4, 5]. Получена сезонная изменчивость вертикальных потоков осадочного вещества по результатам работы АГОС в Северной Атлантике:

- 1) под деятельным слоем годовой ход потоков определяется изменчивостью жизненной активности фитопланктона — основного продуцента рассеянного осадочного вещества в поверхностном слое океана, что подтверждается спутниковыми данными концентрации хлорофилла;
- 2) в придонном слое поток вещества определяется изменчивостью придонного нефелоидного слоя под воздействием течений.

Кроме того, по данным АГОС в Баренцевом море, в течение года максимальные потоки в глубоководной части Восточно-Баренцевоморской впадины были зафиксированы в июне — в период освобождения акватории от льда и активного цветения фитопланктона. Минимальные значения потоков приходились на позднесенний период: октябрь и ноябрь. Обращают на себя внимание высокие значения потоков осадочного вещества в зимний сезон (декабрь — январь), именно в этот период фиксируются максимальные значения течений ( $12 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ ) в юго-западном направлении. Это связано с зимним формированием морского льда и движением более соленых (плотных) вод по понижениям в рельефе дна.

В течение 71-го рейса поставлены три АГОС с годовой экспозицией и дорогостоящим оборудованием. Подъем, согласно сводному Плану морских экспедиций на научно-исследовательских судах Минобрнауки России, утвержденному Советом по гидросфере Земли Минобрнауки России, намечен на 2019 г.

#### *Исследования длинных кернов донных осадков*

Экспресс-анализы (литолого-геохимические) и микропалеонтологические исследования керна донных осадков, отобранного в Датском проливе, показали, что верхние 43,5 см по комплексу планктонных и бентосных фораминифер представлены голоценовыми отложениями с преобладанием карбонатного биогенного материала (рис. 2). На 43,5 см наблюдается резкая граница увеличения минеральных частиц ледового и айсбергового разноса до 80 %; предположительно, с этого горизонта начинаются ледниковые отложения с содержанием терригенного материала до 99 %. Терригенный материал представлен кварцем, обломками вулканических пород, вулканическим стеклом, в большом количестве присутствуют пироксены и оливин, рудных минералов — до 15 %. В осадках ледниковых отложений встречается аутигенный пирит (до 5 %). В ледниковой части колонки встречается более крупный доминирующий вид диатомовых водорослей. В голоценовых осадках (до 43,5 см) содержание карбоната кальция велико и достигает 50 %. Вниз по разрезу (в ледниковых отложениях) концентрация карбоната кальция уменьшается и составляет несколько процентов. Магнитная восприимчивость осадка в голоценовых отложениях (до 43,5 см) на порядок ниже, чем в ледниковых отложениях, где наблюдается преобладание терригенного материала. Eh измерения показали, что весь осадок — восстановленный (рис. 2).

#### **Предварительные выводы**

Выделены две области с минимальной прозрачностью атмосферы и высокой долей содержания микрористаллического углерода (сажи, пепла): а) северная часть Северного моря, где идет интенсивная добыча углеводородного сырья; б) центральная часть моря Лабрадор (фоновый район) характеризующаяся переносом продуктов горения лесов центральной части Канады в Арктический регион.

Из года в год отчетливо выделяются области цветения кокколидофоридного фитопланктона в юго-западной, южной и юго-восточной части Баренцева моря. Толщина слоя цветения составляет 20–25 м.

В Датском проливе по материалам исследования донных осадков выявлена резкая смена климатических условий, произошедшая порядка 7 тысяч лет назад (окончательно растаяли паковые льды во круг Исландии, датировки уточняются). Установилась близкая к современной система циркуляции вод, терригенный кремниевый тип осадконакопления сменился на преимущественно карбонатный.

Работы выполнены за счет средств:

- 1) гранта РФ № 14-27-00114-П «Седименто-биогеохимические исследования морей европейской части России (рассеянное осадочное вещество, донные осадки, диагенез). Взаимодействие геосфер, потоки вещества и энергии» (руководитель — академик А. П. Лисицын);
- 2) гранта РФ № 14-50-00095 «Мировой океан в XXI веке: климат, экосистемы, ресурсы, катастрофы» (руководитель – академик РАН Р. И. Нигматулин): а) направление «Взаимодействие геосфер и минеральные ресурсы Мирового океана» (руководитель — академик РАН А. П. Лисицын); б) направление «Взаимодействие физических, биологических и геологических процессов в береговой зоне, прибрежных акваториях и внутренних морях» (руководитель — чл.-корр. РАН П. О. Завьялов);
- 3) гранта РФ № 16-47-02009 (руководитель — к. б. н. С. А. Корсун);
- 4) программы Президиума РАН I.3П по теме № 0149-2018-0016;
- 5) программы Президиума РАН I.49 по теме № 0149-2018-0031.

Авторы выражают благодарность капитану и экипажу НИС «Академик Мстислав Келдыш», а также всем участникам экспедиции.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Shevchenko V. P., Kopeikin V. M., Evangeliou N., Lisitzin A. P., Novigatsky A. N., Starodymova D. P., Stohl A., Thompson R., Zakharova E. V. Atmospheric black carbon over the North Atlantic and Russian Arctic seas in summer–autumn time, 2015–2016 // Proceedings of the 3rd Pan-Eurasian Experiment (PEEX) Conference and the 7th PEEX Meeting / Lappalainen H. K., Haapanala P., Borisova A. et al. (Eds). Helsinki, 2017. P. 441–443. (Report Series in Aerosol Science ; no. 201).
- [2] Shevchenko V. P., Kopeikin V. M., Evangeliou N., Lisitzin A. P., Novigatsky A. N., Pankratova N. V., Starodymova D. P., Stohl A., Tompson R. Atmospheric black carbon over the North Atlantic and the Russian Arctic seas in summer – autumn time // Химия в интересах устойчивого развития. 2016. Т. 24, № 4. С. 441–446. <https://doi.org/10.15372/KhUR20160402>
- [3] Шевченко В. П., Копейкин В. М., Новигатский А. Н. Сжигание попутных газов как один из важных источников черного углерода в атмосфере Арктики и Субарктики // Актуальные проблемы освоения месторождений нефти и газа приарктических территорий России : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 27–28 сентября 2018 г., СФУ имени М. В. Ломоносова. Архангельск, 2018. С. 161–167.
- [4] Кравчишина М. Д., Гладышев С. В., Новигатский А. Н., Ключиткин А. А., Копелевич О. В., Лисицын А. П. Системные исследования в области взаимодействия Северного Ледовитого и Атлантического океанов в 68-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» // Экспедиционные исследования на научно-исследовательских судах ФАНО России и архипелаге Шпицберген в 2017 г. : По результатам отчетной сессии Федерального агентства научных организаций, Совета по гидросфере Земли. Севастополь : ФГБУН МГИ РАН, 2018. С. 249. [http://mhi-ras.ru/assets/files/Sbornik\\_FANO\\_2018.pdf](http://mhi-ras.ru/assets/files/Sbornik_FANO_2018.pdf).
- [5] Политова Н. В., Новигатский А. Н., Козина Н. В., Терпугова С. А. Мультидисциплинарные исследования в Баренцевом море в 67-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» // Океанология. 2018. Т. 58, № 3. С. 534–536. <https://doi.org/10.7868/S0030157418030188>;

### Процессы современного и древнего осадконакопления по материалам изучения донных осадков в Датском проливе

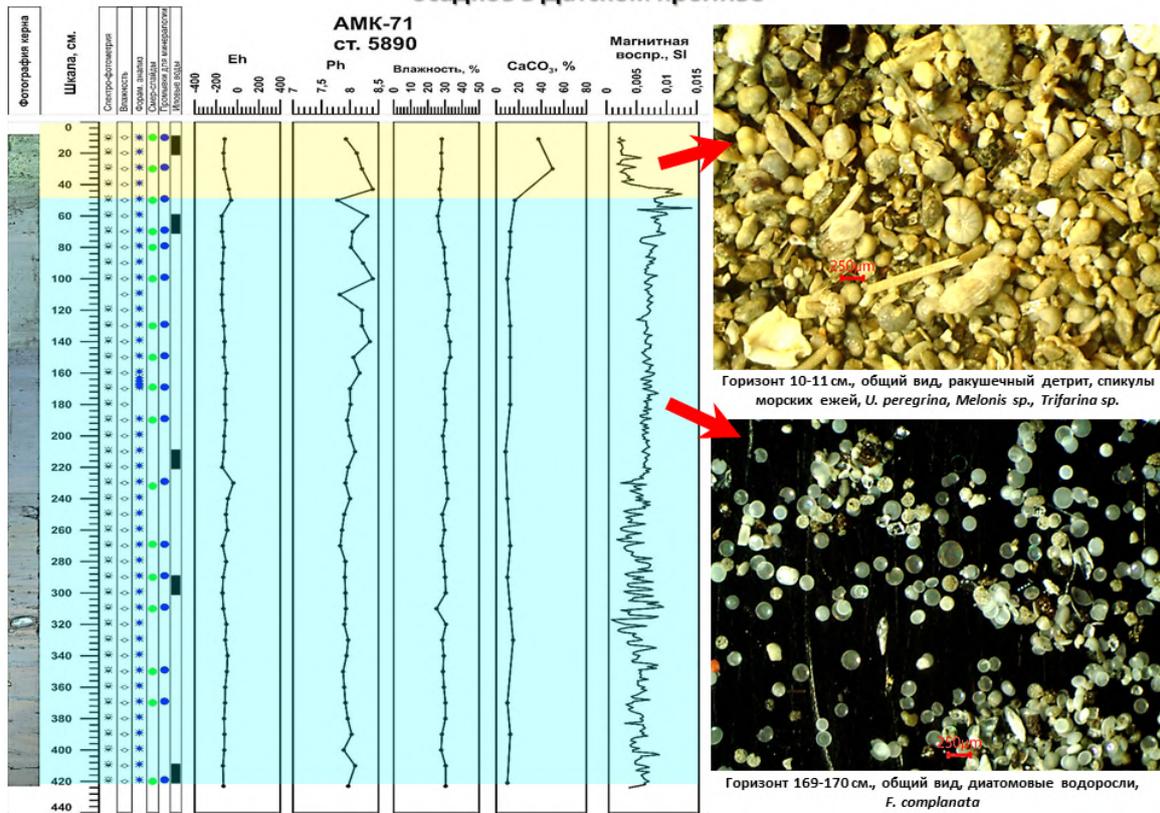


Рис. 2. Процессы современного и древнего осадконакопления по материалам изучения донных осадков в Датском проливе

## АННОТАЦИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЯПОНСКОМ МОРЕ В ЭКСПЕДИЦИИ НА НИС «АКАДЕМИК М. А. ЛАВРЕНТЬЕВ» (81-Й РЕЙС), 04–27 МАЯ 2018 Г.

А. И. Обжиров<sup>1\*</sup>, М. Г. Валитов<sup>1</sup>, Р. Б. Шакиров<sup>1</sup>, К. И. Аксентов<sup>1</sup>, А. В. Яцук<sup>1</sup>, Д. А. Швалов<sup>1</sup>,  
А. Л. Пономарева<sup>1</sup>, Е. Н. Марьина<sup>1</sup>, Л. Н. Василенко<sup>1</sup>, И. Б. Цой<sup>1</sup>, С. П. Плетнев<sup>1</sup>, О. В. Нестерова<sup>2</sup>,  
М. А. Бовсун<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Тихоокеанский океанологический институт имени В. И. Ильичева ДВО РАН

<sup>2</sup>Дальневосточный федеральный университет

[obzhirov@poi.dvo.ru](mailto:obzhirov@poi.dvo.ru)

---

### Район исследования

Объектом исследования являлись районы сочленения Центральной котловины с Татарским проливом (подводные возвышенности Алпатова и Витязь) и южная часть Татарского пролива — на траверзе пролива Лаперуза (рис. 1).

В процессе работы проводились батиметрическая и геофизические съемки (гидроакустическое зондирование, гравиметрические и магнитометрические измерения, непрерывное сейсмопрофилирование), гидрофизические и атмосферические измерения. На станциях производились: отбор проб осадков и воды, краткое литологическое описание осадков, извлечение газа из проб керна донных осадков, колонок воды, набортный газохроматографический анализ и микробиологические исследования.

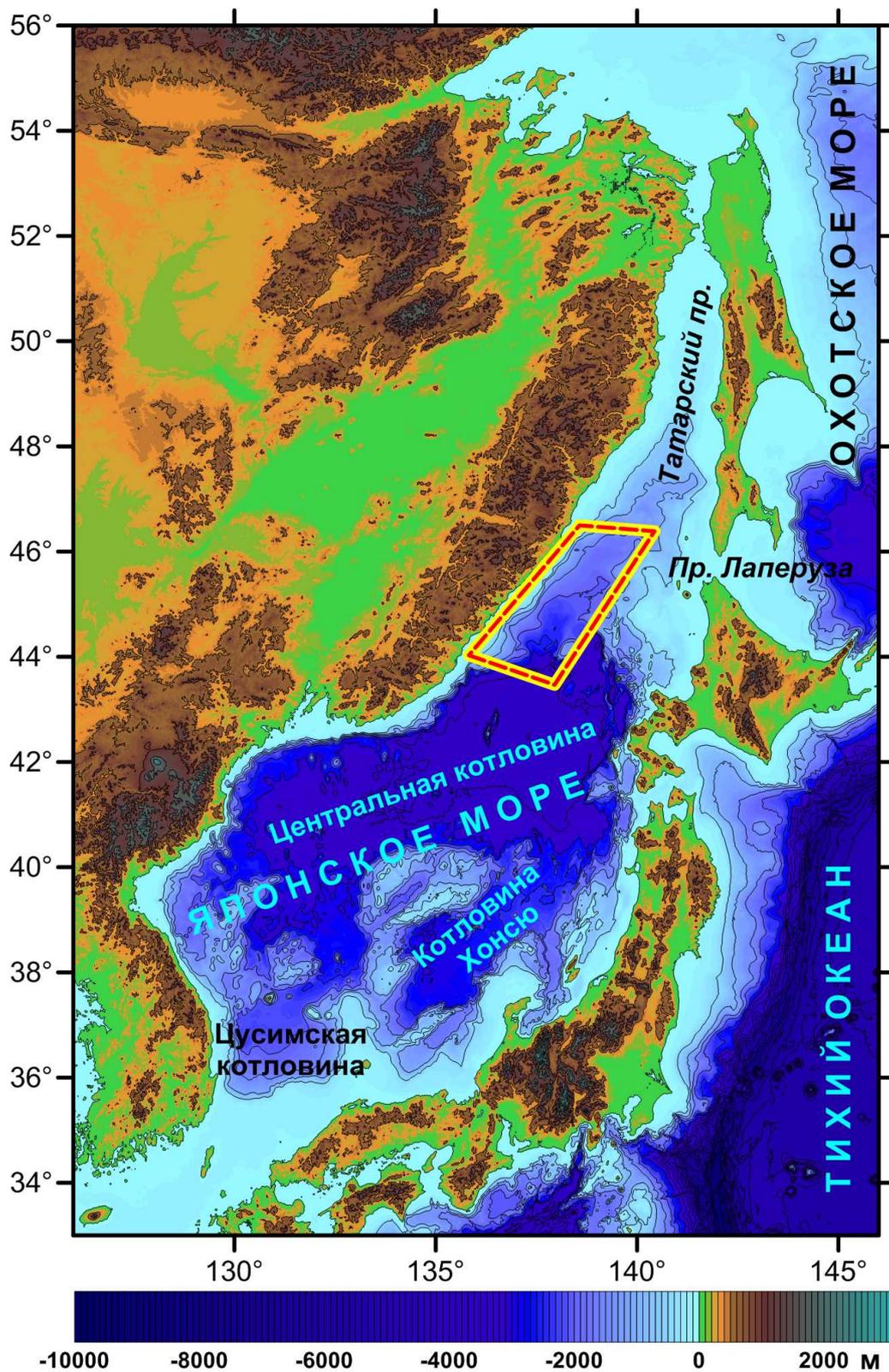
### Результаты исследований

Драгированием в районе гор Ольги и Алпатова, расположенных в северо-восточной части Японского моря, подняты обломки пород (рис. 2). Концентрации редких элементов (Cu, Pb, Zn, As, Mo и др.) в них меняются в пределах одного порядка и, по данным К. И. Аксентова, соответствуют таковым в современных осадках, поднятых в нашем рейсе прямоточными трубками вблизи горы Ольги. Химический состав изученных осадочных пород (в соответствии с модулем Страхова и Бострома) может быть отнесен к таковому металлоносных осадков. В осадках изучались радиолярии, диатомовые водоросли, силикофлагеллаты и планктонные фораминиферы. Исследования выполнены Л. Н. Василенко, И. Б. Цой и С. П. Плетневым. По заключению специалистов, осадки в основном сформированы в позднем миоцене (10–6 млн лет) в результате разрушения привершинных частей вулканической постройки.

### Диатомовый анализ

Выделенная из образца LV81-04 диатомовая флора характеризуется видовым разнообразием. Она включает 77 видовых и внутривидовых таксонов, принадлежащих 40 родам. Наибольшее количество видов содержат роды *Thalassiosira* (9 видов), *Aulacoseira* (5), *Euryxidicula* (5), *Chaetoceros* (4), *Denticulopsis* (4), *Thalassionema* (4), *Coscinodiscus* (3), *Shionodiscus* (3). Остальные роды включают 1–2 вида (рис. 3).

Эти виды, а также большинство других видов, выделенных из изученного образца, характерны для осадков позднемиоценового возраста, поэтому предполагается, что вмещающие отложения формировались в позднем миоцене (рис. 4).



**Рис. 1.** Обзорная схема района исследований 81-м рейсе НИС «Академик М. А. Лаврентьев», 04–27 мая 2018 г. (красным пунктиром показана граница района исследований)



**Рис. 2.** Каменный материал, поднятый на станции драгирования LV81-04 (гора Ольги, горы Алпатова)

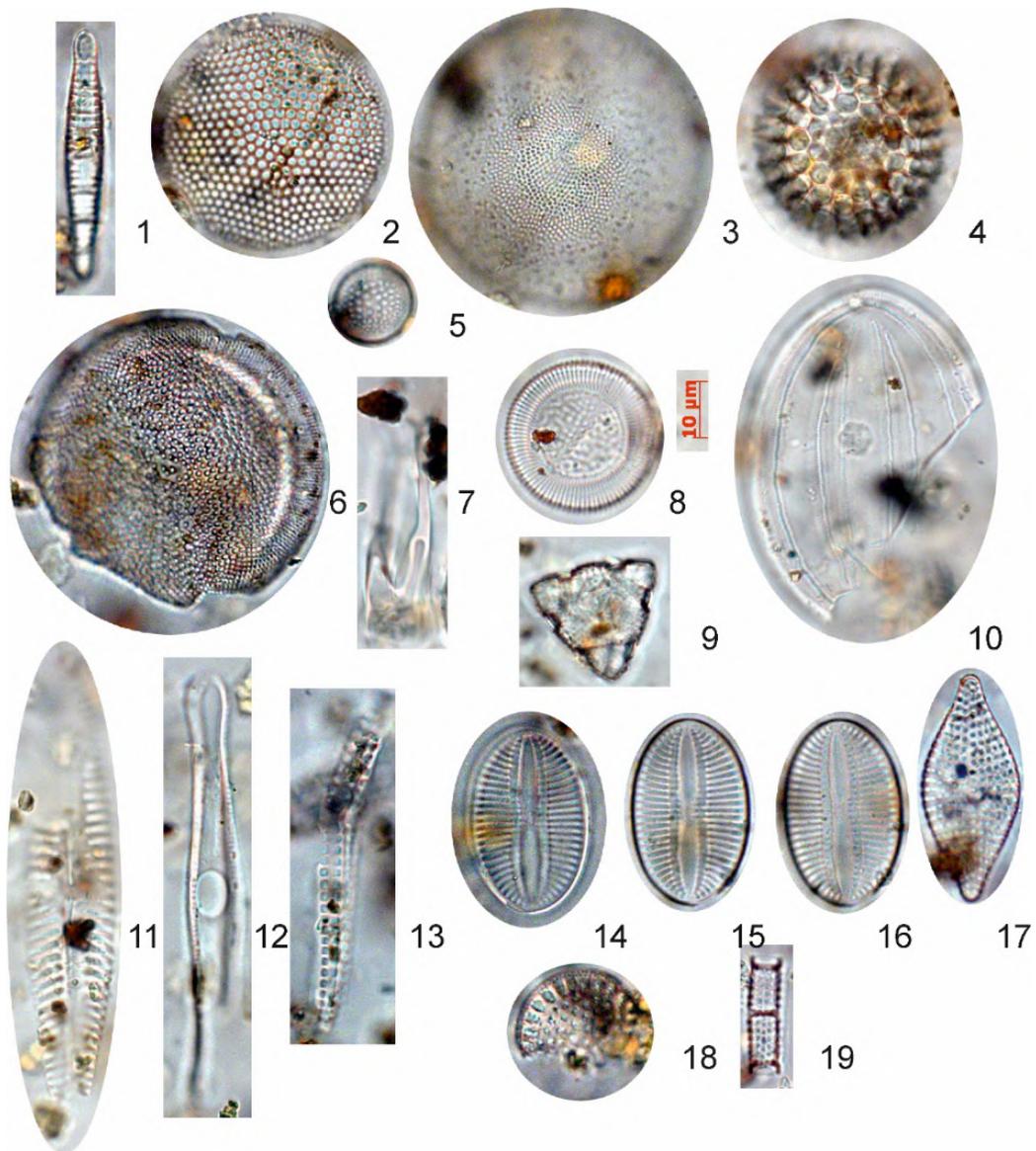
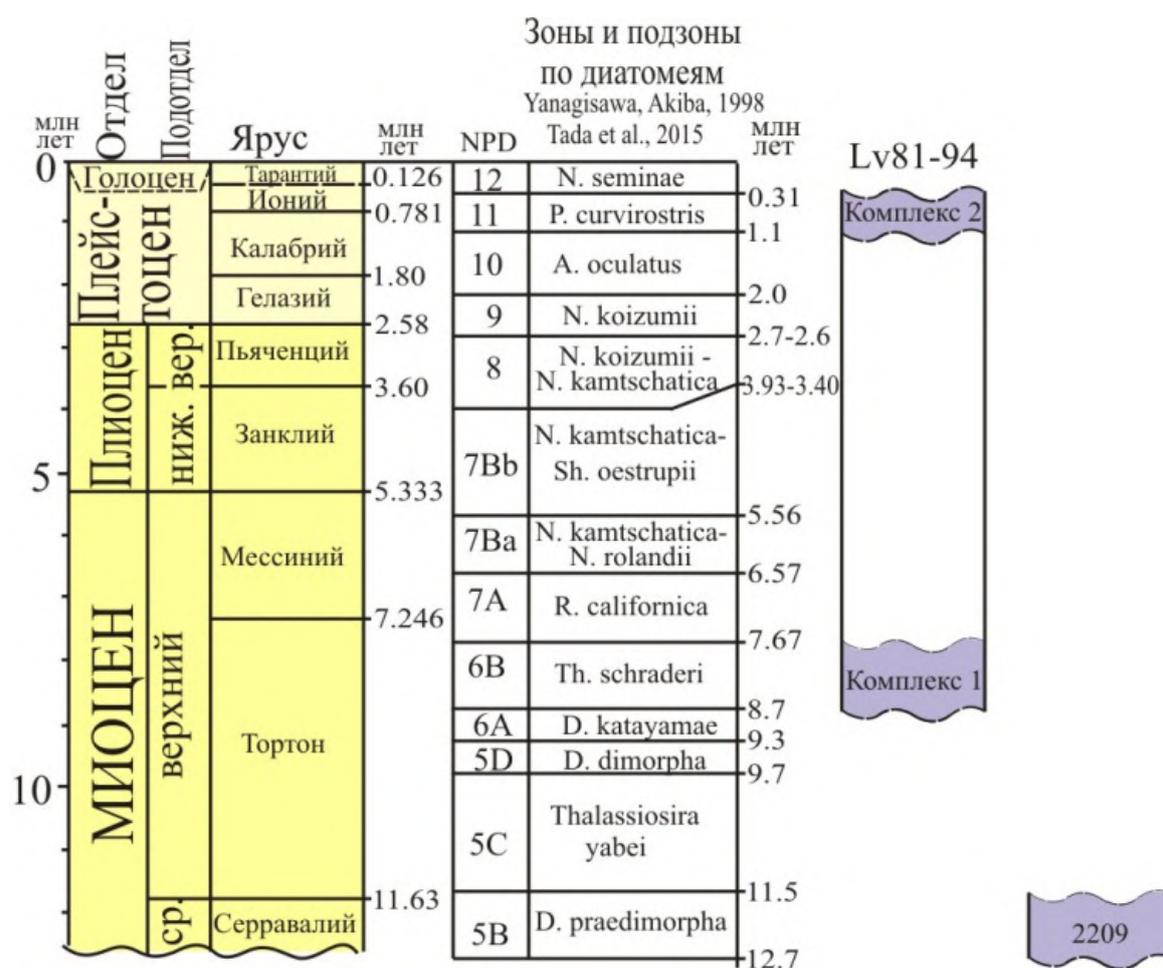


Рис. 3. Диатомовые водоросли разного возраста и местообитания



**Рис. 4.** Корреляция диатомовых комплексов, выделенных из образцов LV81-04 (81-й рейс НИС «Академик М. А. Лаврентьев») и 2209 (37-й рейс НИС «Первенец») подводных гор Японской котловины

#### Радиоляриевый анализ

Образец LV81-04 содержит смешанный комплекс радиолярий позднемиоценового и позднеплейстоценового возраста. Скелеты разновозрастных радиолярий имеют удовлетворительную и, реже, хорошую сохранность (рис. 5). Некоторые скелеты минерализованы. Преобладают позднеплейстоценовые таксоны

Изучение планктонных фораминифер и обломочного материала в образце LV81-04 позволяет сделать следующие выводы:

- 1) время формирования осадка, по которому позднее образовались слаболитифицированные осадочные породы, соответствует позднему миоцену (9,79–6,00 млн лет);
- 2) время литификации осадка, учитывая данные радиоляриевого анализа, — поздний плейстоцен;
- 3) характер обломочного материала свидетельствует о том, что первичный осадок формировался в аллохтонных условиях — у подножья вулканической постройки на глубинах более 3000 м, куда поступал материал с ее привершинных частей.

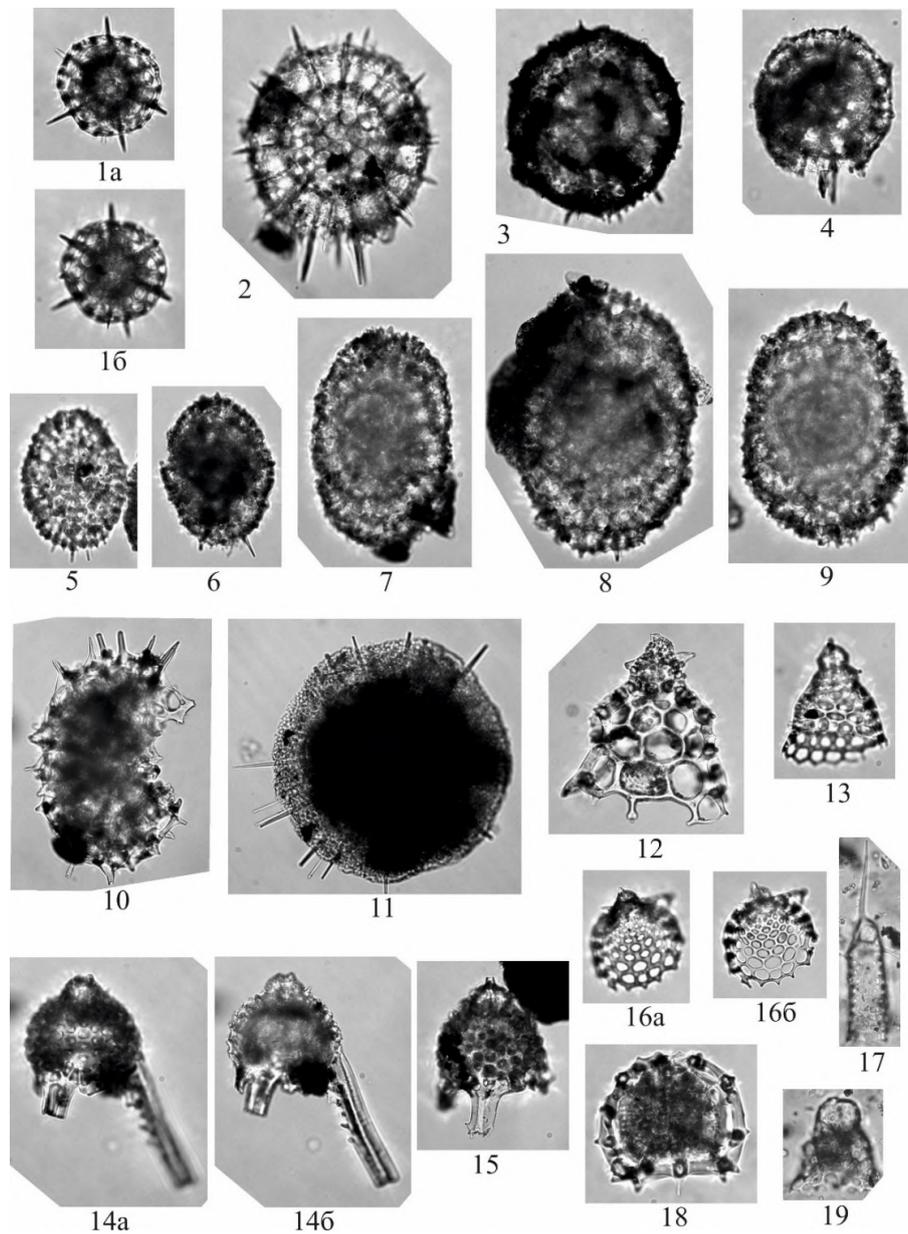
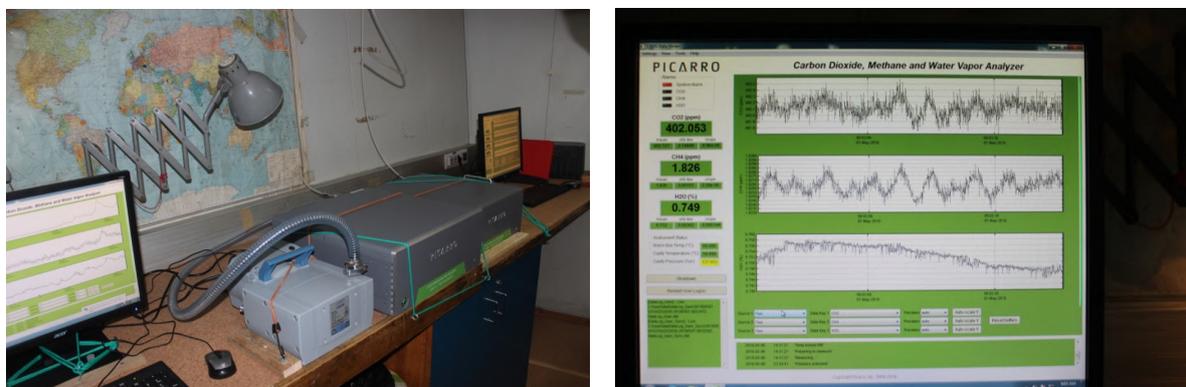


Рис. 5. Позднемиоценовые и плейстоценовые радиоларии, выделенные из образца LV81-04

### Газогеохимические исследования

Методика газогеохимических исследований сводится к следующим операциям: отбору пробы донных осадков геологической трубкой, отбору проб воды батометрами Нискина, извлечению из проб газа, анализу газа на газовом хроматографе, определению  $\text{CH}_4$ , тяжелых углеводородов ( $\text{C}_2\text{--C}_4$ ),  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ , компьютерной обработке и интерпретации данных. Пробы керна осадков отбирали через 20 см, пробы воды — от придонного слоя до поверхности. Пробы верхнего слоя воды отбирались через 2–4 часа по ходу движения судна. Прибор Picarro работал постоянно, и измерения газов ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ , пары воды) в приводной атмосфере выполнялись в автоматическом режиме (рис. 6). Оба прибора были предоставлены для использования в рейс кафедрой почвоведения ШЕН ДВФУ в рамках договора о научно-исследовательском сотрудничестве организаций — участников консорциума ТОИ ДВО РАН — ДВФУ. Метод основан на поглощении энергии ИК-лазера малыми молекулами при характеристичных длинах волн. Газ из проб воды и осадка извлекали методом дегазации и Head Space.



**Рис. 6.** Лазерные газоанализаторы Picarro (руководитель — зав. кафедрой почвоведения ДВФУ к. б. н. О. В. Нестерова)

В рейсе LV81 впервые в практике региональных геолого-геофизических работ на Дальнем Востоке России были осуществлены комплексные газогеохимические наблюдения в системе атмосфера — морская вода — осадок позволяющие проводить сопоставление с геофизическими полями, сеймо-стратиграфическими исследованиями дна и данными гидроакустической съемки. Выполненный комплекс очень важен с точки зрения регистрации акустических гидрохимических, геохимических или других аномалий; он позволяет проследить возможные пути и источники миграции веществ в окружающей среде.

В рейсе LV81 основной отбор донных осадков для газогеохимических исследований проводили на двух полигонах — Южном и Северном (рис. 7). Всего поднято и проанализировано 50 трубок, из них 25 — на Южном полигоне и 25 трубок — на Северном.

Резкий скачок концентраций метана наблюдается с горизонта 100 см. На этой же глубине фиксировалось появление резкого запаха сероводорода. Газонасыщенность осадка растет с глубиной. Наблюдались визуальные выделения газовых пузырьков на забое колонки. Подобные концентрации метана, этана и пропана встречались нами в донных отложениях, содержащих газогидраты; это может быть индикатором их наличия в более глубоких горизонтах.

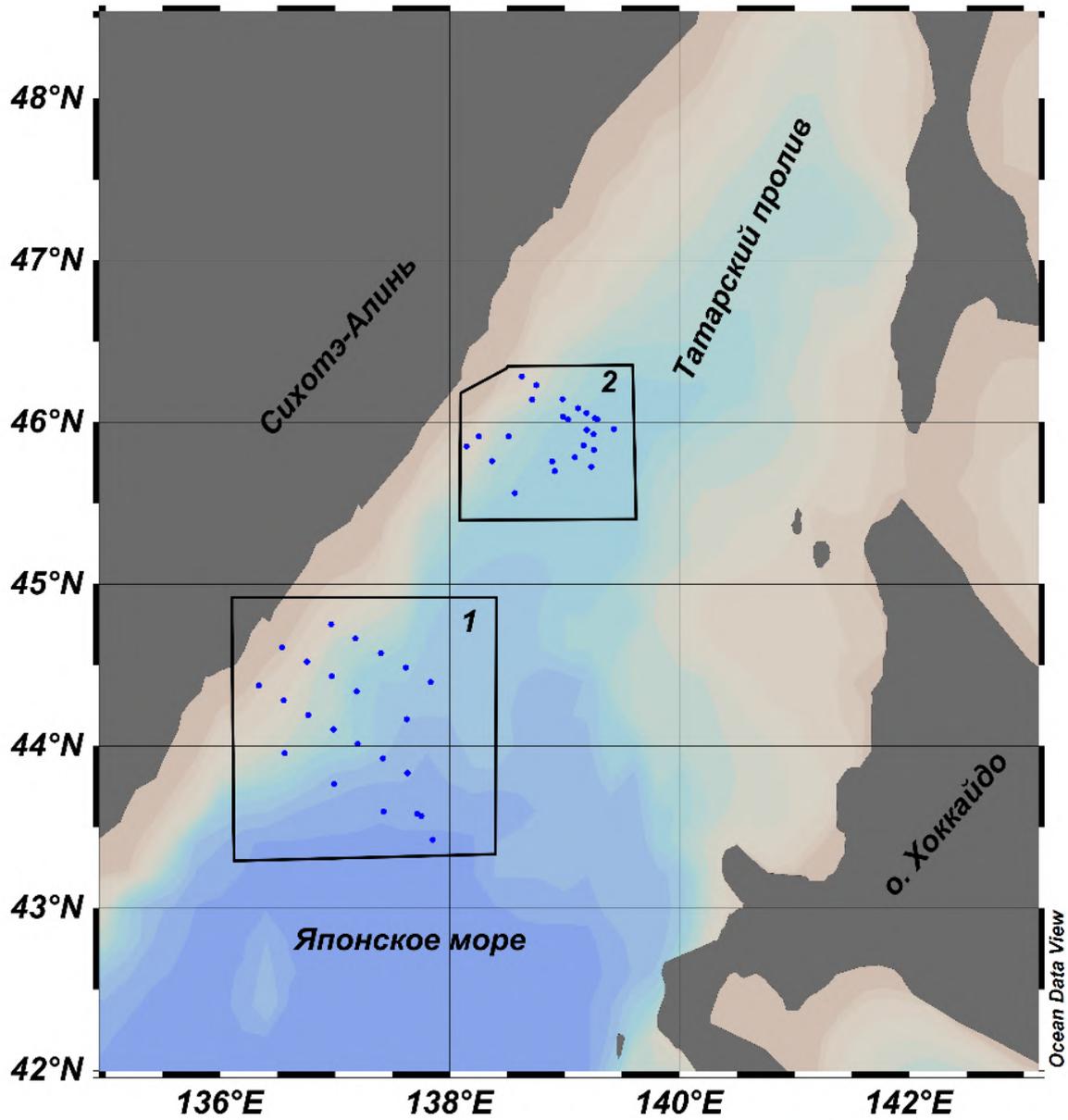
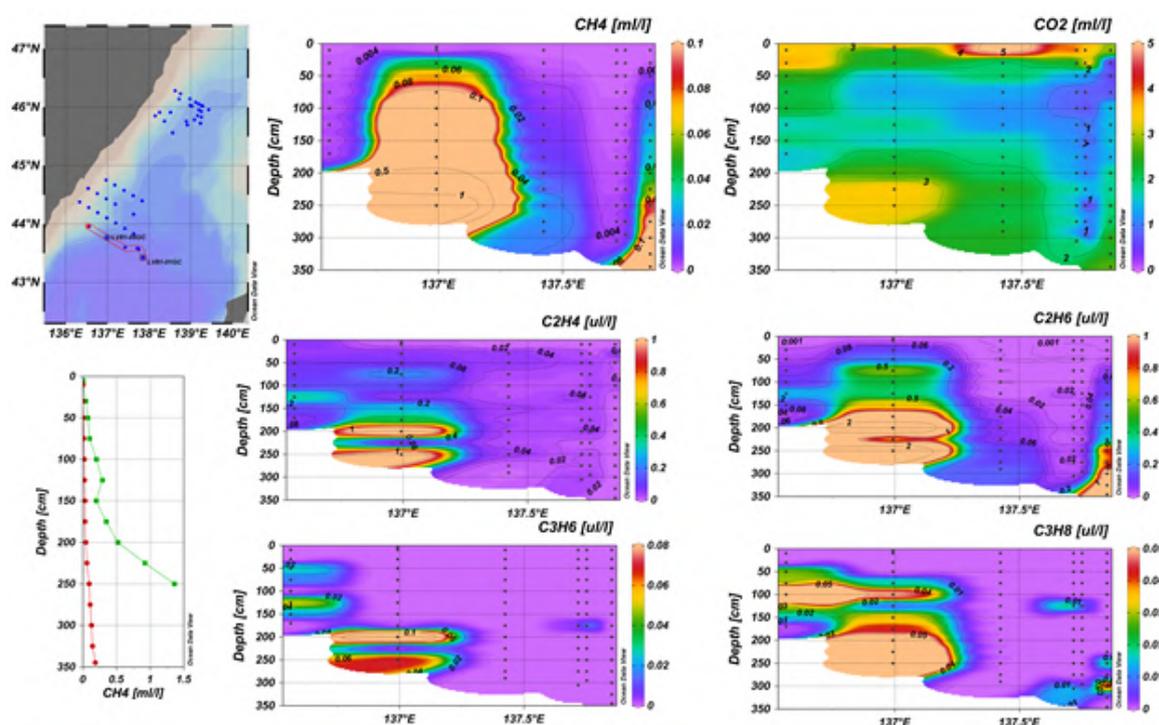
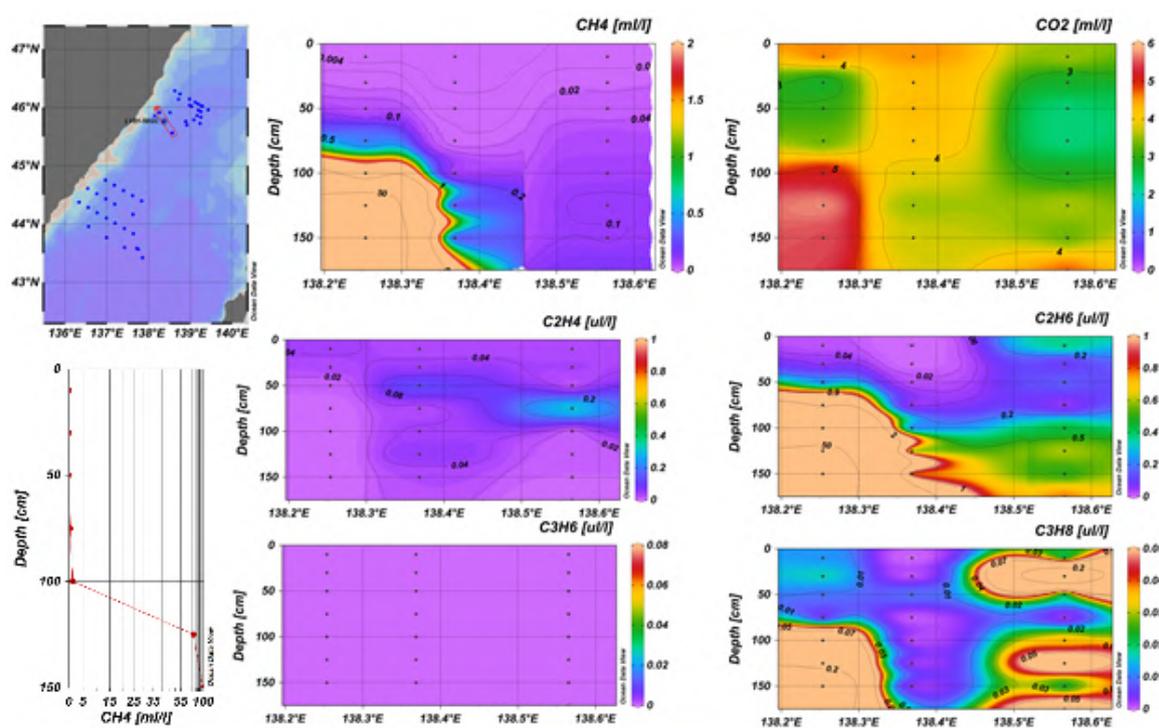


Рис. 7. Районы отбора донных осадков для газогеохимических исследований. Полигоны: 1 — Южный, 2 — Северный



**Рис. 8.** Распределение газов в осадках. Южный полигон. Профиль 1. Станции LV81-01, LV81-01j, LV81-02j, LV81-03, LV81-05, LV81-07<sup>a</sup>. Отдельно вынесены две диаграммы по глубокководным станциям (красная диаграмма — LV81-01; зеленая — LV81-05) с повышенным и аномальным содержанием метана в осадках (OceanDataView).



**Рис. 9.** Распределение газов в осадках. Северный полигон. Профиль 6. Станции LV81-51, LV81-58, LV81-57<sup>a</sup>. Отдельно вынесена станция LV81-51 с аномальным содержанием метана в осадках (OceanDataView).

Газогеохимические измерения толщи воды придной атмосферы

В течение рейса LV81 проводились постоянные измерения концентрации метана в поверхностном 4-метровом слое воды. Отбор проб производился каждые 2 ч. Всего в ходе рейса отобрано 245 проб. Параллельно с этим проводились непрерывные измерения температуры, солености и электропроводности поверхностной толщи вод на всей площади района работ (рис. 10, 11).

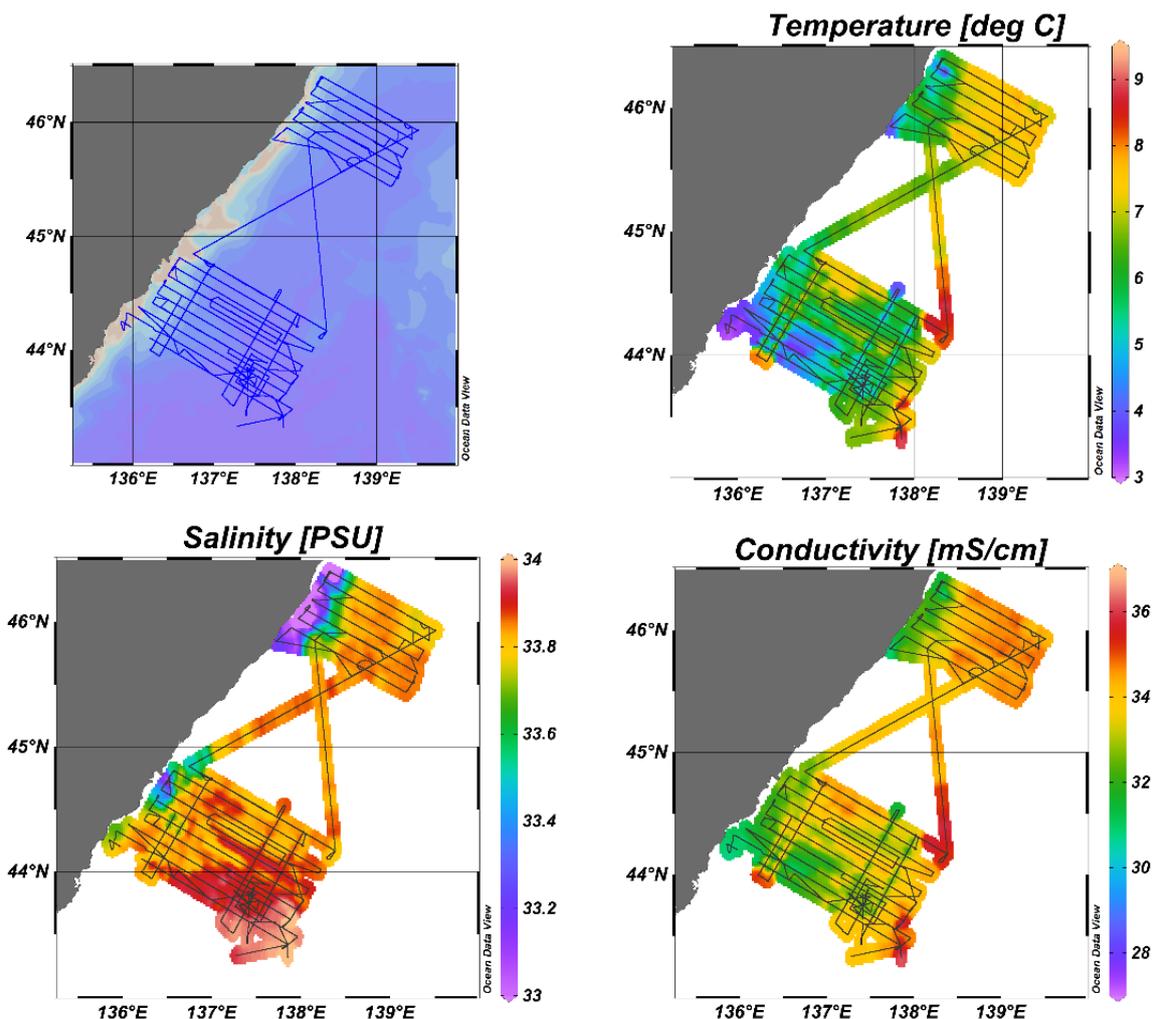
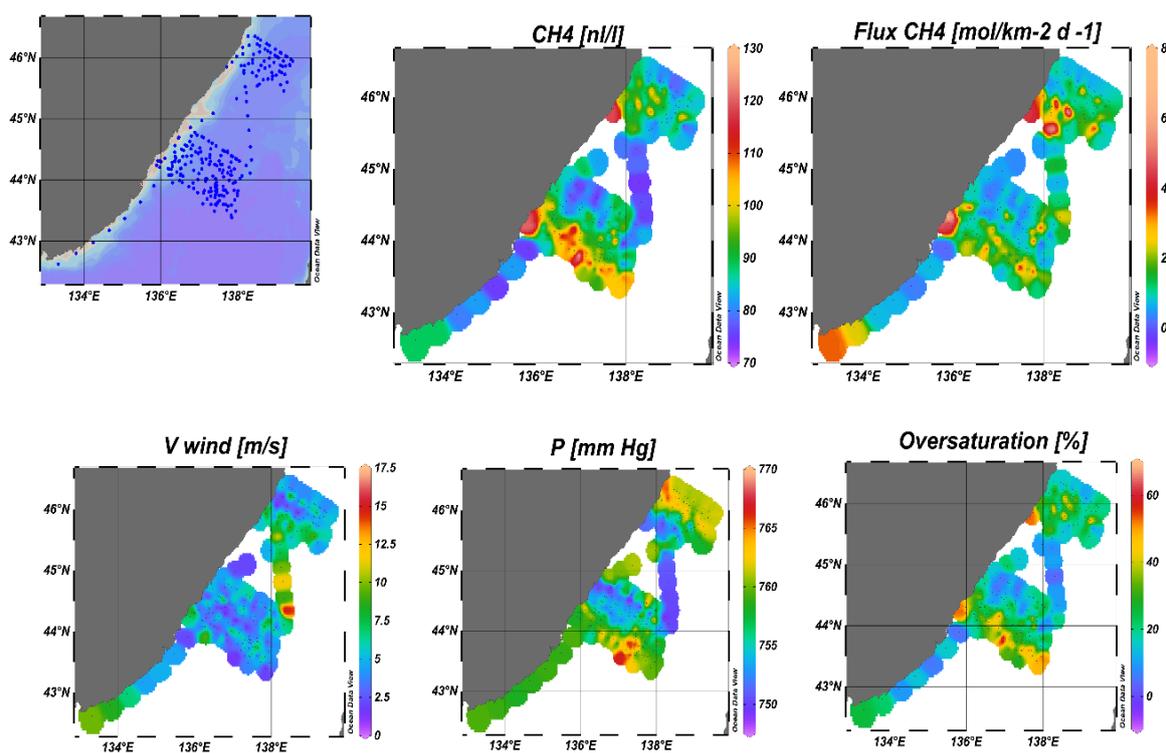


Рис. 10. Карта распределения параметров поверхностной водной толщи (температура, соленость и электропроводность) по данным системы Underway (SBE-21)

Обнаруженные концентрации и величина потока достаточно характерны для данного времени года для акватории Японского моря. Они могут формироваться за счет различных процессов, связанных с гидрологическим режимом, речным стоком, влиянием активных геологических процессов; биохимическими процессами, протекающими в толще воды. С геологической точки зрения наиболее интересным выглядит пространственное совпадение обнаруженных аномалий в донных отложениях и водной толще и величин потока в атмосферу в южной части Южного полигона и в юго-западной части Северного полигона.



**Рис. 11.** Карта распределения параметров концентрации метана в поверхностном горизонте воды и потока метана в атмосферу, скорости ветра, давления и величины пересыщения метаном в районе исследования

#### Поток парниковых газов

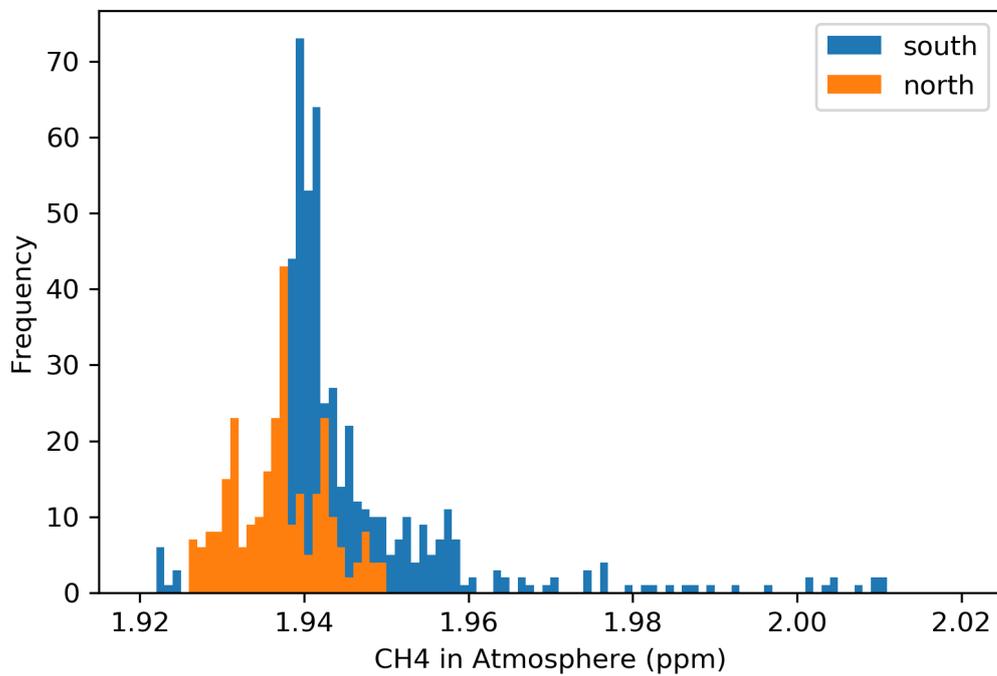
В ходе рейса LV81 впервые в практике региональных работ проводились непрерывные измерения концентраций основных парниковых газов ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$  и водяной пар) в приземном слое атмосферы. В работе мы использовали 2 прибора Picarro — G2508 ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  и  $\text{NH}_3$ ) и G2311-f ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ). Забор воздуха на газоанализаторы был организован на двух разных уровнях — G2508 (10 м над уровнем моря) и G2311-f (5 м над уровнем моря). Полученные данные усреднялись за 5-минутный интервал. Всего с данным осреднением получено 6499 точек измерения (рис. 12)

Нами обнаружены районы с повышенными концентрациями и их наличие может быть обусловлено влиянием различных источников поступления метана в атмосферу. Так, возможны: антропогенный вклад, атмосферный перенос, вклад морской биосистемы и процессов дегазации морского дна. Работы по детализации и определению источников вероятного поступления продолжаются.

#### Геохимические исследования

С помощью специального штатива на поверхность керна устанавливали ручной (портативный) рентгенофлуоресцентный спектрометр Дельта (Олимпус, США) (рис. 13). Управление прибором осуществлялось в программе к нему на планшете через интерфейсный кабель. Химические элементы (Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Pb) определялись в режиме «Геохимия».

Выполнены анализы некоторых проб донных осадков поверхностного слоя (рис. 14). Значения показателя содержания органического углерода варьируют от 0,87 до 1,93 %. Проанализированные пробы характеризуются низкими концентрациями ртути (не более  $50 \text{ нг} \cdot \text{г}^{-1}$ ).



**Рис. 12.** Частотная диаграмма распределения метана в приводном слое атмосферы на двух полигонах исследований



**Рис. 13.** Выполнение рентгенофлуоресцентного сканирования

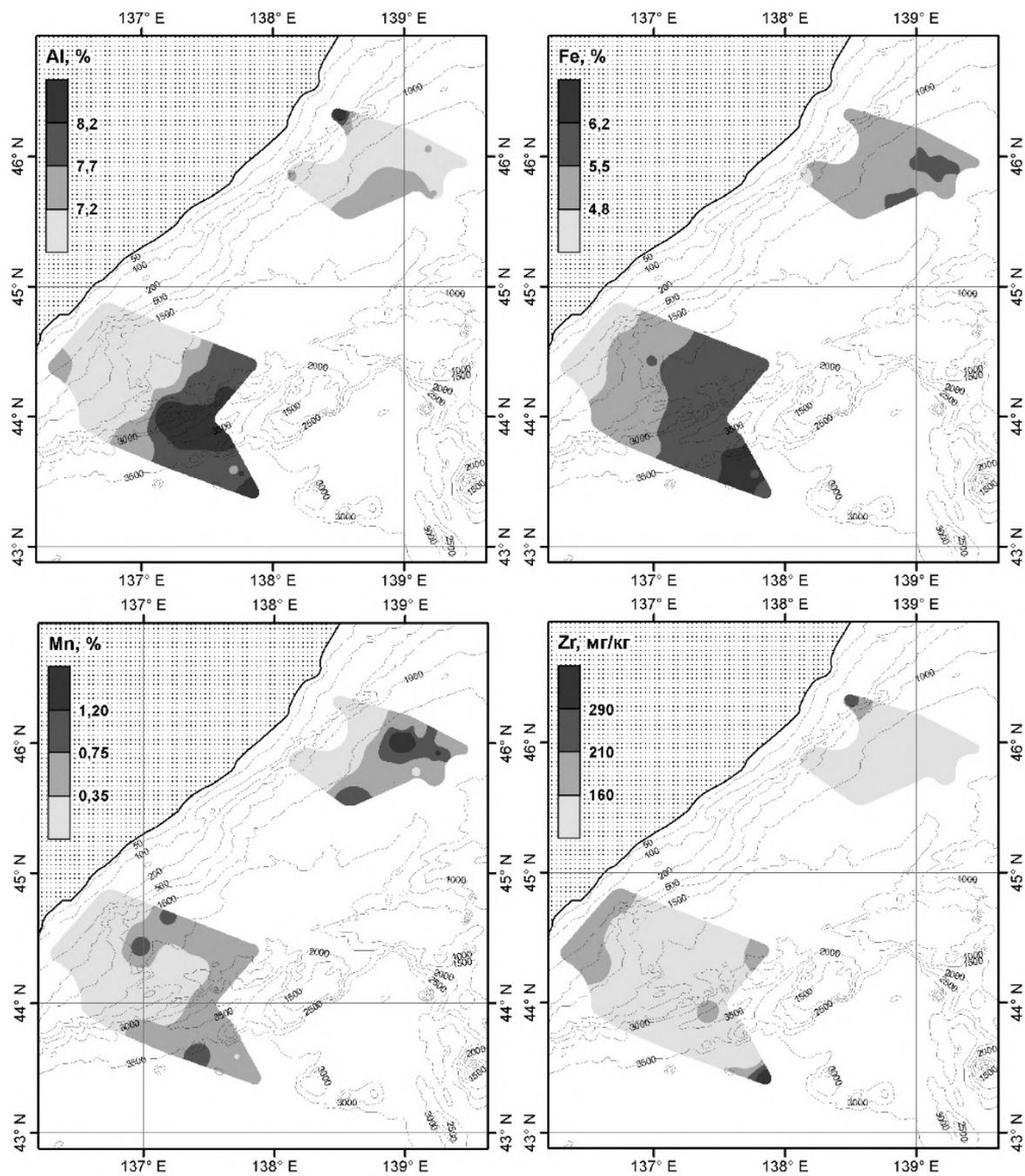


Рис. 14. Содержание некоторых химических элементов в поверхностном слое донных осадков

В распределении элементов наблюдаются характерные закономерности, связанные с гранулометрическими характеристиками донных осадков и, вследствие этого, с батиметрическим контролем. Железо, марганец и алюминий концентрируются преимущественно в илистых отложениях глубоких районов. Цирконий, напротив, концентрируется в песчаных отложениях прибрежной зоны, хотя максимум обнаружен в глинистых отложениях самой глубоководной станции. Также наблюдаются положительные корреляционные зависимости фракции clay с алюминием, железом и иттрием; silt — с серой, медью, цинком, свинцом; sand — с кремнием, калием, кальцием, стронцием, цирконием. Эти корреляции объясняются вещественным составом донных осадков. Тонкие фракции, как правило, состоят из глинистых минералов, грубообломочные — из кварца, полевых шпатов, обломков горных пород и ракушечного детрита.

#### Микробные исследования

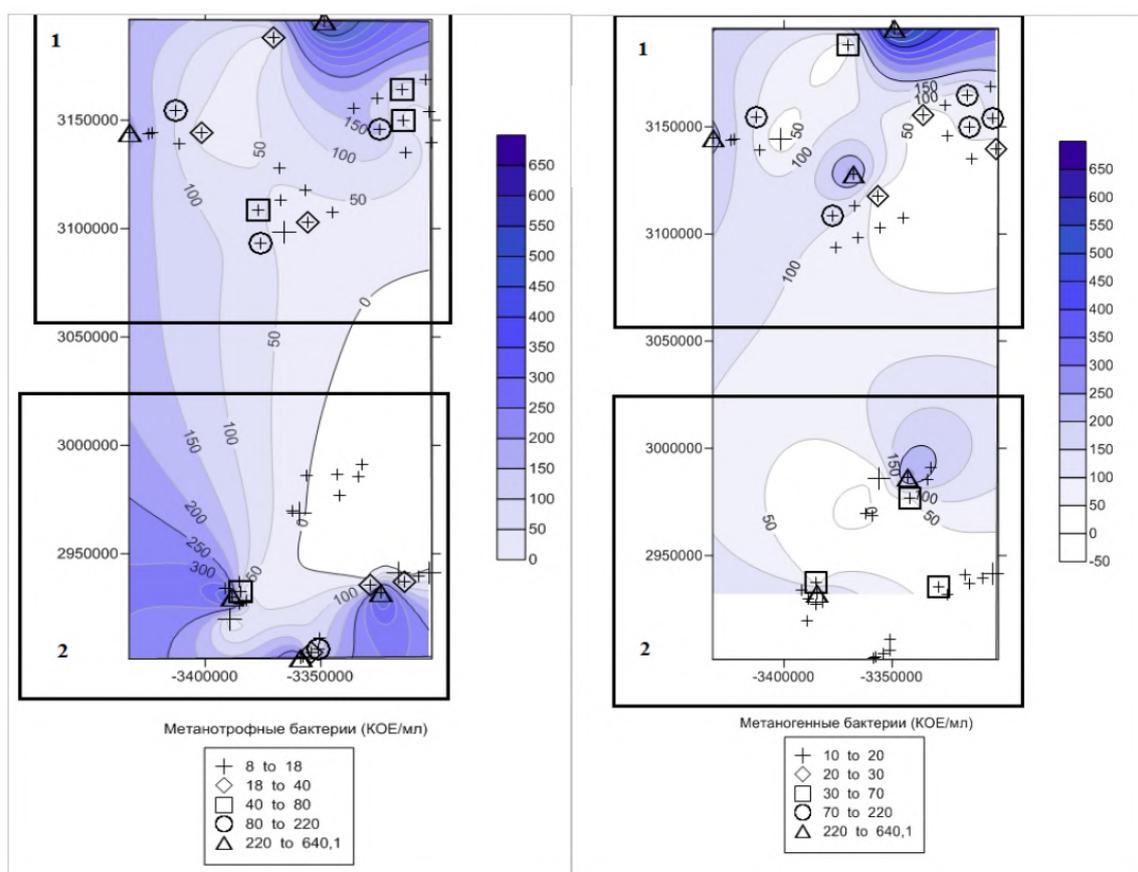
По результатам проведенных исследований показано присутствие азотфиксирующих, денитрифицирующих, железо- и марганецоксилирующих бактерий, которые встречаются практически во всех пробах независимо от глубины отбора и горизонта донных отложений. Их количество варьирует в широком диапазоне значений от 10 до 104 кл·мл<sup>-1</sup>. Похожая тенденция наблюдается и при анализе распределения органотрофных бактерий. Между тем вариативность диапазона значений показателей численности в первом районе значительно меньше, чем во втором (102–104 и 0–104 кл·мл<sup>-1</sup> соответственно). Как в первом, так и во втором районе исследования сульфатредуцирующие бактерии (СРБ) встречались во всех пробах. Численность СРБ была достаточно стабильна в верхнем окисленном слое донных отложений и составляла около 104 кл·мл<sup>-1</sup>. В горизонтах от 15 до 200 см, от поверхности керна, данный показатель составлял 102–104 кл·мл<sup>-1</sup>.

В первом районе исследований метанотрофные микроорганизмы были обнаружены на 10 станциях из 32 (LV81 — 1j, 3, 7, 11, 12, 14, 16, 22, 27, 28, 30 GC). На 32 станциях отобрано 53 пробы, из них в 19 зафиксированы метанотрофы. На станциях LV81 – 1j и 14 GC метанотрофы встречаются по всей длине керна, на остальных станциях — только в верхнем окисленном слое. Во втором районе метанотрофы зафиксированы на 11 станциях из 26 (с LV81 — 34–39 GC, с LV81 — 42 по 44 GC и LV81 — 49, 50, 52 GC); из 64 проб — в 16. На станциях LV81 — 36, 38, 43, 44 GC они встречаются по всей длине керна. Наибольшее количество проб, в которых обнаружены метанотрофные бактерии, отобраны на глубине 1500–1800 м, из 27 проб — 17 (62,9 %).

В пробах, в которых выявлены метанотрофные бактерии, увеличиваются численность органотрофных бактерий, а также интенсивность процессов денитрификации, сульфатредукции и деструкции C<sub>орг</sub>.

#### Газогеохимические исследования в морях Восточной Арктики

В целом по итогам рейса в морях Восточной Арктики выявлены шесть протяженных и наиболее контрастных зон с высокими концентрациями метана в поверхностном слое и с его эмиссией в атмосферу. Концентрации метана изменялись от 65 до 1494 нл·л<sup>-1</sup>. В море Лаптевых контрастно с повышенными концентрациями выделяются западная часть и южные районы, примыкающие к эстуарию реки Лены. Восточная часть и район континентального склона характеризуются пониженными концентрациями. Максимальные концентрации (до 1494 нл·л<sup>-1</sup>) были зафиксированы в районе эстуария р. Лены (губа Буор-Хая). В Восточно-Сибирском море контрастно выделяются аномальными зонами акватория пролива Дмитрия Лаптева, Оягосский Яр и палеодельта реки Индигирка, прибрежные районы юго-западной части пролива Лонга. Данные аномальные районы уже фиксировались ранее работами лаборатории арк-



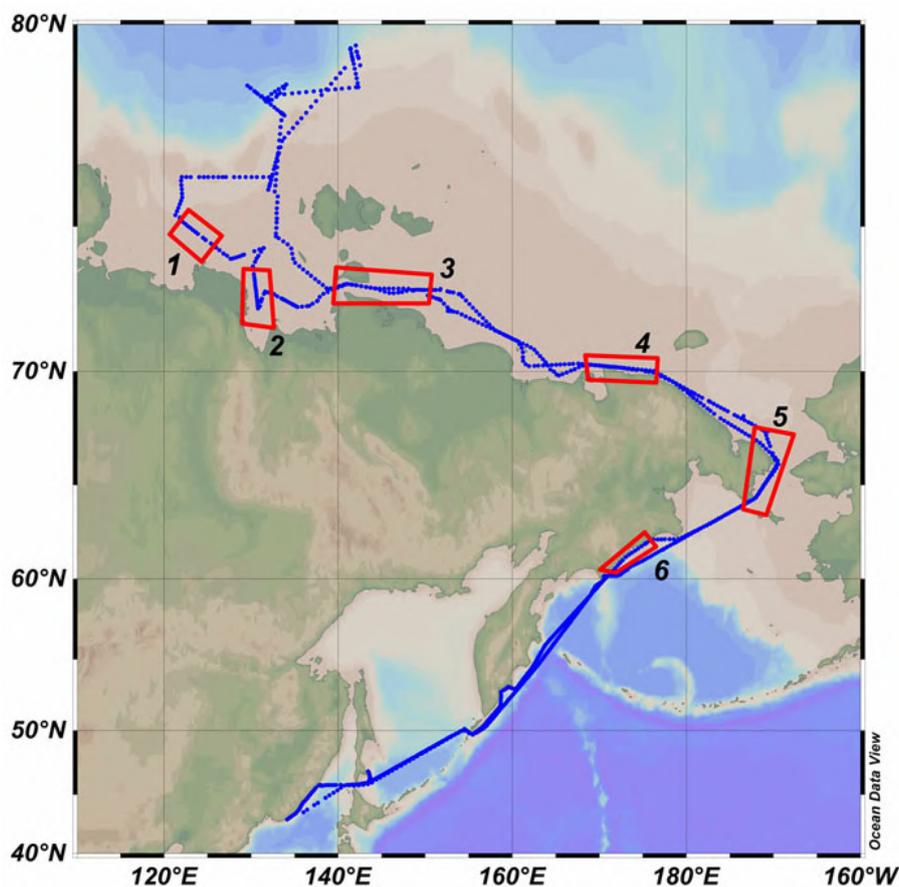
**Рис. 15.** Карта распределения численности культивируемых метанотрофных (А) и метаногенных (Б) бактерий в районе исследования (1 и 2)

тических исследований ТОИ ДВО РАН в различные годы исследований. Их наличие и повторная фиксация могут говорить о длительном характере существования и о наличии постоянных источников миграции метана в водную толщу. В Чукотском море можно также выделить газогеохимические аномалии в районе Берингова пролива (участок № 5, рис. 16). В Беринговом море контрастно выделяется повышенными значениями метана прибрежная акватория Хатырского нефтегазоносного осадочного бассейна (участок № 6).

В рейсе также проведено изучение газонасыщенности и распределения метана и углеводородных газов в донных отложениях моря Лаптевых и западной части Восточно-Сибирского моря. Всего выполнено 34 станции отбора донных отложений. Со всех кернов отобраны пробы микробиологических образцов для детальных исследований процессов газоокисления и газогенерации в осадочных отложениях и изучения видового состава микробного сообщества.

В отдельных отобранных представительных глубоководных кернах континентального склона моря Лаптевых обнаружены повышенные концентрации метана и определены показатели метанонасыщенности донных осадков (до  $0,06 \text{ кг} \cdot \text{см}^{-3}$ ), позволяющие говорить о наличии источников газа и о потенциальной газогидратоносности континентального склона. В пределах Северо-Омолыйского грабена, моря Лаптевых по данным сейсмопрофилирования обнаружены обширные районы распространения газонасыщенных осадков (ГНО). Проведенное в данном районе геологическое опробование показало наличие в донных осадках повышенного содержания метана и аномальной метанонасыщенности  $> 1 \text{ см}^3 \cdot \text{кг}^{-1}$ . В Чукотском море, в пределах прогиба Селавин, также получены подобные результаты — с наличием

зон распространения ГНО и высокоаномальными концентрациями метана в донных осадках (> 15 %). Полученные данные показывают эффективность применения геофизических и геохимических методов в рамках единого методического подхода при поиске, картировании площади распространения зон ГНО и изучении источников газа.



**Рис. 16.** Распределение попутных станций исследования поверхностных концентраций и потоков метана в системе вода — атмосфера в ходе рейса LV83. Участками выделены районы с повышенными и аномальными концентрациями и потоком метана: № 1, 2 — море Лаптевых; № 3, 4 — Восточно-Сибирское море; № 5, 6 — Чукотское и Берингово море

Экспедиционные работы в рейсе LV81 проведены в рамках госзадания ТОИ ДВО РАН и при финансовой поддержке грантов РФФИ № 18-05-00153, № 18-35-00047. Экспедиционные работы газогеохимического отряда в рейсе LV83 проведены при поддержке гранта РФФИ № 18-05-70038 «Ресурсы Арктики». Экспедиция LV83 выполнялась в рамках госзадания ТОИ ДВО РАН и Соглашения о международном сотрудничестве между Первым институтом океанографии Государственной океанографической администрации КНР и ТОИ ДВО РАН от 05.07.2018.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В 44-М РЕЙСЕ НИС «АКАДЕМИК БОРИС ПЕТРОВ» В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ И ПРОЛИВЕ СКАГЕРРАК

В. Т. Пака, А. В. Крек

Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН

---

### Задачи экспедиции:

- Получение данных о пространственной структуре и динамике вод на разрезах в зоне распространения больших затоков.
- Внедрение перспективных средств и методов исследования мезо- и микромасштабной структуры придонного слоя.
- Отбор проб воды, взвеси и донных отложений на комплексных станциях; определение концентрации в воде биогенных элементов (азота, кремния и фосфора) и хлорофилла.
- Исследование донных ландшафтов Балтийского моря.
- Оценка влияния вод различной солености и насыщенности кислородом на состав и структуру донных сообществ. Исследование бактериофагов в условиях цианобактериальных цветений. Исследование сезонных особенностей таксономического разнообразия и структуры фитопланктона Балтийского моря в различных бассейнах; вертикального распределения фитопланктона и природы максимумов хлорофилла глубже фотического слоя; получение данных по встречаемости, популяционным и биологическим характеристикам вселенцев; состава, структуры доминантного комплекса фитопланктона в условиях «цветения» с параллельным исследованием содержания цианобактериальных и иных токсинов в воде, придонной взвеси и донных осадках.

Научный состав — 21 человек, в т. ч. группа руководства — 3 чел., 3 научных отряда — 14 чел., группа специалистов из университета Чалмерс (Гетеборг) — 2 чел., группа специалистов от фирмы Sea&Sun — 2 чел.

Сроки экспедиции: 5–30 октября 2018 г. (26 суток).

Маршрут экспедиции: выход из Калининграда, переход с разрезом через Гданьскую впадину в район геофизической съемки в южной части Готландской впадины, переход в пролив Скагеррак с заходом в Гетеборг, постановка долговременной донной станции на год, возвращение в южную Балтику, работы на разрезах и комплексных станциях, постановка второй донной долговременной станции в районе свалки ХО в Борнхольмской впадине, переход в российскую зону, постановка и снятие донных инклинометров, заход в Колобжег, возвращение с работами в российскую зону, возвращение в Калининград.

### Научное оборудование

- **Геолого-геофизическое:** дночерпатель Ван-Вина, трубка Ниемисто, трубка ТБД (6 м).
- **Акустическое:** гидролокатор бокового обзора BenthosC3D, двухчастотный. эхолот Simrad EA400SP, профилограф скорости звука Valeport mini SVP.

- **Подводная видеосъемка:** ТПА СуперГНОМ.
- **Система позиционирования:** GPS Trimble SPS461.
- **Гидролого-гидрохимические и биологические исследования:** мультипараметрические зонды CTD48M (Sea&Sun), Idronaut 316 Plus, микроструктурный зонд «Баклан-3500», профилограф скорости течения LADCP RDI Teledyne Workhorse Sentinel 300, автономный измеритель течений Aanderaa RCM9 — 2 станции, инклинометрические измерители придонных течений (экспериментальные), комплекс MWS 12 Slimline (Розетта), фильтрационная установка, титровальная установка Винклера, планктонные сети WP-2 (мезозоопланктон), ИКС-80 (ихтиопланктон).

## Научные результаты

Результаты исследований, требующих анализа проб, будут представлены по завершении работ с пробами. Достаточно полно обработаны только гидрофизические измерения. В докладе обсуждаются результаты совершенствования и развития техники гидрофизических исследований. В рейсе был завершён трехлетний этап разработок, при этом достигнутые результаты можно назвать выдающимися. Радикально повышена эффективность измерений мезомасштабной пространственной и тонкой вертикальной структуры на ходу судна, а также найдено доступное решение задачи об исследовании пространственно-временной изменчивости придонных течений.

Первая из решенных задач преследовала цель: получить максимум информации о структуре за один проход. Предложено решение: зондировать на ходу, как в дрейфе с оптимальной скоростью около  $1 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ , а выбирать зонд с максимально возможной скоростью. Технические решения: предложены оригинальная оснастка зонда и тяговый механизм, действующий по принципу кабестана. Результат инновации: на ходу судна в каждой станции разреза с интервалами между станциями около 1 км измеряется тонкая структура от поверхности до дна, в результате обработки строятся вертикальные разрезы для всех гидрологических полей, одновременно повышена точность оценки придонных параметров. Измеренные с помощью оптического датчика профили кислорода не имеют гистерезиса, что свидетельствует о возможности измерения тонкой структуры и этой характеристики среды. Большой удачей в рейсе было обнаружение редкого явления — большого затока, состоявшегося за несколько недель до начала рейса.

Вторая задача преследовала цель: получить данные о течении в тонком придонном слое и о его изменчивости во времени. Такие данные необходимы в горячих точках Балтики (свалки ХО), а также в ключевых районах на трассе больших затоков (узости, пороги). Решение: полигон с кластером из большого числа однотипных самописцев. Использование для этой цели ADCP слишком дорого. Альтернатива — инклинометры. Испытания проведены в районе перетока придонных вод из Гданьской в Готландскую впадину по подводному каналу на глубине 85 м. Скорость течения в слое толщиной 1 м была направленной на север, наблюдалось ее возрастание до  $45 \text{ см}\cdot\text{с}^{-1}$ , затем убывание до  $20 \text{ см}\cdot\text{с}^{-1}$  по мере возрастания и убывания ССЗ ветра. Максимальной силы —  $25 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  — ветер достиг 24.10.2018. Пятиминутные выборки из непрерывных записей в начале каждых суток показали вариации скорости, носившие случайный характер, что свидетельствует о турбулентности течения. Дальнейшая обработка ансамбля записей позволит оценить структурные параметры турбулентности.

### **Заключение и выводы**

1. Найдена возможность радикально повысить объем и качество данных о сложной структуре вод в шельфовых морях.
2. Разработанный метод применим на судах любого размера, в частности на судовых катерах. Его внедрение не требует капитальных затрат.
3. Дальнейший прогресс связан с совершенствованием зондов — повышением частоты измерений. Это позволит повысить скорость свободного падения, что сократит, в свою очередь, время цикла зондирования, позволит увеличить скорость хода и/или уменьшить расстояние между станциями.
4. Найдена возможность исследовать пространственно-временную структуру придонных течений, используя кластеры инклинометров.
5. Назрела следующая задача — изготовление размыкателей. Разработка завершена. Требуются время и деньги на запуск серии.
6. Приборы просты в изготовлении и эксплуатации. Они перспективны для работы не только в открытом море, но и в волноприбойной зоне.

## КОМПЛЕКСНЫЕ ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ОБИ (2018 Г.)

А. В. Пузанов, Д. М. Безматерных\*

Институт водных и экологических проблем СО РАН

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

---

В соответствии с планом экспедиционных исследований на научно-исследовательских судах в 2018 г., ИВЭП СО РАН продолжены комплексные экспедиционные водно-экологические исследования в бассейне реки Оби с использованием научного флота.

*Основные цели экспедиции:*

- 1) исследование р. Оби на участке от Новосибирского гидроузла до г. Салехард для решения задач водопользования и охраны водных ресурсов (включая прогнозирование экстремальных гидрологических событий — распространения волн паводков и половодий), а также формирования и динамики экосистем, факторов неоднородности пространственного распределения состава, структуры и функциональных характеристик биоценозов реки Оби и Новосибирского водохранилища;
- 2) ежегодный мониторинг гидрофизических, гидрохимических, биогеохимических и гидробиологических характеристик Телецкого озера в период открытой воды.

Работа выполнена в рамках проектов государственного задания ИВЭП СО РАН: «Биогеохимические особенности наземных экосистем в бассейнах рек Сибири и их влияние на качество природных вод» (науч. рук. — д. б. н. А. В. Пузанов, д. г. н. Ю. И. Винокуров); «Изучение гидрологических и гидрофизических процессов в водных объектах и на водосборах Сибири и их математическое моделирование для стратегии водопользования и охраны водных ресурсов» (д. т. н. А. Т. Зиновьев); «Пространственно-временная организация водных экосистем и оценка влияния природных и антропогенных факторов на формирование гидробиоценозов и качество поверхностных вод бассейна Оби и Обь-Иртышского междуречья» (к. б. н. В. В. Кириллов). В экспедициях принимали участие в том числе и аспиранты ИВЭП СО РАН, студенты и аспиранты вузов.

С 12 мая по 15 октября 2018 г. проведено 11 экспедиционных выездов на различные участки р. Оби (от с. Усть-Калманка до пос. Карымкары), Новосибирского водохранилища и Телецкого озера. В экспедициях задействовано 3 судна: 2 — на р. Оби, 1 — на оз. Телецком. На р. Оби более подробно изучались ее верхний участок — от р. Чарыш до г. Барнаула и Новосибирское водохранилище. Получен массив актуальных и взаимосогласованных данных о характеристиках русла (плановая конфигурация, морфометрия) и гидравлических характеристиках речного потока (скорость течения, расходы воды, продольные уклоны водной поверхности, пропускная способность русловых разветвлений и пойменных проток), собранный в опорных створах, рассредоточенных по протяжению русла реки Оби, в целях уточнения одномерной горизонтальной компьютерной модели течений в системе русел Верхней Оби. Это необходимо для увеличения достоверности прогнозирования чрезвычайных гидрологических явлений — наводнений.

Наиболее продолжительным был выезд на участке от г. Новосибирска до пос. Карымкары (около 2000 км), включавший следующие основные створы: Новосибирск, Дубровино, Кругликово, Победа, Никольское, Молчаново, Колпашево, Ласкино, Каргасок, Пырчино, Александровское, Нижневартовск, Локосово, Сургут, Сытомино, Назым, Кедровый, Карымкары; а также створы в устьевых участках притоков реки Оби: Томь, Чулым, Кеть, Васюган, Вах и Иртыш. Обследованы и участки поймы: в окр. д. Пырчино (протока Данилкина, затон Верх-Панино, пойменное озеро без названия над протокой Данилкиной), в окр. с. Александровское (протока Старица в окр. д. Тополевка, пойменное озеро без названия у с. Александровское), в окр. п. Карымкары (протока Малая Обь (северная и южная), сор Карымкарский у п. Карымкары, пойменное озеро без названия в окр. д. Сосновая). Всего обследовано 58 станций на 24 русловых створах и 3 пойменных озерах. Получены новые гидрологические, гидрохимические и гидробиологические данные.

В ходе выполнения экспедиционных работ на Телецком озере получены следующие результаты: собраны данные режимных наблюдений вертикальных распределений температуры воды, содержания растворенного кислорода и других характеристик воды с целью уточнения динамики и механизмов формирования температурной и химической неоднородностей в данном водоеме; изучено распределение основных биогенных элементов (нитратный и аммонийный азот, фосфор и кремний), макро- и микроэлементов, изотопного состава (по кислороду и дейтерию) в пелагиали, литорали и приустьевой части основных притоков озера; оценено влияние биогеохимических и почвенно-геохимических условий водосборов на качество вод рек бассейна озера; выявлены особенности водных сообществ в литорали и устье основных притоков; оценены уровни развития биоценозов литорали и пелагиали озера; дана оценка качества воды в озере в целом и на отдельных участках.

Результаты экспедиционных работ включены в отчеты по государственному заданию (3 проекта) ИВЭП СО РАН, а также переданы в «Алтайский государственный биосферный заповедник», Роскосмос, региональные подразделения Росгидромета и Росводресурсов.

## ИЗМЕРЕНИЕ ПОТОКА ГАЗОВ И РЕЗУЛЬТАТЫ НЕПРЕРЫВНОГО СЕЙСМОПРОФИЛИРОВАНИЯ В РАЙОНАХ МЕТАНОВЫХ СИПОВ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ (73-Й РЕЙС НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»)

В. Ю. Русаков\*, А. С. Зверев

Институт геохимии и аналитической химии имени В. И. Вернадского

\*[rusakov@geokhi.ru](mailto:rusakov@geokhi.ru)

---

Природная среда Арктики является наиболее динамичной и чутко реагирующей на климатические изменения. Континентальные оледенения четвертичного периода приводили к периодическим понижениям уровня Мирового океана (до значений примерно на 100-200 м ниже современных), а также к формированию вечной мерзлоты в верхней субаэральной части осадочного разреза. Вечномерзлотные образования служат естественным барьером, препятствующим свободной разгрузке парниковых газов (прежде всего метана) из осадочной толщи. Во времена потеплений уровень Мирового океана повышался, в результате чего затапливались обширные низменные территории севера континентальной окраины Евразии, что инициировало формирование шельфовых морей и деградацию вечной мерзлоты. Одним из результатов потепления климата является повышение эмиссии парниковых газов в атмосферу — вследствие как деструкции органического вещества оттаявших осадков, так и прямого высвобождения газов, накопившихся под слоем вечной мерзлоты [3]. На шельфе моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря сегодня обнаружено до 1,5 тыс. локальных участков (сиповых полей) разгрузки свободного (пузырькового) газа из донных осадков [4]. В то же время точных данных о распространении вечной мерзлоты в осадочном разрезе шельфовых морей Российской Арктики и о потоках газов в районах сиповых полей пока недостаточно.

Основная задача исследований, проведенных в ходе 73-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш», заключалась в установлении структуры осадочного разреза с целью выявления границ вечномерзлотных образований, а также в измерении потоков пузырькового газа, свободно выходящего с поверхности дна. С этой целью в экспедиции применялись: многоканальный сейсмоакустический комплекс высокого разрешения и устройство для подводного отбора пузырьков газа.

### Экспедиционное научное оборудование

#### *Многоканальный сейсмоакустический комплекс высокого разрешения*

В качестве сейсмического источника в комплексе используется спаркер вместе с сейсмическим накопителем энергии SPES-800. Сейсмостанция SpectraGeo SDAS-16-5, подключаемая к персональному компьютеру, формирует запуск сейсмического источника и обеспечивает многоканальный прием данных, поступающих с приемного устройства — сейсмической косы. Работа сейсмостанции происходит под управлением сейсмического программного обеспечения, установленного на персональный компьютер [операционная система — Windows 7 (XP)]. Сейсмоакустический комплекс позволяет выявлять детальное строение донных осадков на глубине до 100 м, выделять слабые границы между осадочными слоями и получать информацию о скоростях сейсмических волн.

### *Устройство для подводного отбора пузырьков газа (патент № RU 185 214 U1)*

Устройство разработано и создано в ГЕОХИ РАН в 2018 г. (рис. 1). Оно предназначено для отбора проб газа, свободно выходящего из донных осадков, и определения его потока. Задача устройства заключается в том, чтобы отобрать «чистую» пробу газа (т. е. не имевшую контакт с воздушной средой), определить величину его потока прямым методом (метод непосредственного сбора газа) и существенно снизить затраты на исследования устройство может работать автономно). Величина потока вычисляется исходя из площади собирающего конуса и времени экспозиции устройства на дне (единица измерения — л·м<sup>-2</sup>·сутки<sup>-1</sup>).

## **Результаты**

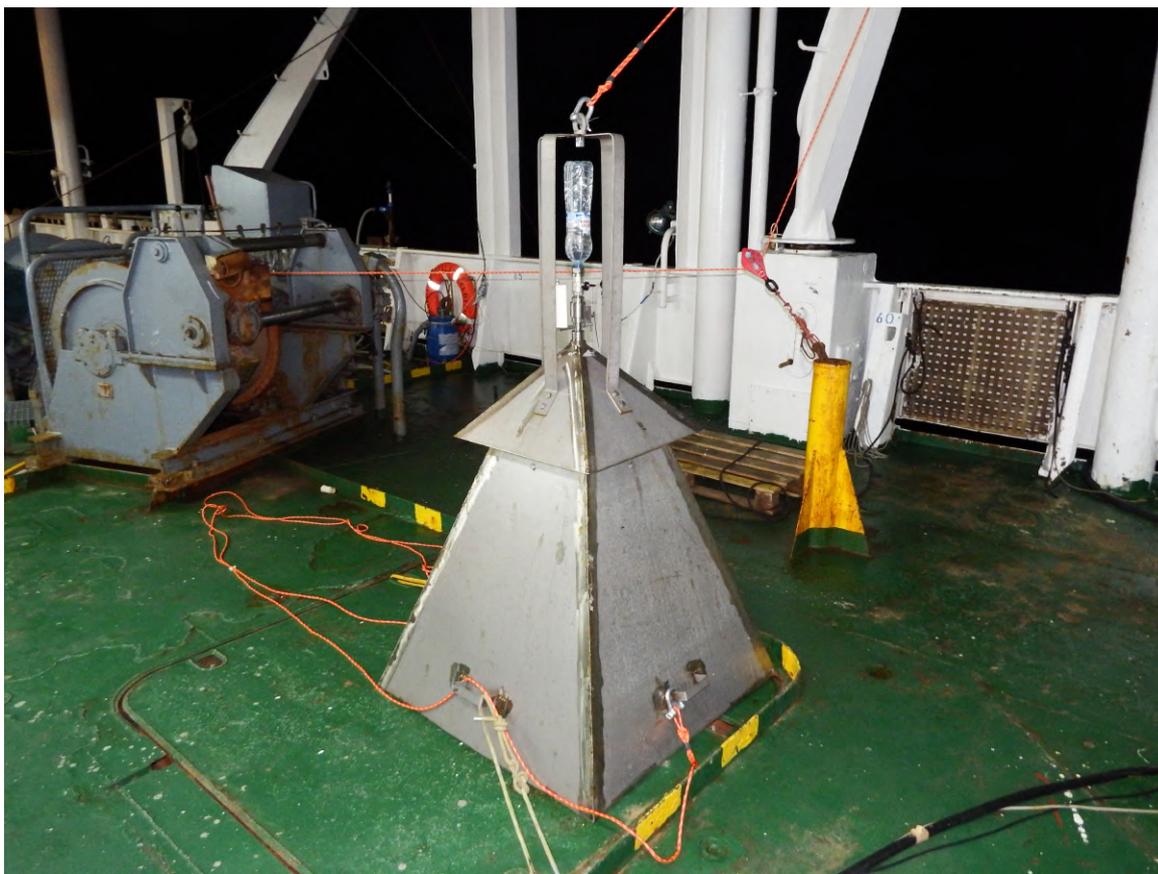
### *Структура осадочного разреза*

В ходе рейса выполнено 10 разрезов общей протяженностью несколько десятков морских миль методом непрерывного сейсмопрофилирования. Полученные структуры осадочного разреза позволили выявить вертикальную структуру верхней части осадков и подстилающую их границу отраженного сигнала прямой полярности, которая залегает на глубине примерно 15–30 м (20–40 мс) ниже поверхности дна. Прямая полярность отраженного сигнала означает границу перехода от менее плотной среды к более плотной. Эту границу мы интерпретировали как кровлю вечной мерзлоты (рис. 2а). Под кровлей вечной мерзлоты вертикальная структура осадочного разреза проявляется гораздо слабее, т. е. выделение отдельных слоев внутри вечномерзлотных образований затруднено.

В отдельных местах разрезов характерная структура из верхних четко структурированных слоистых осадков и подстилающих их вечномерзлотных образований нарушается горизонтами отраженного сигнала обратной полярности, расположенными выше кровли вечной мерзлоты. Горизонты обратной полярности обозначают границу перехода от более плотной среды к менее плотной. Ниже этой границы информация о вертикальной структуре осадков отсутствует, вероятно вследствие резкого затухания сейсмического сигнала. Такую границу перехода мы интерпретировали как кровлю газонасыщенных осадков, т. е. газовый фронт (рис. 2а, б). Часто газовый фронт близко подходит к поверхности дна, но не совпадает с ним. Мы полагаем, что это является результатом присутствия в верхней части разреза высокодисперсных голоценовых илов, служащих естественной преградой для свободной миграции газового фронта. В некоторых местах разрезов газовый фронт вплотную подходит к поверхности дна (рис. 2а). Мы полагаем, что эти места являются районами разгрузки пузырькового газа на дне, т. е. сиповыми полями, что было доказано в работах организаторов экспедиции [1, 2]

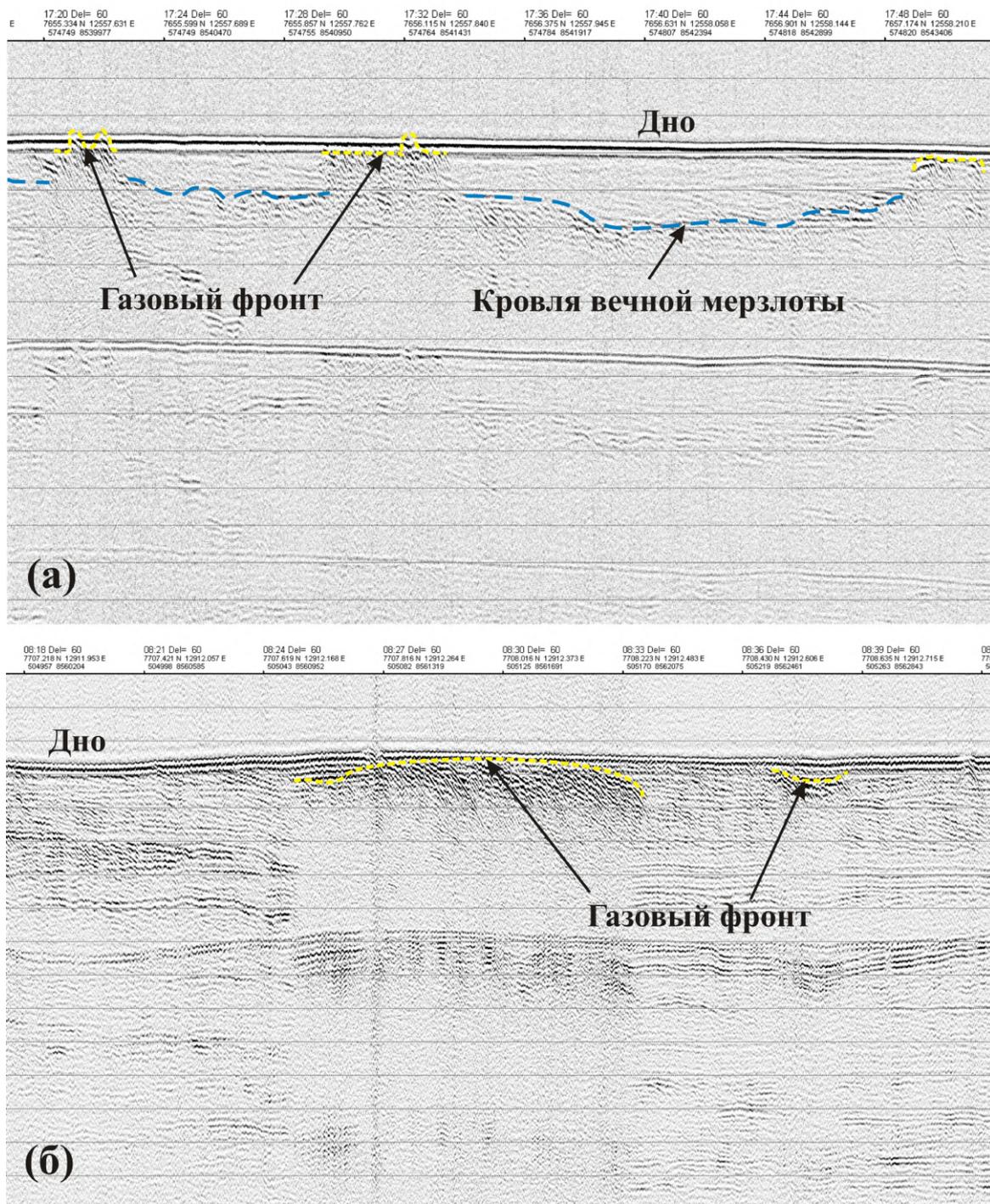
### *Потоки пузырькового газа*

Устройство для подводного отбора пузырьков газа позволило собрать пробы газа в двух точках, расположенных непосредственно в районах сиповых полей. Выбор точек отбора газа производился с помощью судового эхолота, на котором четко прописывались восходящие в водной толще струи пузырьков газа (газовые факелы). В первом случае устройство было установлено непосредственно на дно и собрало 525 мл газа (при давлении 1 атм) в накопительную емкость блока сбора пузырьков газа общим объемом 1,5 л. Экспресс анализ собранного газа на судне с помощью хроматографа показал, что газ состоит на 95 % из метана с небольшой примесью этана. Отношение O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> в собранном газе составило 0,558 (в воздухе O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> = 0,269), что указывает на то, что газ собран непосредственно на дне и не имеет примеси атмосферного воздуха. Во втором случае устройство было экспонировано в подвешенном со-



**Рис. 1.** Устройство для подводного отбора пузырьков газа. Патент № RU 185 214 U1. Срок действия патента — с 26 июня 2018 г. по 26 июня 2028 г.. Устройство выводится за борт с помощью лебедки и может устанавливаться на дно с использованием верхнего буя на буйрепе (автономная экспозиция) или вывешиваться над дном на фале в дрейфе судна

стоянии на высоте 5–7 м над дном и собрало 430 мл газа, состоявшего на 87 % из метана с небольшой примесью этана. Отношение  $O_2/N_2$  в собранном газе составило 0,514, что также указывает на то, что собранный газ не имеет примеси атмосферного воздуха. Измеренные величины потоков в обоих случаях составили несколько литров (при 1 атм) с квадратного метра в сутки, что в несколько раз превышает аналогичные значения потоков во внутриконтинентальных водоемах (болота и озера). Принимая во внимание масштабы распространения сиповых полей в море Лаптевых и Восточно-Сибирском море, предварительно можно заключить, что эмиссия метана на дне шельфовых морей Российской Арктики является важным фактором климатической системы Земли в целом.



**Рис. 2.** Вертикальные разрезы сейсмических профилей, полученные многоканальным сейсмоакустическим комплексом высокого разрешения (между горизонтальными линиями 20 мс): (а) (верхний профиль) — пунктирной линией выделена верхняя граница вечной мерзлоты, точечными линиями показаны локальные газовые фронты; (б) (нижний профиль) — вертикально-слоистая структура осадочного разреза нарушается газовыми фронтами. Другие пояснения см. в тексте

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Shakhova N., Semiletov I., Gustafsson O., Sergienko V., Lobkovsky L., Dudarev O., Tumskey, V., Grigoriev M., Mazurov A., Salyuk A., Ananiev R., Koshurnikov A., Kosmach D., Charkin A., Dmitrevsky N., Karnaukh V., Gunar A., Meluzov A., Chernykh D. Current rates and mechanisms of subsea permafrost degradation in the East Siberian Arctic Shelf. 2017. Nature Communications. Vol. 8. Article 15872. <https://doi.org/10.1038/ncomms15872>.
- [2] Shakhova N., Semiletov I., Leifer I., Sergienko V., Salyuk A., Kosmach D., Chernikh D., Stubbs C., Nicolsky D., Tumskey V., Gustafsson Ö. Ebullition and storm-induced methane release from the East Siberian Arctic Shelf. 2014. Nature Geosciences. Vol. 7, no. 1. P. 67–70. <https://doi.org/10.1038/ngeo2007>
- [3] Shakhova N., Semiletov I., Salyuk A., Yusupov V., Kosmach D., Gustafsson Ö. Extensive methane venting to the atmosphere from sediments of the East Siberian Arctic Shelf. 2010. Science. Vol. 327, iss. 5970. P. 1246–1250. <https://doi.org/10.1126/science.1182221>
- [4] Shakhova N., Semiletov I., Sergienko V., Lobkovsky L., Yusupov V., Salyuk A., Salomatina A., Chernykh D., Kosmach D., Panteleev G., Nicolsky D., Samarkin V., Joye S., Charkin A., Dudarev O., Meluzov A., Gustafsson O. The East Siberian Arctic Shelf: towards further assessment of permafrost-related methane fluxes and role of sea ice. 2015. Philos. Trans. Royal Soc. A. Vol. 373, iss. 2052. Article 20140451. <https://doi.org/10.1098/rsta.2014.0451>

## ИЗУЧЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКОЙ РОЛИ ДЕГРАДАЦИИ ПОДВОДНОЙ МЕРЗЛОТЫ КАК ФАКТОРА МАССИРОВАННЫХ ВЫБРОСОВ ОСНОВНЫХ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В АТМОСФЕРУ НАД ВОСТОЧНО-АРКТИЧЕСКИМИ МОРЯМИ РОССИИ (78-Й РЕЙС НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»)

И. П. Семилетов<sup>1,2\*</sup>, О. В. Дударев<sup>1,2</sup>, Н. Н. Дмитриевский<sup>3</sup>, А. С. Рубан<sup>2</sup>, В. Ю. Русаков<sup>7</sup>,  
И. И. Русанов<sup>6</sup>, Т. Н. Даутова<sup>4</sup>, Д. А. Ильинский<sup>3</sup>, Е. В. Якушев<sup>8</sup>, А. Г. Росляков<sup>5</sup>, Д. А. Космач<sup>1</sup>,  
Д. В. Черных<sup>1</sup>, Р. А. Ананьев<sup>3</sup>, А. Н. Салюк<sup>1</sup>, Э. А. Спивак<sup>1</sup>, А. Е. Овсенеv<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Тихоокеанский океанологический институт имени В. И. Ильичева ДВО РАН

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

<sup>3</sup>Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН

<sup>4</sup>Национальный научный центр морской биологии имени А. В. Жирмунского ДВО РАН

<sup>5</sup>Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова

<sup>6</sup>Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии», Институт микробиологии имени С. Н. Виноградского РАН

<sup>7</sup>Институт геохимии и аналитической химии имени В. И. Вернадского РАН

<sup>8</sup>Norwegian Institute for Water Research

\*[ipsemiletov@alaska.edu](mailto:ipsemiletov@alaska.edu)

---

### Директивные основания для проведения экспедиции:

1. «Разрешение Министерства образования и науки РФ на проведение морских научных исследований в исключительной экономической зоне Российской Федерации», № 14-27/8 от 25.04.2018.
2. Согласование изменения сроков проведения морских научных исследований МН-520/АМ от 02.10.2018.

**Сроки проведения:** 21 сентября — 25 октября 2018 г.

**Продолжительность:** 35 суток.

**Районы полигонных исследований:** море Лаптевых.

**Районы попутных исследований:** моря Лаптевых, Карское, Печерское, Баренцево, Белое.

**Финансирование:** субсидия ФАНО на проведение экспедиционных исследований в рамках госзаданий участников экспедиции, мегагрант Правительства РФ № 14Z50.31.0012 (рук. — чл.-корр. РАН, д. г. н. И. П. Семилетов, ТПУ — ТОИ ДВО РАН); грант РНФ № 15-17-20032 (рук. — д. г.-м. н. Н. Е. Шахова, ТПУ); госбюджет (в рамках госзаданий участников).

**Цель экспедиции:** получение новых знаний о динамике перекачки гигантских запасов органического вещества деградирующей прибрежно-шельфовой криолитозоны Арктики, вовлекающегося в современный биогеохимический цикл и способного привести к существенному дисбалансу в глобальном цикле углерода и к массивной эмиссии основных парниковых газов (углекислый газ и метан) в водную толщу и атмосферу.

#### Ключевые задачи:

- 1) изучение особенностей трансформации углерода органического вещества (речной и эрозионный ледовый комплекс) в системе донные осадки — водная толща — приводная атмосфера;
- 2) оценка масштабов пузырьковой разгрузки  $\text{CH}_4$  из осадочной толщи на участках прогрессирующей деградации подводной мерзлоты;
- 3) изучение геологического строения верхней части осадочной толщи и сейсмического режима шельфа моря Лаптевых в районах массивированного газопроявления и развития подводной мерзлоты;
- 4) изучение состояния биологических систем в этих районах;
- 5) характеристика микробных сообществ и определение активности микробных процессов циклов углерода, метана и серы в донных осадках районов газопроявления.

**Методологический подход:** базируется на выполнении комплекса междисциплинарных наблюдений (биогеохимические, гидрологические, геолого-геофизические, гидробиологические, гидрофизические). Он позволяет изучать механизмы миграции и трансформации углерода в системе суша — шельф — атмосфера с учетом динамики водных масс, геологической структуры осадочной толщи, состояния подводной мерзлоты и других факторов.

**Организатор экспедиции:** Тихоокеанский океанологический институт имени В. И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток (далее — ТОИ ДВО РАН) — 10 человек.

#### Участники экспедиции (см. рис. 1):

- 1) Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, г. Москва (далее — ИО РАН) — 10 чел.;
- 2) Национальный исследовательский Томский политехнический университет (далее — ТПУ) — 4 чел.;
- 3) Национальный научный центр морской биологии ДВО РАН, г. Владивосток (далее — ННЦМБ) — 10 чел.;
- 4) Московский государственный университет, в том числе Центр морских исследований (далее — ЦМИ) — 10 чел., геологический факультет — 1 чел., ООО «МГУ-геофизика» — 1 чел.;
- 5) Институт геохимии и аналитической химии имени В. И. Вернадского, г. Москва (далее — ГЕОХИ РАН) — 2 чел.;
- 6) Институт микробиологии имени С. Н. Виноградского, г. Москва (далее — ФИЦ биотехнологии РАН) — 2 чел.;
- 7) Московский физико-технический университет (далее — МФТИ) — 2 чел.;
- 8) Институт почвоведения РАН, г. Москва (далее — ИП РАН) — 1 чел.;
- 9) Институт физики атмосферы имени А. М. Обухова, г. Москва (далее — ИФА РАН) — 1 чел.;
- 10) Стокгольмский университет (далее — SU ITM) — 1 чел.

**Руководитель экспедиции:** чл.-корр. РАН, д. г. н. Игорь Петрович Семилетов (ТОИ ДВО РАН).  
Заместитель — гл. н. с., д. г.-м. н. Олег Викторович Дударев (ТОИ ДВО РАН), заместитель — к. т. н. Николай Николаевич Дмитриевский (ИО РАН).  
Ученый секретарь — к. г.-м. н. Алексей Сергеевич Рубан (ТПУ).



Рис. 1. Участники экспедиции

**Общая численность научного состава:** 55 чел., из них 1 иностранец (Стокгольмский университет). Научные направления исследований: (1) гидрология; (2) литология; (3) микробиология (микробная геохимия); (4) биогидрохимия; (5) газогеохимия; (6) дистанционный мониторинг приземной атмосферы; (7) радиоизотопия воды; (8) гидробиология; (9) наблюдения с помощью телеуправляемых подводных аппаратов; (10) гидроакустика; (11) электроразведочное зондирование; (12) сейсмометрия и геоакустика; (13) геофизика осадочной толщи; (14) картирование рельефа дна.

В табл. 1 представлены научные направления (группы/отряды) исследований и их лидеры (см. также рис. 1).

### Выполнение программы исследований

Экспедиция продолжительностью 35 суток выполнена в сроки в соответствии с планом экспедиционных исследований научно-исследовательских судов организаций, подведомственных Минобрнауки России. Рейс начался выходом из порта Архангельск 21 сентября 2018 г. и завершился в этом же порту 25 октября 2018 г.

Исследования выполнены в полном объеме, в соответствии с научной программой, за исключением Восточно-Сибирского моря, где мегасиповый полигон был блокирован многолетними льдами (рис. 2).

С различными видами океанографических работ пройдено более 10 000 км. Комплекс исследований в море Лаптевых выполнен на 68 станциях на 7 полигонах (рис. 3).

**Таблица 1.** Состав участников экспедиции

№ п/п	Ф. И. О. лидера группы	Состав	Ведомственная принадлежность
Гидрологическая группа			
1	Спивак Эдуард Альбертович	4	ТОИ ДВО РАН, ИО РАН
Группа литологических исследований			
2	Русаков Валерий Юрьевич, д. г.-м. н.	6	ГЕОХИ РАН, ЦМИ, МГУ, ТОИ ДВО РАН
Микробиологическая группа			
3	Русанов Игорь Иванович, к. б. н.	2	ФИЦ биотехнологии РАН
Группа биогеохимии			
4	Якушев Евгений Владимирович, д. ф.-м. н.	5	ИО РАН, ТПУ, ЦМИ
Группа газогеохимии			
5	Космач Денис Алексеевич, б/с	3	ТОИ ДВО РАН, SU ITM
Группа дистанционного мониторинга приземной атмосферы			
6	Салюк Анатолий Назарович, к. ф.-м. н.	3	ТОИ ДВО РАН, ИФА РАН
Группа радиоизотопных исследований			
7	Овсеньев Александр Евгеньевич, б/с	2	ТПУ
Гидробиологическая группа			
8	Даутова Татьяна Николаевна, к. б. н.	7	ННЦМБ
Группа обслуживания телеуправляемых подводных аппаратов			
9	Денисов Виталий Андреевич, б/с	3	ННЦМБ
Группа гидроакустического и электроразведочного зондирования			
10	Черных Денис Вячеславович, к. т. н.	2	ТОИ ДВО РАН, МГУ
Группа сейсмологии и геоакустики			
11	Росляков Александр Геннадьевич, б/с	6	ЦМИ
Группа геофизических исследований			
12	Ильинский Дмитрий Анатольевич, к. ф.-м. н.	3	ИО РАН
Группа картирования рельефа дна			
13	Ананьев Роман Александрович, б/с	3	ИО РАН
Другие участники экспедиции			
14	Пономарев Александр Евгеньевич, художник	1	Российская художественная академия
15	Конттинен Юсси Паули, журналист	1	Газета Helsingin Sanomat

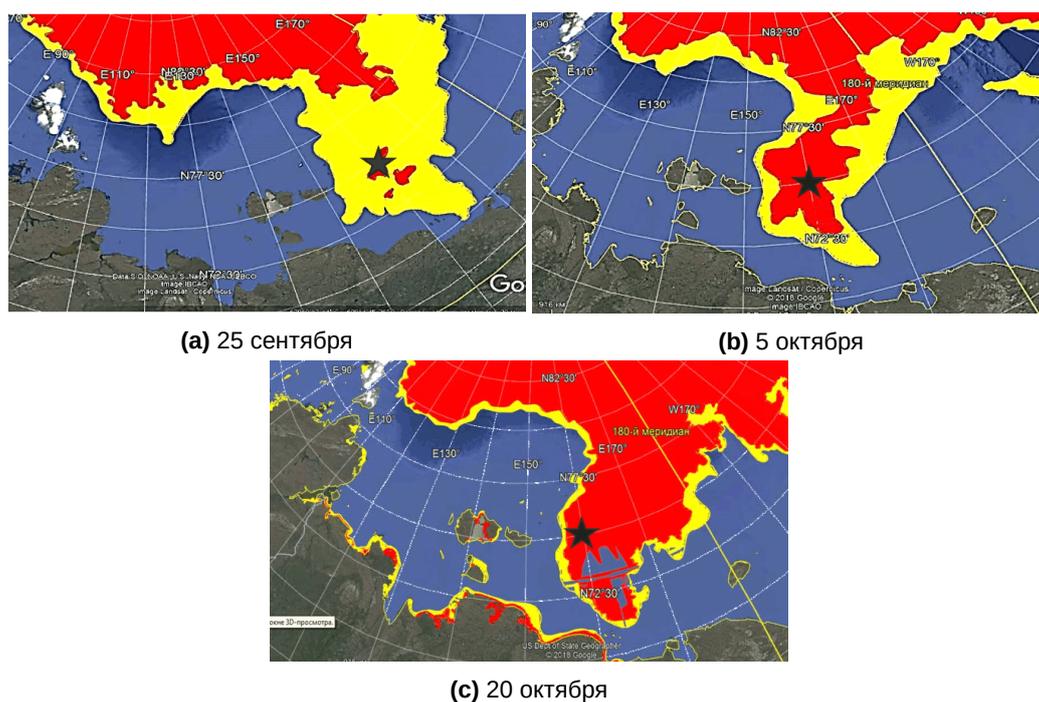
## Средства измерений и аналитических процедур

- Гидрологическая группа: зонд SBE 911plus (регистрация давления, температуры, флуоресценции хлорофилла *a*, содержания растворенного кислорода, мутности и электропроводности), 12-позиционное пробоотборное устройство типа SBE 32, проточная система для регистрации характеристик поверхностного слоя воды на ходу судна (SBE 21, SBE 19).
- Группа биогидрохимии: оптоволоконный спектрофотометр Ocean Optics USB 2000+, спектрофотометр Leki 2107 UV, автотитратор Metrohm Dosimat plus 876, pH-метр/кондуктометр Metrohm 914, спектрометр MicroNIR, водяная баня с термостатируемым подогревателем на 25 °С, кадмиевые редукторы, перистальтическая помпа Biograd, вакуумный мембранный насос Gast с системой вакуумной фильтрации, автоматические пипетки, диспенсеры, лабораторная посуда.
- Группа газогеохимии: три газовых хроматографа SRI-8610с.
- Литологическая группа: боксорер (50×50×50 см), гравитационная трубка большого диаметра (ТБД), анализатор pH и Eh донных осадков «Эксперт-001», пробоотборник поровых вод, новая экспериментальная ловушка газов для участков газовых сипов.
- Группа изотопных исследований: радиометр Rad7, система Rad Soda Bottle Kit.
- Микробиологическая группа: сцинтилляционный счетчик Rackbeta.
- Гидробиологическая группа: световые микроскопы, холодильники.
- Группа обслуживания телеуправляемых подводных аппаратов (ТПА): SUB-Fighter-3000, Falcon-DR.
- Группа гидроакустического и электроразведочного зондирования: мобильный эхолот Simrad EK15, судовой эхолот Kongsberg EA 600, аппаратура для электромагнитного зондирования.
- Группа дистанционного мониторинга приземной атмосферы: анализатор концентрации метана, углекислого газа и водяного пара Micro portable GGA (MPGA), анализаторы концентрации метана и углекислого газа DLT-100 и LI-7700.
- Группа сейсмометрии и геоакустики: сейсмологическая широкополосная самовсплывающая донная станция длительной автономности.
- Группа картирования рельефа дна: многолучевой эхолот WASSP WMB-3250, блок компенсации крен-дифферента и вертикальных перемещений судна Seatex MRU-Z, спутниковый компас Furuno SC-30, морские придонные станции сейсмоакустической разведки МПССР, автономный регистратор волнения APB-K14-1.
- Группа геофизических исследований: высоковольтный блок (накопитель энергии) Jack 2500-2500, устройство синхронизации SynchroBox, сеймостанция SMS-4, сейсмокоша маслonaполненная многоканальная SplitMultiSeism Streamer 16Ch, система навигации Trimble R9.

Некоторые виды снаряжения и аналитической аппаратуры представлены на рис. 4, 5, 6.

## Предварительные научные результаты

Накопленные к сегодняшнему дню многочисленные данные свидетельствуют о том, что Арктика переживает беспрецедентные изменения, касающиеся как экосистемы в целом, так и ее отдельных компонентов. Достичь понимания механизмов саморегулирования этой системы и ее функционирования как единого целого возможно только после того, как будет достигнуто понимание основных ком-



**Рис. 2.** Ледовые условия в районе мегасипового полигона (обозначен звездочкой) в Восточно-Сибирском море осенью 2018 г.

понентов во всей сложности и многообразии их взаимодействия друг с другом, разработаны подходы к количественной оценке происходящих изменений и обоснованы точки отсчета в их наблюдениях.

В настоящее время и в ближайшие декады XXI века арктический шельф есть и будет одной из наиболее важных природных систем на планете: он не только опосредованно оказывает влияние на климат 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 ( $\text{CO}_2$ ) и метан ( $\text{CH}_4$ )], но и сам является наиболее чувствительной частью климатической системы (Arctic Climate Feedbacks, 2009; SEARCH, 2005). Мониторинг арктической прибрежной зоны и Восточно-Сибирского Шельфа в целом критически важен для понимания и оценки арктического усиления (*understanding Arctic amplification*) в отношении отклика арктической морской экосистемы на предполагаемое потепление (IPCC, 2014).

Наши исследования основаны на обобщении итогов многолетнего комплексного изучения гидрометеорологических, биогеохимических, и геологических процессов, при изучении которых выявлены и описаны характерные особенности взаимодействия между основными компонентами цикла углерода и гидрологическими и геологическими факторами в морях российской Арктики в условиях потепления, деградации мерзлоты и сокращения ледового покрова Северного Ледовитого океана (подробнее — в монографии Семилетов и др. Цикл углерода в морях Восточной Арктики на рубеже XX–XXI веков. Томск : Из-во ТПУ, 2017. Книга 1. Транспорт и трансформация углерода в системе суша — шельф. 532 с.). Особое внимание уделено изучению дисбаланса в цикле углерода, обусловленного деградацией подводной мерзлоты, который проявляется в атмосферной эмиссии пузырькового метана (подробнее — в монографии Шахова и др. Цикл углерода в морях Восточной Арктики на рубеже XX–XXI веков. Владивосток : Дальнаука, 2018. Книга 2. Метан. Результаты первых исследований (1994–2010 гг.). 239 с.), и двуокиси углерода (в результате окисления эрозийного углерода из мелководных морей Восточной Арктики (МВА), где биогеохимические последствия деградации мерзлоты наиболее выражены).

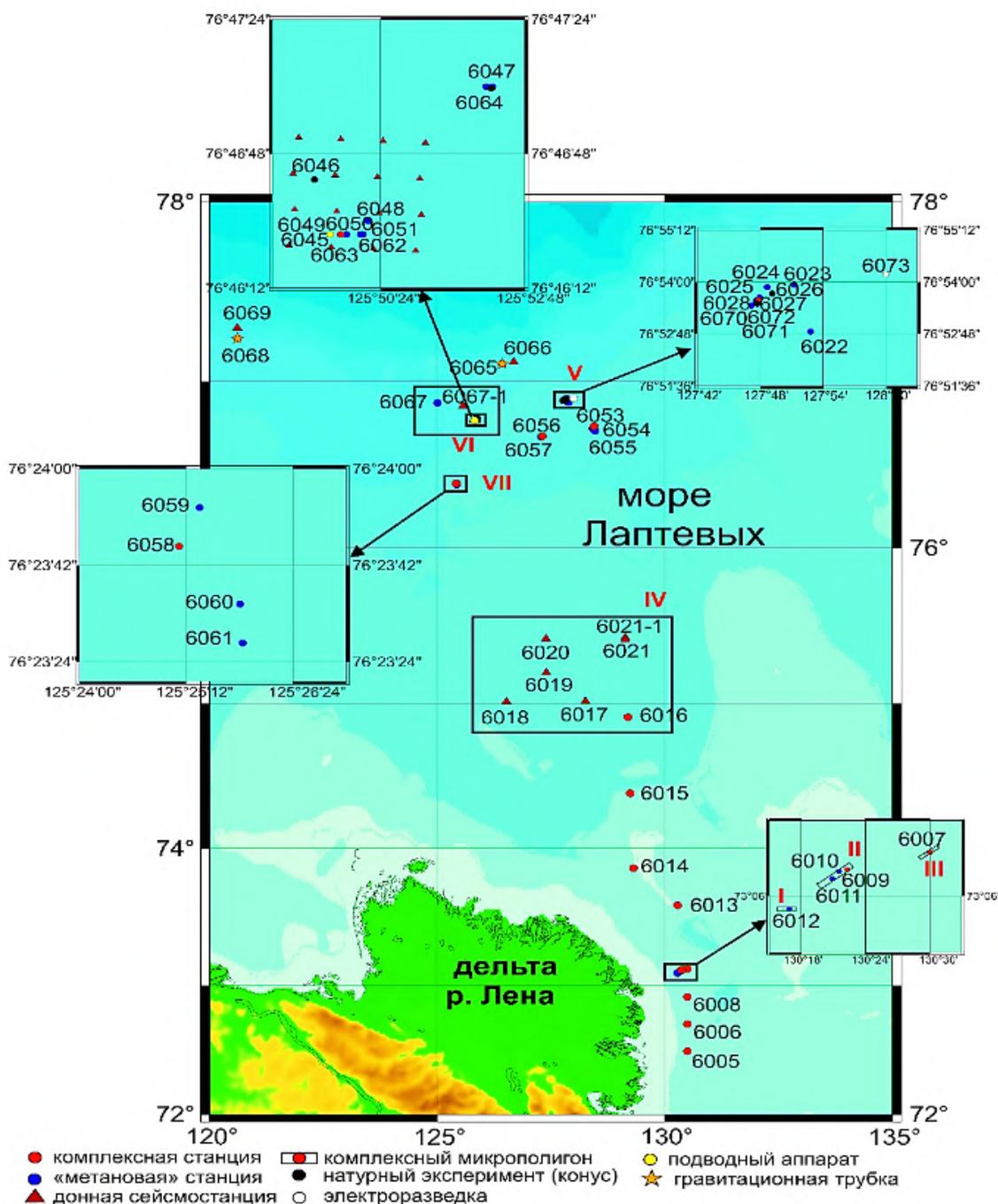


Рис. 3. Районы и полигоны исследований

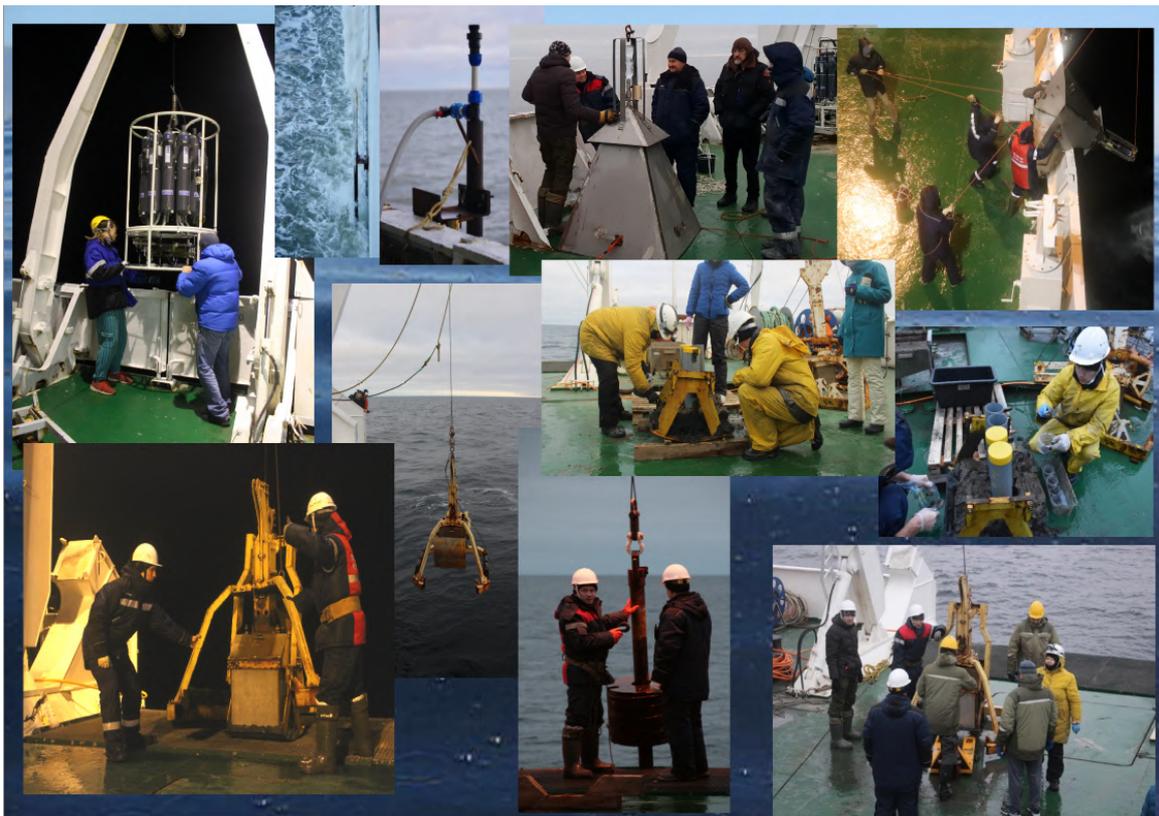


Рис. 4. Палубные и заборные работы групп гидрологии, литологии и газогеохимии

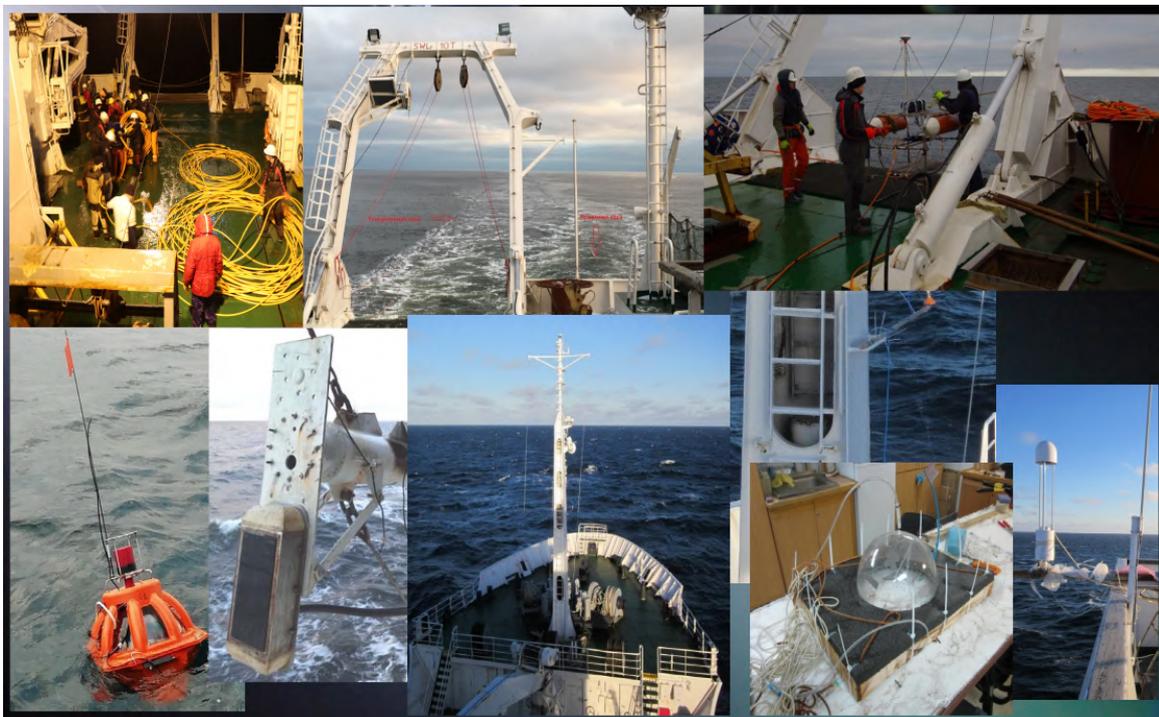


Рис. 5. Палубные и заборные работы групп геофизики, газогеохимии и мониторинга приводной атмосферы



Рис. 6. Аналитическое оборудование групп гидрохимии, радиоизотопии воды и газогеохимии

В табл. 2 представлены количественные показатели выполненных наблюдений по видам работ.

Таблица 2. Виды и объемы исследований

Гидрологическая группа	
СТД-зондирование	63 каста
Общее количество горизонтов пробоотбора воды	361
Непрерывная маршрутная регистрация температуры, солености, флуоресценции, хлорофилла а, мутности, растворенного кислорода (проточная система)	128 000 измерений
Группа биогидрохимии	
Гидрохимические характеристики водной толщи (растворенный кислород, рН, общая щелочность, фосфаты, силикаты, нитриты, нитраты, аммоний), пробы для измерения концентрации РОВ и снятия УФ-видимых и флуоресцентных спектров, препараты РОВ	1574
Гидрохимические характеристики поровых вод донных осадков (рН, общая щелочность, фосфаты, силикаты, нитриты, нитраты, аммоний)	358
Группа газогеохимии	
Метан и углекислый газ в морской воде	270
Метан и углекислый газ в морской воде (проточная система)	> 25 3000
Метан, этан, пропан, бутан, этилен, ацетилен в донных осадках	72
Отбор проб на изотопию растворенных газов ( $^{13}\text{C}$ , D, $^{14}\text{C}$ )	933
Отбор воды на изотопы N и Si	179

Продолжение на следующей странице...

Отбор воды на РОВ	59
Отбор проб для определения аминокислот в донных осадках	38
Литологическая группа	
Керны донных осадков (боксорер)	15
Керны донных осадков (гравитационная трубка ТБД)	2
Отбор донных осадков на геохимические исследования и определение размерного состава	1133
Отбор проб пузырькового газа конусом-ловушкой из сипов	2
Отбор донных осадков для определения $^{137}\text{Cs}$ , $^{210}\text{Pb}$	368
Консервация керна для рентгеновской томографии	8 секций (2 керна)
Физические свойства донных осадков (плотность, влажность)	60
Поровые воды донных осадков	9
pH донных осадков	20
Eh донных осадков	7
Микробиологическая группа	
Общая численность микроорганизмов в водной толще	97
Биомасса микроорганизмов в водной толще	97
Морфологическое разнообразие микроорганизмов в водной толще	97
Физиологическая активность и численность микроорганизмов, циклов метана и серы (посев на селективные среды)	44
Филогенетическое разнообразие в микробных сообществах различных горизонтов водной толщи и донных осадков (молекулярно-биологические методы)	78
Выявление функциональных генов, активных <i>in situ</i> , с использованием молекулярно-биологических методов	20
Интенсивность микробной продукции метана (водная толща и донные осадки)	104
Интенсивность микробного окисления метана (водная толща и донные осадки)	104
Интенсивность микробной сульфатредукции в придонном/наддонном горизонтах водной толщи и донных осадках	43
Интенсивность микробной продукции РОВ и ВОВ в водной толще и донных осадках	95
Интенсивность продукции РОВ и ВОВ фитопланктона в фотической зоне (фотосинтез)	56
Концентрация хлорофилла <i>a</i>	52
Содержание органического вещества в воде и донных осадках	95
Отбор проб для изучения стабильно-изотопного состава органического и неорганического углерода в воде и донных осадках	95
Концентрация сульфата, метана, общей щелочности в воде и донных осадках	125
Подготовка проб поровой воды для определения биогенов и концентрации растворенного органического вещества	40

Продолжение на следующей странице...

Гидробиологическая группа	
Промывка проб донных грунтов для извлечения животных	56
Подготовка проб животных для изотопного анализа	> 400
Фиксация проб животных для определения видовой принадлежности	520
Фиксация проб после выборки макробентоса	56
Сбор и фиксация проб мейобентоса	56
Отбор фитопланктона	62 пробы
Выделение культуры микроводорослей <i>Thalassiosira</i>	15 клонов
Подготовка проб микроводорослей для криоконсервирования	48 криопробирок
Подготовка проб микроводорослей для дальнейшего выделения ДНК	96 криопробирок
Микологические и микробиологические исследования донных сообществ осадков моря Лаптевых	32 пробы
Посевы грибов, бактерий и дрожжеподобных организмов	73 посева
Отбор воды на метагеномный анализ микроорганизмов (бактерии, грибы, простейшие, микроводоросли)	49 проб
Фильтрация проб воды для осаждения микроорганизмов	49 фильтраций
Подготовка биоматериала и образцов грунта к депонированию в «Морской биобанк» ННМБЦ	96 образцов
Подводные наблюдения с ТПА	
Авандельта р. Лена, полигон «Северный»	3 часа, 160 м <sup>2</sup>
Группа дистанционного мониторинга приводной атмосферы	
Концентрации метана и углекислого газа в приводной атмосфере	трасса 9800 км
Концентрация метана в приводной атмосфере метана (верхний уровень)	трасса 5000 км
Регистрация равновесной с водой концентрации метана и углекислого газа в приводной атмосфере на выходе из проточной системы	трасса 1700 км
Регистрация потока метана в пограничном слое вода — атмосфера с помощью дрейфующей накопительной камеры	3 измерения
Отбор морской воды с дубликатами на изотопный анализ He, Ne, Ar, Kr, Xe (медные трубки)	103 пробы
Отбор морской воды с дубликатами на изотопный анализ He, Ne, Ar, Kr, Xe и трития (стеклянные бутылки)	66 проб
Отбор свободного газа (с дубликатами) из газовых сипов на изотопный анализ He, Ne, Ar, Kr, Xe (из конуса-ловушки)	2 пробы
Непрерывная регистрация метеоданных	трасса 9800 км
Регистрация концентрации метана в 25 м над уровнем моря	21 сутки
Изотопные исследования	
Измерения изотопов радона <sup>222</sup> Rn и торона <sup>220</sup> Rn в морской воде (проточная система)	156
Измерение продуктов распада в морской воде радия <sup>226</sup> Ra и <sup>224</sup> Ra	474
Группа картирования рельефа дна	
Батиметрическая и сейсмоакустическая съемка (в т. ч. 350 км геофизической съемки на 9 полигонах по регулярной сетке галсов)	1350 погонных км

Продолжение на следующей странице...

Группа сейсмометрии	
Трехмерное изучение структуры мегасипов с помощью автономных донных станций	16 станций, 1 730 880 измерений
Сейсмологическое зондирование число физических измерений: станция 1 / станция 2	272 / 120
Группа гидроакустического и электромагнитного зондирования	
Непрерывное гидроакустическое зондирование	трасса 10 520 км
Регистрация областей пузырьковой разгрузки газов (на частотах 12 и 200 кГц)	630 (из них 360 обнаружены впервые)
Электромагнитное зондирование	1277 погонных км
Точки зондирования	20 584

Одним из основных достижений экспедиции в научно-практическом аспекте является создание уникального коллектива из 55 ученых из ведущих институтов РАН и вузов России, который уже проводит комплексные и междисциплинарные исследования мирового уровня в арктических морях РФ. Этот научный коллектив в содружестве с созданным в ТПУ Международным сибирским арктическим научным центром (<http://tass.ru/nauka/5684915>) может рассматриваться как прототип научного центра мирового уровня (<https://news.tpu.ru/news/2018/10/15/33810/>), создание которых планируется в рамках национального проекта «Наука».

В настоящее время в Российской Федерации отсутствует целевая программа по изучению распространения и состояния подводной мерзлоты, несмотря на то что известны многочисленные случаи аварий, возникающих при недоучете научно обоснованных результатов исследования распространения и стабильности подводной мерзлоты и связанных с ней арктических газовых гидратов. Последствия геозкологических катастроф, которые могут произойти при разведочно-промышленной деятельности, выполненной без учета последних достижений научных исследований нашего авторского коллектива (неконтролируемый выброс гидратного газа и т. д.), в материальном отношении могут нанести огромный ущерб. Достаточно вспомнить про катастрофические последствия недавней аварии в Мексиканском заливе и событий в Печорском море. Образование ямальных воронок является иллюстрацией того, что может произойти в любой момент на обширных акваториях МВА, включая лицензионные участки «Роснефти» и «Газпрома». Наш коллектив способен разработать научно обоснованные подходы, которые позволят минимизировать геориски, связанные с прогрессирующей деградацией подводной мерзлоты и с массивными выбросами пузырькового метана.

Считаем также крайне перспективным практическое использование разработанных нашим авторским коллективом технологий для оценки количественного выброса пузырькового метана из донных отложений путем абсолютной калибровки однолучевых и многолучевых сонаров, что можно и нужно применять для поиска разрывов в подводных газопроводах, и для оценки экономического и экологического ущерба, полученного вследствие массивных утечек. Эти оригинальные и экономичные экспресс-технологии уже используются в наших исследованиях и опубликованы в ряде статей в ведущих журналах в России и за рубежом.

Мировой уровень нашего межрегионального, межведомственного и междисциплинарного коллектива на борту флагмана научно-исследовательского флота России НИС «Академик М. Келдыш» подтверждается публикацией ключевых результатов изучения функционирования арктической климатической системы в журналах Science (1997, 2010), Nature (2012), Nature Geoscience (2014, 2016), Nature

Communications (2016, 2017, 2018) и насчитывает уже более 130 работ в журналах первого квартала Web of Science.

Современные и будущие изменения, которые климат вызывает в арктических морских экосистемах и биогеохимических циклах этих систем, оказывают и будут в дальнейшем оказывать серьезное влияние на состояние окружающей среды и на экономику РФ, в том числе определяющее воздействие — на топливно-энергетическую, рыбную и транспортную промышленность, освоение природных ресурсов и жизнь коренных народностей Севера.

Наша способность понимать и предвидеть изменения арктических экосистем в ответ на происходящие климатические изменения имеет первостепенное значение. Она обусловлена необходимостью своевременно реагировать на возможные сложные и критические ситуации, которые могут возникать в ходе воплощения государственных планов развития Арктического региона. Это особенно актуально после недавнего принятия Правительством РФ и ратификации Президентом РФ В. В. Путиным Плана стратегического развития Арктики до 2020 г.

Осуществление комплекса междисциплинарных океанографических исследований позволило получить новые уникальные данные об особенностях природных процессов в пограничной области геосистемы суша — шельф — материковый склон Северного Ледовитого океана.

В настоящее время в институтах РАН (ТОИ ДВО РАН, ИО РАН, ГЕОХИ РАН, ТПУ, ФИЦ биотехнологии РАН, ННЦМБ), в Стокгольмском университете, МГУ и ЦМИ МГУ продолжаются анализы проб воды, газа, взвеси и донных осадков, дешифровка и интерпретация геофизических данных. После длительной обработки планируется опубликование нескольких десятков статей в рейтинговых национальных и зарубежных научных изданиях.

Результаты всестороннего изучения полученных данных будут способствовать решению фундаментальной проблемы выяснения зависимостей между регистрируемым в современный период усилением темпов деградации многолетней мерзлоты и увеличением концентрации углерода в атмосфере над морями Восточной Арктики.

Планируемое количество статей в журналах Web of Science: 23.

Научные семинары и творческие встречи на борту судна, проведенные в рамках «Плавучего университета»: 18 (табл. 3).

## **Выводы**

Программа работ 73-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» выполнена на мировом уровне в запланированном объеме. Исключением стал полигон в Восточно-Сибирском море, оказавшийся недоступным для экспедиционных исследований вследствие наличия дрейфующих полей многолетних льдов в течение всей арктической навигации 2018 г.

С различными видами океанографических работ судном пройдено более 10 000 км трассы, выполнено 68 станций.

Получен уникальный экспериментальный и натурный материал по взаимодействию системы дно — вода — приводная атмосфера в районах массивированных газопроявлений на шельфе моря Лаптевых. Получены новые знания о динамике перекачки гигантских запасов органического вещества, транспортируемого в арктические моря вследствие деградации подводной и прибрежной мерзлоты; путях миграции и трансформации углерода в системе суша — шельф — атмосфера с учетом факторов, определяющих процессы переноса водных масс; осадконакоплении в настоящем и прошлом; состоянии подводной мерзлоты и геологической структуры осадочного чехла. Впервые на шельфе моря проведен ряд

короткопериодных сейсмических наблюдений; на дно установлены автономные сейсмические станции на годовую экспозицию. Все это позволит не только получить полную картину сеймотектонических событий во всей акватории моря Лаптевых, но и уточнить трехмерную структуру донных осадков и путей разгрузки геотекстуры.

Все судовые приборы и штатное оборудование судна находились в рабочем состоянии. Экипаж судна — от капитана, старшего механика, помощником по НТС, штурманской и машинной служб до боцмана, матросов, мотористов, поваров, буфетчиц и номерных — безупречно и квалифицированно исполнял должностные обязанности. В любой обстановке и любое время суток экипаж откликался на все нужды и просьбы научного состава по обеспечению выполнения программы исследований.

**Таблица 3.** Научные семинары «Плавучего университета»

Докладчик	Тема доклада
Семилетов И. П.	Сибирский арктический шельф как источник парниковых газов планетарной значимости
Денисов В. А.	Опыт использования подводных аппаратов в морях Восточной Арктики
Росляков А. Г.	Сейсмогеологические условия моря Лаптевых Методика и техника проведения морских сейсмоакустических исследований Предварительные результаты сейсмоакустического профилирования Использование необитаемых глубоководных аппаратов при инженерно-геологических исследованиях в Черном море
Алешин М. И.	Источники и приемники колебаний в морской сейсморазведке
Осадчиев А. А.	Речные плюмы
Дмитревский Н. Н.	Подводная лодка К-27: эхо прошлого
Якушев Е. В.	Биогеохимическое моделирование: мифы и реальность
Ильинский Д. А.	Донная сейсмика в науке и промышленности
Русаков В. Ю.	Реки и устьевые области
Тумской В. Е.	Мерзлота на шельфе: современное чудо
Русанов И. И.	Микроорганизмы в окружающей среде: мифы и реальность
Даутова Т. Н.	Кто такие кораллы и где их искать?
Пономарев А. Е.	Творческая встреча
Конттинен Ю. П.	Творческая встреча
Гринько А. А.	Исследование состава органического углерода инструментальными методами

Избранные цитируемые статьи участников экспедиции по поставленной проблеме [всего около 300 публикаций в журналах, цитируемых в Web of Science, в том числе статьи в Science (2), Nature (1), Nature Geoscience (2), Nature Communications (4), PNAS (2), Scientific Advances (1)]:

1. Семилетов И. П. Разрушение мерзлых пород побережья как важный фактор в биогеохимии шельфовых вод Арктики // Доклады Академии наук. 1999. Т. 368, № 5. С. 679–682.
2. Broder L., Tesi T., Andersson A., Semiletov I., Gustafsson Ö. Bounding cross-shelf transport time and degradation in Siberian-Arctic land-ocean carbon transfer // Nature Communications. 2018. Vol. 9. Article no. 806. <http://doi.org/10.1038/s41467-018-03192-1>
3. Guo L., Semiletov I., Gustafsson Ö., Ingri J., Anderson P., Dudarev O., and White D. Characterization of Siberian Arctic coastal sediments: Implications for terrestrial carbon export // Global Biogeochemical Cycles. 2004. Vol. 18, iss. 1. Article GB1036 (10 p.). <https://doi.org/10.1029/2003GB002087>
4. Luchin V. A., Semiletov I. P., Weller G. E. Changes in the Bering Sea region: atmosphere – ice – water system in the second half of the twentieth century // Progress in Oceanography. 2002. Vol. 55, iss. 1–2. P. 23–44. [https://doi.org/10.1016/S0079-6611\(02\)00068-X](https://doi.org/10.1016/S0079-6611(02)00068-X)
5. Pipko I. I., Semiletov I. P., Pugach S. P., Wählström I., and Anderson L. G. Interannual variability of air-sea CO<sub>2</sub> fluxes and carbon system in the East Siberian Sea // Biogeosciences. 2011. Vol. 8, iss. 7. P. 1987–2007. <https://doi.org/10.5194/bg-8-1987-2011>
6. Pipko I. I., Pugach S. P., Semiletov I. P., Anderson L. G., Shakhova N. E., Gustafsson Ö., Repina I. A., Spivak E. A., Charkin A. N., Salyuk A. N., Shcherbakova K. P., Panova E. V., Dudarev O. V. The dynamics of the carbon dioxide system in the outer shelf and slope of the Eurasian Arctic Ocean // Ocean Science. 2017. Vol. 13, iss. 6. P. 997–1016. <https://doi.org/10.5194/os-13-997-2017>
7. Pugach S. P., Pipko I. I., Shakhova N. E., Shirshin E. A., Perminova I. V., Gustafsson Ö., Bondur V. G., Ruban A. S., Semiletov I. P. Dissolved organic matter and its optical characteristics in the Laptev and East Siberian seas: Spatial distribution and inter-annual variability (2003–2011) // Ocean Science. 2018. Vol. 14. P. 87–103. <https://doi.org/10.5194/os-14-87-2018>
8. Savelieva N. I., Semiletov I. P., Vasilevskaya L. N., Pugach S. P. A climate shift in seasonal values of meteorological and hydrological parameters for Northeastern Asia // Progress in Oceanography. 2000. Vol. 47, iss. 2–4. P. 279–297. [https://doi.org/10.1016/S0079-6611\(00\)00039-2](https://doi.org/10.1016/S0079-6611(00)00039-2)
9. Semiletov I. P. Aquatic sources and sinks of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> in the Polar Regions // Journal of the Atmospheric Science. 1999. Vol. 56, no. 2. P. 286–306. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1999\)056<0286:ASASOC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1999)056<0286:ASASOC>2.0.CO;2)
10. Semiletov I. P., Makshtas A. P., Akasofu S., Andreas E. L. Atmospheric CO<sub>2</sub> balance: The role of Arctic sea ice // Geophysical Research Letters. 2004. Vol. 31, iss. 5. Article L05121 (4 p.). <https://doi.org/10.1029/2003GL017996>
11. Semiletov I. P., Pipko I. I., Shakhova N. E., Dudarev O. V., Pugach S. P., Charkin A. N., McRoy C. P., Kosmach D., and Gustafsson Ö. Carbon transport by the Lena River from its headwaters to the Arctic Ocean, with emphasis on fluvial input of terrestrial particulate organic carbon vs. carbon transport by coastal erosion // Biogeosciences. 2011. Vol. 8, iss. 9. P. 2407–2426. <https://doi.org/10.5194/bg-8-2407-2011>
12. Semiletov I. P., Shakhova N. E., Pipko I. I., Pugach S. P., Charkin A. N., Dudarev O. V., Kosmach D. A., Nishino S. Space-time dynamics of carbon and environmental parameters related to carbon dioxide emissions in the Buor-Khaya Bay and adjacent part of the Laptev Sea // Biogeosciences. 2013. Vol. 10, iss. 9. P. 5977–5996. <http://doi.org/10.5194/bg-10-5977-2013>

13. Semiletov I., Pipko I., Gustafsson Ö., Anderson L. G., Sergienko V., Pugach S., Dudarev O., Charkin A., Gukov A., Bröder L., Andersson A., Spivak E., Shakhova N. Acidification of East Siberian Arctic Shelf waters through addition of freshwater and terrestrial carbon // *Nature Geoscience*. 2016. Vol. 9, iss. 5. P. 361–365. <http://doi.org/10.1038/NCEO2695>
14. Shakhova N., Semiletov I., Panteleev G. The distribution of methane on the Siberian Arctic shelves: Implications for the marine methane cycle // *Geophysical Research Letters*. 2005. Vol. 32, iss. 9. Article L09601 (4 p.). <http://doi.org/10.1029/2005GL022751>
15. Shakhova N., Semiletov I., Salyuk A., Yusupov V., Kosmach D., and Gustafsson Ö. Extensive methane venting to the atmosphere from sediments of the East Siberian Arctic shelf // *Science*. 2010. Vol. 327, iss. 5970. P. 1246–1250. <http://doi.org/10.1126/science.1182221>
16. Shakhova N. I., Semiletov I., Leifer I., Sergienko V., Salyuk A., Kosmach D., Chernykh D., Stubbs C., Nicolsky D., Tumskey V., Gustafsson Ö. Ebullition and storm-induced methane release from the East Siberian Arctic Shelf // *Nature Geosciences*. 2014. Vol. 7, iss. 1. P. 64–70. <http://doi.org/10.1038/NCEO2007>
17. Shakhova N., Semiletov I., Sergienko V., Lobkovsky L., Yusupov V., Salyuk A., Salomatin A., Chernykh D., Kosmach D., Panteleev G., Nicolsky D., Samarkin V., Joye S., Charkin A., Dudarev O., Meluzov A., Gustafsson Ö. The East Siberian Arctic Shelf: towards further assessment of permafrost-related methane fluxes and role of sea ice // *Philosophical Transactions of the Royal Society A*. 2015. Vol. 373, iss. 2052. Article no. 20140169. <https://doi.org/10.1098/rsta.2014.0451>
18. Shakhova N., Semiletov I., Gustafsson Ö., Sergienko V., Lobkovsky L., Dudarev O., Tumskey V., Grigoriev M., Mazurov A., Salyuk A., Ananiev R., Koshurnikov A., Kosmach D., Charkin A., Dmitrevsky N., Karnaukh V., Gunar A., Meluzov A., Chernykh D. Current rates and mechanisms of subsea permafrost degradation in the East Siberian Arctic Shelf // *Nature Communications*. 2017. Vol. 8. Article no. 15872. <http://doi.org/10.1038/ncomms15872>
19. Tesi T., Semiletov I., Dudarev O., Andersson A., Gustafsson Ö. Matrix association effects on hydrodynamic sorting and degradation of terrestrial organic matter during cross-shelf transport in the Laptev and East Siberian shelf seas // *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*. 2016. Vol. 121, iss. 3. P. 731–752. <https://doi.org/10.1002/2015JG003067>
20. Vonk J. E., Sánchez-García L., van Dongen B. E., Alling V., Kosmach D., Charkin A., Semiletov I. P., Dudarev O. V., Shakhova N., Roos P., Eglinton T. I., Andersson A., Gustafsson Ö. Activation of old carbon by erosion of coastal and subsea permafrost in Arctic Siberia // *Nature*. 2012. Vol. 489. P. 137–140. <https://doi.org/10.1038/nature11392>

### Информация о рейсе в сети Интернет

<https://news.tpu.ru/news/2018/10/26/33882/>

<https://news.tpu.ru/news/2018/09/21/33713/>

<https://news.tpu.ru/news/2018/10/15/33810/>

<https://tass.ru/nauka/5589971>

<https://region29.ru/2018/09/22/5ba60a1b12f17b35da3175e2.html>

<http://rosnord.ru/resources/shelf/805-nauchnaya-ekspeditsiya-po-izucheniyu-parnikovykh-gazov-v-arktike-startuet-iz-arkhangelska>

<https://www.tomsk.kp.ru/daily/26885.5/3929022/>

<https://www.poi.dvo.ru/node/662>

<https://regnum.ru/news/2501210.html>

## ПРОЯВЛЕНИЕ СЕЗОННОЙ И СИНОПТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ В ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЕ ВОД СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

А. В. Федирко\*, Ю. В. Артамонов, С. А. Шутов, Е. А. Скрипалева, Д. В. Дерюшкин, Р. В. Колмак, Д. Д. Завьялов, Р. О. Шаповалов, Ю. И. Шаповалов, С. В. Щербаченко

Морской гидрофизический институт РАН

\*[vault102@gmail.com](mailto:vault102@gmail.com)

Представлены результаты исследования структуры вод в северной части Черного моря по материалам съемок 94-го и 95-го рейсов НИС «Профессор Водяницкий» в апреле — мае и в июне — июле 2017 г. Анализ результатов измерений, выполненных в последовательных съемках с интервалом около месяца, позволяет одновременно оценить особенности сезонного цикла и синоптической изменчивости термохалинной структуры и динамики вод.

Сезонная изменчивость циркуляции вод в районе исследования отразилась в ослаблении зональной составляющей скорости Основного черноморского течения (ОЧТ) в период летней съемки, что соответствует климатической норме. Синоптическая изменчивость проявилась в изменении от съемки к съемке положения и количества антициклонических и циклонических вихрей. Так, в период весенней съемки в северо-западной части полигона наблюдался Севастопольский антициклон (СА), в восточной половине полигона примерно на траверзе м. Меганом, — Крымский антициклон (КА). В период летней съемки СА сместился на восток, ближе к берегам Крыма на 15–20 миль, КА — на 20 миль к западу относительно своего весеннего положения; на траверзе Феодосийского залива наблюдался антициклонический меандр, а на юге съемки — два циклонических круговорота.

Сезонная изменчивость поля температуры на поверхности моря (ТПМ) проявилась в ее повышении на всей акватории в период летней съемки. Максимальные значения разности ТПМ (до 13–14,5 °С) наблюдались в южной и юго-восточной части полигона, что согласуется с климатическим сезонным циклом. Синоптическая изменчивость ТПМ проявилась в ее резком понижении летом до 11–12 °С в районе м. Сарыч вследствие развития прибрежного апвеллинга.

Соленость на поверхности моря (СПМ) на большей части акватории исследования летом понижалась, что согласуется с ее климатическим сезонным циклом. Максимальные значения разности СПМ (0,4–0,6 ‰) между двумя съемками наблюдались в северо-западной части полигона. В качестве отличия, обусловленного синоптической изменчивостью, можно отметить повышение СПМ летом (на 0,2–0,3 ‰) в юго-западной и юго-восточной частях съемки, обусловленное смещением к северу крупномасштабных циклонических круговоротов. Сезонные изменения четко проявились в вертикальной структуре вод. Структура верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) в апреле — мае характеризовалась наличием верхней прослойки относительно теплых вод толщиной 5–20 м, формирование которой было связано с весенним прогревом. Под ней сохранялся мощный ВКС, который сформировался до начала весеннего прогрева. Наибольшее заглубление нижней границы ВКС наблюдалось на западе съемки в районе СА (50–65 м) и в зоне КА (45–50 м). В период летней съемки вертикальная мощность ВКС резко уменьшалась, что соответствует климатической норме. Максимальные значения (10–15 м) наблюдались в зонах СА и КА.

В ядре холодного промежуточного слоя (ХПС) самые высокие значения температуры (7,9–8,5 °С) в апреле — мае наблюдались у северо-западной границы съемки и в ее глубоководной южной части, ближе к центрам крупномасштабных циклонических круговоротов. Ее минимальные значения (7,0–7,3 °С) прослеживались в виде отдельных пятен над свалом глубин примерно вдоль основной струи ОЧТ. В июне — июле максимальные значения температуры в ядре ХПС (7,9–8,2 °С) наблюдались только в южной глубоководной части съемки, а минимальные значения (7,0–7,3 °С), так же как и весной, прослеживались в виде отдельных пятен вдоль материкового склона, где проходила основная струя ОЧТ.

Изменения на синоптическом масштабе зафиксированы в глубине залегания ХПС. Летом в юго-западной части съемки за счет появления циклонического круговорота и смещения основной струи ОЧТ (или южной периферии СА) на север ядро ХПС приподнималось, приближаясь к поверхности на 10–20 м. Заметное увеличение глубины залегания ядра ХПС отмечалось на прибрежной (на 15–20 м) и мористой (на 5–10 м) перифериях Крымского антициклона, который сместился к западу по сравнению с его положением весной. Заглубление ядра ХПС на 10–20 м наблюдалось на траверзе Феодосийского залива, где летом был выявлен антициклонический меандр.

---

Работы выполнены в рамках тем государственного задания № 0827-2018-0003.

## ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ РАБОТЫ ЛИМНОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА СО РАН НА ОЗЕРЕ БАЙКАЛ В 2018 Г.

А. П. Федотов

Лимнологический институт СО РАН

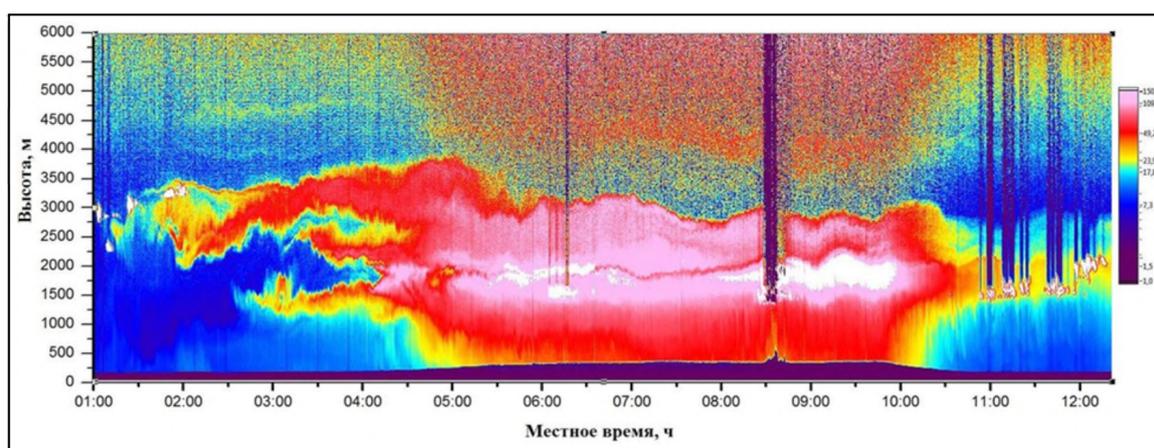
[info@lin.irk.ru](mailto:info@lin.irk.ru)

В 2018 г. Лимнологический институт СО РАН провел более 30 экспедиций (280 судосуток: НИС «Академик В. А. Коптюг» — 72, НИС «Г. Ю. Верещагин» — 74, НИС «Г. Титов» — 83, НИС «И. Д. Папанин» — 51) по изучению биотических и абиотических характеристик оз. Байкал в современный период. Исследованиями были охвачены придонная атмосфера, водная толща и донные отложения. Кроме сотрудников Лимнологического института СО РАН, в экспедициях приняли участие коллеги из Казанского федерального университета, ФГБУ «ВСЕГЕИ», ИФМ СО РАН, ИАО СО РАН, ИГ СО РАН, ИГХ СО РАН, БГУ, ИГУ, ИРНТУ, МГУ, СПбГУ, ВНИИ Океанологии, ФИЦ Биотехнологии РАН, ФГБУН ИМБИ, Института ядерной энергетики и безопасности (Греция), Токийского университета (Япония), Технологического института г. Китами (Япония), Парижского института наук о земле (Франция), Университета имени Пьера и Марии Кюри (Франция), Университета Лилль (Франция), Женевского университета (Швейцария), Университета имени Мигеля Эрнандеса (Испания), Университета Западной Алабамы (США), Калифорнийского университета (США), Теннессийского водоохранного института (США), Колледжа Уеллсли (США), Колледжа Гринелла (США).

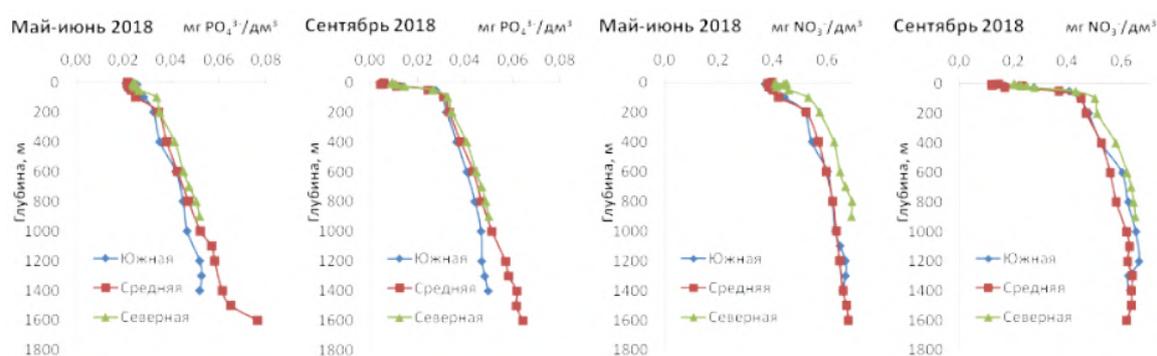
При изучении атмосферы над Байкалом впервые получены результаты по содержанию черного углерода (сажи) с применением оборудования «Портаэталометр-1А». Показана значительная неоднородность и оценено содержание этого компонента в атмосфере, зависящее от выноса аэрозоля с прибрежных территорий, от лесных пожаров, выхлопных газов двигателей судов, которых на Байкале, по последним данным, более 400. Получены количественные характеристики изменчивости концентраций газовых и аэрозольных составляющих в условиях интенсивного и слабого рассеивания примесей в атмосфере над Байкалом в летний период. Лидарные наблюдения высотной стратификации аэрозоля показали высокие концентрации аэрозольного поля в нижней тропосфере Среднего Байкала, обусловленные дымовыми шлейфами (рис. 1). Отношение рассеяния превышало фоновые значения в десятки раз в пространственно-временном распределении дымового аэрозоля в нижней тропосфере (0,1–4 км). Устойчиво наблюдается сток CO<sub>2</sub> на водную поверхность в прибрежной зоне. В заливах и заводях с очевидным антропогенным воздействием зарегистрирован поток углекислого газа в атмосферу. В свою очередь, вся литоральная зона является источником поступления метана из воды в атмосферу.

Комплексные работы по всей акватории Байкала показали, что сезонные изменения в содержании биогенных элементов отмечены в верхнем 100-метровом слое воды и связаны с различиями в развитии фитопланктона (рис. 2).

Изменений в составе воды в глубинной области не наблюдается. Значения численности и биомассы фитопланктона относились к высоко- и среднепродуктивным в Южном и Среднем Байкале и в основном к малопродуктивным — в северной оконечности озера. Установлена высокая пространственная изменчивость поглощения света всеми оптически активными компонентами озера, что связано с влиянием гидрофизических и гидрохимических условий среды на видовое разнообразие фитопланктонного сообщества и на их фотосинтетические характеристики, а также берегового и речного стока —



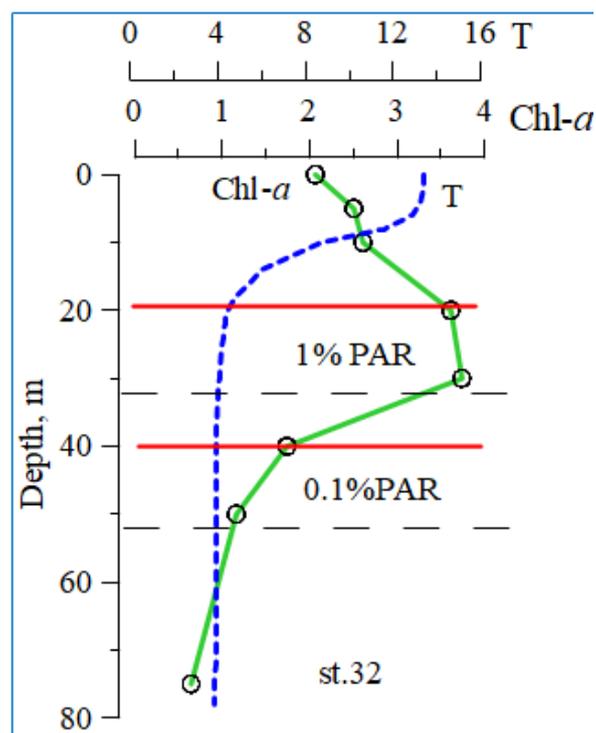
**Рис. 1.** Пространственно-временная структура аэрозольного поля тропосферы 22 июля 2018 г., полученная лидаром на НИС «Коптюг. Красный цвет — заполнение дымовым аэрозолем нижнего слоя атмосферы (3,5–1 км), Средний Байкал



**Рис. 2.** Исследование трофического статуса озера

на поступление растворенного и взвешенного вещества в озеро. Эти данные позволят развить региональный алгоритм для корректной трансформации данных дистанционного зондирования в показатели продуктивности вод (рис. 3).

Качество пелагических вод озера по санитарно-микробиологическим показателям соответствовало СанПин 2.1.5.980-00, а в прибрежной зоне было неблагоприятным в июне в акватории поселков Листвянка, Заречное и бух. Сеногда, в сентябре — в акватории Малого моря и п. Максимиха. В интерстициальных водах высокая численность колиформных бактерий и энтерококков отмечена на пляжах, подверженных антропогенному влиянию. Продолжены работы по определению основных причин структурных изменений в донных альгосообществах литорали. Молекулярно-генетическими методами установлено, что в Байкале со времени его возникновения существовало несколько эволюционных линий нитчатых водорослей рода *Spirogyra*. Морфологический анализ показал, что эти водоросли представлены 12 морфотипами, но лишь один морфотип (Sp M1), способный прикрепляться к каменистому субстрату, массово развивался, подавлял развитие эндемичных водорослей и вызывал существенные перестройки донных сообществ. Выяснено, что распространение Sp M1 приурочено к поселкам, центрам рекреации. Пик обилия Sp M1 приходился на сентябрь — октябрь (завершение туристического сезона). Цветение Sp M1 в подавляющем большинстве случаев наблюдалось в районах выхода подземных вод либо впадения притоков, загрязненных бытовыми стоками. Оценка изменения состава губочных сообществ в связи с их массовой гибелью на мелководьях озера показала, что на общем фоне снижения числа



**Рис. 3.** Реконструкция профиля хлорофилла а на основе изменчивости поглощения света всеми оптически активными компонентами озера

больших форм губок к здоровым наблюдается количественное уменьшение проективного покрытия дна губками, что приводит на протяжении нескольких лет к снижению их численности и биомассы. Ситуация с больными губками осложняется в районах с антропогенной нагрузкой. Хуже всего обстановка в районе Лиственничного залива напротив пос. Листвянка — места активного отдыха туристов.

Мониторинговые исследования в районах естественных нефтепроявлений на Байкале не выявили увеличения площадей нефтяным загрязнением. Анализ профилей концентраций нефтяных углеводородов свидетельствует о том, что наиболее активно процессы деструкции протекают в подповерхностном слое воды (5 м) и в донных отложениях, где высока численность аэробных нефтеокисляющих микроорганизмов. Впервые начаты исследования микроорганизмов, способных деградировать нефть и ее производные в анаэробных условиях. На основании анализа состава основных ионов и газов в поровых водах выявлены различия между осадками глубоководных и мелководных районов разгрузок углеводородных флюидов, а также в барьерных зонах мелководных притоков в южной оконечности Байкала. Определены наиболее продуктивные зоны, характеризующиеся высокой первичной продукцией и гетеротрофной ассимиляцией углекислоты. В донных осадках с повышенными концентрациями аммония (нефтяной сип Толстый) выявлены консорциумы микроорганизмов, формирование которых может быть следствием анаэробного окисления метана (рис. 4). Предполагается, что инициатором данного процесса могут выступать не только нитраты и нитриты, но и аммоний. В настоящее время исследуется филогенетическое положение микроорганизмов, входящих в консорциумы. В ходе мониторинга известных газовых выходов и поиска новых районов углеводородной разгрузки обнаружен новый факел в районе грязевого вулкана «Санкт-Петербург». Его высота составила около 1030 м (рис. 5). На данный момент это самый высокий из зарегистрированных факелов в Байкале.

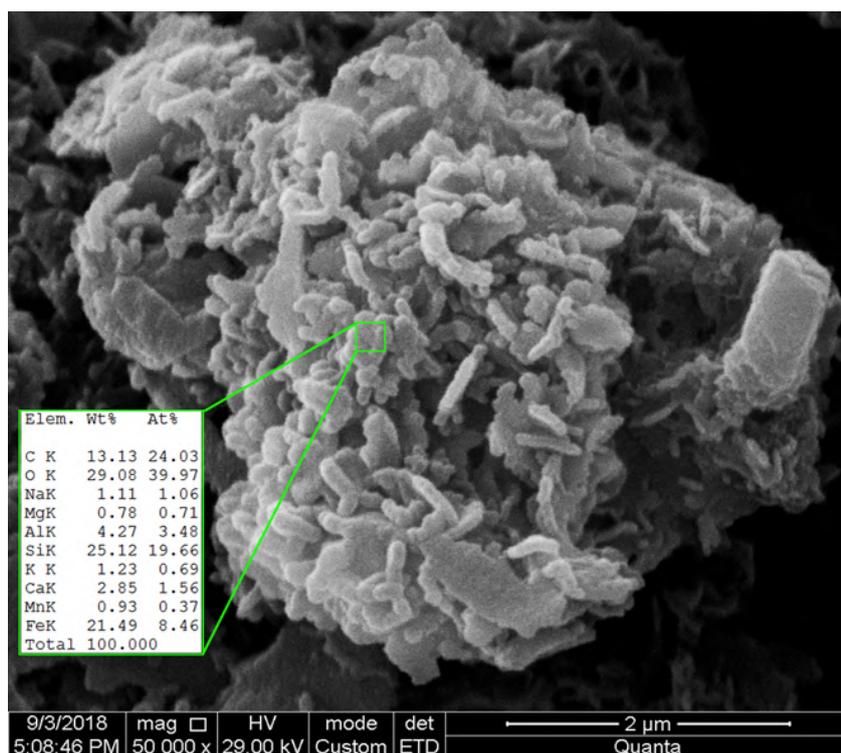


Рис. 4. Микробиальный консорциум

В рамках российско-бельгийско-японского проекта Multi-phase Gas Hydrate Project (МНР III-18) по результатам проведенных экспедиций создана предварительная цифровая модель рельефа южной и средней котловин Байкала, на основе которой построена геоморфологическая схема. Анализ данной модели и схемы позволил реконструировать процесс формирования современного рельефа дна озера и открыть 6 новых гидратоносных структур, приуроченных к аномалиям в рельефе в форме утолщений («вздутия») в водораздельных частях склоновых гряд и в бортах каньонов. Это позволило обосновать дополнительные геоморфологические поисковые признаки гидратоносности в пресноводном водоеме.

Выполнена гидроакустическая регистрация биологических звуков нерпы. Анализ записи позволил выделить характерные частоты, интервалы и тембр звука, издаваемого нерпой. В дальнейшем, используя полученный материал, возможно выполнить обучение нейронной сети, чтобы поиск таких звуков выполнялся автоматически. Финальной целью проекта является обучение нейронной сети по массиву гидроакустических записей с распределенной сети гидроакустических приемников, чтобы стало возможным оценить количественное и пространственное распределение нерпы. Это поможет приблизиться к методам «нелетального» учета байкальской нерпы.

В рамках международной программы Плавающий университет Class@Baikal выполнено акустическое сейсмопрофилирование протяженностью 950 км донных отложений озера с целью изучения распределения газовых гидратов и нефтепроявлений (рис. 6). Установлены механизмы и пути перемещения взвешенного вещества в придонном слое вдоль западного борта центральной котловины озера. Для участников молодежного форума «Байкал-2020» проведены серии научно-популярных лекций и практических занятий с демонстрацией методов отбора проб зоопланктона и бентоса для гидробиологических исследований и проб воды — для гидрохимического экспресс-анализа и оценки санитарно-микробиологического состояния.

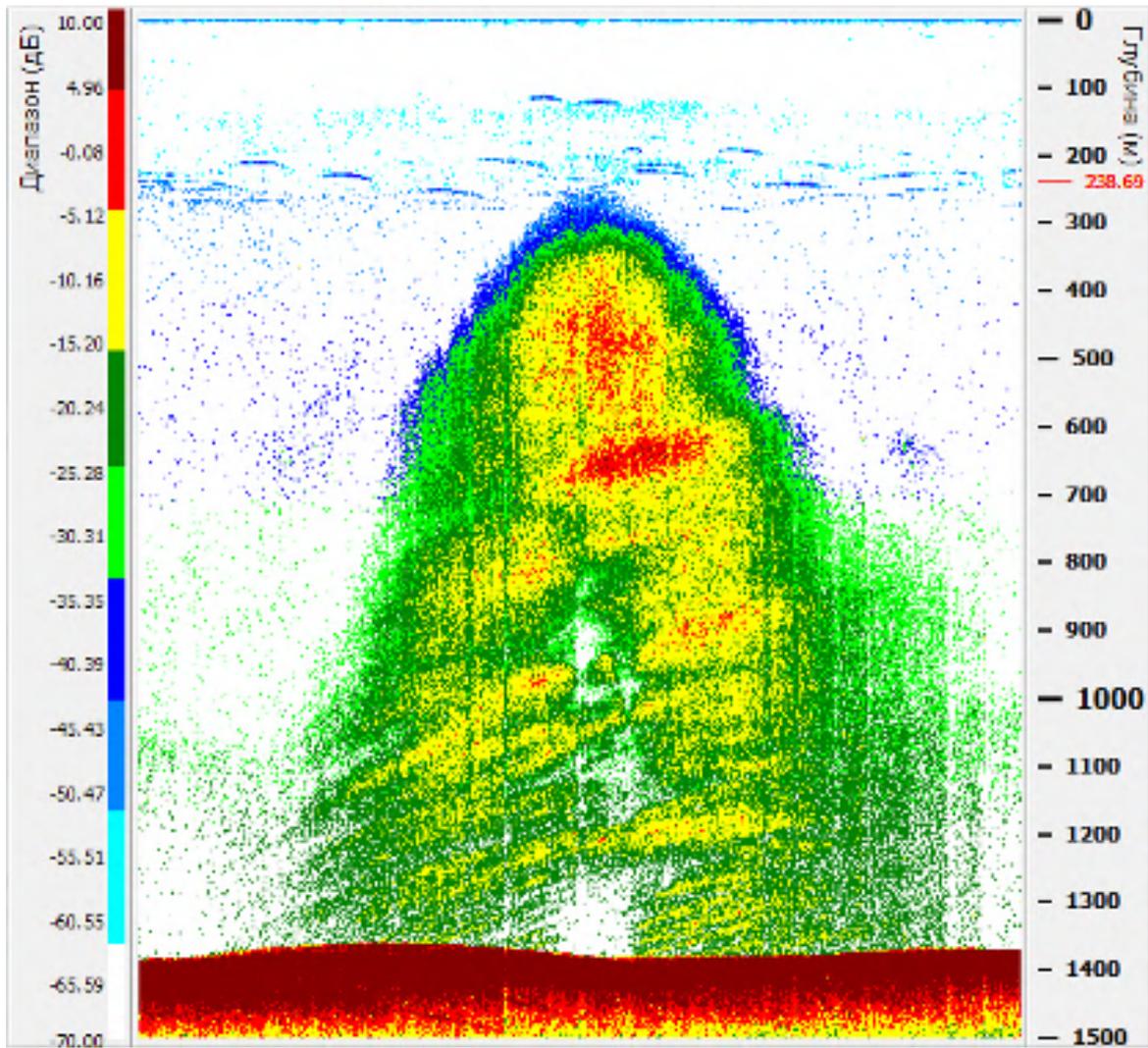


Рис. 5. Факел углеводородной разгрузки (высота 1030 м) в водную толщу Байкала

**«Обучение-через-исследования (Плавучий Университет)»  
(Training-through-Research (Floating University))**  
Class@Baikal - 2018

**Геологическая часть**

Результат:

- 5 районов работ
- 72 станции
- описано 181 м керна
- выполнено 570 измерений гидрохимических параметров
- отобрано 340 проб углеводородных газов из донных осадков
- отобрано 190 образцов на экстракцию поровых вод
- ежедневные лекции о Байкале

**Съемка подводной видеокamerой**



**Районы работ**



**Геохимическое опробование**



**Измерение Ph, Eh**



Участники экспедиции: ученые, эксперты и студенты МГУ и ЛИН



Рис. 6. Пятый плавучий университет Class@Baikal

## МОРСКИЕ ЭКОСИСТЕМЫ СИБИРСКОЙ АРКТИКИ. 72-Й НАУЧНЫЙ РЕЙС НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ» (16 АВГУСТА — 20 СЕНТЯБРЯ 2018 Г.)

**М. В. Флинт**

**Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН**

[m\\_flint@ocean.ru](mailto:m_flint@ocean.ru)

---

72-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш» — девятая крупная экспедиция, выполненная по программе «Морские экосистемы Сибирской Арктики» с 2007 по 2018 г. Программа направлена на исследование природных комплексов Карского, Лаптевых и Восточно-Сибирского морей. Общая протяженность маршрута этих экспедиций — 84 136 км, продолжительность — 310 суток. В экспедициях приняли участие 580 ученых из более чем 20 научно-исследовательских институтов и университетов страны.

В экспедиции на НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 2018 г. участвовали 77 ученых из 9 научно-исследовательских институтов и 3 университетов. Число сотрудников моложе 35 лет составило 36 человек, или 47 % научного состава экспедиции. Продолжительность экспедиции — 36 суток, длина маршрута — 5150 миль.

Главные задачи, на которые была ориентирована научная программа экспедиции и которые требовали комплексного мультидисциплинарного подхода для их решения, состояли в исследовании:

- влияния текущих климатических трендов, прежде всего сокращения ледовитости, на арктические экосистемы;
- явлений и процессов, ассоциированных с областью континентального склона в арктических морях; взаимодействия между экосистемами шельфа и глубокого арктического бассейна;
- развития биологических инвазий и их влияния на естественные экосистемы морской Арктики;
- крупнейших накопленных экологических рисков в Арктике, связанных с подводными захоронениями радиоактивных отходов, состояния могильников и специфики экосистем районов захоронений;
- метановых высачиваний на шельфе моря Лаптевых, их влияния на донные экосистемы и потоки метана в атмосферу.

Кроме того, велись гидрофизические, гидрохимические, биологические и геохимические исследования для развития представлений о структуре, функциональных особенностях, биопродуктивности и потоках вещества в арктических экосистемах.

Основными районами исследований в 2018 г. были Карское море, пролив Вилькицкого, море Лаптевых и залив Благополучия восточного берега Новой Земли.

Смещение на север летней границы сезонного льда в последние два десятилетия, вызванное климатическими причинами, привело к открытию области арктического континентального склона и к увеличению продолжительности безледного периода в этой области в Сибирских морях. Детальные исследования районов континентального склона на востоке и западе моря Лаптевых в 2018 г. показали наличие специфических особенностей в распределении температуры и солености в ядре холодного подповерхностного слоя над глубинами 200–1500 м. Это указывает на уникальные локальные особенности вертикальной зимней конвекции, определенный уровень обособленности склоновой пелагической среды

от прилежащих районов внешнего шельфа и глубоководного бассейна и консолидированный зональный перенос вод вдоль склона. Впервые установлено, что специфические условия пелагической среды в области арктического континентального склона приводят к существенному локальному возрастанию первичной продукции, биомассы фитопланктона (в 3–4 раза) и зоопланктона (в 3–10 раз) по сравнению с таковыми прилежащих фоновых районов.

Показано, что многократное увеличение биомассы зоопланктона в области склона определяется высокой продукцией и концентрацией местной фауны, а связано не с адвекцией аллохтонных видов с запада, как считалось ранее. В целом проведенные исследования позволили установить, что возрастание биологической продукции в Арктике, связанное с современными климатическими процессами, происходит за счет районов, освобождающихся ото льдов в ходе смещения на север их летней кромки, в первую очередь области арктического континентального склона, где величины продукции и биомассы базовых трофических компонентов экосистемы многократно превосходят фоновые значения.

Исследовано развитие инвазии чужеродного хищника — краба-стригуна — в Карский бассейн из Баренцева моря. Установлено, что проникновение вида-вселенца происходит с баренцевоморскими водами, поступающими в бассейн с севера вокруг северной оконечности Новой Земли и с запада через Карские Ворота. Показано, что заливы восточного берега Новой Земли и восточный шельф архипелага являются важнейшими «плацдармами» для нового вселенца в Карский бассейн. Установлено лавинное возрастание численности краба в местах вселения. Только за последний год она увеличилась вдвое — с 950 до 1880 экз. на 10 000 м<sup>2</sup>. Показано катастрофическое воздействие хищного вселенца на экосистему Карского моря. Биомасса бентоса многократно снизилась, число видов за последние 4 года сократилось с 36 до 17. В районах массовой инвазии хищный вселенец уничтожил естественные донные сообщества и полностью разрушил столетнюю стабильность арктических донных экосистем.

Проведенные исследования показали, что метановые сипы на шельфе моря Лаптевых приурочены к глубинам 63–72 м, имеют узколокальное распространение и сконцентрированы на участках поперечником около 5 км, отстоящих друг от друга на  $\approx$  50 км. Влияние таких локальных выбросов на потоки газов в атмосферу и фауну в целом крайне незначительно. Точечно содержание метана в приводной атмосфере над сипами достигает 2040–2083 ppb при фоновых значениях 1900–1920 ppb, при том что в эстуариях и дельтах крупных Сибирских рек формируются заметные области осаждения аллохтонного органического материала и его разложение приводит к масштабной эмиссии метана (> 2100 ppb). В локальных районах метановых высачиваний отмечено повышение разнообразия донной фауны и появление специфической фауны при сохранении фоновой структуры сообществ.

Введена в эксплуатацию созданная в Институте океанологии буксируемая платформа «Видеомодуль». С ее использованием получены оценки состояния объектов захоронений радиоактивных отходов, донных сообществ районов метановых высачиваний и арктического континентального склона до глубин 2000 м, плотности популяции и размерной структуры популяции краба-вселенца в Карском море.

Исследованы крупные захоронения радиоактивных отходов в заливе Благополучия (северный остров архипелага Новая Земля) и в Новоземельской впадине. С применением локатора бокового обзора и буксируемой платформы «Видеомодуль» установлена локализация и получены визуальные оценки состояния объектов захоронений ТРО в заливе Благополучия. Измерения с помощью погружаемого спектрометра показали отсутствие значимых утечек радиоактивности из объектов. Работы в Новоземельской впадине позволили установить локализацию затопленного крупного лихтера «Саяны» с радиоактивными отходами и степень его разрушения.

Получена информация о состоянии фронтальных зон выводных ледников восточного берега Новой Земли и генерации айсбергов от ледника Розе до залива Благополучия; получена соответствующая фотодокументация.

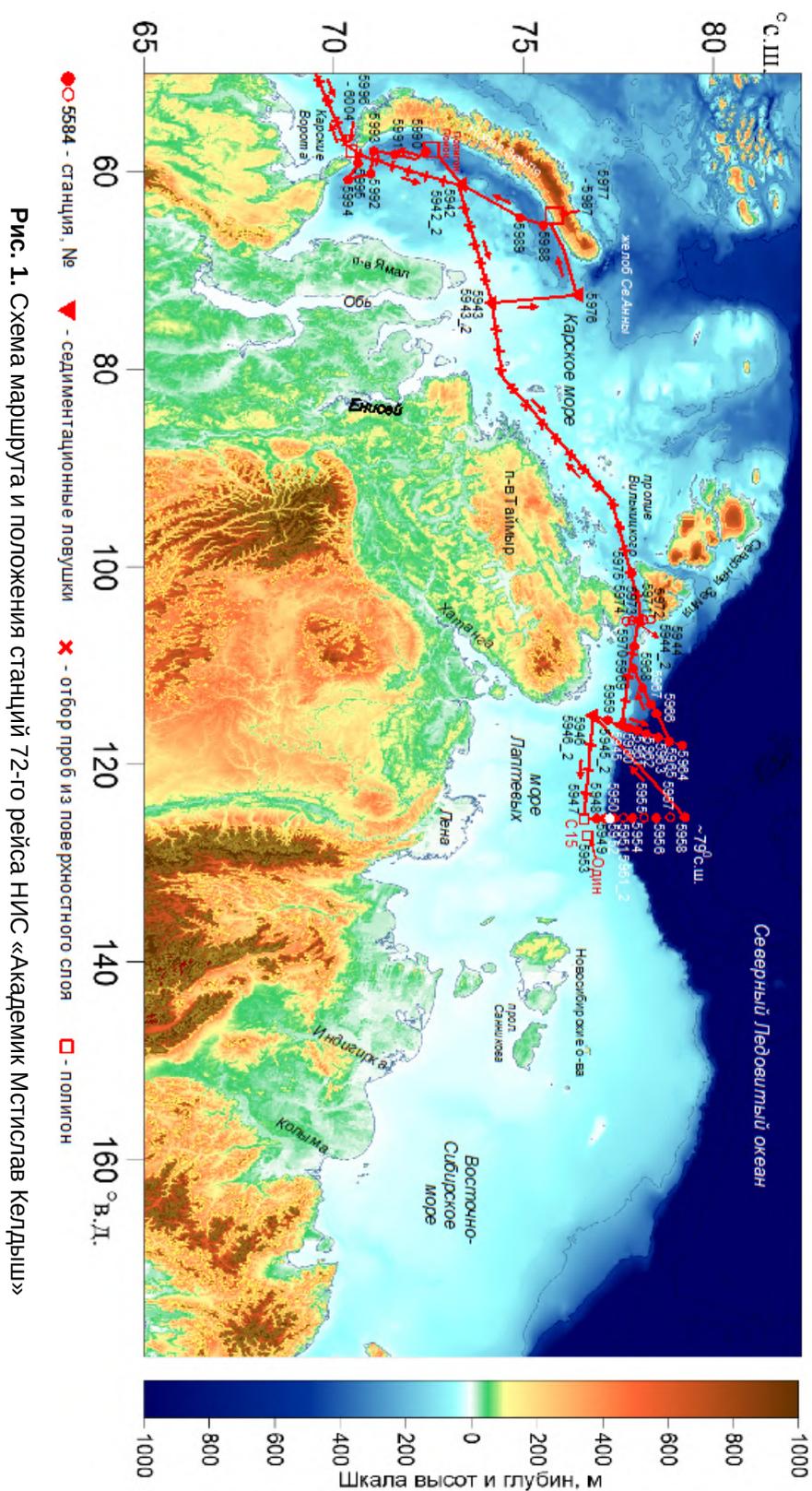


Рис. 1. Схема маршрута и положения станций 72-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш»

## ИССЛЕДОВАНИЯ СООБЩЕСТВ ОБРАСТАНИЯ В БЕЛОМ МОРЕ. ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ РАБОТЫ ЗООЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА РАН

**В. В. Халаман**

**Зоологический институт РАН**

[vkhalaman@gmail.com](mailto:vkhalaman@gmail.com)

---

Существует представление о том, что донное население твердых грунтов представляет собой пространственную мозаику сообществ, находящихся на разных стадиях своего развития [4]. Если это так, то знания о том, как формируются и развиваются эпибентосные сообщества крайне необходимы для понимания процессов, происходящих в морях. Методической основой для исследования этих процессов являются наблюдения за развитием сообществ обрастания естественных и искусственных субстратов. Последнее имеет важное прикладное значение, поскольку обрастания судов и гидротехнических сооружений являются существенной помехой в хозяйственной деятельности человека.

Исследования сообществ обрастания — традиционная тематика работ, проводимых на Беломорской биологической станции Зоологического института РАН (ББС ЗИН РАН) «мыс Картеш». Они стартовали здесь еще в 70-х гг. прошлого столетия и продолжают по сей день. Вместе с полученными за это время важными результатами [3, 4, 6, 13] пришло и осознание некоторой ограниченности этих работ. В Белом море детальные исследования сообществ обрастания, за небольшим исключением [15], проводились только в Кандалакшском заливе, поскольку методически были привязаны к имеющимся там полевым стационарам. Экстраполировать данные, полученные для одного залива, на все море не всегда корректно. Разные акватории даже такого сравнительно небольшого водоема, как Белое море, обладают своими гидрологическими и биологическими особенностями [9].

По этой причине несколько лет назад силами ББС ЗИН РАН начаты экспериментальные работы по исследованию развития сообществ обрастания в Онежском заливе Белого моря. Их проведение оказалось возможным благодаря использованию НИС «Профессор Владимир Кузнецов», с помощью которого производились транспортировка, установка и обслуживание экспериментальных конструкций. В настоящее время такие работы ведутся в Печаковской салме Соловецкого архипелага. Исследования являются многолетними, поскольку развитие сообществ обрастания происходит в течение нескольких лет, а иногда и десятилетий [4, 6, 8, 11, 14, 16]. К настоящему времени получены данные, свидетельствующие о том, что сукцессия сообществ обрастания в Онежском заливе идет по несколько иному пути, чем в Кандалакшском. В частности, в Онежском заливе не формируется мидиевое обрастание. Этот факт говорит о том, что специально разработанная и успешно применяемая в Кандалакшском заливе биотехнология выращивания мидии съедобной (*Mytilus edulis*) [1] в Онежском заливе будет неэффективна и потребует существенной коррекции. Вместе с тем такое климаксное сообщество, как сообщество ламинариевых водорослей и асцидий *Styela rustica*, по-видимому, является общим для Кандалакшского и Онежского заливов, что подтверждается имеющейся практикой культивирования водорослей в Белом море [2, 5].

Сравнительные исследования развития сообществ обрастания в Онежском и Кандалакшском заливах Белого моря, проводимые в 2015–2018 гг., планируется продолжить в 2019 г. Полученные результаты выявили необходимость расширения географии подобных работ, что невозможно без использования НИС. Практически не исследованными в этом отношении остаются не только большинство районов

Белого моря, но и моря Российской Арктики. Ограничены и глубины, охваченные такими работами. Например, для Белого моря данные о развитии сообществ обрастания для глубин более 20 м отсутствуют. Расширение географии и глубин исследований сулит много новых открытий и имеет немалое практическое значение в связи с освоением шельфа. Необходимо отметить, что на Западе исследования обрастаний буровых платформ ведутся много лет [10, 12, 14], а сравнительно недавно появились работы, посвященные развитию обрастаний в Арктических водах, в частности в районе Шпицбергена [7]. Беломорской биологической станцией ЗИН РАН в 2016–2017 гг. уже была предпринята попытка экспериментального исследования обрастаний в Печорском море, однако по техническим причинам она пока не принесла результатов. Вместе с тем при наличии соответствующей поддержки исследования развития обрастаний планируется продолжить и расширить.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кулаковский Э. Е. Биологические основы марикультуры мидий в Белом море. Санкт-Петербург : ЗИН РАН, 2000. 168 с.
- [2] Михайлова Т. А. Стадии формирования сообществ ламинариевых на внесенном субстрате (Белое море) // Ботанический журнал. 2006. Т. 91, № 12. С. 1816–1834.
- [3] Ошурков В. В. Динамика и структура некоторых сообществ обрастания и бентоса Белого моря // Экология обрастания в Белом море. Ленинград : ЗИН АН СССР, 1985. С. 44–59.
- [4] Ошурков В. В. Сукцессии и динамика эпибентосных сообществ верхней сублиторали бореальных вод. Владивосток : Дальнаука, 2000. 206 с.
- [5] Пронина О. А. Марикультура водорослей в Белом море: некоторые результаты изучения и перспективы развития // Рыбное хозяйство. 2009. № 5. С. 42–44.
- [6] Халаман В. В. Долговременные изменения в сообществах обрастания Белого моря // Биология моря. 2005. Т. 31, № 6. С. 406–413.
- [7] Balazy P., Kuklinski P. Arctic field experiment shows differences in epifaunal assemblages between natural and artificial substrates of different heterogeneity and origin // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 2017. Vol. 486. P. 178–187. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2016.10.012>
- [8] Butler A. J., Connolly R. M. Assemblages of sessile marine invertebrates still changing after all these years? // Marine Ecology Progress Series. 1999. Vol. 182. P. 109–118. <https://doi.org/10.3354/meps182109>
- [9] Berger V., Dahle S., Galaktionov K., Kosobokova X., Naumov A., Rat'kova T., Savinov V., Savinova T. White Sea Ecology and Environment. St. Petersburg : Zoological Institute Russian Academy of Sciences ; Tromsø, Norway : Akvaplan-niva, 2001. 158 p.
- [10] Bram J. B., Page H. M., Dugan J. E. Spatial and temporal variability in early successional patterns of an invertebrate assemblage at an offshore oil platform // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 2005. Vol. 317, iss. 2. P. 223–237. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2004.12.003>
- [11] Burt J., Bartholomew A., Sale P. F. Benthic development on large-scale engineered reefs: A comparison of communities among breakwaters of different age and natural reefs // Ecological Engineering. 2011. Vol. 37, iss. 2. P. 191–198. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.09.004>

- [12] Forteath G. N. R., Picken G. B., Ralph P., Williams J. Marine growth studies on the North Sea oil platform Montrose Alpha // *Marine Ecology Progress Series*. 1982. Vol. 8. P. 61–68.
- [13] Khalaman V. V. Regular and irregular events in fouling communities in the White Sea // *Hydrobiologia*. 2013. Vol. 706, iss. 1. P. 205–219. <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1432-2>
- [14] Sell D. Marine Fouling // *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh. Section B: Biological Sciences*. 1992. Vol. 100. P. 169–184. <https://doi.org/10.1017/S026972700001112X>
- [15] Varfolomeeva M., Artemieva A., Shunatova N., Yakovis E. Growth and survival of barnacles in presence of co-dominating solitary ascidians: growth ring analysis // *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 2008. Vol. 363, iss. 1–2. P. 42–47. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2008.06.012>
- [16] Wendt P. H., Knott D. M., Van Dolah R. F. Community structure of the sessile biota on five artificial reefs of different ages // *Bulletin of Marine Science*. 1989. Vol. 44, no. 3. P. 1106–1122.

## СОВМЕСТНАЯ РОССИЙСКО-ВЬЕТНАМСКАЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ № 50 В ЮЖНО-КИТАЙСКОМ МОРЕ НА НИС «АКАДЕМИК ОПАРИН» (ИЮНЬ — АВГУСТ 2018 Г.)

А. Н. Юрченко

Тихоокеанский институт биоорганической химии имени Г. Б. Елякова ДВО РАН  
[yurchant@ya.ru](mailto:yurchant@ya.ru)

---

Научные морские экспедиции в Южно-Китайское море на борту НИС «Академик Опарин» организуются ТИБОХ ДВО РАН совместно с рядом других институтов ДВО РАН с 2004 г. в рамках Соглашения о совместных научных исследованиях между ДВО РАН и Вьетнамской академией наук и технологии (ВАНТ). В 2008 г. вьетнамской стороной разработана долговременная программа комплексного исследования Южно-Китайского (Восточного) моря, которая предполагает участие вьетнамских ученых в российско-вьетнамских морских экспедициях, поскольку институты ВАНТ не имеют собственных научных судов. С 2010 г. ВАНТ частично финансирует эти экспедиции. Всего в период с 2004 по 2017 гг. проведены пять совместных морских экспедиций для исследования шельфовой части и глубоководных зон Юго-Восточного Вьетнама, в которых участвовали сотрудники пяти институтов ВАНТ: Института океанографии, Института химии природных соединений, Нячангского института научных исследований и прикладных технологий, Института морской биохимии и Института морской окружающей среды и ресурсов. Число вьетнамских ученых, участвовавших в этих экспедициях, возросло с 4 в 2005 г. до 17 в 2016 г.

За период от окончания войны во Вьетнаме до 2003 г. из организмов, обитающих в водах Вьетнама, было описано только четыре новых соединения. В результате пяти совместных экспедиций с 2004 г. выделено более 110 новых соединений и опубликовано свыше 50 статей в международных рецензируемых журналах. Кроме того, получены данные по антропогенному влиянию на морские экосистемы, и особенно коралловые рифы. Выявлен ряд механизмов устойчивости видового разнообразия. Обнаружены новые источники физиологически активных веществ. Собраны образцы флоры и фауны для научных коллекций. Отчеты о результатах экспедиций направлялись в отдел науки Министерства образования и науки и в морской отдел РАН, а также во Вьетнамскую академию науки и технологии и Институты ВАНТ, сотрудники которых принимали участие в упомянутых экспедициях. Успешно развиваются научные связи с институтами ВАНТ, в том числе организованы обмен учеными и подготовка аспирантов из Вьетнама в институтах ДВО РАН. Экспедиции дали старт ряду совместных проектов отдельных лабораторий институтов ДВО РАН и ВАНТ.

Экспедиция № 50 на борту НИС «Академик Опарин» организована и проведена Тихоокеанским институтом биоорганической химии имени Г. Б. Елякова ДВО РАН при участии сотрудников Национального научного центра морской биологии ДВО РАН. Всего в экспедиции с российской стороны участвовали 19 научных сотрудников. С вьетнамской стороны участниками экспедиции были 18 ученых из следующих институтов: Института океанографии (г. Нячанг), Нячангского института научных исследований и прикладных технологий (г. Нячанг), Института морской биохимии (г. Ханой), Института химии природных соединений (г. Ханой), Института морской окружающей среды и ресурсов (г. Хайфон). Также в работе принимали участие специалисты из Университета г. Хью и из Вьетнамского института нефти (г. Ханой).

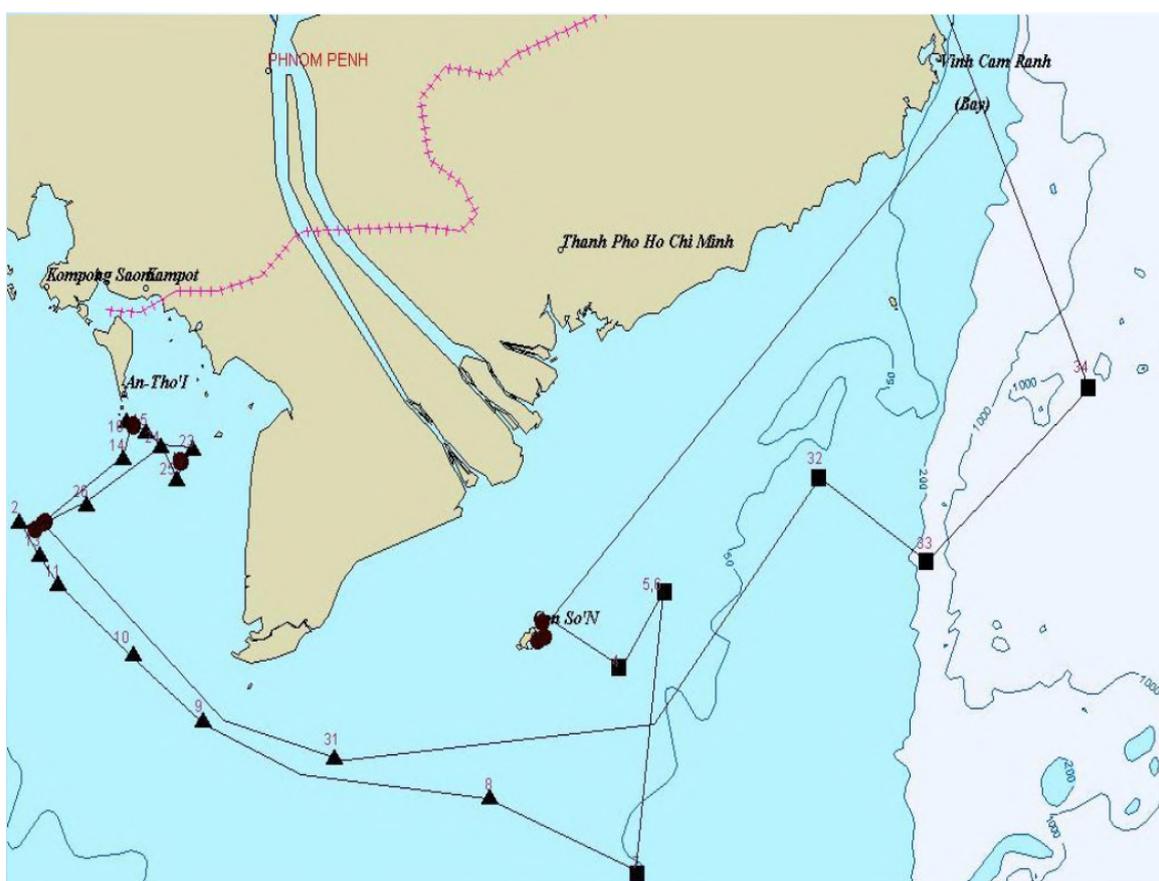


Рис. 1. Район работ

В соответствии с соглашением между ДВО РАН и ВАНТ, принимающая сторона предоставила 37 тонн судового топлива, 114 тонн пресной воды, а также продовольствие (в т. ч. свежие фрукты) на весь срок работы во Вьетнаме.

Основными задачами экспедиции были:

- поиск новых физиологически активных веществ с противоопухолевой, противомикробной активностью и иммуномодулирующим действием среди морских беспозвоночных (губки, иглокожие, кишечнополостные, асцидии), оценка химического разнообразия этих веществ и их биологической активности;
- исследование влияния обесцвечивания на липидный состав кораллов;
- сбор морских животных, водорослей и микроорганизмов для дальнейших биохимических исследований и пополнения музейных коллекций, в том числе Коллекции морских микроорганизмов ТИБОХ ДВО РАН.

План-программа экспедиции изначально включала 35 суток и предусматривала работу на 30 водолазных и 25 траловых станциях в течение 14 рабочих дней. Однако непростые погодные условия внесли свои коррективы, и в результате было принято решение увеличить длительность экспедиции на 6 суток. Таким образом, за 15 дней работы у Вьетнамского побережья были отработаны 34 станции, в т. ч. 21 с использованием трала и дночерпателя и 12 водолазных. Маршрут экспедиции пролегал

через острова Con Dao, Tho Chau, An Thoi, Nam Du. Основной объем водолазных работ пришелся на Сиамский залив из-за активной циклонической деятельности у восточного побережья. Кроме того, работы проводились в основном у северного, северо-восточного и восточного побережья островов для защиты от постоянного западного и юго-западного муссона. Тем не менее в некоторых районах работы были проведены впервые, несмотря на гораздо более благоприятные погодные условия экспедиций, работавших в Сиамском заливе в 2010 и 2013 гг.

В ходе экспедиции членами гидробиологического отряда выполнены 34 водолазных и траловых станции, где собрано 218 образцов морских беспозвоночных животных и водорослей. Большинство собранных образцов беспозвоночных — морские губки (тип Porifera), остальные — асцидии, моллюски, книдарии и представители некоторых других типов морских беспозвоночных.

Из собранных беспозвоночных приготовлены 179 водно-спиртовых экстрактов, качественный состав которых проанализирован методом ТСХ. В 38 из них присутствовали необычные неполярные (25 образцов), среднеполярные (13 образцов) и полярные (10 образцов) соединения, обнаруженные по «нестандартному» положению и окраске соответствующих им пятен на хроматограммах.

Кроме того, полученные экстракты протестированы на биологическую активность. Для обнаружения физиологически активных веществ в экстрактах использовано 13 разнообразных биотестов. В результате выявлено, что, например, цитотоксической активностью в отношении карциномы Эрлиха обладают 68 экстрактов, при этом 8 из них не вызывали гемолиз и не были токсичны для неопухолевых клеток.

Также изучено противомикробное действие всех экстрактов в отношении дрожжей *Candida albicans* и трех бактериальных культур родов *Staphylococcus*, *Streptococcus* и *Bacillus*. Кроме того, в судовой лаборатории микробиологии проводились работы по выделению микроорганизмов, в частности микроскопических грибов. Для этого собрано 16 образцов грунта и 22 образца различных беспозвоночных. Из собранных объектов выделены 138 изолятов микромицелиальных грибов (эта работа будет продолжена в условиях института).

Проведение подобных исследований прямо на борту судна позволяет не только сразу по окончании экспедиции начать детальную работу с наиболее интересными образцами, но и в случае необходимости в рамках этой же экспедиции собрать дополнительные количества перспективных образцов.

В рамках совместных экспедиций традиционно проходит ряд рабочих встреч с руководством институтов ВАНТ, организуются экскурсии по судовым лабораториям для местных СМИ и ученых. После окончания заборных работ участники экспедиции доложили о результатах своих исследований на международном рабочем совещании в г. Нячанг. В нем принял участие президент Вьетнамской академии науки и технологии профессор Чау Ван Минь. Также стоит отметить особую роль генконсула нашей страны в г. Хошимине в проведении этой экспедиции и поблагодарить за помощь в получении разрешения на работу во вьетнамских водах и в его продлении.

**Исследования  
на архипелаге Шпицберген**

## ИЗУЧЕНИЕ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ВЫСОКОШИРОТНОГО ЭКСТРЕМАЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ГЕОКОСМИЧЕСКИХ АГЕНТОВ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН

Н. К. Белишева\*, А. А. Мартынова, С. В. Пряничников, Н. Л. Соловьевская, Т. С. Завадская, В. В. Мегорский

Научно-исследовательский центр медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике  
КНЦ РАН

\*natalybelisheva@mail.ru

Условия жизнедеятельности гражданского и военного населения в Арктике предъявляют высокие требования к возможностям организма: люди должны быть готовы к нагрузке со стороны природной и техногенной среды. Высокая изменчивость природной среды в области овала полярных сияний и полярного каспа, обусловленная взаимодействием магнитосферы Земли с потоком заряженных частиц, испускаемых Солнцем, проявляется в экстремальных колебаниях метеорологических и геофизических агентов, что отражается на психоэмоциональном и физиологическом состоянии организма. В области полярного каспа, где располагается Шпицберген, регистрируются длиннопериодные магнитные возмущения с периодами 15–40 мин и с амплитудой порядка 60–400 нТл, названные *vlp* (*very long period*), частотный диапазон которых соответствуют сверхмедленным ритмам мозга. Следствием воздействия вариаций ГМП на функциональное состояние мозга могут быть психические явления, связанные с психопатическими и истероидными реакциями, депрессиями, возбуждением, утратой бдительности, состоянием измененного сознания и др.

Цель исследования состояла в изучении медико-биологических эффектов высокоширотного экстремального воздействия геокосмических агентов (ГКА) на организм человека в условиях арх. Шпицберген на основе проведения междисциплинарных, фундаментальных и прикладных исследований состояния организма жителей п. Баренцбург для прогноза психофизиологического состояния организма полярников в зависимости от воздействующих агентов, снижения рисков, обусловленных «человеческим фактором», профилактики заболеваний и коррекции состояния организма с применением новых здоровьесберегающих технологий.

Исследование проводилось с 30 июля по 19 августа 2018 г. с участием волонтеров — жителей п. Баренцбург. Всего обследовано 43 человека; применяли методы оценки состояния сердечно-сосудистой системы и функционального состояния мозга; психофизиологического тестирования с применением комплекса РЕАКОР с биологической обратной связью; оценки психофизиологического состояния организма на основе опросников САН (самочувствие, активность, настроение), Спилбергера — Ханина (ситуативная, личностная, тревожность); метода газоразрядной визуализации; оценки длительности индивидуальной минуты (ДИМ) и времени свертываемости крови. ГКА характеризовали данными с сайта <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/omniweb>. Интенсивность нейтронной компоненты вторичных космических лучей в п. Баренцбург оценивали на основе данных, любезно предоставленных сотрудниками лаборатории космических лучей в Полярном геофизическом институте РАН (ст. Баренцбург). Статистическую обработку результатов проводили с применением пакета программ STATISTICA 10.

Исследования показали, что функциональное состояние организма человека в области полярного каспа модулируется разными группами ГКА, ассоциированными с солнечной активностью (СА),

с межпланетным магнитным полем (ММП), с солнечным ветром (СВ). Показано, что психоэмоциональное состояние (ПЭС), характеризуемое самочувствием (САМ), активностью (АКТ), настроением (НАСТ), тревожностью, ДИМ, кожно-гальванической реакцией (КГР), наряду с показателем насыщения гемоглобина артериальной крови кислородом ( $O_2$ ), модулируются группой факторов, ассоциированных с СА (R — число Вольфа; F10.7 — поток радиоизлучения Солнца на длине волны 10,7 см), с геоэффективными параметрами СВ, с наземными агентами, отраженными в индексах геомагнитной активности (ГМА).

Обнаружено, что при возрастании ГМА снижаются значения показателей ПЭС, САМ, АКТ, НАСТ, ДИМ,  $O_2$  и возрастает показатель ситуативной тревожности. Умеренное возрастание ГМА на спаде 24-го цикла СА приводит к ухудшению психоэмоционального состояния жителей арх. Шпицберген.

Выявлена вторая группа ГКА, оказавшаяся ассоциированной с вариабельностью сердечного ритма (ВСР). При положительных значениях Vz-компоненты ММП, при возрастании потоков протонов с энергиями > 30 Мэв показатели ВСР улучшаются, а при смене северного направления Vz-компоненты на южное — ухудшаются. Предполагается, что физическими агентами, модулирующими в условиях полярного каспа состояние сердечно-сосудистой системы, могли бы быть пульсации, характерные для области полярного каспа и зарегистрированные в сходных геофизических условиях при низкой ГМА.

Проведенные исследования позволили обнаружить две большие группы геокосмических агентов, ассоциированных с СА, с параметрами ММП и с СВ, которые модулируют отдельные функциональные системы организма. Первая группа включает показатели СА, геоэффективные параметры ММП и СВ, а также индексы ГМА. Физические агенты этой группы модулируют психоэмоциональное состояние и, вероятнее всего, влияют **на центральную нервную систему и функции головного мозга**.

Вторая группа физических агентов, не связанная с ГМА, представлена параметрами ММП, ассоциированными с пульсациями в диапазоне крайне низких частот в области полярного каспа, с параметрами СВ, а также с потоками протонов с энергиями > 10 Мэв. Эта группа агентов ассоциирована с модуляцией соматических функций организма, регулируемых главным образом **автономной нервной системой**.

Обнаружен параметр СВ ( $\sigma$ -theta-V, градусы), ассоциированный с диастолическим артериальным давлением крови, с частотой сердечных сокращений, с временем свертываемости крови, который, предположительно, является индикатором биоэффективности солнечного ветра. Апробированы различные сочетания индикаторов психоэмоционального состояния организма для коррекции психосоматических реакций на основе реабилитационного комплекса РЕАКОР для тренинга с биологической обратной связью (БОС). Выявлены оптимальные индикаторы для функционального управления состоянием организма. Показано, что выбранные индикаторы психосоматического состояния, с одной стороны, характеризуют ГКА как стрессогенные агенты, с другой стороны — позволяют управлять параметрами состояния организма с применением БОС-тренировки для снижения зависимости психофизиологического состояния от внешнего воздействия, включая вариации ГКА.

Полученные результаты показали, что у 100 % испытуемых психофизиологическое состояние зависит от вариаций ГКА, наиболее выраженных в области полярного каспа. Дальнейшие исследования позволят разработать мероприятия по снижению травматизма на производстве и по уменьшению возникновения нештатных ситуаций, особенно критичных для людей опасных профессий, а также разработать физиологические методы повышения резервных возможностей жителей арктических широт.

Интенсивное освоение Арктики диктует необходимость эффективных прогнозов психоэмоционального состояния полярников для снижения рисков, обусловленных «человеческим фактором». Исследование может внести вклад в разработку долговременных прогнозов психоэмоционального и психофизиологического состояния организма человека в условиях арктических широт, а также в разработку и внедрение методов, снижающих зависимость состояния организма от неблагоприятного воздействия арктической среды.

## **РАСТИТЕЛЬНО-ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ, СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНЯЕМЫМИ ПРИРОДНЫМИ ТЕРРИТОРИЯМИ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ И АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ ЧЕЛОВЕКА НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН**

О. Б. Гонтарь\*, В. К. Жиров, Н. А. Константинова, Н. Ю. Шмакова, Г. М. Кашулина

Полярно-альпийский ботанический сад-институт имени Н. А. Аврорина КНЦ РАН

\*[gontar\\_ob@mail.ru](mailto:gontar_ob@mail.ru)

В рамках Межведомственной программы научных исследований и наблюдений на архипелаге Шпицберген, утвержденной на 2018 г., и государственного задания ПАБСИ проводил научные исследования на архипелаге по теме «Растительно-почвенные ресурсы, совершенствование методов управления охраняемыми природными территориями в условиях климатических изменений и антропогенного воздействия и оптимизация среды обитания человека на архипелаге Шпицберген» (ГЗ № 0229-2017-0005; № гос. регистрации АААА-А17-117121120045-5). Научный руководитель темы и ответственный исполнитель — чл.-корр. РАН В. К. Жиров. Данная тема раскрывается в 4 разделах:

- 1) оценка разнообразия криптогамной биоты и мониторинг растительного покрова;
- 2) исследование механизмов устойчивости и оценка продуктивности растений разных таксономических групп в высокоширотных тундровых экосистемах;
- 3) почвенные морфолого-генетические, экологические и биогеохимические исследования окружающей среды;
- 4) оптимизация среды обитания человека на архипелаге Шпицберген.

В 2018 г. получены результаты по следующим направлениям Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 гг:

51. Экология организмов и сообществ.
52. Биологическое разнообразие.
54. Почвы как компонент биосферы (формирование, эволюция, экологические функции).
79. Эволюция окружающей среды и климата под воздействием природных и антропогенных факторов, научные основы рационального природопользования и устойчивого развития; территориальная организация хозяйства и общества.

Исследования показали, что интенсивность суточной эмиссии CO<sub>2</sub> арктическими серогумусовыми грубогумусными почвами, сформированными на разных элементах ландшафта в окрестностях пос. Баренцбург, Шпицберген, в летний период 2017 г. была очень низкой и варьировала от 28 до 77 мг·м<sup>-2</sup>. Распределение интенсивности эмиссии CO<sub>2</sub> между площадками не имело регулярного характера. Расчеты U-критерия Манна — Уитни подтвердили отсутствие значимых различий по суточной эмиссии CO<sub>2</sub> между всеми обследованными площадками, свидетельствующее об отсутствии влияния высотного фактора на интенсивность дыхания почв.

Собран материал по 19 видам высших сосудистых растений для проведения анатомо-морфологических исследований, определения содержания пигментов и параметров флуоресценции хлорофиллов. Сравнительное исследование параметров флуоресценции двух видов одуванчика: аборигенного (*Taraxacum arcticum*) и заносного (*T. officinalis*), различающихся по массе почти в 6 раз, выявило сходство фотохимических реакций фотосинтетического аппарата и различия в путях их защиты. Впервые исследована фотохимическая активность фотосинтетического аппарата *Stellaria humifusa*.

Собрано около 150 образцов печеночников, 450 образцов лишайников, 200 образцов мхов и 150 листов сосудистых растений на юге архипелага Шпицберген (Сьеркап лэнд, Земля Веделя, побережье залива Бельсунд); около 30 образцов печеночников и 90 образцов лишайников собрано на западном побережье Гренфьорда. Выявлены два новых вида сосудистых растений для архипелага Шпицберген (*Ranunculus polyanthemus* и *Allium schoenoprasum*) и новые точки нахождения редких на архипелаге печеночников, получены новые сведения о натурализации заносных видов и информация о вымирании ряда видов в прежних местонахождениях.

Впервые составлен предварительный список мхов окрестностей залива Inpvika (о. Северо-Восточная Земля), включающий 90 видов, что соответствует видовому богатству локальных флор мхов полярных пустынь карбонатных территорий Шпицбергена.

Подготовлен список видов для района залива Duvelfjorden (Nordaustlandet), который включает 176 видов лишайников, 135 видов приводятся впервые. Опубликован предварительный список лишайников окрестностей бывших российских шахтерских поселков Колсбей и Грумант с аннотациями, включающий 121 вид. Подтверждены гербарным материалом сведения о 76 видах, в том числе 47 из них приведены для указанного района впервые. Выявлено 37 новых видов лишайников для о. Баренца (Barentsøya). К настоящему времени для острова известно 159 видов лишайников.

При сравнении растительности гольцовых пустынь гор Мурманской области и гольцово-нивального пояса гор Шпицбергена выявлены общие активные виды (*Salix polaris*, *Saxifraga oppositifolia*, *Cardamine bellidifolia*, *Dryas octopetala*, *Luzula arcuata*), общие типы сообществ (вар. *Flavocetraria nivalis* (с преобл. *Flavocetraria nivalis* и *Racomitrium lanuginosum*), который преобладает в горах Мурманской области и редко встречается на Шпицбергене, и вар. *Racomitrium lanuginosum* (с преобл. *R. lanuginosum*, *Andreaea rupestris* и *Cetrariella delisei*), широко распространенный в обоих районах).

Проведена вторичная апробация оригинальной реабилитационной программы ПАБСИ «Экологическая терапия для детей, проживающих в экстремальных условиях Арктики» в период «выхода» из полярной ночи с 27 марта по 04 апреля 2018 г. в пос. Баренцбург. Результаты анализа функциональной диагностики детей свидетельствуют о повышении степени преобладания парасимпатической активности и о снижении нагрузки на регуляторные системы детского организма после курса занятий.

Всего в исследованиях по данной теме в 2018 г. принимали участие 17 сотрудников Института (в т. ч. 1 член-корреспондент РАН, 3 доктора биологических наук, 5 кандидатов биологических наук, 2 аспиранта). В экспедиционных работах участвовали 12 сотрудников (в т. ч. 2 молодых ученых, 2 аспиранта); общее количество человеко-дней, проведенных на архипелаге Шпицберген при выполнении работ, — 190. По результатам исследования 2018 г. опубликована 21 научная работа, в т. ч. 10 статей в реферируемых изданиях. Работы на юге архипелага выполнялись в рамках совместного проекта с Норвежским университетом науки и технологии (Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Natural History Department), проект № 246728/E10.

Финансирование за отчетный период — 1620 тыс. руб.; реальные расходы — 1715 тыс. руб. при жесткой экономии с учетом частичной оплаты расходов по совместным работам с норвежскими учеными.

## МОНИТОРИНГ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ ЗАПАДНОГО ШПИЦБЕРГЕНА В 2018 Г.

**В. Л. Державин**

**Институт археологии РАН**

\*[derzh@yandex.ru](mailto:derzh@yandex.ru)

---

В 2018 г. при мониторинге археологических памятников архипелага Шпицбергенской экспедицией ИА РАН был впервые применен квадрокоптер (модель Phantom-4). В целом его использование показало перспективность подобных исследований на архипелаге, хотя успех получения ожидаемых результатов зависит от разных причин (в первую очередь от климатических условий). Задача исследований состояла в сохранении и выявлении памятников — преимущественно российского историко-культурного наследия — на архипелаге Шпицберген.

Работы 2018 г. на архипелаге в итоге дали следующие результаты:

1. Становище Слеттнесет. Упавший (или срубленный) поморский крест находится в таком состоянии, что не подлежит восстановлению, а его надписи вообще не сохранились.
2. Мыс Финнесет. Здесь находятся остатки китобойной и радиотелегафной станций начала прошлого столетия. Если там и располагалось русское становище, что не исключено, то оно было, скорее всего, уничтожено в ходе возведения этих индустриальных объектов.
3. Залив Трюггхамна. Это единственный историко-культурный объект, который в 2018 г. пришлось «мониторить» при весьма неблагоприятных климатических условиях — при выпавшем снеге.

Одиночный поморский дом и две пары западно-европейских погребений в деревянных гробах, находящихся на поверхности, постепенно разрушаются в результате активной туристической деятельности в этом районе. Безусловно, необходима аэрофотосъемка основного становища, но при более подходящих условиях.

4. Мыс Кокеринесет. Норвежскую промысловую постройку 1901 г. («индустриальная» археология) своим «вниманием» туристы также не обходят. Кроме того достаточно интенсивно на берегу разрушается, точнее размывается, морскими и внешними водами английская жиротопня XVII в.

На второй террасе мыса расположено кладбище (по одним сведениям — поморское, по другим — китобойное). Число погребений на нем существенно сократилось с начала прошлого века. Окончательную точку в вопросе о его этнической принадлежности могут поставить только раскопки хотя бы одного из погребений.

5. Мыс Старостина. Становище Руссекейла. Главной задачей мониторинга этого памятника в будущем остается определение местонахождения поморского кладбища, где, согласно письменным источникам, была могила старожила Шпицбергена Ивана Старостина.

Отчет о работе ИА РАН 2018 г. на архипелаге Шпицберген доведен, как и в прежние сезоны, до сведения Конторы Губернатора Свальбарда (переведен на норвежский язык).

6. Развитие музейного дела:

- В сентябре 2018 г. в музее норвежского пос. Лонгйирбюен (Svalbardvuseum) велась работа по обработке неопубликованных находок с поморских становищ Шпицбергена из коллекций скандинавских и польских экспедиций. Производилась их фотосъемка, составлялось краткое описание и выполнялись обмеры. Обработано 85 индивидуальных находок (фотосъемка, описание, обмеры) и массовый материал.
- В Баренцбурге для сотрудников РАЭ-Ш (Российская арктическая экспедиция на Шпицбергене) при НИИ Арктики и Антарктики и ПМГРЭ (Полярная морская геологоразведочная экспедиция) прочитаны 2 лекции по теме «История Шпицбергена».

В 2018 г. опубликованы статьи и заметки. Всего вышло 9 статей и заметок, в т. ч. в рецензируемых изданиях:

1. [Рецензия] / В. Л. Державин // Российская история. 2018. № 2. 2018. С. 184–189. Рец. на кн.: Т. Б. Арлов. История архипелага Шпицберген. Москва : Paulsen, 2016. 592 с.
2. Державин В. Л. Археологические памятники Нового времени на Шпицбергене // Жизнь в Российской империи : новые источники в области археологии и истории XVIII века : материалы междунар. науч. конф., Москва, 31 октября — 1 ноября 2018 г. / Институт археологии РАН, Институт российской истории РАН. Москва, 2018. С. 55–56.
3. Державин В. Л. Дневник подполковника Шульца // Русский вестник Шпицбергена. 2018. № 6 (38). С. 24.
4. Державин В. Л. К истории немецкой полярной экспедиции на Шпицбергене 1912 г. // Полярные чтения 2018: Технологии и техника в истории освоения Арктики, Санкт-Петербург, 27–28 апреля 2018 г. : тез. докл. 6-й Междунар. науч.-практ. конф. [Санкт-Петербург], 2018.
5. Державин В. Л., Колесников А. Б. Полевые исследования ИА РАН на Шпицбергене в 2017 г. // Экспедиционные исследования на научно-исследовательских судах ФАНО России и архипелаге Шпицберген в 2017 г. : По результатам отчетной сессии Федерального агентства научных организаций, Совета по гидросфере Земли. Севастополь : ФГБУН МГИ РАН, 2018. С. 31–37.
6. Державин В. Л., Колесников А. Б. Рекогносцировочная русско-шведская экспедиция на Шпицбергене 1898 г. // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа : материалы XIV Всерос. науч. конф. Междунар. участием, 30 октября – 2 ноября 2018 г., г. Мурманск. Апатиты, 2018. С. 32–33.
7. Державин В. Л. Староверы Груманта // Живая старина. 2018. № 3. С. 7–10.
8. Державин В. Л. Хождение на Грумант // Русский вестник Шпицбергена. 2018. № 3 (35). С. 24.
9. Маслов В. Е., Державин В. Л. Богатое погребение эпохи Великого переселения народов из северного Дагестана // Stratum plus. 2018. № 4. С. 333–346.

## **ПРОВЕДЕНИЕ СТАЦИОНАРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА МАГНИТНЫМИ И ОПТИЧЕСКИМИ ЯВЛЕНИЯМИ НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН, ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ВЫСОКОШИРОТНОЙ АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ**

**В. Ф. Григорьев, Б. В. Козелов**

Полярный геофизический институт  
[general@pgi.ru](mailto:general@pgi.ru)

---

Представлены результаты проведения научных исследований в обсерватории Полярного геофизического института «Баренцбург» в 2018 г. Объектом изучения являлись высокоширотная ионосфера и атмосфера Арктической зоны (архипелаг Шпицберген). Непосредственно предмет исследования — геофизические процессы и явления, солнечно-земные связи, а также электромагнитные поля в широком частотном диапазоне.

В 2018 г. продолжался мониторинг геофизических процессов:

- вариаций геомагнитного поля в широком диапазоне частот;
- полярных сияний и оптических явлений в атмосфере;
- потоков космических лучей;
- сигналов спутниковых навигационных систем;
- астроклимата Шпицбергена.

По результатам регистрации и обработки данных получено 17,2 Тб научной информации.

На основании анализа данных наблюдений, полученных в прошедшем и предыдущих годах, проведены следующие фундаментальные исследования:

- комплексный анализ «полярной суббури» по данным магнитных, оптических и радарных наблюдений в окрестности Шпицбергена;
- отклика магнитосферы в геомагнитных пульсациях PSC на взаимодействие с межпланетными ударными волнами, а также связи искусственных пульсаций герцового диапазона с динамикой аврорального электроджета — анализ эксперимента на стенде SPEAR;
- природы естественных резонансных структур в шумовом геомагнитном фоне в диапазоне частот 0,1–10 Гц (ионосферный альвеновский резонатор) на самой высокоширотной обсерватории РФ (в области каспа и полярной шапки);
- характеристик распространения в высоких широтах электромагнитного сигнала СНЧ-КНЧ диапазона как естественного, так и искусственного происхождения;
- характеристик космических лучей и сезонных вариаций в нижней атмосфере гамма-фона.

Получены следующие основные результаты:

- впервые в мировой практике экспериментов по модулированному нагреву ионосферы КВ-волной продемонстрирована связь режимов генерации искусственных пульсаций герцового диапазона с динамикой аврорального электроджета;
- показано, что в случаях сжатия магнитосферы при взаимодействии с межпланетными ударными волнами с резким фронтом и большими скачками параметров плазмы на фронтах первым признаком такого взаимодействия может быть не сам внезапный импульс магнитного поля, а регистрируемый широкополосный всплеск геомагнитных пульсаций в герцовом диапазоне;
- проведен комплексный анализ полярной суббури 13 декабря 2015 г., которая имела вид последовательности из трех отрицательных бухт на станциях вблизи полюсной границы аврорального овала, и развивалась на фоне слабой обычной суббури на станциях в середине авроральной зоны, начавшейся на полчаса раньше. Исходя из моментов регистрации и скорости распространения, запуск обыкновенной суббури внутри авроральной зоны связывается с кратковременным положительным импульсом  $V_z$  компоненты ММП, а генерация «триггирующей» дуги и собственно полярной суббури — с биполярной вариацией  $V_z$ , наблюдаемой как в солнечном ветре, так и в переходной области спустя полчаса после положительного импульса. Выявлены отличия первой активизации от двух последующих в динамике сияний, в характере ионосферной конвекции и в характеристиках электронных высыпаний, оценены долготные размеры и положение возмущенной области в магнитосфере.

В отчете также представлено текущее состояние аппаратной базы обсерватории ПГИ «Баренцбург», описаны работы по обеспечению функционирования ее инфраструктуры, освещено международное сотрудничество института на архипелаге Шпицберген.

## КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОРСКИХ И НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ В РАЙОНЕ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН В 2018 Г.

Д. В. Моисеев\*, И. В. Берченко, Г. М. Воскобойников, О. Л. Зимина, Н. В. Лебедева,  
Н. И. Мещеряков, Д. О. Салахов, И.С. Усягина

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

\*[denis\\_moiseev@mmbi.info](mailto:denis_moiseev@mmbi.info)

В 2018 г. в окрестностях биогеостанции ММБИ в районе зал. Грен-фьорд и прилежащих акваторий проведены исследования водорослей-макрофитов, зоопланктона, зообентоса. Продолжалось изучение орнитологической фауны. В районе оз. Бретъяерна выполнялись седиментологические и радиоэкологические исследования.

Проведены береговые исследования в районе многолетних непрерывных наблюдений на базе биогеостанции ММБИ в Баренцбурге. В весенний и летний сезоны собран огромный объем научного материала по всем направлениям исследований морских и наземных экосистем.

По итогам проведенных полевых работ проанализированы данные не только текущего года, но и предыдущих периодов исследований.

**Объекты исследований** — морские и наземные экосистемы архипелага Шпицберген.

**Цель исследований** — изучение современного состояния компонентов среды и биоты морских и наземных экосистем в районе архипелага Шпицберген.

Представлены результаты исследований биологии карликовых водорослей, обнаруженных нами впервые на мысе Хеероден Грен-фьорда архипелага Западный Шпицберген (рис. 1). Проведенные визуальные и молекулярно-генетические исследования позволили отнести эти растения к карликовым формам вида *Fucus distichus* L. Исследуемые формы фукуса характеризуются высокими уровнями проективного покрытия, фотосинтеза, развития синтетического и энергетического аппарата в клетках. Высказывается предположение, что приобретение карликовой формы повышает устойчивость водорослей к высокому уровню гидродинамики, присутствующему в зоне произрастания. Кроме того, «низкорослость» и способность фукусов переходить в условиях темноты на гетеротрофное питание позволяет таким карликовым водорослям переживать зимний период полярной ночи под толстым слоем снега и льда, где истирание льдом растений отсутствует. Приливно-отливные течения обеспечивают водообмен и поставку фукусам минеральных веществ. Можно рассматривать формирование зарослей карликовых фукусовых в скальных ваннах Шпицбергена не как деградацию, а как адаптацию к суровым условиям Арктики.

Установлены статистически значимые отличия значений плотности организмов в популяциях видов *Calanus*, обитающих у поверхности и в придонных слоях в акватории Грен-фьорда (рис. 2). Данный факт позволяет рассматривать изменение плотности организмов в качестве одного из элементов механизма сезонных онтогенетических миграций зоопланктонных видов.

Современные исследования позволили значительно расширить представление о составе и структуре фауны перакарид фьордов и прилежащего шельфа архипелага Шпицберген (рис. 3). Существенно увеличен видовой список для района за счет более широкого пространственного охвата акватории по сравнению с таковыми предыдущих исследований и литературных данных. Выявлены особенности биогеографической структуры и ее пространственная неоднородность, обусловленная разнообразием факторов среды в районе исследований.



Рис. 1. Карликовая форма *F. distichus* L. в районе м. Хеероден залива Грен-фьорд

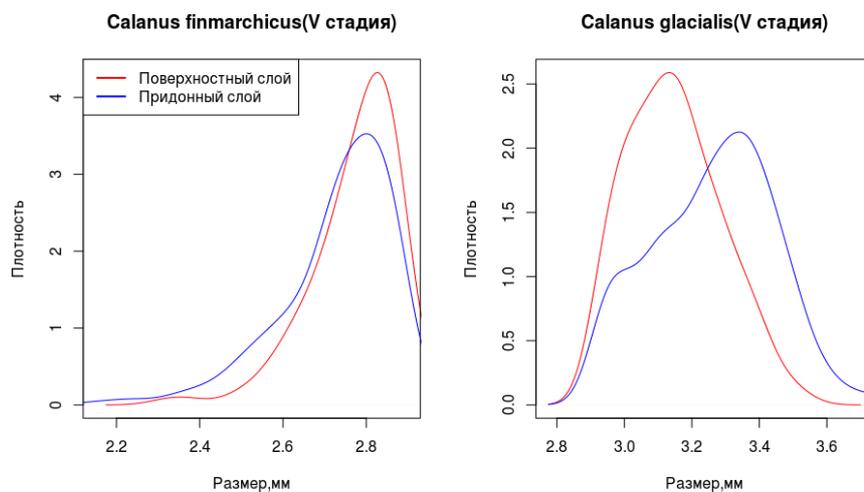
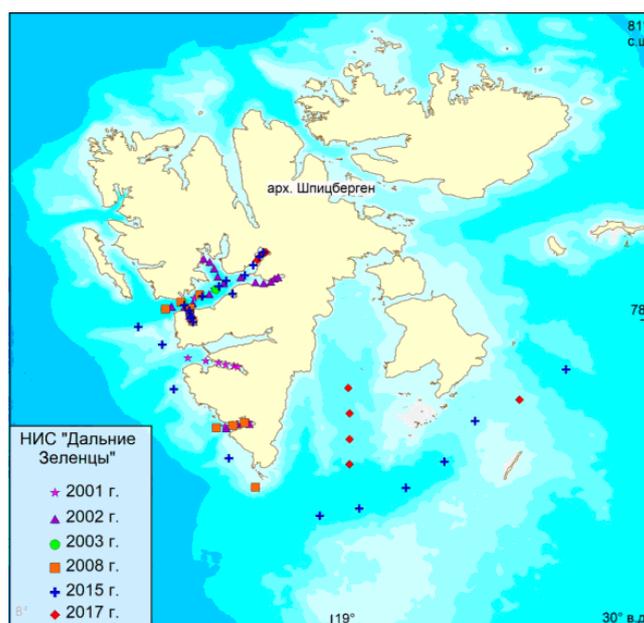


Рис. 2. Размерная структура V копепоидитной стадии двух видов рода *Calanus* sp. в зависимости от слоя обитания



**Рис. 3.** Схема расположения станций отбора проб бентоса в экспедициях 2001–2017 гг.

Сделан вывод о том, что птицы, трансформируя почву в местах колониального гнездования, оказывают влияние на раковинных амёб в Арктике. Между тем механизм формирования ответа сообществ почвенных простейших на дополнительное снабжение питательными веществами может быть более сложным и неоднозначным. В будущем планируется продолжить исследование распространения раковинных амёб в разных местообитаниях Шпицбергена (рис. 4).

Скорость осадконакопления в озере Бретьерна можно оценить в  $12\text{--}15\text{ мм}\cdot\text{год}^{-1}$ . Данное значение характерно для современных условий осадконакопления, однако результаты гранулометрического анализа колонок донных отложений свидетельствуют о непостоянности условий осадконакопления, поэтому в дальнейшем (в случае будущих климатических изменений в Арктике) его скорость может потребовать переоценки (рис. 5).

Результаты проведенных исследований показали, что загрязнение поверхностных речных и озерных вод Шпицбергена в осенний период формируется за счет выпадений радионуклидов в составе атмосферных осадков. Влияния талых ледников вод на объемную активность  $^{137}\text{Cs}$  в водах озера Бретьерна не обнаружено.

Значения показателей содержания техногенного  $^{137}\text{Cs}$  и природных  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  в почвенном покрове района (рис. 6) исследования сопоставимы с данными 2001 г., полученными в районе г. Конгсфьорд (Западный Шпицберген).

Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в образцах растительности (мохообразные), через которые проходили потоки талых вод ледника Западный Грен-фьод, была низкой ( $4,2\text{--}7,4\text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ ) за исключением одного вида мха — *Campyllum stellatum* (Hedw.) С. Е. О. Jensen ( $70,6 \pm 7,7\text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ ). Данная проба измерялась вместе с верхним слоем почвы (2 мм), поэтому не исключено искажение полученного результата. С 2001–2002 гг. удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  во мхах рода *Distichium* снизилась в 30 раз, порядка *Bryum* — в 20 раз и вида *Sanionia uncinata* — в 15 раз (рис. 7).

Полученные результаты отражают современную тенденцию снижения уровня глобальных выпадений радионуклидов в Арктике.

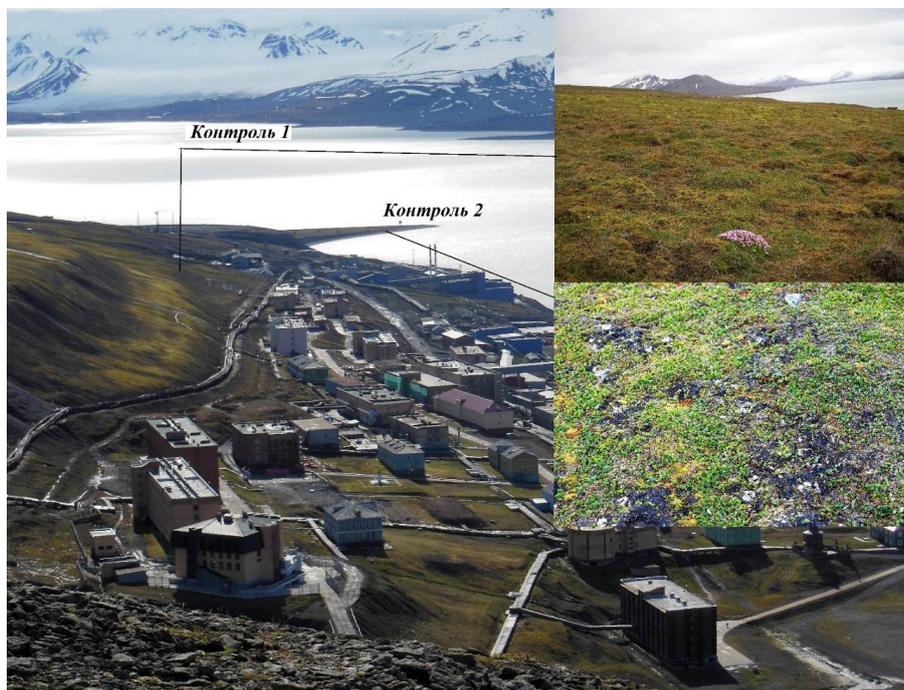
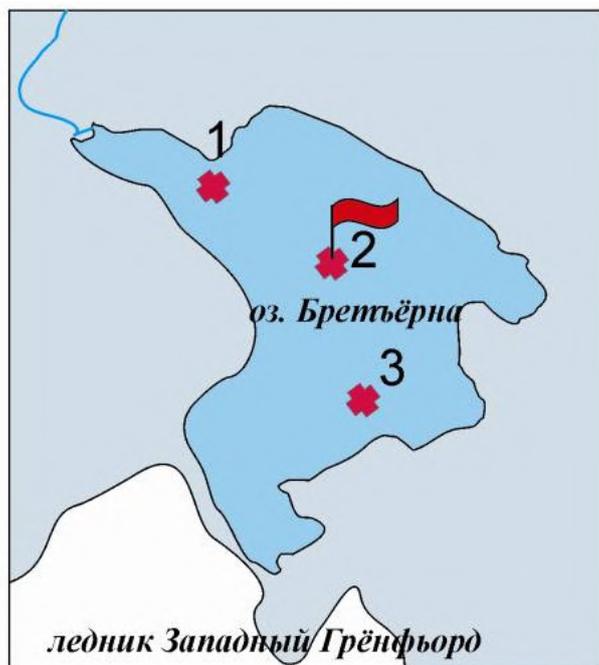
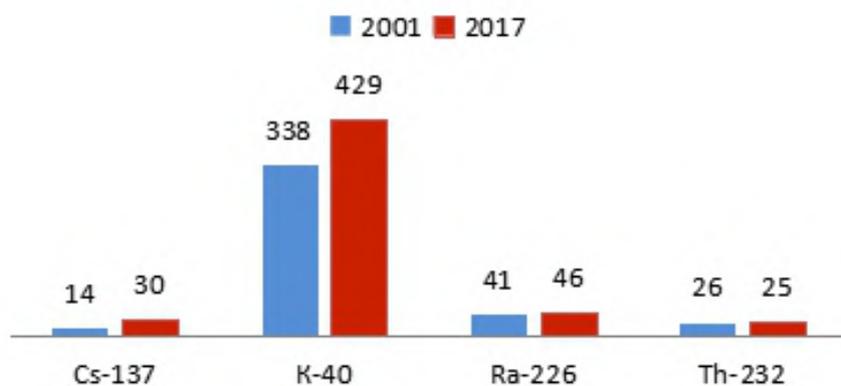


Рис. 4. Контрольные места обитания в окрестностях пос. Баренцбург

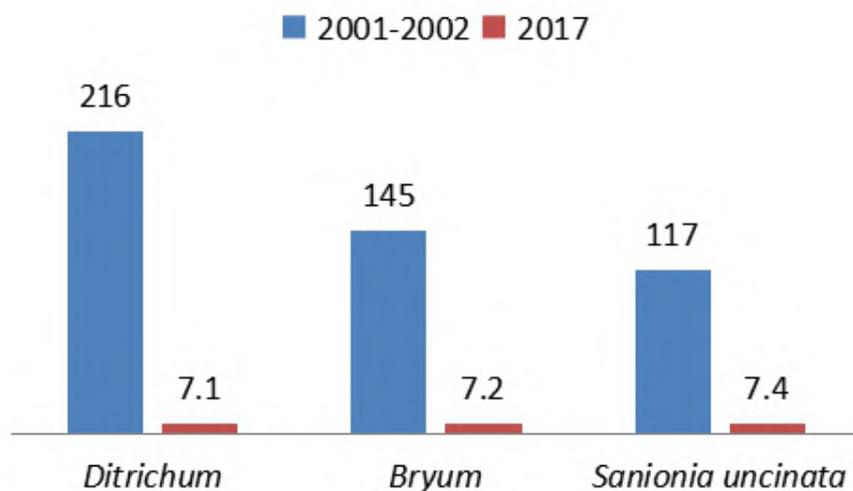


- ☛ Точка отбора проб донных отложений и взвеси
- 🚩 Точка постановки седиментологической ловушки

Рис. 5. Схема отбора проб в районе озера Бретъёрна



**Рис. 6.** Удельная активность техногенного <sup>137</sup>Cs и природных <sup>40</sup>K, <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th в пробах почвы 2001 и 2017 гг., Бк·кг<sup>-1</sup> сухой массы



**Рис. 7.** Удельная активность техногенного <sup>137</sup>Cs в пробах мохообразных в 2001–2002 и 2017 гг., Бк·кг<sup>-1</sup> сухой массы

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО КЛИМАТА

Н. И. Осокин\*, Э. П. Зазовская, А. В. Сосновский

Институт географии РАН

\*[osokin@igras.ru](mailto:osokin@igras.ru)

---

В сезон 2018 г. на архипелаге Шпицберген в рамках госзадания (№ 0148-2017-0005) работало 10 научных сотрудников, из них 6 молодых. Опубликовано 2 статьи WoS и 4 статьи РИНЦ.

### Основные результаты:

1. Получен массив данных по величинам почвенной эмиссии парниковых газов 23 мониторинговых (наблюдения 2012–2018 гг.) участков с разным типом антропогенной нагрузки и фоновой полигональной кустарничково-моховой арктической тундры. Впервые проведены наблюдения по эмиссии CO<sub>2</sub> криоконитового материала непосредственно на леднике. Отобраны образцы криоконитового материала с ледника Альдегонда в разноудаленных от бортов и края зонах (для исследования в них состава и свойств органического вещества и их возраста с применением AMS-радиоуглеродного датирования).
2. Среди обследованных экотопов наименьшие уровни эмиссии демонстрирует группа старых грунтовых дорог разного возраста, наибольшие — участки селитьбы и угольные отвалы. Среди не затронутых антропогенной активностью участков наибольшие уровни отмечены в орнитогенных нитрофильных сообществах.
3. Установлено, что межгодовые потоки почвенной эмиссии в вегетационный сезон могут существенно (в 2 раза) меняться даже за относительно небольшой (5-летний), период наблюдений. Эта динамика определяется в основном значимыми погодными изменениями (температура воздуха и выпадение осадков). В более сухие и холодные периоды эмиссия существенно снижается, в более влажные и теплые — возрастает. Различия в уровнях потоков между отдельными экотопами определяются разным характером почв и грунтов. Несмотря на то что влияние погодных условий может существенно сблизить уровни эмиссии, антропогенно-измененные участки во все годы наблюдений сохраняют устойчиво более высокие значения эмиссии по сравнению с фоновыми. Фоновые пятнистые тундры существенно меньше реагируют на внешние условия, чем экотопы. Особенно это касается изменений влажности почвы. С учетом в 4 раза более низкой (в среднем) первичной продукционной составляющей на антропогенно-измененных участках можно заключить, что они остаются нетто-источниками С для атмосферы.
4. Проведены первые исследования содержания углерода и азота в образцах криоконитового материала с ледников Альдегонда, Тавле и Восточный Гренфиорд. Измерения выполнены CHNS-анализаторе (Elementar, Германия) методом сухого сжигания в лаборатории радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии Института географии РАН. Результаты анализа показывают высокое содержание как углерода, так и азота в исследуемых образцах, а отношение C/N указывает на биогенное происхождение изучавшегося органического вещества.

5. Для исследования влияния изменчивости облачности, осадков и влажности мохового покрова на термический режим грунта собран и установлен инструментальный комплекс для измерения теплового потока, состоящий из термохрон DS-1923G-F5, температурных датчиков HOBO (12-Bit Temperature Smart Sensor S-TMB-M002) и датчика солнечной радиации HOBO (PAR and Silicon Pyranometer Smart Sensor S-Lix-003) с логгером HOBO Micro Station (H21-USB). Проводились измерения термохронами под моховым покрытием на глубинах 0, 5, 10, 15 см, температурными датчиками HOBO — на высоте 2 см от мха, 2 см от почвы во мху, на 50 см, радиационным датчиком — на 50 см. Получен большой массив данных, который обрабатывается.
6. Получен массив данных о динамике температурного состояния грунта на глубинах от 0 до 70 см на разных абсолютных высотах каждые 2 часа с августа 2017 г. по август 2018 г. Данные обрабатываются. Распределение температур практически линейно во всех скважинах, несмотря на различную глубину сезонно-талого слоя и влажность грунта. Линейное распределение температуры указывает на равные значения теплового потока, направленного от поверхности к кровле мерзлоты. Измеренная максимальная глубина сезонного протаивания уменьшается с ростом абсолютной высоты с 220 до 100 см.
7. Все ледники на Земле Норденшельда, обследованные в течение полевого сезона, находятся в стадии деградации, как и в последние годы. Отмечено только недавнее наступание языка ледника Эсмарка, что вероятно связано с понижением высоты границы питания в 2006 г. Высота снеговой линии на ледниках в районе Гренфиорда располагалась на уровне около 510 м. Высота снеговой линии с 2006 г. почти не изменилась.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГО- И ГАЗООБМЕНА АТМОСФЕРЫ С ПОВЕРХНОСТИ СЛОЖНОЙ СТРУКТУРЫ В ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНАХ ШПИЦБЕРГЕНА

И. А. Репина\*, А. Ю. Артамонов, М. Г. Гречушникова

Институт физики атмосферы имени А. М. Обухова РАН  
Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова

\*repina@ifaran.ru

---

В докладе представлены результаты экспериментальных исследований, проведенных на архипелаге Шпицберген в 2018 г. Работы выполнялись в районе п. Баренцбург.

### Основные задачи работ:

1. Измерения характеристик приземного слоя атмосферы над открытой поверхностью и над ледником. Исследование трансформации воздушного потока на границе берег — море.
2. Исследование динамики атмосферы под действием склонового ветра с поверхности ледника.
3. Определение турбулентных потоков тепла над различными поверхностями и при различных фоновых условиях.

### Также проведены работы по направлениям:

1. Исследование влияния населенных территорий на микроклимат полярных областей: сбор метеоинформации, установка сети датчиков температуры в окрестностях п. Баренцбург.
2. Исследование водных объектов Шпицбергена как источников эмиссии парниковых газов в атмосферу: отбор проб воды и грунта из озер в окрестности Баренцбурга.

### Получены следующие результаты:

1. С использованием БПЛА с датчиком температуры и влажности получены пространственные и высотные разрезы температурной структуры пограничного слоя атмосферы на границе берег — фьорд, ледник — фьорд.
2. По результатам обработки проб донных отложений выявлено, что для озер Стемме, Бретьерна и Конгресс гигроскопическая влажность, характеризующая свежесть осадка, составляет 1,8; 0,8 и 0,6 % соответственно, а потери при прокаливании — 7,8; 13,8 и 24,9 % соответственно. Столь большая доля органического вещества в озере Конгресс при гигроскопической влажности 0,6 % свидетельствует о том, что процессы разложения органики в нем происходят наименее интенсивно.
3. С целью исследования влияния населенных территорий на микроклимат в п. Баренцбург смонтированы автономные самописцы температуры воздуха. Установлены примерно на одном гипсометрическом уровне 2 датчика в поселке и 2 датчика — севернее и южнее поселения. Предполагаемое время работы датчиков — 1 год.

4. При измерениях структуры склонового ветра прослежен его суточный ход. Установлено наличие вихревых структур масштаба от десятков секунд до нескольких минут в ветровом потоке. Интенсивность образования структур растет с увеличением скорости ветра. Прослежена суточная динамика локального ветрового потока, возникающего на крутом ледниковом склоне.
5. Проведены измерения турбулентных потоков над ровной, покрытой мхом поверхностью, на склоне и над ледником. Получены характерные значения коэффициента сопротивления и параметра шероховатости для этих поверхностей. Исследованы теплофизические свойства различных поверхностей, характерных для Шпицбергена в летний период.

---

Работы проводились при поддержке РФФИ (№ 17-05-01221) и проекта «Исследование быстрых климатических изменений в Арктике и их региональных и крупномасштабных последствий» (ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы», соглашение № 14.616.21.0078 от 20.12.2016 между Минобрнауки России и ФГБУН «ИФА имени А. М. Обухова РАН»).

## РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ И АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ СЕЙСМОИНФРАЗВУКОВОГО МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССОВ ДЕСТРУКЦИИ АРКТИЧЕСКОЙ КРИОСФЕРЫ И ОПАСНЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН

А. В. Федоров

Кольский филиал Единой геофизической службы РАН

[andrey\\_v\\_fedorov@inbox.ru](mailto:andrey_v_fedorov@inbox.ru)

На протяжении 2018 г. Кольским филиалом ФИЦ ЕГС РАН проводился непрерывный мониторинг сейсмической обстановки в районе архипелага Шпицберген. Для осуществления мониторинга привлекались как собственные сейсмические станции, так и станции зарубежных сейсмологических агентств (рис. 1). Данные международной сети были объединены в региональном информационно-обрабатывающем центре (РИОЦ) в г. Апатиты.

По состоянию на 10 декабря 2018 г. системами автоматического обнаружения и локализации выделено более 33 000 сейсмических событий в диапазоне магнитуд от -1,6 до 5,7.

Сильнейшее землетрясение региона произошло 08 февраля 2018 г., в 02:29:20 по UTC, в месте с координатами 79.2523° с. ш., 3.8086° в. д. Магнитуда этого события составила 5,7 единиц.

Карта эпицентров сейсмических событий, зарегистрированных в районе архипелага Шпицберген, с магнитудами более 2 единиц представлена на рис. 2. События, вошедшие в эту выборку, были проверены человеком-интерпретатором.

В ближней зоне от поселков архипелага Шпицберген наибольшая сейсмическая активность наблюдалась, как и в предыдущем году, в проливе Стур-фьорд и в районе Хорнсун-фьорда. Сильнейшее сейсмическое событие здесь имело магнитуду  $M_l = 3,5$ , однако оно не привело к сколь-нибудь ощутимым сотрясениям в поселках.

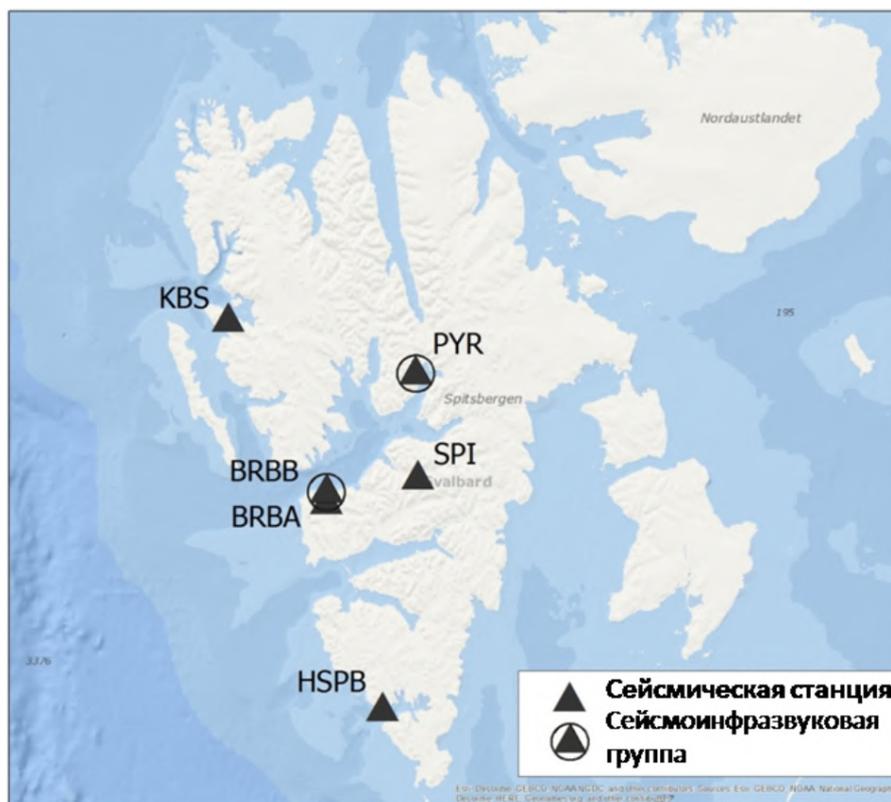
### *Низкоэнергетическая сейсмичность Шпицбергена*

Отдельного внимания заслуживает низкоэнергетическая сейсмическая активность на Шпицбергене: она как маркирует и картирует геодинамические процессы на архипелаге, так и отражает активность ледникового покрова, занимающего около 60 % площади суши архипелага.

На рис. 3 представлена карта, одновременно иллюстрирующая энерговыделение и плотность сейсмических событий, обнаруженных в 2018 г.

Анализ рис. 3 показывает, что наиболее активными в плане количества сейсмических событий и суммарной выделившейся энергии являются области в центральной, северо-западной и северо-восточной частях архипелага. Данные области не совпадают с местами проявления сильнейших землетрясений региона, а соответствуют областям расположения активных выводящих ледников. Сейсмичность в данных областях имеет, соответственно, ледниковое происхождение и отражает процесс деструкции ледников Шпицбергена.

Связь сейсмичности в указанных районах с активностью ледников подтверждается нестационарностью сейсмического процесса, очевидной при разбиении картины (рис. 3) на временные интервалы. На рис. 4 представлено отображение сейсмического процесса за 10 месяцев 2018 г. с разбивкой по 2 месяца.



**Рис. 1.** Карта сейсмических станций Шпицбергенской сети наблюдений, поступающих и обрабатываемых в РИОЦ КоФ ФИЦ ЕГС РАН

#### *Сейсмичность района размещения угольных шахт ГТ «Арктикуголь»*

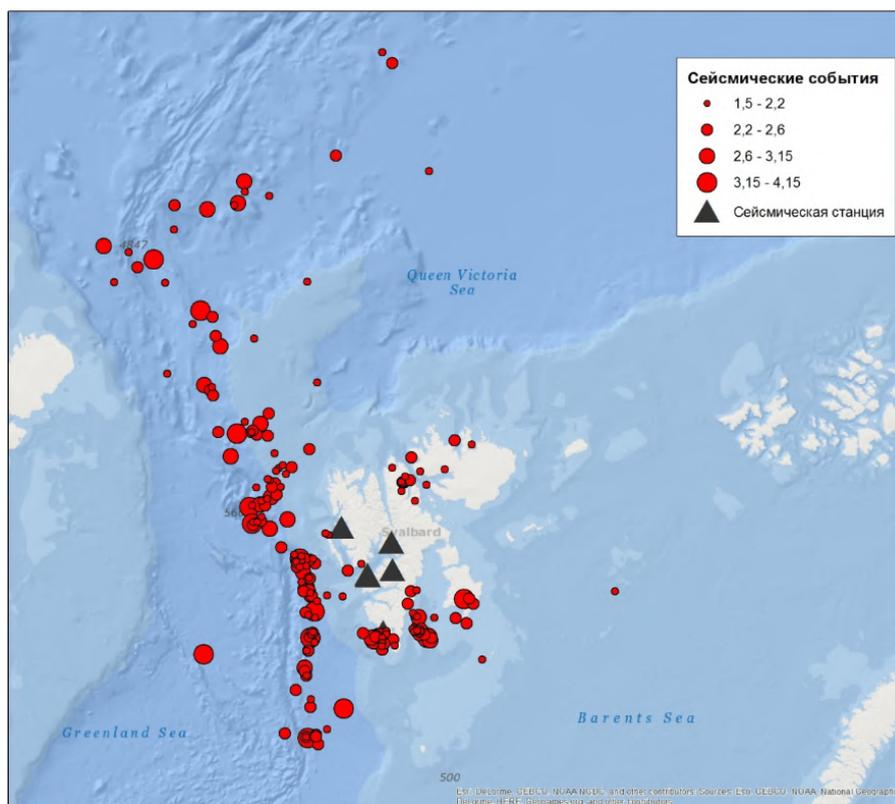
В 2018 г. продолжался непрерывный мониторинг района размещения угольной шахты рудника Баренцбург ГТ «Арктикуголь». Мониторинг указанного района выполнялся посредством двух сейсмических станций КоФ ФИЦ ЕГС РАН, установленных вблизи шахты. На рис. 5 представлена карта эпицентров сейсмических событий, обнаруженных системой мониторинга за последние 5 лет. Количество сейсмических событий, отмеченных в данной области, было большим, однако магнитуды их не превышали 2 единиц.

На рис. 6 и 7 соответственно показаны распределения числа обнаруженных событий по месяцам 2018 г. и за последние 5 лет.

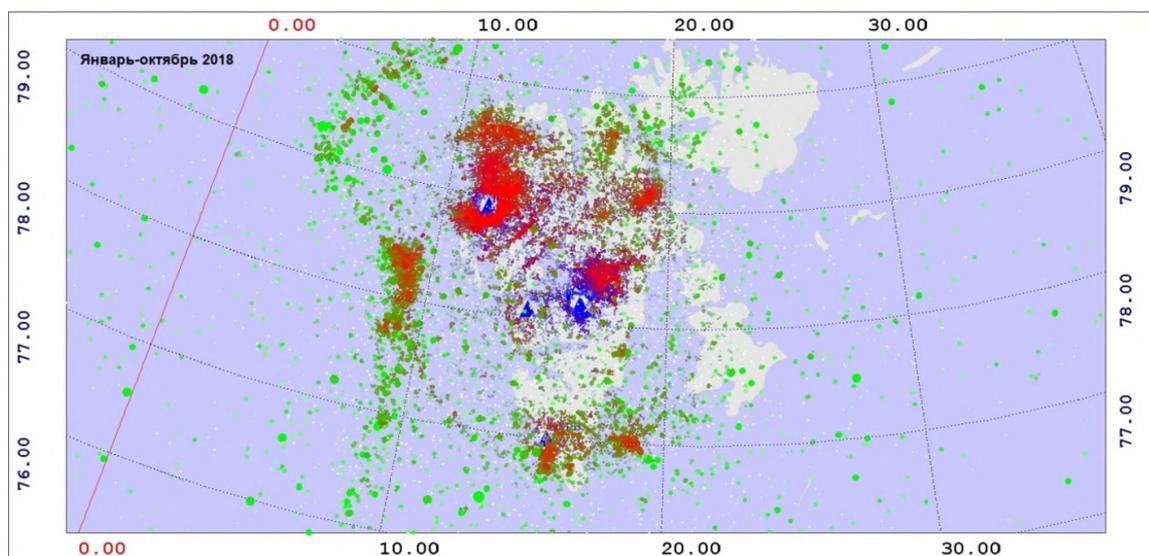
Анализ рис. 7 показывает, что уровень сейсмической активности вблизи рудника в 2018 г. превышает показатели предыдущего года, но при этом значительно уступает интенсивности сейсмического процесса в 2015–2016 гг., что, возможно, является следствием вариаций интенсивности добычи угля на предприятии.

#### *Инфразвуковые наблюдения на архипелаге Шпицберген*

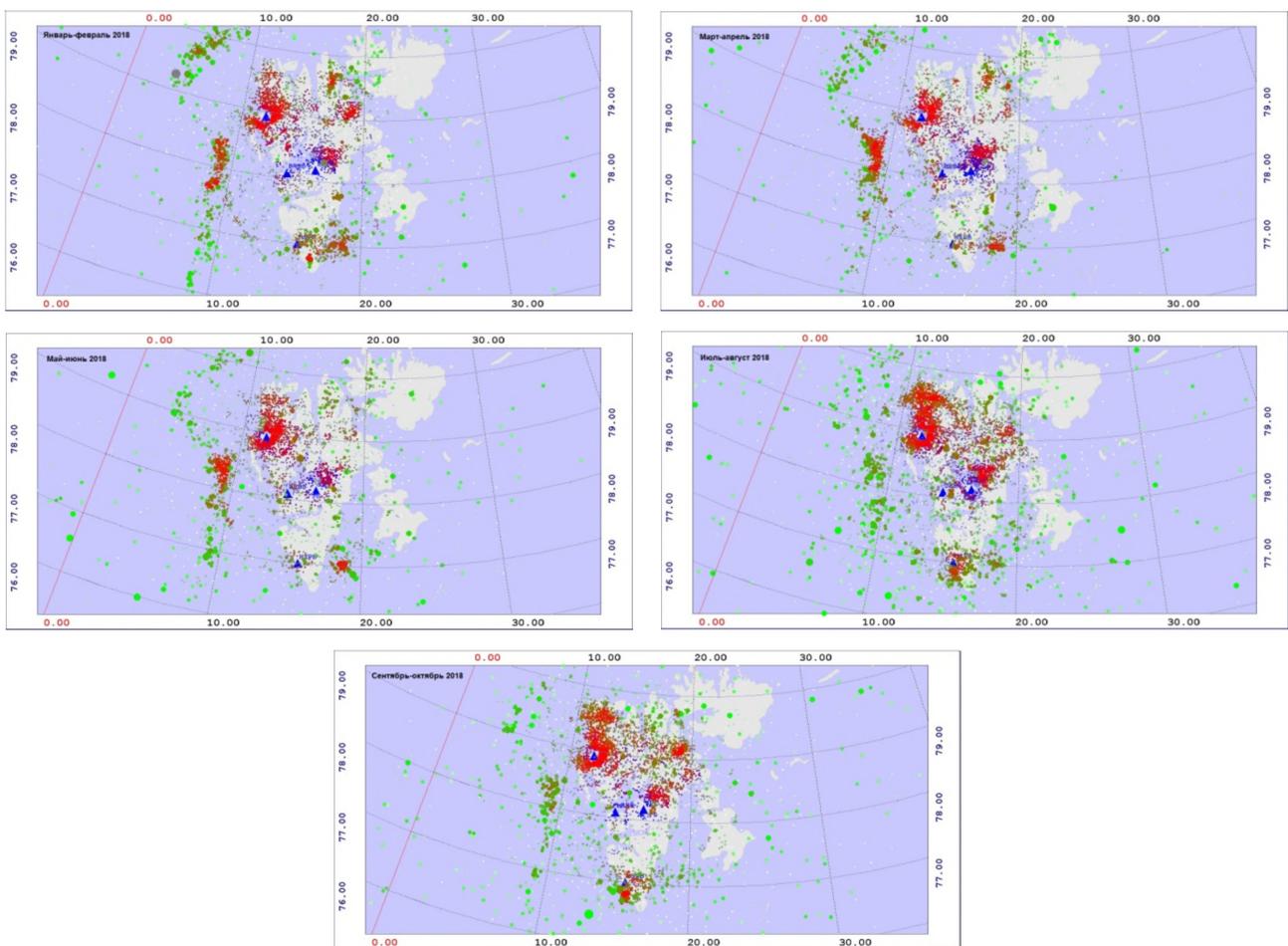
В отчетный период Кольским филиалом ФИЦ ЕГС РАН на архипелаге Шпицберген продолжались наблюдения за инфразвуковым полем. Основные сигналы в инфразвуковом диапазоне, регистрируемые на архипелаге, — сигналы, порожденные штормами в Северной Атлантике (микробаромы), а также сигналы, генерируемые при растрескивании ледников и отколе айсбергов.



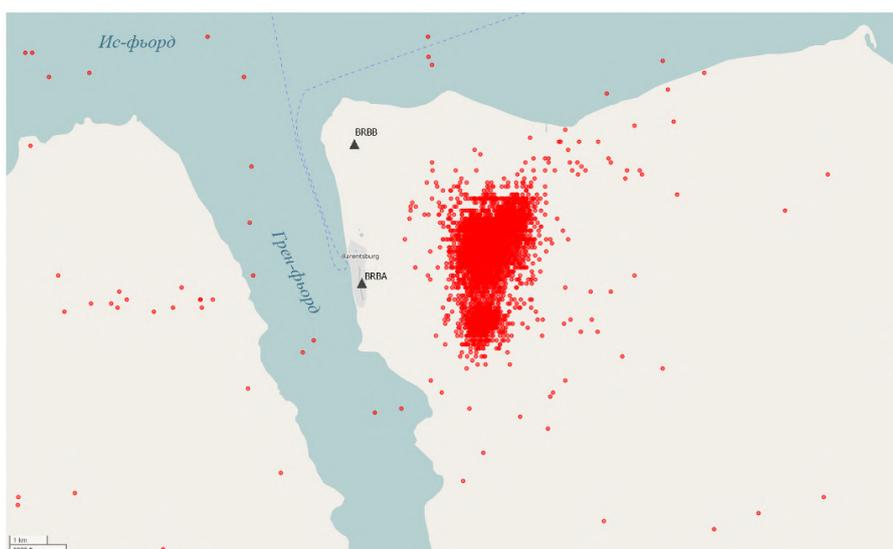
**Рис. 2.** Землетрясения, зарегистрированные Шпицбергенской сетью сейсмических станций в районе исследований в 2018 г., с локальной магнитудой больше 2 единиц



**Рис. 3.** Отображение сейсмического процесса в районе архипелага Шпицберген в виде элементов площади, цвета которых зависят от числа сейсмических событий и выделившейся сейсмической энергии



**Рис. 4.** Отображение сейсмического процесса в районе архипелага Шпицберген за 10 месяцев 2018 г. в виде элементов площади, цвета которых зависят от числа сейсмических событий и выделившейся сейсмической энергии, с разбивкой по 2 месяца



**Рис. 5.** Эпицентры сейсмических событий, обнаруженных вблизи рудника Баренцбург в 2014–2018 гг.

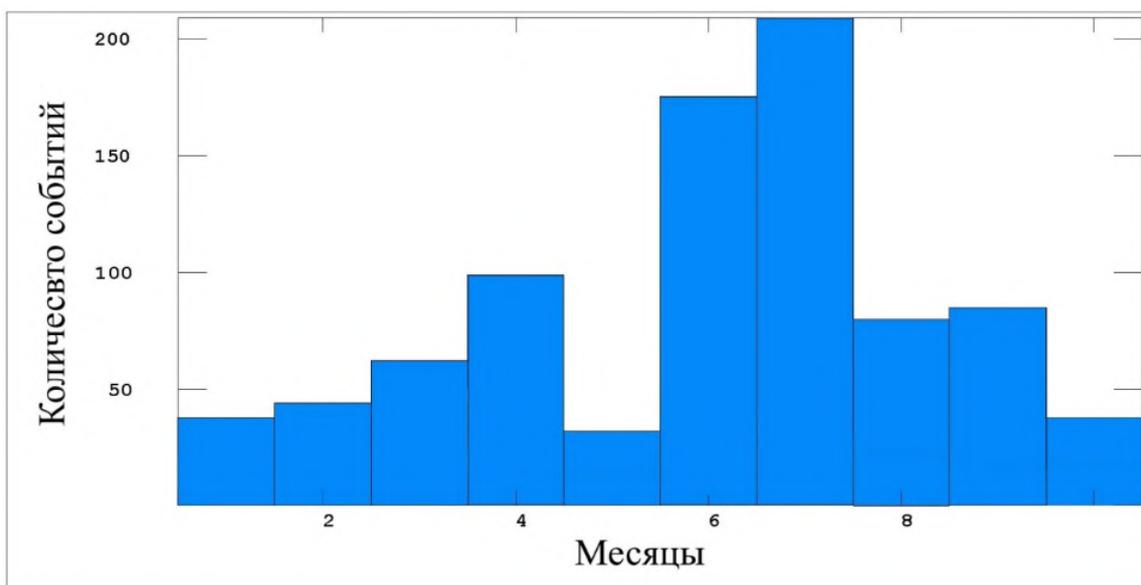


Рис. 6. Распределение количества сейсмических событий, обнаруженных вблизи рудника Баренцбург (первые 10 месяцев 2018 г.)

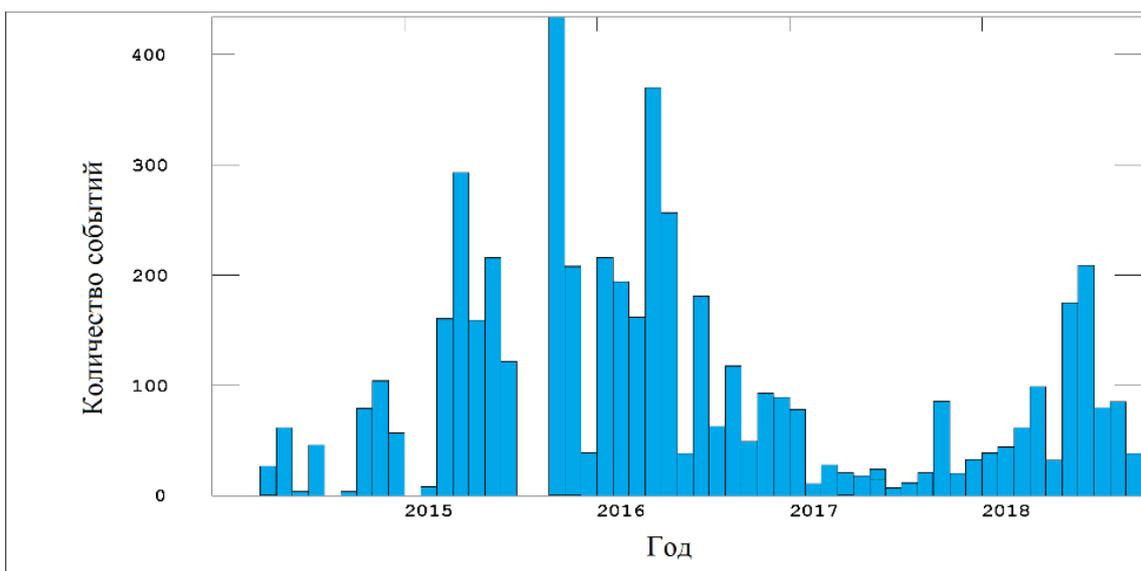


Рис. 7. Распределение количества сейсмических событий, обнаруженных вблизи рудника Баренцбург за период (2014–2018 гг.)

Результаты наблюдений сейсмоинфразвуковым комплексом BRBB в 2018 г.

В течение года Кольский филиал ФИЦ ЕГС РАН продолжал наблюдения с помощью сейсмоинфразвукового комплекса (СИЗК) BRBB, установленного в октябре 2010 г. в поселке Баренцбург, архипелаг Шпицберген. Комплекс BRBB осуществляет регистрацию сейсмических полей в диапазоне частот от 0,01 до 50 Гц и акустических полей — в диапазоне частот от 1 до 20 Гц. СИЗК BRBB состоит из акустических датчиков M1, M2 и M3 (низкочастотные микрофоны MP-201), расположенных в вершинах равнобедренного треугольника (рис. 8). Три акустических датчика — это минимально необходимое количество для определения по разности приходов когерентного сигнала на каждый микрофон азимута на источник и скорости подхода фронта инфразвуковой волны. Вблизи инфразвуковой микрогруппы расположена 3-компонентная сейсмическая станция BRBB.

Данные с СИЗК BRBB по интернет-каналам передаются в РИОЦ «Апатиты» Кольского филиала ФИЦ ЕГС РАН для обработки практически в режиме времени реального времени. Обработка инфразвуковых данных осуществляется с помощью специально разработанных алгоритмов, учитывающих сложные метеорологические условия арктического побережья (резкая смена направления и скорости ветра, помехи от прибойных волн).

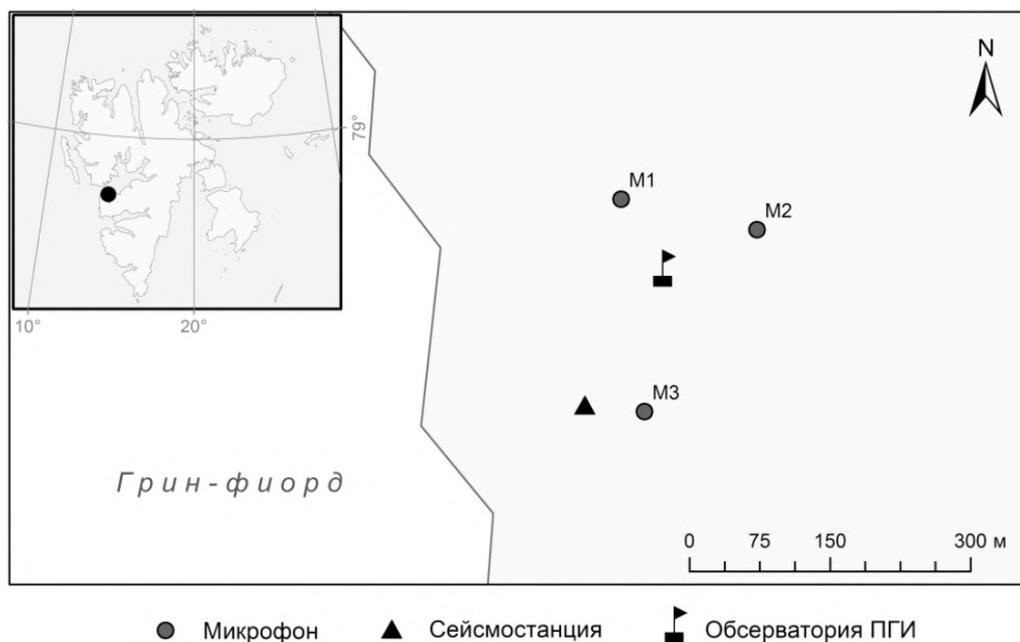
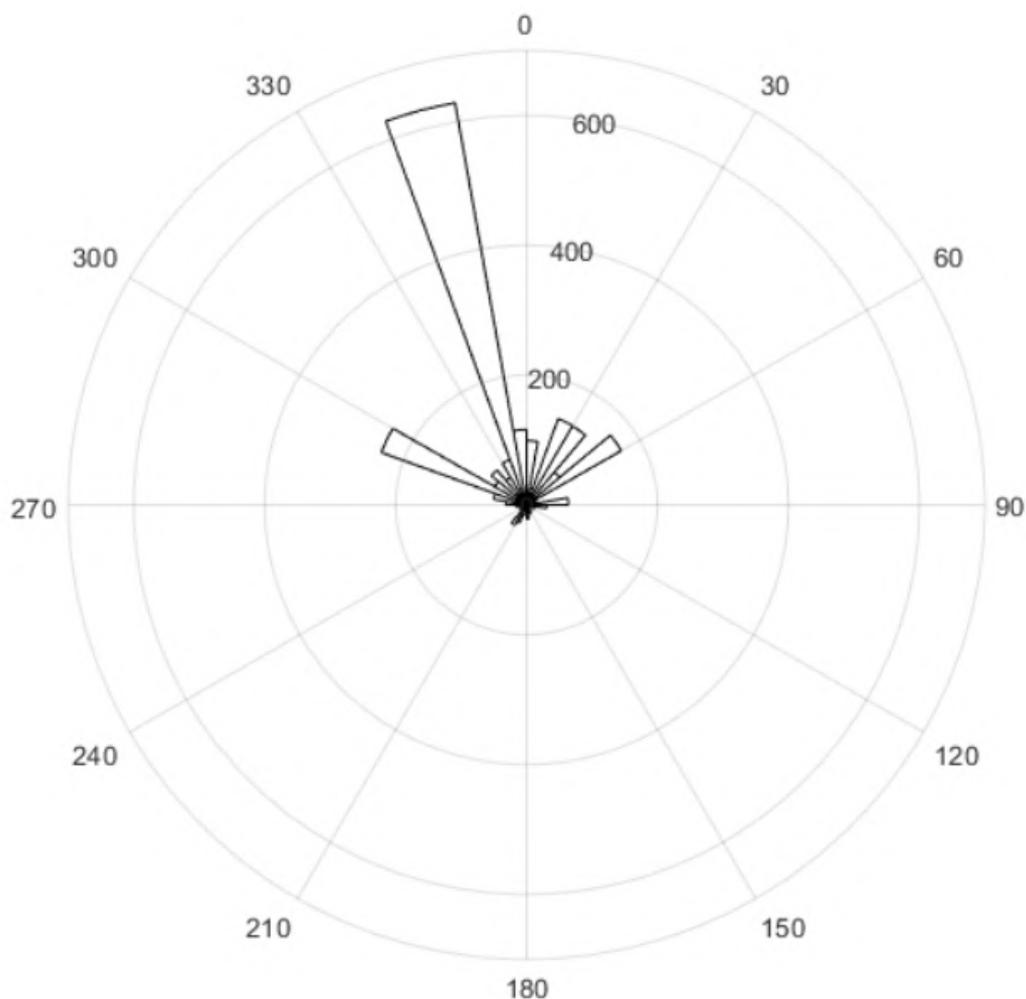


Рис. 8. Географическое местоположение и расположение компонент СИЗК BRBB

За период с 01.01.2018 по 30.11.2018 СИЗК BRBB зарегистрировал 2290 инфразвуковых событий в диапазоне частот от 2 до 15 Гц. Круговая гистограмма значений азимутов (направление на событие) приведена на рис. 9. На гистограмме выделяются два направления — 290–300° и 340–350°. Азимуты от 290 до 300° (10,3 % всех событий) соответствуют направлению на Гренландское море; скорее всего эти события порождены штормами и прибойной волной. Азимуты от 340 до 350° (27,6 % всех событий) соответствуют направлению на ледники северного берега залива Ис-фиорд; скорее всего, эти события порождены процессами деструкции ледников. Сопоставление месячных вариаций количества инфразвуковых событий, зарегистрированных с направлений от 340 до 350°, и температуры воздуха по данным метеостанции в Баренцбурге (рис. 10) показывает, что между этими параметрами имеется четкая связь: при возрастании температуры количество инфразвуковых событий увеличивается.



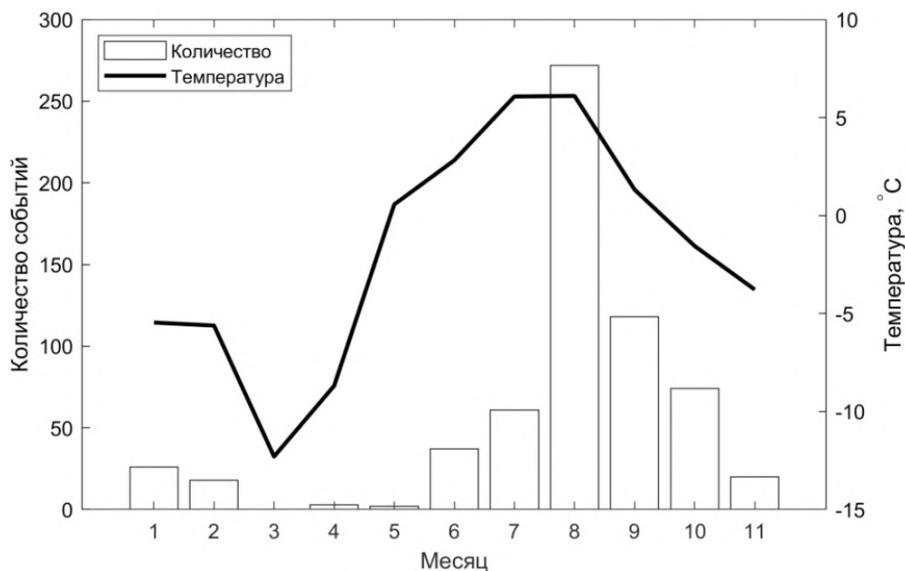
**Рис. 9.** Распределение азимутов инфразвуковых событий, зарегистрированных СИЗК BRBB в частотах от 2 до 15 Гц за период с 01.01.2018 по 30.11.2018

Такое поведение характерно для ледотрясений. Таким образом, мы фиксируем акустические проявления процесса деструкции тел ледников, инициированного ускорением их движения в результате изменения гидрологического режима из-за увеличения потока талых вод.

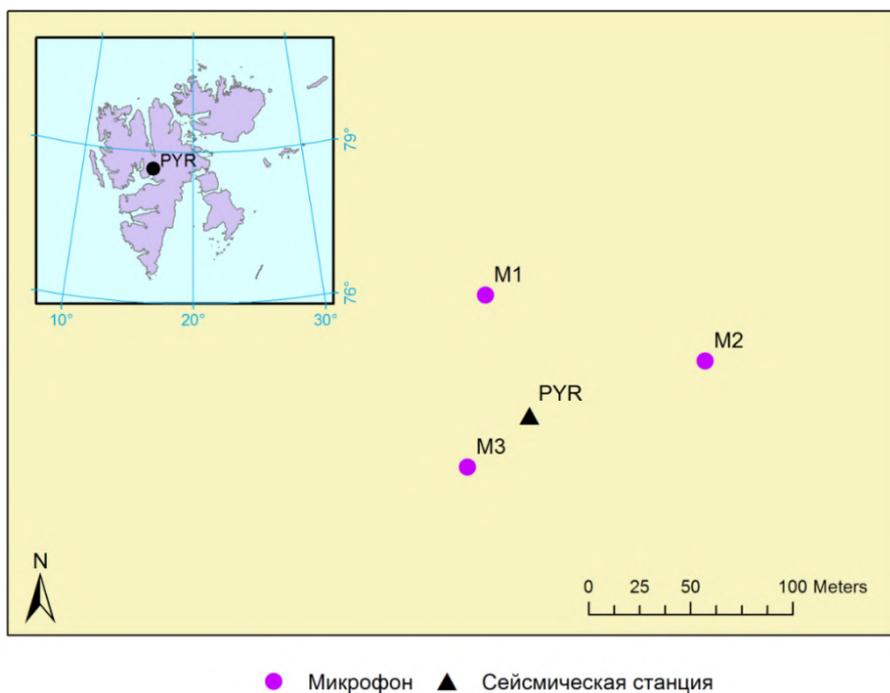
#### *Результаты наблюдений сейсмоинфразвуковым комплексом PYR в 2018 г.*

На протяжении года Кольский филиал ФИЦ ЕГС РАН продолжал наблюдения с помощью СИЗК PYR, установленного в июне 2015 г. в поселке Пирамида, архипелаг Шпицберген. Комплекс PYR осуществляет регистрацию сейсмических полей в диапазоне частот от 0.03 до 100 Гц и акустических полей — в диапазоне частот от 1 до 20 Гц. СИЗК PYR состоит из акустических датчиков М1, М2, М3 (низкочастотные микрофоны МР-201), расположенных в вершинах треугольника (рис. 11). Внутри треугольника инфразвуковой микрогруппы расположена 3-компонентная сейсмическая станция PYR.

Поскольку в поселке Пирамида отсутствует связь, данные в центр обработки Кольского филиала ФИЦ ЕГС РАН в г. Апатиты доставляются на сменных носителях. Обработка данных осуществляется по мере поступления. Используется такое же программное обеспечение, как и для СИЗК BRBB.

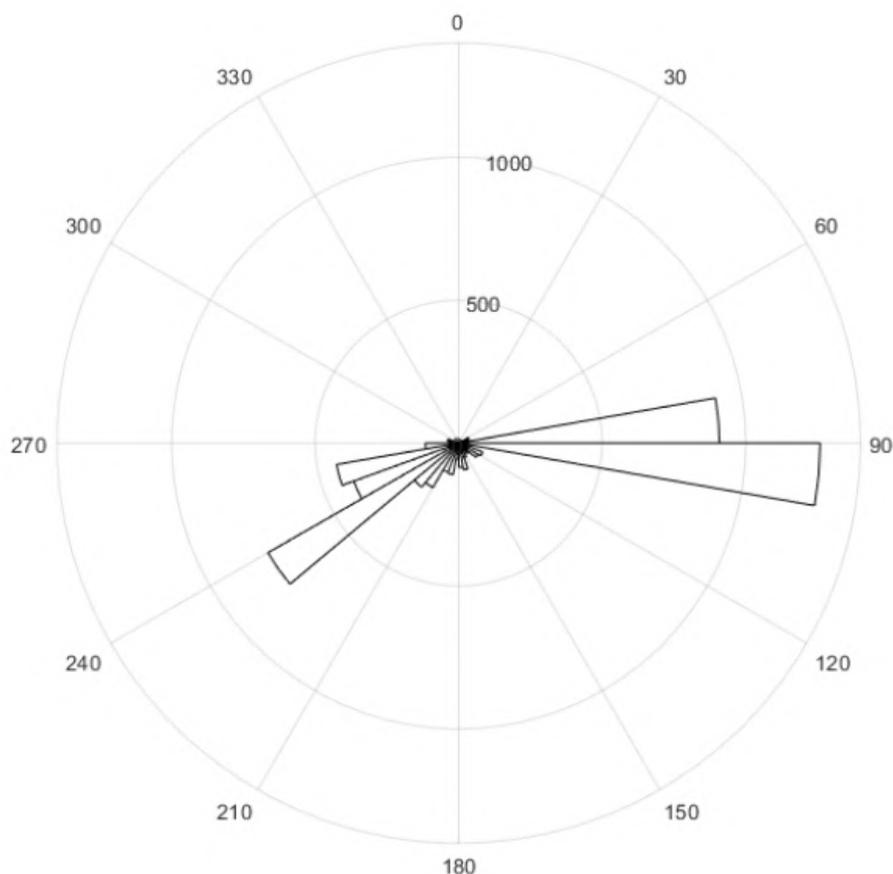


**Рис. 10.** Месячные вариации количества инфразвуковых событий, зарегистрированных СИЗК VRBB с направлений от 340 до 350° (левая ось) и температуры воздуха (правая ось) по данным станции в Баренцбурге 01.01.2018 – 30.11.2018



**Рис. 11.** Географическое местоположение и расположение компонент СИЗК PYR

За период с 01.01.2018 по 17.08.2018 СИЗК PYR зарегистрировал 5255 инфразвуковых событий в диапазоне частот от 2 до 15 Гц. Круговая гистограмма значений азимутов (направление на событие) приведена на рис. 12. На гистограмме выделяются два направления — 80–100° и 230–240°. Азимуты от 230 до 240° (14,7 % всех событий) соответствуют направлению на ледники северного берега залива Ис-фиорд и далее — на Гренландское море.



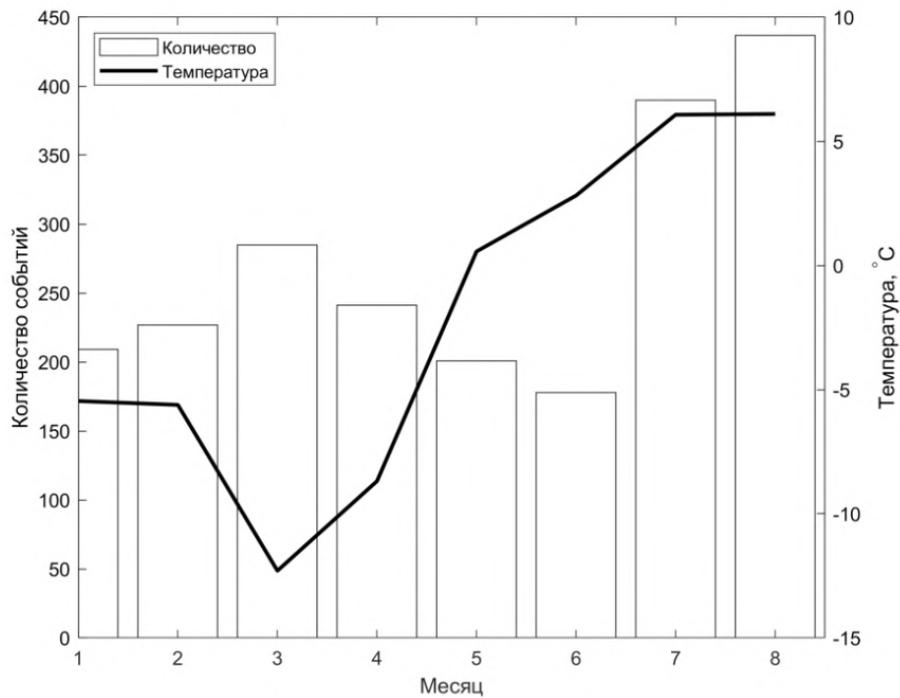
**Рис. 12.** Распределение азимутов инфразвуковых событий, зарегистрированных СИЗК PYR в частотах от 2 до 15 Гц (01.01.2018 – 17.08.2018)

Азимуты от 80 до 100° (41,3 % всех событий) соответствуют направлению на ледник Норденшельда (самый большой выводной ледник на острове Западный Шпицберген), стекающий с плато Ломоносова. Сопоставление месячных вариаций количества инфразвуковых событий с азимутами от 80 до 100° и температуры воздуха (рис. 13) показывает, что между этими параметрами имеется связь: при возрастании температуры количество инфразвуковых событий увеличивается.

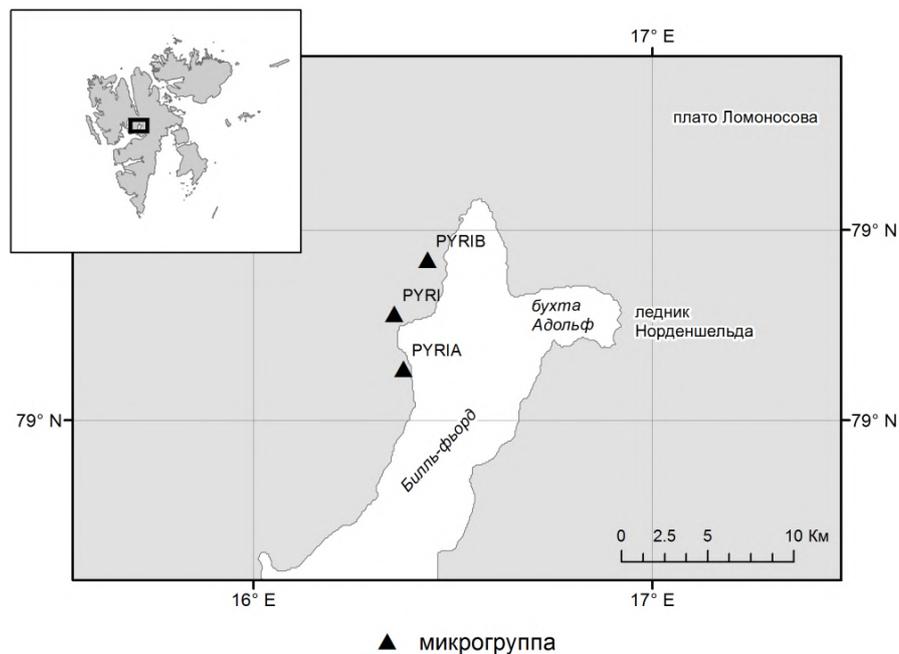
#### *Эксперимент по регистрации льдотрясений с помощью нескольких микрогрупп*

С 12 по 17 августа 2018 г. Кольский филиал ФИЦ ГС РАН проводил эксперимент по инфразвуковой регистрации льдотрясений на архипелаге Шпицберген в районе ледника Норденшельда для изучения возможностей регистрации льдотрясений инфразвуковым методом в условиях арктического побережья.

В рамках эксперимента вблизи поселка Пирамида установлены две временные инфразвуковые микрогруппы — PYRIA и PYRIB. Они вместе со стационарной микрогруппой PYRJ использовались для регистрации инфразвуковых сигналов (рис. 14).



**Рис. 13.** Месячные вариации количества инфразвуковых событий, зарегистрированных СИЗК PYR с направлений от 80 до 100° (левая ось), и температуры воздуха (правая ось) по данным станции в Баренцбурге (01.01.2018 – 17.08.2018)



**Рис. 14.** Расположение инфразвуковых микрогрупп PYRI (стационарная), PYRIA (временная), PYRIB (временная) для регистрации льдотрясений в районе поселка Пирамида

Каждая микрогруппа состояла из трех микрофонов МР-201. В каждой микрогруппе акустические датчики располагались в вершинах треугольника с длинами сторон 100–150 м, что сравнимо с длиной волны регистрируемых инфразвуковых колебаний. Такая схема размещения и количество датчиков являются минимально необходимыми для регистрации инфразвуковых событий.

При этом на пути прохождения звуковой волны от ледника до инфразвуковых микрогрупп отсутствуют препятствия, обусловленные рельефом местности (рис. 15). Расстояние от края ледника Норденшельда до регистрирующей аппаратуры составляет около 13 км.



Рис. 15. Пример установки микрофона на местности в ветрозащитном кожухе

#### Обнаружение инфразвуковых событий

Обнаружение инфразвуковых событий, зарегистрированных постоянной сейсмоинфразвуковой группой PYRI и временными станциями PYRIA и PYRIB, выполнялось по методике работы Асминга с соавторами. В результате для каждой группы формировался список инфразвуковых сигналов, содержащий информацию о временах прихода звуковых волн на акустические датчики, обратный азимут (направление от станции на событие), отношение сигнал/шум и значение когерентности сигнала.

Для определения координат зарегистрированных событий использовалась специально разработанная программа AL (AcousticLocator). Она анализирует списки зарегистрированных микрогруппами инфразвуковых сигналов, отбирает наборы сигналов на разных станциях, которые по разности времен прихода волн могут принадлежать одному событию, и определяет координаты источников (локация) методом пересечения азимутов. Пример локации события по трем сейсмоинфразвуковым группам приведен на рис. 16.

### Результаты эксперимента

Регистрирующая аппаратура проработала в непрерывном режиме с 15 по 17 августа 2018 г. В результате обнаружено 15 событий (рис. 17), зарегистрированных всеми тремя микрогруппами. Таким же образом мы обнаруживали события, зарегистрированные двумя инфразвуковыми микрогруппами. Таких событий 30 (рис. 18).

Эпицентры всех зарегистрированных двумя и тремя станциями событий приурочены к леднику Норденшельда, что подтверждает их ледниковую природу.

### Публикации по теме работ на Шпицбергене в 2018 г.

1. Аленичева А. О., Прокудина А. В., Федоров И. С. Система мониторинга сейсмичности Северо-западного региона // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2018. № 15. С. 45–47. <https://doi.org/10.31241/FNS.2018.15.010>
2. Асминг В. Э., Баранов С. В., Коломиец А. А., Мунирова Л. М., Нахшина Л. П., Федоров А. В. Восточная часть Балтийского щита. Каталоги землетрясений по различным регионам России // Землетрясения России в 2016 году. Обнинск : ФИЦ ЕГС РАН, 2018. С. 177–178.
3. Асминг В. Э., Баранов С. В., Петров С. И. Район архипелага Шпицберген // Землетрясения России в 2016 году. Обнинск : ФИЦ ЕГС РАН, 2018. С. 104–109.
4. Асминг В. Э., Федоров А. В., Аленичева А. О., Евтюгина З. А. Применение системы автоматической локации NSDL для детального изучения сейсмичности архипелага Шпицберген // Вестник Кольского научного РАН центра РАН. 2018. № 3. С. 120–131. <https://doi.org/10.25702/KSC.2307-5228.2018.10.3.120-131>
5. Баранов А. А., Баранов С. В., Шебалин П. Н. Количественная оценка степени воздействия морских приливов // Вулканология и сейсмология. 2019. № 1. С. 67–72. <https://doi.org/10.31857/S0203-03062019167-72>
6. Баранов С. В., Асминг В. Э., Виноградов А. Н., Федоров А. В. Сейсмичность района архипелага Шпицберген в 2016, 2017 годах // Вестник Кольского научного РАН центра РАН. 2018. № 3. С. 132–140. <https://doi.org/10.25702/KSC.2307-5228.2018.10.3.132-140>
7. Баранов С. В., Асминг В. Э., Ковалева И. С. Район архипелага Шпицберген. Каталоги землетрясений по различным регионам России // Землетрясения России в 2016 году. Обнинск : ФИЦ ЕГС РАН, 2018. С. 178–179.
8. Виноградов А. Н., Цукерман В. А. Рациональное и экологосбалансированное природопользование на Севере и в Арктике // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2017. № 5 (56). С. 115–128.
9. Виноградов Ю. А., Федоров А. В. Катастрофа вертолета на архипелаге Шпицберген: дешифровка инфразвуковых и сейсмических сигналов // Геофизические процессы и биосфера. 2019. Т. 18, № 1. С. 111–117. <https://doi.org/10.21455/GPB2019.1-10>
10. Евтюгина З. А., Асминг В. Э. О регистрации падения болида 16.11.2017 г. инфразвуковыми станциями севера Европы // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных : материалы XIII Междунар. сейсмологической школы / отв. ред. А. А. Маловичко. Обнинск : ФИЦ ЕГС РАН, 2018. С. 99–102.

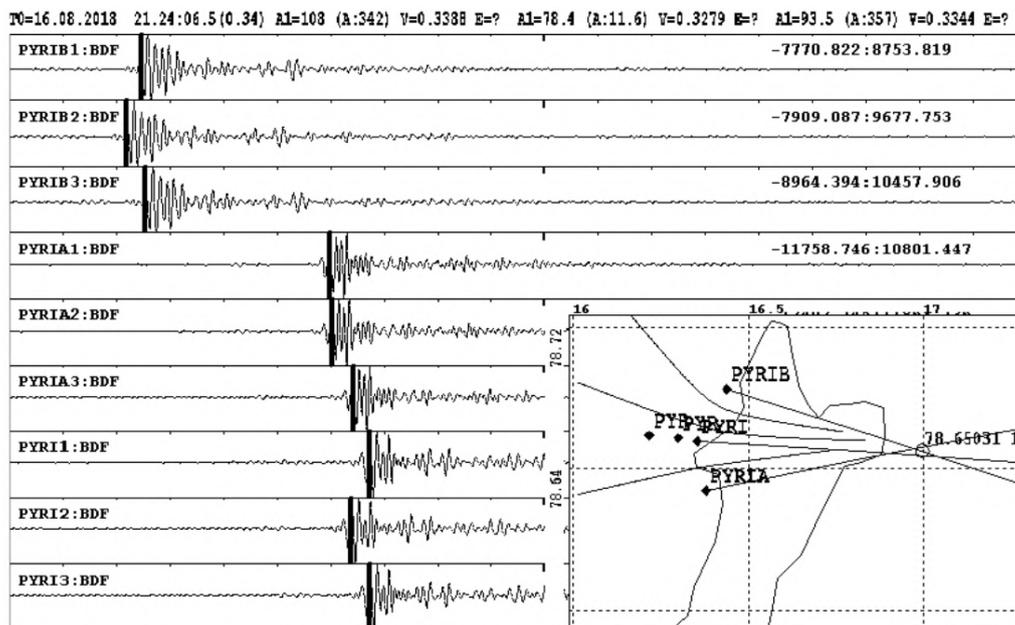


Рис. 16. Пример определения координат эпицентра льдотрясения на леднике Норденшельда по данным инфразвуковых микрогрупп PYRI, PYRIA, PYRIB

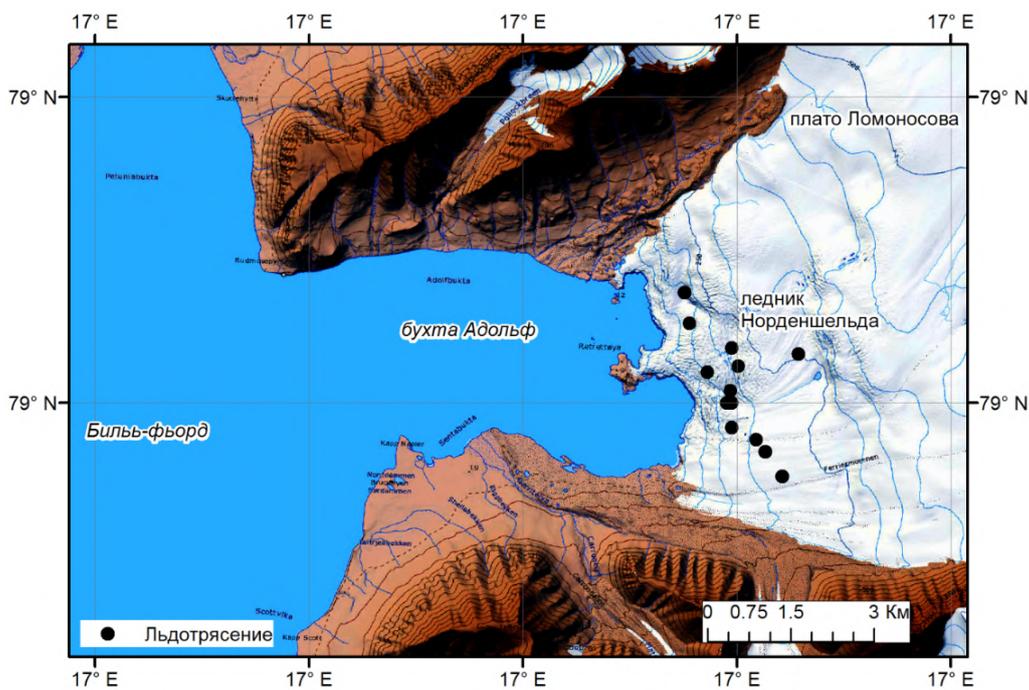
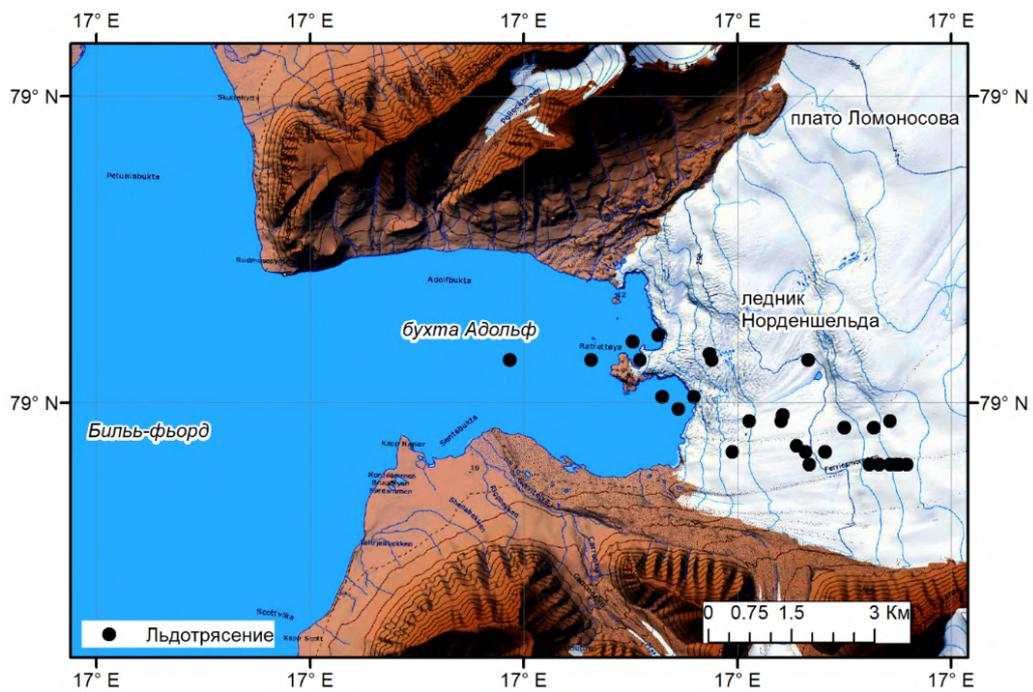


Рис. 17. Распределение эпицентров событий, зарегистрированных микрогруппами PYRI, PYRIA, PYRIB



**Рис. 18.** Распределение эпицентров событий, зарегистрированных микрогруппами PYRIA и PYRIB

# Плавучий университет

## «ОБУЧЕНИЕ-ЧЕРЕЗ-ИССЛЕДОВАНИЯ» НА БАЙКАЛЕ: РАЗВИВАЯ ТРАДИЦИИ ПЛАВУЧЕГО УНИВЕРСИТЕТА ЮНЕСКО-МГУ

Г. Г. Ахманов<sup>1\*</sup>, О. М. Хлыстов<sup>2</sup>, участники проекта Class@Baikal

<sup>1</sup>Учебно-научный центр ЮНЕСКО-МГУ по морской геологии и геофизике при геологическом факультете Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова

<sup>2</sup>Лимнологический институт СО РАН

\*akhmanov@geol.msu.ru

---

Проект Class@Baikal родился «в недрах» многолетней международной научно-образовательной программы «Обучение-через-исследования (Плавучий университет, ПУ)» [Training-through-Research (TTR) (Floating University)], инициированной Московским государственным университетом имени М. В. Ломоносова и осуществляемой под флагом ЮНЕСКО с 1991 г. В рамках Программы состоялось 18 крупных морских геолого-геофизических научно-образовательных экспедиций в Черное и Средиземное моря, в Центральную и Северную Атлантику, в Северный Ледовитый океан [6] (<http://floatinguniversity.ru>). В рамках проекта Class@Baikal организовано 5 экспедиций в акватории озера (<http://class-baikal.ru/>). Программа и проект направлены на углубленное образование и на формирование у студентов навыков практической исследовательской работы через участие в исследованиях по актуальным проблемам под руководством ведущих российских и зарубежных специалистов.

Образовательная часть неразрывно связана с реальной исследовательской работой. Традиционные научные направления Плавучего университета, почти в полном объеме представленные в текущих исследованиях на Байкале, были сформулированы еще в 1991 г. Среди них:

- природные газовые гидраты и зоны фокусированной разгрузки углеводородов в акваториях;
- грязевой вулканизм и глиняный диапиризм;
- современные глубоководные осадочные системы, конусы выноса, каньонные и русловые комплексы отложений;
- неотектоническая активность, ее отражение в морфологии дна и особенностях осадконакопления;
- изучение особенностей теплового потока и теплофизических характеристик донных накоплений;
- анализ условий стабильности и причин нестабильности подводных склонов.

Научные устремления ПУ связаны с исследованиями глубоководных континентальных окраин. Множество удивительных открытий сделано на этих передовых рубежах мировой науки. Плавучему университету принадлежит приоритет в открытии многочисленных структур газовой разгрузки и грязевых вулканов на морском дне, в опробовании гигантских глубоководных построек холодноводных кораллов, в обнаружении и описании неизвестных человечеству биологических видов, обитающих в аномальных зонах Мирового океана. ПУ знаменит своими находками газовых гидратов и бактериальных матов там, где, по господствующим представлениям того времени, их быть не могло. Фундаментальной науке всегда было над чем задуматься и что объяснить по-новому после «студенческих» рейсов. Результаты экспедиций ПУ существенным образом повлияли на развитие многих европейских проектов, а подчас и стимулировали создание новых европейских научных программ. За эти годы школу ПУ прошли свыше 1000 человек из более чем 50 университетов и научных центров более чем 25 стран мира.

ПУ — целостная система интенсивного образования. Участие в рейсах — главная, но не единственная составляющая цикла образования. Ежегодный цикл программы состоит из ряда последовательных этапов: отбор и обучение студентов для участия в экспедиции, международный рейс на научно-исследовательском судне, обработка данных на борту судна и в университетских лабораториях и послерейсовая научная конференция, для которой большинство докладов готовят студенты.

Основными принципами проекта являются [7]:

- 1) «обучение через исследования» — неразрывность получения новых знаний и их применения на практике;
- 2) междисциплинарный подход — тесное взаимодействие специалистов различного профиля способствует появлению новых подходов к решению научной задачи и позволяет студентам познакомиться с основами смежных дисциплин;
- 3) непрерывность образования — в программе участвуют студенты младших и старших курсов, аспиранты и молодые ученые;
- 4) цикличность и интенсивность обучения — новый студент проходит полный цикл всего за 1 год;
- 5) упор на самостоятельную работу студентов — высокая ответственность оказывает мобилизирующее воздействие;
- 6) индивидуальный подход — каждый студент имеет свой собственный научный проект, проекты не дублируются, поэтому конечный результат зависит от работы каждого;
- 7) эффективная передача опыта — работа студентов в одной команде с ведущими специалистами;
- 8) преемственность обучения — порой студенты младших курсов, впервые участвующие в экспедиции, гораздо легче и естественнее перенимают опыт старшекурсников и аспирантов, чем преподавателей;
- 9) направленность на решение практических вопросов;
- 10) международность, развитие межкультурных контактов

Применяя подход Плавучего университета к образованию и его основные системные принципы, выработанные за десятилетия реализации программы, проект Class@Baikal стартовал в 2014 г. в акватории Байкала [2]; с тех пор там организовано и проведено 5 успешных научно-образовательных экспедиций. Их участники знакомятся с современными методами геолого-геофизических, геохимических и инженерно-геотехнических исследований придонных отложений, а также на практике осваивают работу с экспедиционным оборудованием. Следуя традициям «Образования-через-исследования», материал, собранный в экспедиции, обрабатывается силами участвовавших в ней студентов под руководством ученых и преподавателей из вузов и научных институтов России и Европы. Постоянными партнерами проекта Class@Baikal являются более 10 организаций, активно участвующих в его реализации, включая 4 российских университета (МГУ, НГУ, ИрННТУ, ИГУ), 3 европейских университета (Университет Осло, Парижский университет, Университет Тромсе), японский университет (Университет Китами) и институт РАН (ЛИН СО РАН).

В ходе экспедиционных работ проекта Class@Baikal изучались несколько районов, располагающихся в южной и центральной котловинах озера Байкал: (1) подводное продолжение Танхойского поля; (2) гидратоносный сип Голоустное; (3) грязевой вулкан Большой; (4) диапиры и погребенный оползень района Еловский; (5) гидратоносный сип Красный Яр; (6) современный оползень Красноярский; (7) оползневые

комплексы склона Кукуйской гривы; (8) глубоководная осадочная система Хурай; (9) гидратоносный сип МГУ; (10) гидратоносный сип Санкт-Петербург; (11) грязевой вулкан Новосибирск; (12) поле нефтяных выходов Горевой Утес.

Изучение отдельных районов и объектов продолжалось в ходе нескольких экспедиций и вылилось в ряд интереснейших открытий, самые яркие из которых перечислены ниже.

**Новая подводная гидратоносная структура**, получившая название «МГУ», обнаружена летом 2018 г. на дне центральной котловины озера Байкал, на траверсе пролива Ольхонские Ворота, на глубине 1380 м, в районе с координатами 52°52' с. ш. и 107°07' в. д. Структура «МГУ» — субизометричная в плане, многовершинная возвышенность с диаметром основания около 500 м, приуроченная к тектоническому нарушению. Данные предварительного изучения структуры однозначно указывают на современную активную флюидоразгрузку и на гидратоформирование в ее пределах. Результаты лабораторных исследований показали, что углеводородные газы, разгружающиеся в пределах структуры «МГУ», характеризуются составом и свойствами, свидетельствующими об их термогенной природе — о формировании в толщах глубоководных осадочных образований впадины Байкала. Некоторые данные позволяют предполагать, что структура «МГУ» — это подводный грязевой вулкан. В целом и формирование структуры «МГУ», и ее современная активность и гидратоносность отражают особенности проявления работы углеводородной системы молодого син-рифтового осадочного бассейна на фоне неотектонических процессов [3].

**Зона субаквальной флюидоразгрузки «Горевой Утес»** уникальна тем, что в ее пределах регистрируются выходы газов и жидких углеводородов, формируются битумные постройки, а также образуются газовые гидраты [9]. В экспедиции Class@Baikal-2018 выполнены комплексные геохимические исследования для определения наиболее индикаторных параметров оценки воздействия зон фокусированных углеводородных сипов на геохимические характеристики донных осадков. Проведено обширное донное опробование (22 станции) по профилям, пересекающим зону флюидоразгрузки Горевой Утеса в перпендикулярных направлениях; получены образцы из 134 интервалов донных осадков для изучения сингенетического и мигрировавшего органического вещества. Предварительно установлено, что исходное органическое вещество нефтегенерирующей толщи имеет смешанный состав, нефтематеринская порода достигла градаций катагенеза МК2-МК4. Во всех исследованных образцах из центра структуры и на его удалении отмечается миграционная составляющая.

**Оползневые тела склона Кукуйской гривы** впервые исследованы в экспедиции Class@Baikal-2014 [2]. Геолого-геофизическое изучение продолжено в 2015 г. По результатам исследований в строении верхней части разреза северо-западного склона Кукуйской Гривы впервые выделены два сейсмокомплекса и слагающие их сейсмофации, характеризующие степень оползневой деструкции склона. Выявлено, что время и характер проявления оползневых процессов весьма разнообразны. Впервые построены сейсмофациальные схемы района, позволяющие оценить различия в характере и интенсивности гравитационных процессов на протяжении плейстоцен-голоценового времени. Граница между сейсмокомплексами предположительно датирована цифрой 150 тыс. лет. Установлено, что оползание склона более активно проходило в познеплейстоцен-голоценовое время, что отражает активизацию вертикальных тектонических движений на этом участке Байкальской рифтовой системы [5].

Субаквальный **оползень Красноярский** расположен на глубинах 350–700 м, у подножия авандельты реки Селенга, хорошо выражен в рельефе дна и изучался в ходе нескольких экспедиций проекта Class@Baikal. Яркой особенностью Красноярского оползня является то, что у его подножья, на глубинах от 730 до 780 м, располагается активная зона фокусированной флюидоразгрузки — сип Красный Яр [8]. Такое соседство позволило уже на раннем этапе изучения Красноярского оползня выдвинуть предположение о том, что нестабильность склоновых накоплений связана с их повышенным

газонасыщением [1]. Подтверждения этому находятся в каждой экспедиции и при камеральной обработке собранного в экспедициях материала. В отложениях оползня найдены каналы миграции флюидов, типичные для газонасыщенных осадков озера Байкал. Предварительные результаты компьютерного моделирования Красноярского оползня также свидетельствуют в пользу того, что оползшие осадки были изначально сильно газонасыщенны [4].

**Еловский район** расположен напротив пади р. Еловка в южной котловине озера. Здесь в ходе предыдущих экспедиций обнаружены многочисленные структуры, выраженные в рельефе в виде небольших возвышенностей, характеризующихся хаотической акустической записью и специфическим «галло» на профилях профилографа [10]. В нескольких экспедициях Class@Baikal геолого-геофизические работы были направлены на установление природы этих загадочных структур. Ни на одной из возвышенностей ожидаемых газонасыщенных донных отложений и гидратов обнаружено не было, не обнаружены и грязевулканические отложения. Вскрытый ударными трубками разрез в большинстве случаев был представлен типичными байкальскими донными илами. Только на одной из опробованных структур были отобраны нетипичные, исключительно плотные глины, напоминающие материал глиняных диапиров. Тем не менее детальный анализ всего имеющегося материала сейсмоакустических исследований, выполненных в рамках экспедиций Class@Baikal, позволил обнаружить и предварительно закартировать погребенное специфическое линзовидное осадочное тело, распространенное в пределах исследуемого полигона. Мощность линзы максимальна в его центральной части, где достигает 90 м. В плане исследуемый объект характеризуется линейной протяженностью до 5 км. Выдвинуто предположение, что линза представляет собой крупное оползневое тело или отложения высокоплотностного гравитационного потока (дебрис-флю), некогда сошедшего со склона авандельты р. Селенга. Описанные выше диапироподобные структуры пространственно приурочены к области распространения линзовидного тела, в связи с чем предполагается и их генетическая связанность.

Исследования **глубоководной осадочной системы Хурай** начались в 2014 г. с изучения современного эрозионного вреза (каньона), пересекающего тектоническую ступень на дне Байкала на траверсе острова Ольхон [2]. Установлено, что каньон сформирован в дистальной части глубоководной и очень сложно построенной осадочной системы. В пределах системы терригенный материал собирается с бортов центральной байкальской впадины, транспортируется в северо-восточном направлении на значительные расстояния в виде спазматических плотностных потоков разных типов и осаждается в лопастях конуса выноса. Долинно-руслевой, транзитный, комплекс этой системы пространственно ограничен на северо-западе крутыми склонами котловины, а на юго-востоке — протяженной тектонической ступенью с амплитудой, увеличивающейся в северо-восточном направлении. В рамках проекта Class@Baikal впервые закартированы современные русла, формирующие осадочную систему на дне центральной котловины озера; выполнена предварительная корреляция турбидитовых прослоев, вскрытых ударными трубками в пределах системы; выполнен анализ эволюции осадочной системы в позднем плейстоцене — голоцене; установлено, что допозднеплейстоценовый этап развития системы характеризовался большим объемом поступающего терригенного материала и более высокой активностью мутьевых потоков; определено, что эволюцию конуса выноса можно поделить на несколько этапов, характеризующихся своими особенностями морфологии донного рельефа и лавинного осадконакопления; установлено, что ключевым фактором, определявшим морфологию всего конуса выноса на всех этапах его эволюции, являлись активные неотектонические движения [11].

С 2014 г., когда Международный проект Class@Baikal «Обучение-через-исследования» был запущен, организовано и успешно проведено уже пять экспедиций, в которых участвовали 48 студентов и 18 ученых, включая 4 представителей европейских научных центров и университетов. Выполнен внушительный объем полевых геолого-геофизических работ и лабораторных аналитических исследований,

результаты представлены в 137 докладах на 42 международных и национальных научных форумах и в 6 статьях в научных журналах из списка ВАК. На материалах, собранных в экспедициях Class@Baikal, только в МГУ имени М. В. Ломоносова защищено 12 бакалаврских и 5 магистерских диссертаций. Студенты и молодые ученые, получившие «боевое крещение» и продолжающие работать в проекте, были приглашены и участвовали еще в 12 морских экспедициях, включая международные.

Идея проведения экспедиций Class@Baikal, их ход и некоторые результаты освещались в интернет-публикациях СМИ и на телевидении, в т. ч. центральным российским каналом «Россия-1».

Проект Class@Baikal вносит свой вклад в разработку фундаментального понимания взаимовлияния спектра геологических процессов (осадконакопление, генерация углеводородов, формирование гидратности отложений, зарождение и работа грязевых вулканов, рассеянная и фокусированная дегазация донных осадков, оползание склонов и т. д.) и экологической эволюции районов: связи геосфера — биосфера.

Проект Class@Baikal — прекрасный пример плодотворного партнерства академии и высшей школы и того, насколько многого можно добиться даже за короткое время при обоюдной заинтересованности в сотрудничестве, направленном на воспитание нового поколения ученых, специалистов в области морских наук. Проект Class@Baikal успешно продолжает и развивает традиции легендарной программы «Обучение-через-исследования (Плавучий университет)» и демонстрирует правомерность выдвинутого тезиса о том, что «...научные практики студентов в духе Плавучего университета могут стать важной частью современного университетского образования в России...».

## **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] Ахманов Г. Г., Хлыстов О. М. и др. The Class@Baikal project: developing traditions of the International Training-through-Research (Floating University) Programme // Морские исследования и образование: MARESEDU-2015 : сб. тез. IV Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 19–24 октября 2015 г. Москва : Феория, 2015. С. 29–33.
- [2] Ахманов Г. Г., Хлыстов О. М., Токарев М. Ю. и др. Первая экспедиция Байкальского Плавучего Университета: современное осадконакопление и зоны фокусированной разгрузки углеводородов и газогидратообразования на дне озера. // Морские исследования и образование: MARESEDU-2014 : сб. тез. III Междунар. молодежной науч.-практ. конф., Москва, 22–24 октября 2014 г. Москва, 2014. С. 19–23.
- [3] Ахманов Г. Г., Хлыстов О. М., Соловьева М. А., Ефремов В. Н., Видищева О. Н., Маццини А., Кудяев А. А., Буланова И. А., Барымова А. А., Гордеев Е. К., Деленгов М. Т., Егошина Е. Д., Соколомова Я. В., Понимаскин П. О. Открытие новой гидратоносной структуры на дне оз. Байкал // Вестник Московского университета. Сер. 4: Геология. 2018. № 5. С. 111–116.
- [4] Кудяев А. А., Ахманов Г. Г., Хлыстов О. М. Фокусированная разгрузка метана, как причина субаквального оползания склонов (на примере Красноярского оползня озера Байкал) // ЛОМОНОСОВ-2018 : сб. тез. XXV Междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых [Электронный ресурс]. Москва : МАКС Пресс, 2018.

- [5] Соловьева М. А., Старовойтов А. В., Ахманов Г. Г., Хлыстов О. М., Хабуюев А. В., Токарев М. Ю., Ченский Д. А. История оползневой деструкции склона Кукуйской гривы (оз. Байкал) по данным сейсмоакустических исследований // Вестник Московского университета. Сер. 4: Геология. 2016. № 5. С. 47–59.
- [6] Сузюмов А. Е., Козлова Е. В., Ахманов Г. Г. 25 лет под парусами науки: Плавучий университет (Обучение через исследования) // Георесурсы. 2015. № 2 (61). С. 106–110.
- [7] Трофимов В. Т., Глумов И. Ф., Иванов М. К., Сузюмов А. Е., Карлин Л. Н., Ахманов Г. Г., Козлова Е. В., Плинк Н. Л., Еремина Т. Р., Гогоберидзе Г. Г., Беляева В. Н. Плавучий университет: обучение через исследования // Вестник Московского университета. Сер. 4: Геология. 2003. № 3. С. 48–52.
- [8] Хабуюев А. В., Ченский Д. А., Соловьева М. А., Белоусов О. В., Кононов Е. Е., Хлыстов О. М. Оценка ресурсов газовых гидратов геофизическими методами в зоне подводной разгрузки газа на сипе «Красный Яр» озера Байкал // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2016. № 1 (54). С. 67–74.
- [9] Хлыстов О. М., Горшков А. Г., Егоров А. В., Земская Т. И., Гранин Н. Г., Калмычков Г. В., Воробьева С. С., Павлова О. Н., Якуп М. А., Макаров М. М., Москвин В. И., Грачев М. А. Нефть в озере Мирового наследия // Доклады Академии наук. 2007. Т. 414, № 5. С. 656–659.
- [10] Cuylaerts M., Naudts L., Casier R., Khabuev A. V., Belousov O. V., Kononov E. E., Khlystov O. M., De Batist M. Distribution and morphology of mud volcanoes and other fluid flow-related lake-bed structures in Lake Baikal, Russia // *Geo-Marine Letters*. 2012. Vol. 32, no. 5–6. P. 383–394. <https://doi.org/10.1007/s00367-012-0291-1>
- [11] Solovyeva M., Akhmanov G., Khlystov O., Pochevalova A., Chensky A. The Khuray deep-water fan (Lake Baikal) – an example of complex depositional system in syn-rift basin // 3<sup>rd</sup> Applied Shallow Marine Geophysics Conference. EAGE. Near Surface Geoscience Conference & Exhibition, 9–12 September, 2018, Porto, Portugal : Extended Abstracts. New York, 2018. P. 138–143. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201802685>

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ АССОЦИАЦИИ ПЛАВУЧИХ УНИВЕРСИТЕТОВ РОССИИ

А. Б. Милкус

Ассоциация плавучих университетов

НИУ «Высшая школа экономики»

[amilkus@hse.ru](mailto:amilkus@hse.ru)

---

### Обоснование

Водные пространства России — моря, реки, озера — разнообразны и обширны. Успешная реализация промышленных и инфраструктурных проектов в различных регионах страны во многом зависит от наличия высококвалифицированной кадровой базы. Это требование обуславливается и все возрастающей наукоемкостью практически всего спектра сфер социально-экономической деятельности.

Плавучие университеты России принимают активное участие в подготовке квалифицированных кадров для работы, прежде всего в приморских регионах, являясь высокоэффективной площадкой для мультидисциплинарной подготовки будущих специалистов. Подобные университеты открыли Северный (Арктический) федеральный университет, Северо-Восточный федеральный университет, Российский государственный гидрометеорологический университет. Продолжает работать плавучий университет МГУ, созданный еще в 1991 г. Создан плавучий университет Института океанологии имени П. П. Ширшова РАН. На Каспии и на Волге действуют целые флотилии плавучих университетов. О желании создать плавучие университеты заявляют ведущие вузы на Черном море, Балтике и Дальнем Востоке.

Морские, речные, воздушные и наземные специализированные экспедиционные работы являются сегодня важным компонентом подготовки будущих специалистов в области экологии, рационального природопользования, гидрологии, метеорологии, океанографии, геохимии, геофизики, этнографии и других направлений. Участвуя в морских и речных экспедициях, в научных десантах, студенты, аспиранты и молодые ученые проводят комплексные научные исследования и приобретают обширные практические знания.

В то же время, хотя движение плавучих университетов развивается, за пределами своих регионов о подобных инновационных формах учебной и исследовательской работы мало кто информирован.

В 2018 г. создана Ассоциация плавучих университетов России.

### Плавучий университет

Это особая форма обучения, сочетающая фундаментальное образование с прикладными и научно-исследовательскими работами по формуле «Обучение через исследования». Предполагает обязательное вовлечение обучающихся во все стадии научно-исследовательского процесса, получение практических навыков прикладной и аналитической работы.

Плавучий университет реализуется в ходе обязательных последовательных этапов полного годовичного цикла обучения: (а) постановка проблемы руководителями работ; (б) ее теоретическое изучение студентами и их подготовка к экспедиции; (в) участие студентов в экспедиции и сборе полевого материала;

(г) обработка собранного материала в лабораторных условиях; (д) интерпретация полученных данных; (е) обсуждение результатов на научных семинарах подразделения; (ж) подготовка докладов, публикаций в научных изданиях и/или рекомендаций для практической деятельности. Этапы цикла неразрывно связаны и реализуются под единым руководством и контролем.

Ассоциация плавучих университетов России — объединение отдельных плавучих университетов в автономную общественную организацию.

#### **Миссия Ассоциации:**

- создание, экспертиза, реализация и координация образовательных и научно-исследовательских программ, связанных с экспедициями на борту научно-исследовательских судов, с учетом интересов вузов, организаций РАН и промышленных партнеров;
- внедрение и развитие лучших технологий в области образования и науки, прикладных и этнографических исследований в интересах устойчивого развития страны;
- укрепление социальных и культурных связей в регионах;
- популяризация плавучих университетов как особой — современной и перспективной) — формы организации учебного процесса.

#### **Цели Ассоциации:**

- развитие деятельности плавучих университетов;
- помощь и поддержка в создании новых плавучих университетов на базе как высших учебных заведений, так и академических научно-исследовательских структур;
- синхронизация образовательных и научно-исследовательских программ различных плавучих университетов с целью оптимизации работ, проводимых на борту судов, и последующей обработки полученных результатов, закрепления практических навыков обучающихся;
- организация обмена опытом между участниками Ассоциации;
- реализация совместных проектов в области охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения;
- развитие международного сотрудничества через разработку и реализацию совместных образовательных и научно-исследовательских программ;
- участие в экспертизе проектов, связанных с исследованиями в морских и речных акваториях;
- представление плавучих университетов в органах власти;
- просветительская работа, направленная на популяризацию деятельности плавучих университетов;
- методическая помощь в составлении и подаче заявок на получение грантов, внебюджетного и бюджетного финансирования деятельности плавучих университетов.

#### **Задачи:**

1. Экспертиза качества образовательных программ, предоставляемых плавучими университетами.
2. Создание структуры образовательных программ плавучих университетов в соответствии с современными требованиями.

3. Координация программ плавучих университетов с учетом интересов вузов, бизнеса, академических научных организаций, частных и государственных производственных организаций и пр.
4. Обеспечение и регулирование обмена информацией между Плавучими университетами и структурами, заинтересованными в исследовательской и образовательной и прикладной деятельности.
5. Координация работ плавучих университетов по созданию совместных (сетевых) образовательных программ для бакалавриата, магистратуры и аспирантуры.
6. Разработка и реализация программ дополнительной профессиональной переподготовки с использованием ресурсов и материально-технической базы плавучих университетов.
7. Пропаганда и популяризация получения образования в области морских наук, профессиональной переподготовки на базе плавучих университетов.
8. Расширение направлений взаимодействия с зарубежными образовательными и научными организациями с целью разработки и реализации совместных международных образовательных проектов на базе плавучих университетов.
9. Разработка профессиональных стандартов, описывающих обучение с использованием ресурсов плавучих университетов.

#### **Этапы развития Ассоциации плавучих университетов России:**

1. Создание структуры Ассоциации плавучих университетов в соответствии с нормативно-правовой базой РФ и ФГОС ВО.
2. Инвентаризация образовательных и научно-исследовательских программ подготовки специалистов на базе плавучих университетов РФ.
3. Внедрение практики образования с использованием подходов плавучих университетов в образовательные организации.

#### **Ориентиры работы Ассоциации:**

1. Развитие практико-ориентированной системы подготовки кадров в полевых условиях.
2. Усиление роли плавучих университетов в системе производства научных знаний и технологий, направленных на обеспечение устойчивого развития регионов России.
3. Усиление интеграции вузовской и академической науки, а также развитие сотрудничества между РАН и Минобрнауки РФ в сфере подготовки кадров.
4. Популяризация российского научного, историко-культурного и природного наследия, а также морских специальностей среди молодежи, развитие патриотизма и продвижение проекта «Плавучий университетов» в национальном, международном научном и географическом пространстве.
5. Развитие международного диалога и партнерства научных и образовательных организаций в области морских исследований и подготовки молодых специалистов.

Реализация концепции позволит сделать модель плавучего университета подходящей для всех акваторий и типов морских/речных исследований России.

## О РЕЗУЛЬТАТАХ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ ЭКСПЕДИЦИИ «АРКТИЧЕСКИЙ ПЛАВУЧИЙ УНИВЕРСИТЕТ — 2018»

А. А. Сабуров<sup>1\*</sup>, В. А. Меркулов<sup>1</sup>, У. В. Прохорова<sup>1</sup>, А. В. Весман<sup>1</sup>, Т. Ю. Сорокина<sup>2</sup>,  
А. Н. Трофимова<sup>2</sup>, А. Н. Попов<sup>2</sup>, Н. Ю. Матушкин<sup>3</sup>, В. Ю. Брагин<sup>3</sup>, Е. В. Ясакова<sup>3</sup>, А. А. Пржиборо<sup>4</sup>,  
И. О. Нехаев<sup>5</sup>, Д. А. Никитин<sup>6</sup>,

<sup>1</sup>Арктический центр стратегических исследований САФУ имени М. В. Ломоносова

<sup>2</sup>Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова

<sup>3</sup>Новосибирский государственный университет

<sup>4</sup>Зоологический институт РАН

<sup>5</sup>Санкт-Петербургский государственный университет

<sup>6</sup>Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова

\* [a.saburov@narfu.ru](mailto:a.saburov@narfu.ru)

Проект «Арктический плавучий университет» (далее — АПУ), который реализуется ежегодно с 2012 г., является успешным примером сетевого научно-образовательного сотрудничества в Арктике, сочетания научных исследований и теоретической и практической подготовки студентов в реальных условиях северных морей. Организаторами экспедиций АПУ на научно-исследовательском судне «Профессор Молчанов» выступают САФУ имени М. В. Ломоносова и Росгидромет при поддержке Русского географического общества.

В 2018 г. организована и проведена десятая, юбилейная международная научно-образовательная экспедиция на НИС «Профессор Молчанов» — «Арктический Плавучий университет — 2018» по маршруту Архангельск — Соловецкие острова — Новая Земля (о. Северный) — о. Вайгач — о. Колгуев — Архангельск. В течение 24 дней (10 июля – 02 августа 2018 г.) проводились морские и наземные исследования, была реализована комплексная образовательная программа.

В экспедиции 2018 г. приняли участие 58 человек — научные сотрудники и обучающиеся (в том числе 25 граждан зарубежных государств), представляющие 9 стран (Российская Федерация, Французская Республика, Германия, Королевства Нидерландов, Швейцария, Итальянская Республика, Китайская Народная Республика, Республика Сербия, Федеративная Республика Нигерия). В экспедиции представлены 9 университетов (5 российских — САФУ, Северный государственный медицинский университет, МГУ имени М. В. Ломоносова, Сочинский государственный университет, Новосибирский государственный университет, — и 4 зарубежных — Женевский университет, Лозанский университет, Федеральная политехническая школа Лозанны, Харбинский инженерный институт), 2 научные организации (Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Центр всемирного наследия ЮНЕСКО), а также Северное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и Национальный парк «Русская Арктика». В ходе проведения экспедиционных исследований получены результаты по 8 основным научным направлениям:

### 1. Океанологические исследования (В. А. Меркулов, океанолог ААНИИ)

Во время рейса НИС «Профессор Молчанов» по программе «Арктический плавучий университет — 2018» в Баренцевом, Белом и Карском морях выполнено 65 океанографических станций, на каждой

из которых определялись вертикальное распределение температуры и солёности воды. Основной вектор исследований направлен на изучение распространения атлантической воды из желоба Св. Анны в южную часть Карского моря. Для этого во время экспедиции выполнено 2 океанографических разреза от побережья Новой Земли (от мыса Желания и от бухты Ледяная Гавань) на восток вдоль широтных параллелей. На каждом разрезе произведено по 8 STD-зондирований. В Белом море выполнены океанографические разрезы на основе стандартной программы Северного УГМС по мониторингу гидрологического режима Белого моря.

В результате исследований подробно рассмотрены водные массы северной части Карского моря. Обнаружены атлантические воды, распреснённые до значения 34,5 ‰. Не до конца понятен механизм проникновения сюда этих водных масс, так как их температура на севере, откуда они должны приходиться, несколько ниже, чем на юге. С другой стороны, при движении на юг, атлантическая вода сталкивается с подводным хребтом и поднимается, отчего она может становиться теплее. Следует отметить явное влияние на поверхностные воды Карского и Баренцева морей выходных ледников, находящихся на побережье Новой Земли. В Белом море в целом картина гидрологического режима понятна: более холодные и солёные воды заходят сюда из Баренцева моря через воронку и горло, вдоль западного побережья, а вдоль восточного побережья уже выходят распреснённые водами Северной Двины потоки.

## **2. Метеорологические исследования (У. В. Прохорова, метеоролог ААНИИ)**

Произведены работы по актинометрии (измерение потоков входящей солнечной радиации в двух диапазонах — полном коротковолновом и фотосинтетически активном), озонметрические наблюдения, а также измерение концентрации CO<sub>2</sub>. Для автоматических датчиков наблюдения проводились круглосуточно; для озонметрических наблюдений — по срокам согласно методике.

Проведены измерения потоков суммарной солнечной радиации и фотосинтетически активной радиации в диапазонах 300–3000 и 400–700 нм соответственно. Наблюдался ярко выраженный суточный ход с максимумами в дневные часы — при максимальных углах солнца — и минимумами в ночные часы — при минимальных углах солнца.

Получены данные пространственного распределения концентрации CO<sub>2</sub> в воздухе. Максимальные концентрации наблюдались в северо-западной и северо-восточной частях вдоль побережья Новой Земли; минимальные — в центральной части Баренцева моря. Максимумы обусловлены рядом причин, связанных в первую очередь с циркуляционными особенностями региона и с удалённостью от берега.

Получены новые данные о концентрации озонового слоя. Максимальные концентрации наблюдались в районе северо-восточной части Новой Земли, минимальные — в западной части Карского моря, а также в центральной части Баренцева моря.

При обработке полученных данных планируется провести корреляционный анализ метеорологических данных и изменчивости потоков солнечной радиации, оценить влияние CO<sub>2</sub> и стратосферного озона на суммарный поток, а также проанализировать причины пространственной изменчивости концентрации диоксида углерода в воздухе, в частности её повышение концентрации в северо-восточной части архипелага Новая Земля.

## **3. Исследования микропластика (А. В. Весман, океанолог ААНИИ)**

Подобные исследования в Российской Арктике проведены впервые, в рейсе «АПУ – 2018» апробирована методология отбора и анализа проб. Микропластик — это фрагменты пластика < 5 мм. Забор проб проведен на 15 станциях (по 20–40 минут), обработано 12 проб. Идентифицировано под микроскопом

более 1000 частиц микропластика. Полученные результаты позволили сделать вывод, что наибольшему загрязнению подвержены Баренцево море ( $400 \cdot 10^3$  частиц·км<sup>-2</sup>) и Белое ( $100 \cdot 10^3$  частиц·км<sup>-2</sup>); наименее загрязнено Карское море ( $50 \cdot 10^3$  частиц·км<sup>-2</sup>). В дальнейшем планируется проанализировать пробы в лабораторных условиях, совместно с ресурсным центром САФУ, чтобы определить тип полимеров и исключить неверно идентифицированные частицы.

#### **4. Перенос высокотоксичных загрязняющих веществ в арктических экосистемах (зав. лаб. Т. Ю. Сорокина, аспирант А. Н. Трофимова, САФУ имени М. В. Ломоносова)**

Научный проект САФУ получил грант Правительства РФ на разработку методологии мониторинга, оценки прогнозирования и предупреждения рисков, связанных с переносом биологическими путями высокотоксичных загрязняющих веществ, способных накапливаться в пищевых цепях и распространяться в арктических экосистемах.

В рамках рейса экспедиции «АПУ — 2018» отобрано:

- 3 промысловых участка (Гусиная банка, Канин-Колгуевская банка и п-ов Канин) — по 30 образцов рыбы (треска *Gadus morhua* и пикша *Melanogrammus aeglefinus*);
- о. Колгуев — 38 проб венозной крови и анкеты о состоянии здоровья местного населения, по 10 образцов пикши *Melanogrammus aeglefinus*, трески *Gadus morhua*, гольца *Salvelinus alpinus*, камбалы *Pleuronectes platessa*, а также 10 образцов белолобого гуся *Anser albifrons*;
- о. Вайгач — 17 проб венозной крови и анкеты о состоянии здоровья местного населения.

#### **5. Геолого-палеомагнитные исследования (с. н. с. Н. Ю. Матушкин, н. с. В. Ю. Брагин, магистрант Е. В. Ясакова, Новосибирский государственный университет)**

В полевых маршрутах отработано 13 точек, в которых в сумме отобрано 113 палеомагнитных образцов. Отбор проводился как вручную, так и при помощи портативного бура. При условии получения полезных данных из отобранных образцов проводимые исследования дополняют и продолжают работы, проводившиеся коллективом лаборатории в составе АПУ 2016 и 2017 гг., а также в ходе других экспедиций в 2014 и 2015 гг. В результате проведенных работ будут получены: 1) новые реконструкции взаимного положения литосферных плит восточно-европейского континента и микроплиты Свальбард на время палеозойской эры; 2) реконструкция этапов и механизмов формирования современного арктического шельфа Евразии. Дополнительная цель работ — пополнение международной палеомагнитной базы данных новой информацией для российского арктического сектора.

#### **6. Изучение насекомых в пресноводных и полуводных местообитаниях на севере Новой Земли (с. н. с. А. А. Пржиборо, Зоологический институт РАН)**

Впервые изучены донные сообщества макробеспозвоночных (насекомые, олигохеты, водяные клещи) в реках зоны полярных пустынь. Изучены состав и структура сообществ и показатели обилия беспозвоночных (численность и биомасса) на основе серий количественных бентосных проб. Исследование выполнено на материале трех рек Северного острова Новой Земли, находящихся в окрестностях Русской Гавани, Ледяной Гавани и мыса Желания. Впервые выполнены сборы насекомых из водных и прибрежных (береговых) биотопов пресноводных водоемов и водотоков (лужи, озера, ручьи, реки)

Северного острова Новой Земли вдоль побережья Карского моря (окрестности залива Благополучия и Ледяной Гавани). Впервые получен массовый материал выведенных имаго двукрылых насекомых (комары, мухи) из их личинок и куколок, проходящих развитие в основных пресноводных и береговых (полуводные) биотопах Севера Новой Земли. В дальнейшем этот материал позволит точно определить видовой состав двукрылых, проходящих развитие в соответствующих биотопах. Впервые изучены сообщества и состав населения беспозвоночных (преимущественно двукрылых) в полуводных биотопах в 4 районах севера Новой Земли (окрестности Русской Гавани, мыса Желания, залива Благополучия и Ледяной Гавани). Собран материал для изучения фауны и сообществ насекомых сфагново-осокового болота окрестностей мыса Канин Нос. Эти данные получены впервые для болот тундровой зоны западной части Европейской территории России. Впервые прослежены широтные тенденции изменения биоразнообразия двукрылых насекомых в пресноводных и полуводных биотопах при переходе из зоны полярных пустынь в зону тундры.

### **9. Исследование брюхоногих моллюсков восточной части Баренцева моря (постдок И. О. Нехаев, СПбГУ)**

Целью работ на НИС «Профессор Молчанов» являлся отбор проб морских брюхоногих моллюсков для выявления локальных фаун северной части Новой Земли и для филогеографических исследований популяций массовых видов.

Материал был отобран в пяти местах: бухте Благополучия, бухте Русская гавань, бухте Ледяная гавань, у мыса Желания и в районе острова Колгуев. В каждом месте пробы отбирали при помощи дночерпателя Петерсена с борта судна (3–10 проб с одного места) и ручной драги с борта лодки (драгировки в одном или двух местах в каждом месте). К настоящему времени обработка собранного материала и анализ полученных данных полностью не завершены, поэтому доступны лишь предварительные результаты.

В целом обнаружен комплекс бореальных видов не характерных для северной части Баренцева моря. Все найденные виды (за исключением двух) отмечены также у побережья Мурмана и Северной Норвегии. Значительная часть обнаруженных видов не известна в восточных морях Сибири и у берегов Земли Франца Иосифа.

### **7. Исследования выбросов сажевых частиц (доцент А. Н. Попов, САФУ имени М. В. Ломоносова)**

Произведен отбор проб для последующего анализа в лабораториях учебно-научного центра энергетических инноваций и центра коллективного пользования научным оборудованием «Арктика» (САФУ), а также сбор сведений об устройстве и работе механизмов и агрегатов судовой энергетической установки научно-исследовательского судна «Профессор Молчанов». На судне отбирали пробы топлива и твердых частиц (всего 17), уносимых выхлопными газами через дымовые трубы в окружающую среду от 6 топливоиспользующих установок. Среди них: 2 главных дизельных двигателя (отборы на холостом ходу, малом ходу и в установившемся номинальном режиме работы), 3 вспомогательных дизель-генератора, комбинированный утилизационный паровой котел. Кроме того, выполнен газовый анализ выхлопных газов комбинированного утилизационного парового котла. Во время высадок по пути следования «Профессора Молчанова» (Русская Гавань, залив Благополучия, Ледяная Гавань, полуостров Канин Нос) получено 35 проб снега для определения органических соединений, металлов методом ICP-MS, черного углерода, пыли. Выполняемые исследования позволят лучше понять механизм формирования сажевых частиц в камерах сгорания вспомогательных котлов и в двигателях внутреннего сгора-

ния судов, оценить количественный и элементный состав, форму и размеры выбрасываемых частиц, уточнить коэффициенты пересчета эмиссий мелкодисперсных частиц.

#### **8. Почвенные исследования (аспирант Д. А. Никитин, МГУ имени М. В. Ломоносова)**

На высадках по ходу маршрута проведен мониторинг химических и микробиологических свойств почв. В ходе экспедиции почвенные исследования проведены в 4 районах Северного острова Новой Земли (в Русской Гавани, бухте Благополучия, Ледяной Гавани и мысе Желания), а также на полуострове Канин (мыс Канин Нос). Всего заложено 14 почвенных разрезов и описано 28 горизонтов профилей почв. В общей сложности отобрано 112 образцов почв для физических, химических и микробиологических анализов. Кроме того, на мысе Желания обнаружены самые северные в России и Евразии эндолитные почвоподобные тела (эндолиты), представляющие собой специфические комплексные микробные ассоциации, скрытые внутри пород. Эндолиты формируются только в самых суровых климатических условиях, скрываясь от сильного ветра и перепада температур под слоем полупрозрачных для дневного света полевых шпатов и кварца. Отобрано 4 образца эндолитов для микробиологических анализов. Также проведена детальная фотосъемка и дана характеристика ландшафтов исследуемых территорий.

#### **Образовательная программа**

Параллельно с научными исследованиями на борту научного судна проведена обширная образовательная программа по вышеуказанным направлениям, включающая лекции и практические занятия.

Общая трудоемкость образовательной программы составила 576 ч, из них обязательная аудиторная нагрузка — 216 ч, учебная полевая практика — 216 ч, самостоятельная работа — 144 ч. По итогам экспедиции проведена ежегодная конференция студентов и молодых ученых и опубликован сборник материалов конференции.

## «ПЛАВУЧИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИО РАН» — ИТОГИ ПЕРВОГО ГОДА

Н. Б. Степанова

Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН

[stepanova.nb@ocean.ru](mailto:stepanova.nb@ocean.ru)

---

Современные исследования океана базируются в том числе на экспедиционной деятельности, включающей сбор и обработку натурных данных, их анализ с последующей публикацией научных результатов. В настоящий момент в научной сфере чувствуется нехватка молодых квалифицированных специалистов, способных на высоком уровне выполнять перечисленные работы. Отсутствие тесной связи между научно-исследовательскими институтами и вузами приводит к отсутствию у студентов четкого понимания того из чего складывается профессия современного ученого, а недостаток финансирования ограничивает возможность внедрения в состав экспедиций неопытных сотрудников для обучения «на месте». Это в сумме приводит к малому притоку молодых специалистов и препятствует комфортному развитию научной деятельности институтов.

Для решения существующей проблемы в 2018 г. при поддержке дирекции Института океанологии имени П. П. Ширшова Российской академии наук открыта образовательная программа «Плавучий университет ИО РАН» с идеей «выстроить мост» между вузами и Институтом океанологии для пополнения молодого кадрового резерва. Целью проекта стали привлечение и подготовка квалифицированных молодых сотрудников для осуществления научно-исследовательской и экспедиционной деятельности. В рамках проекта решены следующие задачи: (1) привлечь студентов и выпускников профильных кафедр вузов в ИО РАН для осуществления научно-экспедиционной деятельности; (2) повысить квалификацию молодых сотрудников.

Программа включила 4 составляющие:

*Научная школа.* Это курс лекций, семинаров и практикумов (3–4 дня), направленный на приобретение комплексного взгляда на океанологические исследования с точки зрения целей и методов разных наук – гидрофизики, биологии, химии и геологии, а также на получение востребованных навыков в области сбора и обработки океанологических данных, необходимых для участия в полевых работах.

*Прибрежная практика.* Это полевые исследования (10–14 дней), во время которых студенты при помощи наставников получили навыки экспедиционных работ: прошли все этапы исследования от постановки задачи до презентации результатов; познакомились со структурой написания научных текстов и докладов, с методами планирования и построения эффективной коммуникации с научным руководителем.

*Морские экспедиции.* Зарекомендовавшие себя студенты получили возможность принять участие в морских экспедициях Института (35–55 суток) и применить навыки, работая на равных с научным коллективом, получая дальнейшие знания через идею «обучения через исследование».

*Выступления с полученными результатами.* По итогам прибрежной практики и морских экспедиций студенты приняли участие в профильных конференциях и научных семинарах.

По итогам первого года работы программы:

1. Сформирована команда ученых, способных на достойном уровне передавать знания и навыки, необходимые для профессионального выполнения научно-исследовательских и экспедиционных работ в области океанологии, и готовых к активному взаимодействию со студентами [3 начальника экспедиций, 15 научных наставников и лекторов (из них 12 — молодые ученые)].
2. В разработанной программе, позволяющей получить практические и теоретические знания, приняли участие более 40 студентов, аспирантов, молодых ученых:
  - (а) прослушавших в ИО РАН профессионально ориентированные лекции по изучению Мирового океана с точки зрения целей и методов разных наук, прошедших практикумы для получения навыков, необходимых для участия в полевых работах;
  - (б) прошедших на практике в АО ИО РАН все этапы научного исследования и применивших полученные знания о структуре повествования и написания научных текстов при формировании технических отчетов, тезисов и научных презентаций.
3. Выявленная талантливая молодежь внедрена в рабочие коллективы института, 5 студентов направлены в первый и второй этапы дальних морских экспедиций ИО РАН — «Экосистемы российской Арктики» на НИС «Академик Мстислав Келдыш».

В программе в качестве слушателей приняли участие сотрудники Института океанологии и Геологического института РАН, студенты и аспиранты географического, биологического и геологического факультетов МГУ имени М. В. Ломоносова, студенты кафедры термогидромеханики океана МФТИ (ГУ), БФУ имени Канта. Таким образом, за 2018 г. проект «Плавучий университет ИО РАН» успешно прошел один полный цикл (научная школа, прибрежная практика, морские экспедиции, презентации результатов работ) и был подготовлен к выходу на более широкий охват участников.

*Научное издание*

Итоги экспедиционных исследований  
в 2018 году в Мировом океане,  
внутренних водах  
и на архипелаге Шпицберген

Верстка, макет:  
Сергеева А. В.

Корректор:  
Копытова О. Ю.

Подписано в печать 25.05.2019

Формат: 60×84/8.

Гарнитура: Liberation Sans

ФГБУН ИМБИ

пр. Нахимова 2, г. Севастополь, 299011, РФ

Тел. +7 8692 54-55-50



ISBN 978-5-6042938-1-2



9 785604 293812