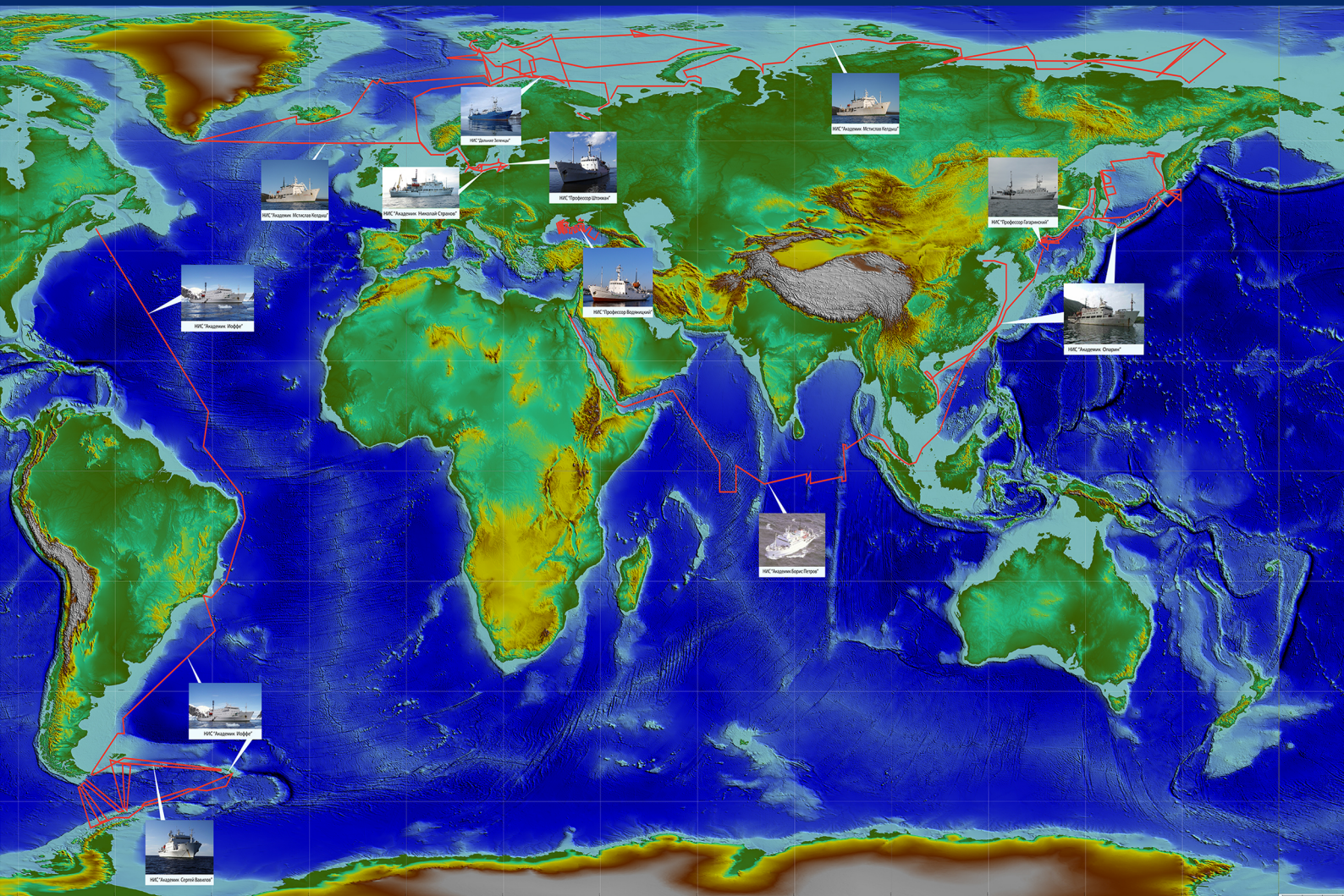


ФАНО РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ



ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ СУДАХ ФАНО РОССИИ И АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН В 2017 ГОДУ

Тезисы конференции
«Итоги экспедиционных исследований
на научных судах ФАНО России»

Москва, 2018

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

Совет по гидросфере Земли

**ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
НА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ СУДАХ ФАНО РОССИИ
И АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН
в 2017 г.**

Тезисы конференции

«Итоги экспедиционных исследований на научных судах ФАНО России»

г. Москва, 21–22 февраля 2018 г.

ФГБУН МГИ

Севастополь 2018

УДК 551.46.073

Э41

Э41 **Экспедиционные исследования на научно-исследовательских судах ФАНО России и архипелаге Шпицберген в 2017 г.** [Электронный ресурс] : тезисы конференции «Итоги экспедиционных исследований на научных судах ФАНО России» (г. Москва, 21–22 февраля 2018 г.) / ФАНО России. – Севастополь : ФГБУН МГИ, 2018. – 249 с. – ISBN 978-5-9908460-4-3. – Режим доступа: http://mhi-ras.ru/assets/files/Sbornik_FANO_2018.pdf, свободный.

Сборник посвящен итогам выполнения плана экспедиционных исследований на научных судах ФАНО России подведомственными организациями этого ведомства.

Представлены тезисы докладов, сделанных на конференции «Итоги экспедиционных исследований на научных судах ФАНО России» 21–22 февраля 2018 г. Основное внимание уделяется описанию собранных в экспедициях данных натурных наблюдений.

Рассчитан на специалистов, занимающихся изучением состояния гидросферы и происходящих в ней процессов. Может представлять интерес для органов исполнительной власти, представителей организаций бизнеса, связанных с разработкой и добычей морских ресурсов, преподавателей вузов, аспирантов и студентов соответствующих специальностей.

УДК 551.46.073

Редакционная коллегия:

д.ф.-м.н. Р.И. Нигматулин, д.г.н. С.К. Коновалов,
к.г.н. Н.И. Голубева, к.ф.-м.н. А.Н. Булатова

ISBN 978-5-9908460-4-3

© ФАНО России, 2018

© Редакционно-издательское оформление
ФГБУН МГИ, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	6
АРКТИКА И ШПИЦБЕРГЕН	
Проведение стационарных наблюдений за магнитными и оптическими явлениями на архипелаге Шпицберген, исследование геофизических процессов в высокоширотной атмосфере Земли Б.В. Козелов, В.Ф. Григорьев, Р.Ю. Юрик Полярный геофизический институт	10
Экспедиции и научные исследования ПАБСИ на архипелаге Шпицберген: фактическое исполнение в 2017 г. и план на 2018 г. В.К. Жиров, О.Б. Гонтарь Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина Кольского научного центра РАН	27
Полевые исследования ИА РАН на Шпицбергене в 2017 г. В.Л. Державин, А.Б. Колесников Институт археологии РАН	31
Исследование изменчивости природных и антропогенных ландшафтов архипелага Шпицберген в условиях современного климата Н.И. Осокин, Э.П. Зазовская, А.В. Сосновский Институт географии РАН	38
Исследования Мурманского морского биологического института в районе архипелага Шпицберген в 2017 г. П.Р. Макаревич, Д.В. Моисеев, Н.В. Лебедева, Г.М. Воскобойников, О.Л. Зимина, Г.В. Ильин, Д.О. Салахов, Н.Е. Касаткина Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН	43
Системные исследования в области взаимодействия Северного Ледовитого и Атлантического океанов в 68-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» М.Д. Кравчишина, С.В. Гладышев, А.Н. Новигатский, А.А. Ключиткин, О.В. Копелевич, А.П. Лисицын Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН	49
Биогеохимические, литологические и радиохимические исследования донных осадков в шельфовых морях российского сектора Арктики В.Ю. Русаков, В.С. Севастьянов, В.Д. Володин, В.В. Крупская, А.С. Зверев, Н.В. Душенко, Е.В. Дурягина Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН	57
Экспедиционные исследования ММБИ КНЦ РАН в 2017 г. П.Р. Макаревич, И.В. Берченко, А.Г. Дворецкий, А.В. Ежов, Д.Г. Ишкулов, О.В. Карамушко, Ю.В. Краснов, Д.В. Моисеев, Л.В. Павлова Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН	66
Исследование особенностей динамики фронтальных разделов и фронтальных зон под действием полусуточного приливного цикла в Белом море Р.Э. Здоровеннов, А.В. Толстиков, А.П. Георгиев, А.В. Зимин Институт водных проблем Севера	78
Экосистемы Российской морской Арктики 2017. Научные результаты 69-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в Карское, Лаптевых и Восточно-Сибирское моря М.В. Флинт Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН	84
Исследования донных экосистем Печорского моря в районе о. Долгий на НИС «Профессор Владимир Кузнецов» в 2014 и 2016 гг. С.Г. Денисенко, С.Ю. Гагаев, Н.В. Денисенко, Н.Е. Журавлева, В.В. Петряшев, А.А. Сухотин, Е.М. Чабан Зоологический институт РАН	100

АТЛАНТИЧЕСКИЙ ОКЕАН И БАЛТИЙСКОЕ МОРЕ

Комплексные экспедиционные исследования Балтийского моря в 34-м и 36-м рейсах НИС «Академик Николай Страхов»

В.Т. Пака, С.А. Щука, Е.Е. Ежова, Ю.Ю. Полунина, А.А. Кондрашов, А.О. Корж, В.А. Кречик, В.А. Чечко
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН 110

Изучение геоэкологических условий в Балтийском море в 2017 г.

А.В. Крек, М.О. Ульянова, Е.С. Бубнова, В.А. Кречик, Е.В. Крек, А.Р. Данченков
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН 112

Ладожское озеро – три сезона – три экспедиции на НИС «Эколог» в 2017 г.

С.Г. Каретников
Институт озераведения РАН 116

Исследование донных отложений Онежского озера и Выгозерского водохранилища в рейсах НИС «Эколог» 2017 г.

М.С. Потахин, Н.А. Белкина, А.В. Рябинкин, А.Е. Рыбалко, Д.А. Субетто
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН 122

Отчет об экспедиционных исследованиях в 2017 г. с использованием НИС «Эколог» в рамках госзадания № 82 «Эволюция озерно-речных систем Севера России. Реакция на антропогенные воздействия и изменения климата в Северном полушарии» (регистрационный номер аааа-а17-117040610312-0)

Н.М. Калинкина, Е.В. Теканова, Р.Э. Здоровеннов
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН 125

Влияние придонной циркуляции на глубоководное осадконакопление в Южной и Центральной Атлантике в средне-позднечетвертичное время (по материалам экспедиции 53-го рейса НИС «Академик Иоффе»)

Е.В. Иванова, И.О. Мурдмаа, Д.Г. Борисов
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН 132

ЧЕРНОЕ МОРЕ

Некоторые результаты натурных исследований состояния водной среды и биоты прибрежной зоны Черного моря в 2017 г., полученные с использованием МНИС «Ашамба» (экспедиция ИО РАН «Черное море – 2017)»

А.Г. Зацепин, С.Б. Куклев
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН 136

Морские научные исследования на НИС «Денеб» и НИС «Профессор Панов» в Азовском и Чёрном морях в 2017 г.

Г.Г. Матишов, С.В. Бердников, О.В. Степаньян
Южный научный центр РАН 147

Распределение сульфидов в донных отложениях Черного моря по результатам 101-го рейса НИС «Профессор Водяницкий»

Н.А. Орехова, С.К. Коновалов
Морской гидрофизический институт РАН 150

Использование контактных измерений температуры и солености в задачах диагноза и прогноза гидрофизических полей Черного моря

С.Г. Демышев, Н.А. Евстигнеева, О.А. Дымова, Н.В. Маркова, С.С. Нечаев
Морской гидрофизический институт РАН 152

Экспедиционные исследования океанологических процессов морских систем Черного моря

С.К. Коновалов, Ю.В. Артамонов, А.В. Гармашов
Морской гидрофизический институт РАН 156

Изучение биоразнообразия, ресурсного потенциала и экологического состояния Азово-Черноморского бассейна на НИС «Профессор Водяницкий»

А.Б. Боровков, Н.В. Бурдянян, С.Б. Гулин
Институт морских биологических исследований имени А.О. Ковалевского РАН 160

СИБИРЬ

Глубинное строение, геодинамика, подземная гидросфера и экзогенные геологические процессы в пределах Байкальской рифтовой системы и на юге Сибирской платформы

Д.П. Гладкочуб, С.В. Алексеев, Е.А. Козырева, О.В. Лунина, Е.В. Складов
Институт земной коры СО РАН 164

Комплексные экспедиционные водно-экологические исследования в бассейне реки Оби в 2017 г.

А.В. Пузанов, Д.М. Безматерных, А.Т. Зиновьев, В.В. Кириллов
Институт водных и экологических проблем СО РАН 167

ВОЛГА

Исследование экологического состояния Куйбышевского водохранилища в 2017 г.

В.А. Селезнев, В.В. Жариков, А.В. Рахуба, Ю.М. Ротарь, Н.Г. Тарасова, О.В. Мухоморова,
М.В. Уманская, Н.Г. Шерешева, Т.Н. Буркова, Л.Г. Тихонова, Е.С. Кривина, А.В. Селезнева,
К.В. Беспалова, А.А. Кириллов, Н.Ю. Кириллова, Е.В. Шемонаев, Е.В. Кириленко
Институт экологии Волжского бассейна РАН..... 175

Итоги комплексного исследования структуры и функционирования экосистем каскада волжских водохранилищ в 2017 г.

Ю.В. Герасимов, М.И. Малин, Ю.И. Соломатин, Д.Б. Косолапов, В.И. Лазарева, Р.З. Сабитова,
Е.А. Соколова, С.Н. Перова, К.Г. Пряничникова, А.С. Соколова, И.И. Томилина, Р.А. Ложкина,
А.И. Цветков, Л.Г. Корнева
Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН..... 178

ТИХИЙ ОКЕАН

Комплексные океанологические исследования Северо-Западной части Тихого океана и его окраинных морей в связи с современными природными и техногенными рисками в 53-м рейсе НИС «Академик Опарин»

В.Н. Карнаух, А.Ф. Сергеев, В.Б. Лобанов
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН 188

Комплексные океанологические исследования ключевых районов Японского и Охотского морей в связи с современными природными и техногенными рисками в 73-м рейсе НИС «Профессор Гагаринский»

В.Н. Карнаух, А.Ф. Сергеев, В.Б. Лобанов
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН 204

Комплексные геофизические исследования северо-западной части Японского моря в 75-м рейсе НИС «Профессор Гагаринский»

В.Н. Карнаух
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН 211

Исследования ихтиофауны севера Японского моря и донных сообществ в заливе Петра Великого (ННЦМБ ДВО РАН)

А.А. Баланов, В.Н. Лысенко
Национальный научный центр морской биологии ДВО РАН 220

Исследования структуры океанологических полей в северо-западной части Японского моря в осенний период (рейс № 76 НИС «Профессор Гагаринский», 19-30 ноября 2017 г.)

А.Ф. Сергеев, П.Ю. Семкин, Н.В. Шлык, И.И. Горин, В.А. Баннов, В.В. Калинин, В.А. Дубина,
А.Ю. Лазарюк, В.Б. Лобанов
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН 235

ИНДИЙСКИЙ ОКЕАН

42-й рейс НИС «Академик Борис Петров» – возвращение российских ученых в Индийский океан спустя четверть века

О.В. Левченко
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН 244

ПРЕДИСЛОВИЕ

В сборнике представлены наиболее важные итоги выполнения плана экспедиционных исследований в морях и внутренних водоемах России, а также в отдельных районах Мирового океана, имеющих для нашей страны важное стратегическое и экономическое значение. Особое место в этих работах занимают исследования, выполнявшиеся на архипелаге Шпицберген. Все исследования проводились в 2017 г. институтами, подведомственными Федеральному агентству научных организаций России. Публикации подготовлены по материалам докладов, представленных на конференции «Итоги экспедиционных исследований на научных судах ФАНО России в 2017 г.», которая состоялась 21–22 февраля 2018 г.

В морских экспедиционных работах были задействованы научно-исследовательские суда неограниченного района плавания «Академик Мстислав Келдыш», «Академик Борис Петров», «Академик Сергей Вавилов», «Академик Иоффе», «Профессор Штокман», «Профессор Водяницкий», «Академик Опарин», «Профессор Гагаринский», «Академик Николай Страхов», «Дальние Зеленцы», «Профессор Владимир Кузнецов», а также малые суда «Эколог», «Биолог», «Геолог», «Денеб», «Профессор Панов», «Малахит», «Импульс», «Ашамба».

В первом разделе «Арктика и Шпицберген» представлены работы на архипелаге Шпицберген: результаты стационарных наблюдений за магнитными и оптическими явлениями, исследований геофизических процессов в высокоширотной атмосфере Земли, изменчивости природных и антропогенных ландшафтов, прибрежных экосистем архипелага.

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 Карского, Лаптевых и Восточно-Сибирского моря, донных экосистем Печорского моря. Особо следует отметить выполнение ММБИ КНЦ РАН работ на вековом разрезе «Кольский меридиан».

В разделе «Атлантический океан и Балтийское море» представлены результаты изучения глубоководного осадконакопления в Южной и Центральной Атлантике, комплексных экспедиционных исследований Балтийского моря, а также Ладожского и Онежского озер, Выгозерского водохранилища, озерно-речных систем Севера России. В разделе «Черное море» представлены результаты натурных исследований состояния водной среды и биоты прибрежной зоны Черного моря, Азовского моря, экспедиционных исследований океанологических процессов морских систем Черного моря на НИС «Профессор Водяницкий» и некоторые примеры использования этих результатов для диагноза и прогноза процессов и эволюции Черного моря.

В разделе «Сибирь» и «Волга» представлены результаты комплексных экспедиционных водно-экологических исследований в бассейне реки Оби, структуры и функционирования экосистем каскада волжских водохранилищ, Куйбышевского водохранилища.

В разделе «Тихий океан» представлены результаты комплексных океанологических исследований северо-западной части Тихого океана и его окраинных морей, включая Японское и Охотское моря, а также залив Петра Великого.

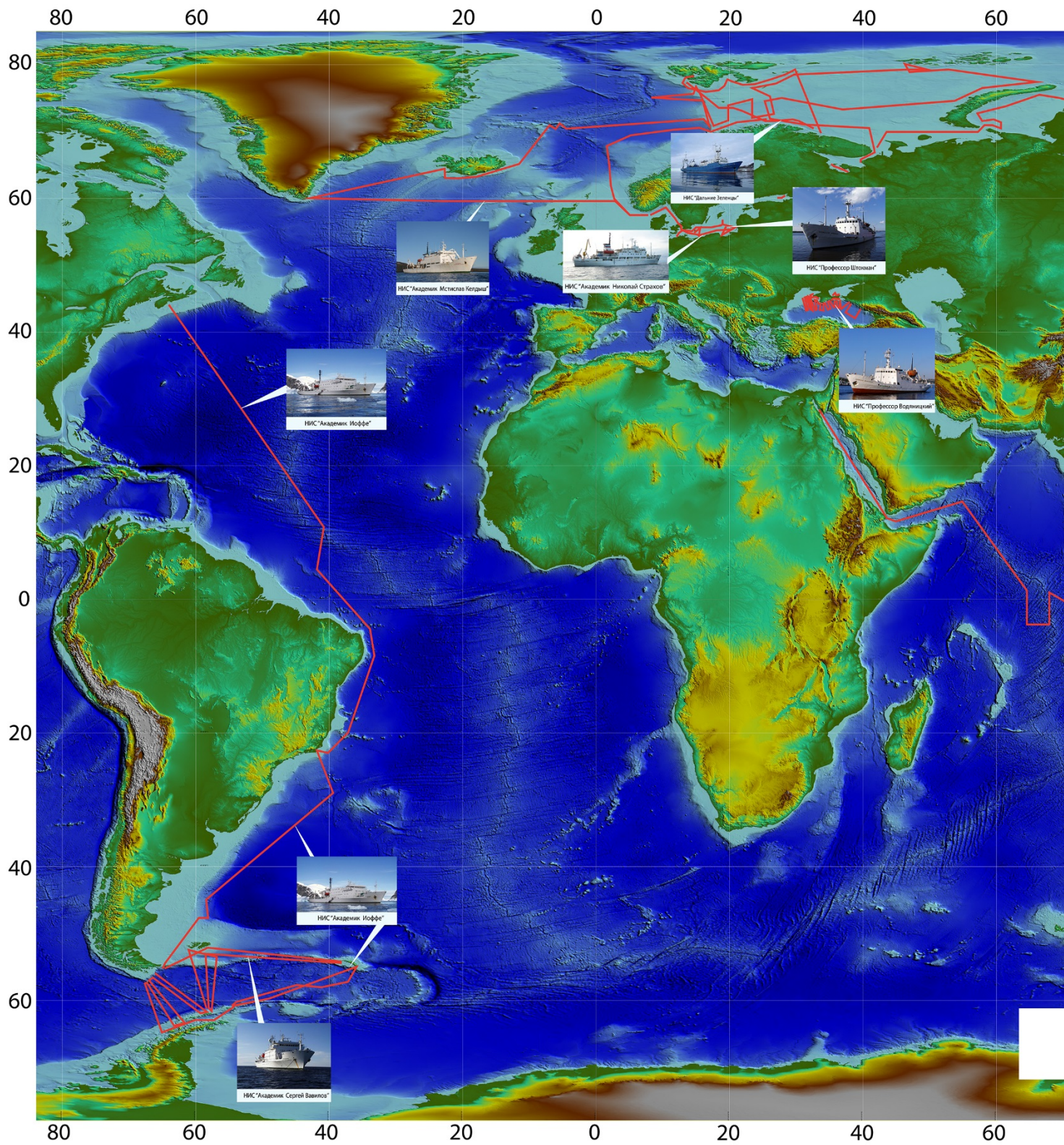
Особо следует отметить результаты 42-го рейса НИС «Академик Борис Петров», представленные в разделе «Индийский океан», которые не только содержат важную научную составляющую, но и позволяют говорить о возвращении российских ученых в Индийский океан спустя четверть века.

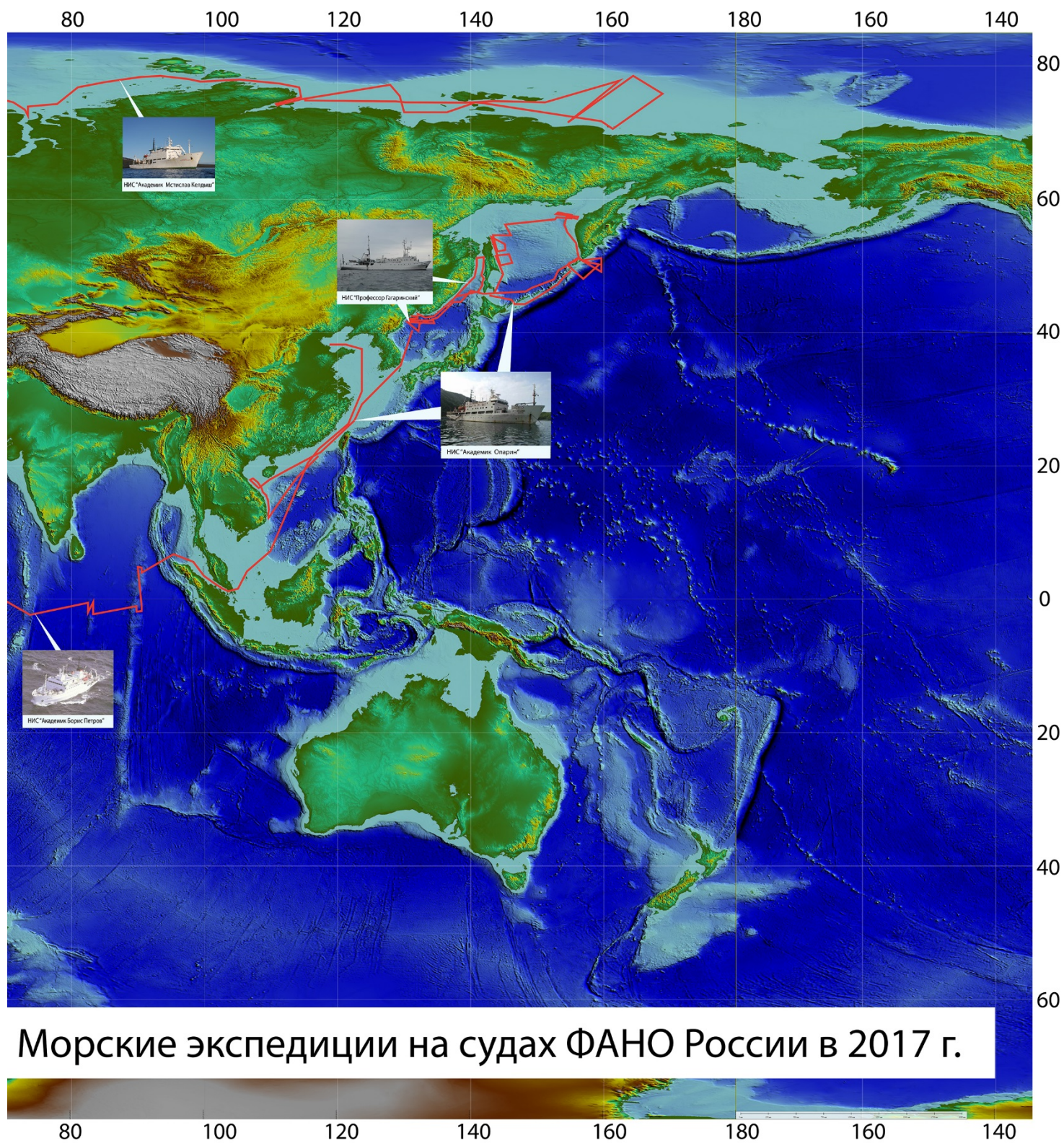
В 2017 году экспедиционные работы впервые за долгие годы выполнялись во всех океанах. Большое значение для обеспечения этих работ имела деятельность Совета по гидросфере Земли ФАНО России. В Совете решались важнейшие вопросы по разработке планов экспедиционных исследований, проблемам содержания и обслуживания научных судов. Это помогало руководству ФАНО России принимать решения по многим проблемам, связанным с работой и содержанием научного флота.

В заключение хочу выразить благодарность сотрудникам Морского гидрофизического института за подготовку и издание настоящего сборника.



А.М. Медведев
Первый заместитель руководителя
ФАНО России





ПРОВЕДЕНИЕ СТАЦИОНАРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА МАГНИТНЫМИ И ОПТИЧЕСКИМИ ЯВЛЕНИЯМИ НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН, ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ВЫСОКОШИРОТНОЙ АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Б.В. Козелов, В.Ф. Григорьев*, Р.Ю. Юрик
Полярный геофизический институт

*e-mail: valgri@pgi.ru

ВВЕДЕНИЕ

Активация деятельности по освоению Арктической зоны Российской Федерации в последние годы определяется как геополитическими интересами России, так и значительным сырьевым потенциалом региона, привлекающим крупные сырьевые компании. На государственном уровне механизмом реализации утвержденной Президентом РФ «Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года» является утвержденная Правительством РФ государственная программа «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 года», одним из приоритетов которой является «совершенствование системы государственного управления социально-экономическим развитием Арктической зоны Российской Федерации, в том числе за счет расширения фундаментальных и прикладных научных исследований в Арктике».

Обеспечение российского научного присутствия на архипелаге Шпицберген является одним из стратегических приоритетов в политике Российской Федерации в Арктике.

В связи с этим Полярный геофизический институт на арх. Шпицберген выполняет НИР по теме «Проведение стационарных наблюдений за магнитными и оптическими явлениями на архипелаге Шпицберген, исследование геофизических процессов в высокоширотной атмосфере Земли». В обсерватории ПГИ «Баренцбург» арх. Шпицберген проводятся стационарные наблюдения магнитных пульсаций, работает приемный пункт радиотомографии, ведется регистрация

вариаций интенсивности космических лучей на трех секциях нейтронного монитора. В темное время, в период полярной ночи, проводятся оптические наблюдения. Также регулярно выполняются эксперименты по регистрации как искусственного, так и естественного источников электромагнитного излучения в диапазоне от 0,1 до 200 Гц.

В 2017 г. решались следующие основные задачи научных исследований:

- исследование развития процессов взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли в области дневного полярного каспа, полярной шапки и высокоширотной ионосферы на базе обсерватории ПГИ «Баренцбург»;
- исследование естественных резонансных структур в диапазоне от 0,1 до 10 Гц;
- исследование характеристик космических лучей;
- исследование параметров высокоширотной ионосферы;
- исследование характеристик распространения электромагнитных волн экстремально низкочастотного диапазона в высоких широтах.

Научная аппаратура, расположенная в обсерватории ПГИ «Баренцбург», позволяет получать гелиогеофизические данные на уровне мировых стандартов.

По результатам регистрации и обработки данных, полученных при мониторинге, проводятся фундаментальные научные исследования.

ОБОРУДОВАНИЕ ОБСЕРВАТОРИИ ПГИ «БАРЕНЦБУРГ»

Мониторинг на архипелаге Шпицберген магнитных и оптических явлений, а также геофизических процессов в высокоширотной атмосфере Земли проводится в комплексной оптико-магнитно-ионосферной



▲ Рисунок 1. Измерительный блок МВС



► Рисунок 2. Система регистрации и сбора МВС (выделено прямоугольником)

обсерватории ПГИ «Баренцбург». Обсерватория включает в себя два научных гелиогеофизических стационара, находящихся как в поселке Баренцбург, так и на удалении 5 км от него. Она обладает широким комплексом геофизических и оптических инструментов для наблюдения геомагнитного поля, параметров ионосферы, регистрации космических лучей и оптических явлений.

1. Регистрация геомагнитного поля в широком диапазоне частот

Мониторинг вариаций геомагнитного поля производится магнитовариационной станцией (МВС), расположенной на территории обсерватории, удаленной на 5 км от п. Баренцбург. Станция состоит из измерительного блока и системы регистрации и сбора данных.

Измерительный блок расположен на удалении порядка 300 м от технического здания обсерватории (рис. 1).

Система регистрации и сбора установлена в техническом здании обсерватории (рис. 2).

Пример данных МВС представлен на рис. 3.

Данные МВС передаются и архивируются на сервере института.

2. Регистрация электромагнитного поля КНЧ-СНЧ диапазона

Регистрация магнитного поля КНЧ-СНЧ диапазона производится разработанным и изготовленным в институте индукционным магнитометром.

Индукционный магнитометр состоит из измерительных катушек и системы регистрации и сбора данных.

Измерительные катушки закопаны в землю на удалении 450 м от технического здания обсерватории (рис. 4).

Система регистрации и сбора размещена в аппаратном зале технического здания обсерватории (рис. 5).

Пример данных индукционного магнитометра представлен на рис. 6 и 7.

Рисунок 3. Данные МВС



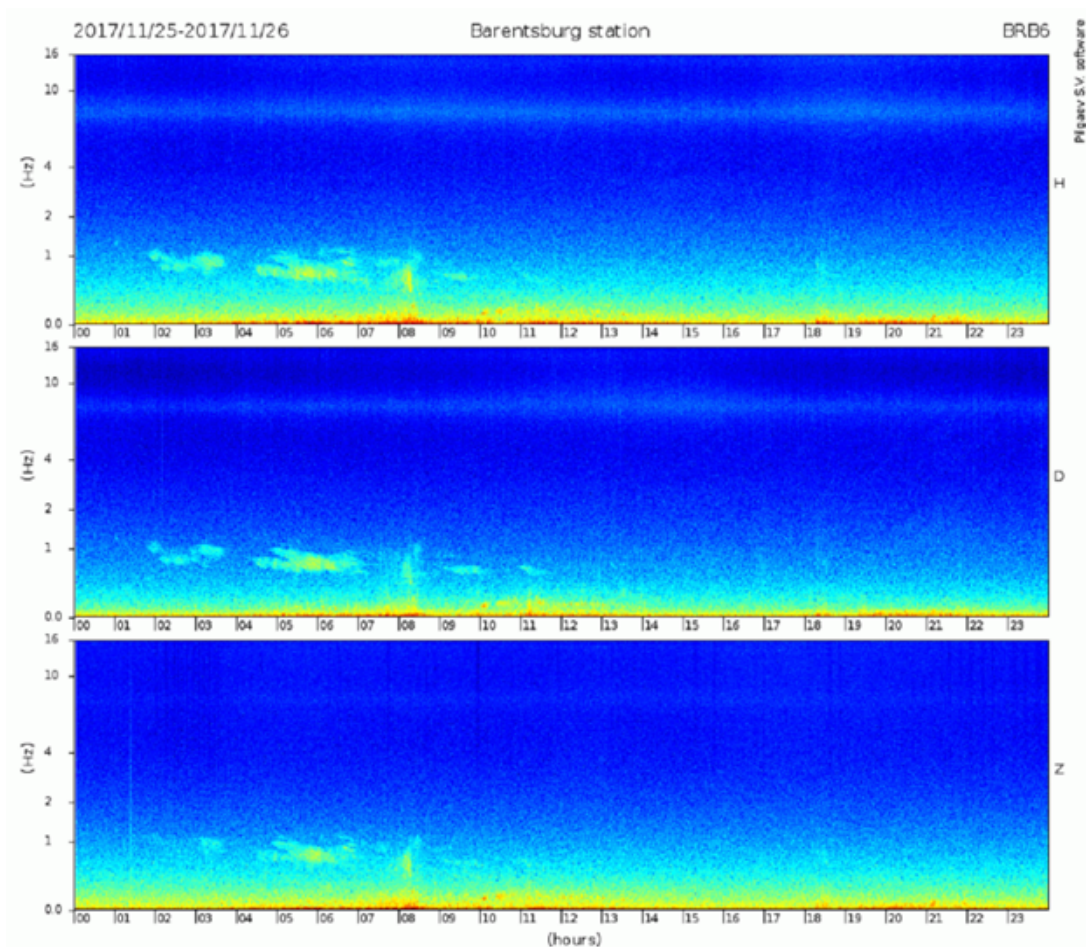


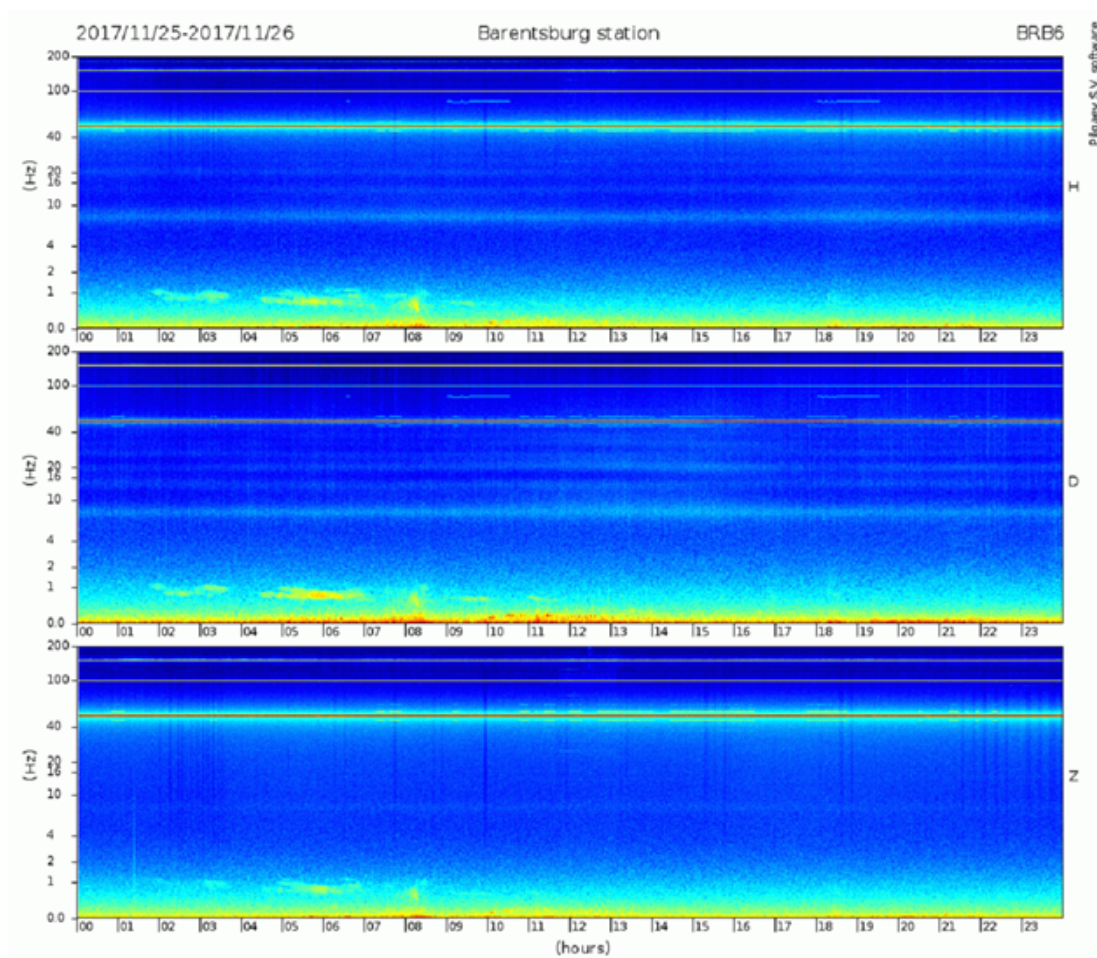
▲ Рисунок 4. Измерительные катушки индукционного магнитометра



▲ Рисунок 5. Система регистрации и сбора индукционного магнетометра

▼ Рисунок 6. Данные индукционного магнитометра в диапазоне до 16 Гц





▲ Рисунок 7. Данные индукционного магнитометра в диапазоне до 200 Гц

▼ Рисунок 9. Система сбора и регистрации приемника ОНЧ-диапазона

▼ Рисунок 8. Антенны приемника ОНЧ-диапазона



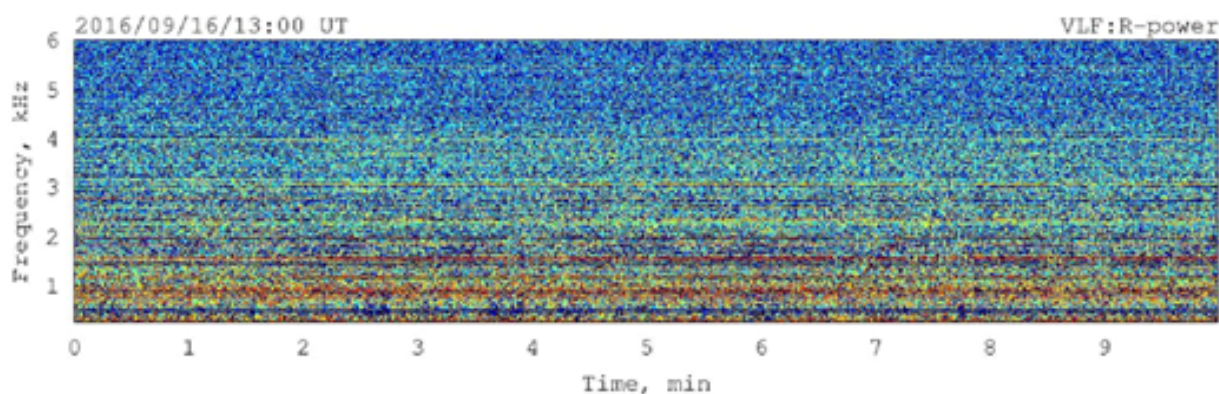


Рисунок 10. Данные ОНЧ приемника

3. Регистрация электромагнитного поля ОНЧ-диапазона

Регистрация электромагнитного поля ОНЧ-диапазона производится разработанным и изготовленным в институте радиоприемником ОНЧ-диапазона, установленным в обсерватории на удалении 5 км от п. Баренцбург.

Радиоприемник ОНЧ состоит из антенн, расположенных на удалении 500 м от технического здания обсерватории (рис. 8) и системы регистрации и сбора, установленной в аппаратном зале технического здания (рис. 9).

Пример данных ОНЧ-приемника представлен на рис. 10.

4. Регистрация полярных сияний

Регистрация полярных сияний производится в оптическом павильоне обсерватории, расположенном в 5 км от п. Баренцбург (рис. 11).

В оптическом павильоне установлены камера всего неба (КВН, рис. 12) и гиперспектральный эмиссионный имажер (ГЭИ, рис. 13).

На рис. 14 и 15 представлены примеры данных получаемых приборами КВН и ГЭИ.

Для мониторинга полярных сияний в обсерватории ПГИ «Баренцбург» проведена оценка возможности вспомогательных оптических наблюдений из поселка. При благоприятных метеорологических условиях полярные сияния регистрировать можно (рис. 16).

При оценке поля зрения камеры всего неба засветкой от огней поселка, трубы ТЭЦ и ограничением поля зрения горами (восток и запад) (рис. 17) определено, что

Рисунок 11. Оптический павильон

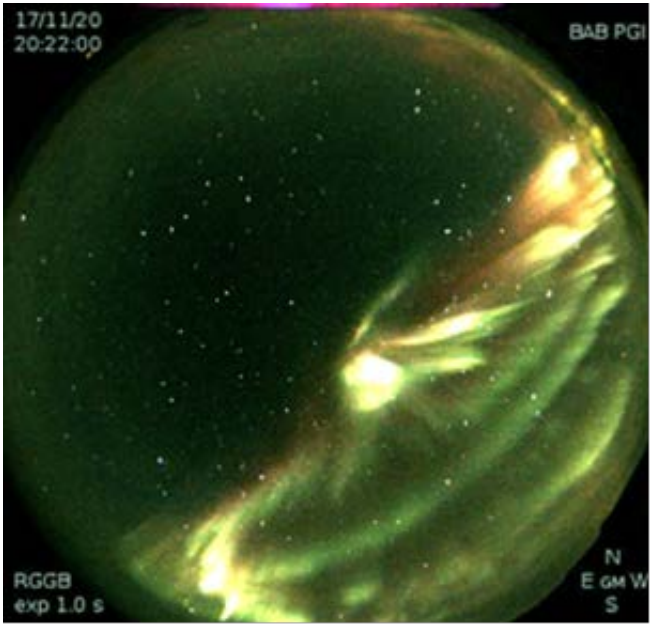


Рисунок 12. Камера всего неба





▲ Рисунок 13. Гиперспектральный эмиссионный имажер



▲ Рисунок 14. Данные камеры всего неба

▼ Рисунок 15. Данные гиперспектрального эмиссионного имажера

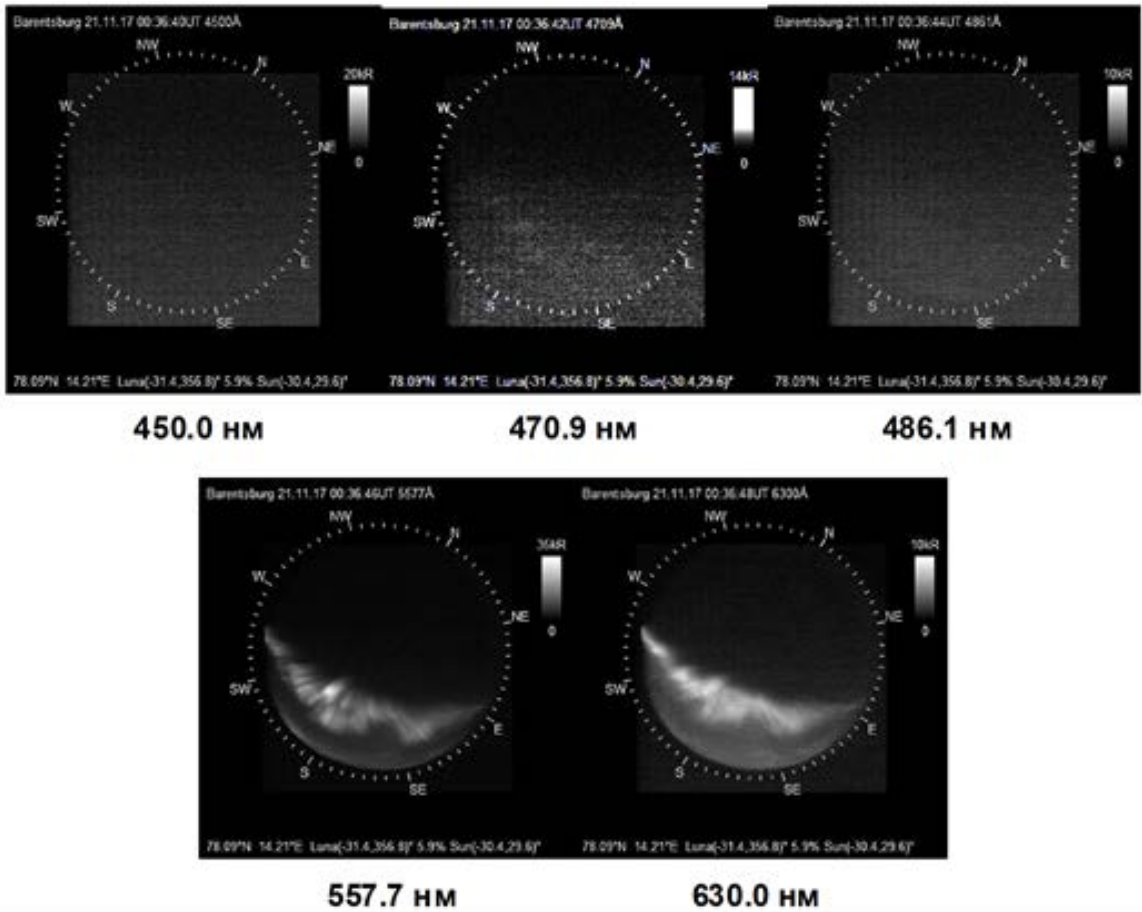




Рисунок 16. Полярные сияния в Баренцбурге 30 октября 2017 г. 00:43'34"Т. Лучистая дуга, над ней виден метеор

проводить вспомогательные наблюдения полярных сияний из поселка можно камерой с полем зрения не более 120 градусов.

5. Регистрация сигналов спутниковых навигационных систем для оценки состояния ионосферы радиотомографическим методом

Регистрация сигналов спутниковых навигационных систем для оценки состояния ионосферы радиотомографическим методом проводится радиотомографическим

Рисунок 17. Оценка поля зрения и засветки от поселка для камеры всего неба на здании базы КНЦ РАН

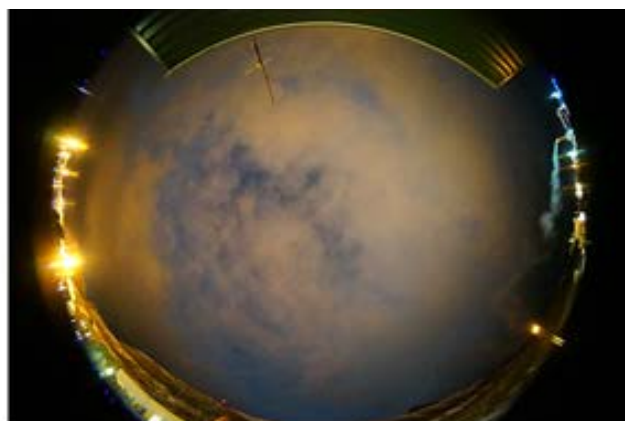




Рисунок 18. Антенна радиотомографического комплекса



Рисунок 19. Спутниковый навигационный радиоприемник

приемным комплексом в составе антенны, спутникового навигационного радиоприемника.

Антенна расположена на крыше блока жизнеобеспечения обсерватории на удалении 5 км от п. Баренцбург (рис. 18).

Спутниковый навигационный радиоприемник установлен в аппаратном зале технического здания обсерватории (рис. 19).

Пример данных радиотомографического комплекса представлен на рис. 20.

Рисунок 20. Данные радиотомографического комплекса

Также для диагностики ионосферы в обсерватории ПГИ «Баренцбург» применяется приемник высокоорбитальных спутниковых навигационных систем (ВО СНС) ГЛОНАСС/GPS в составе антенны и спутникового навигационного приемника.

Антенна расположена на крыше технического здания обсерватории на удалении 5 км от п. Баренцбург (рис. 21).

Спутниковый навигационный приемник ВО СНС установлен рядом с радиотомографическим приемником в аппаратном зале технического здания обсерватории (см. рис. 19).

На рис. 22 представлены данные ВО СНС ГЛОНАСС/GPS.

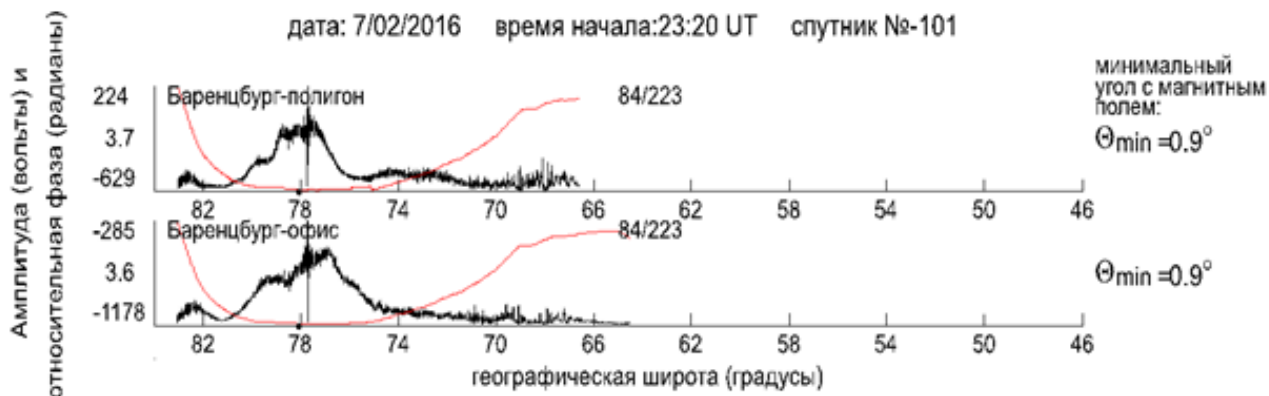




Рисунок 21. Антенна ВО СНС ГЛОНАСС/GPS

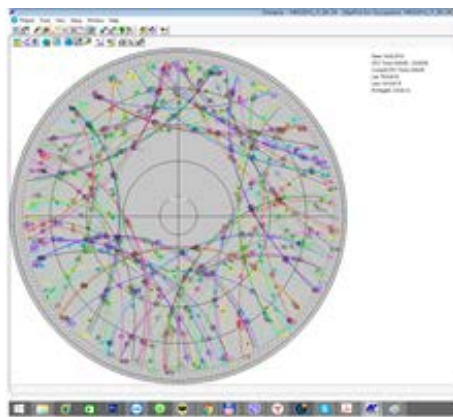


Рисунок 22. Данные ВО СНС ГЛОНАСС/GPS

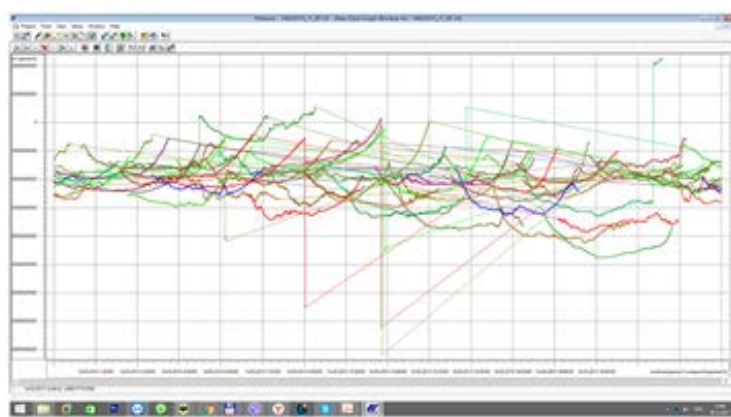


Рисунок 23. Нейтронный монитор





Рисунок 24. Размещение метеостанции на средней секции нейтронного монитора

6. Регистрация потоков космических лучей

Регистрация космических лучей производится нейтронным монитором, который расположен в п. Баренцбург. Нейтронный монитор состоит из трех секций (рис. 23).

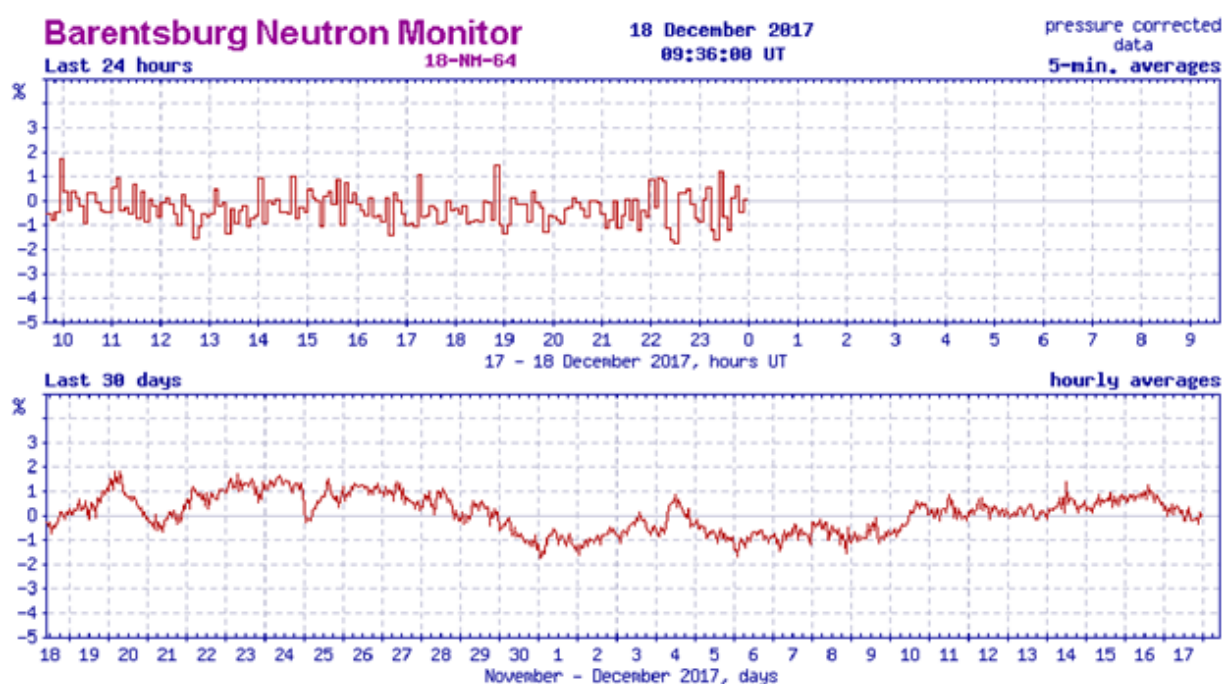
На средней секции монитора установлена автоматическая метеостанция (рис. 24).

На рис. 25 представлен пример данных нейтронного монитора.

Данные вышеуказанной аппаратуры архивируются и размещаются на сервере института.

За 2017 г. в обсерватории ПГИ «Баренцбург» было получено 17,2 Тб научной информации.

Рисунок 25. Данные нейтронного монитора



МОДЕРНИЗАЦИЯ, ПРОФИЛАКТИКА И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ ОБСЕРВАТОРИИ ПГИ «БАРЕНЦБУРГ»

В течение года в обсерватории ПГИ «Баренцбург» сотрудниками института проводилась модернизация, профилактика и техническое обслуживание научной аппаратуры обсерватории ПГИ «Баренцбург»:

- восстановление поврежденных линий связи антенн;
- реконструкция ОНЧ-приемника;
- защита внешних линий связи;
- обслуживание систем внутри здания обсерватории;
- калибровка вторичного полевого светового источника;
- техническое обслуживание оборудования контейнера оптического модуля.

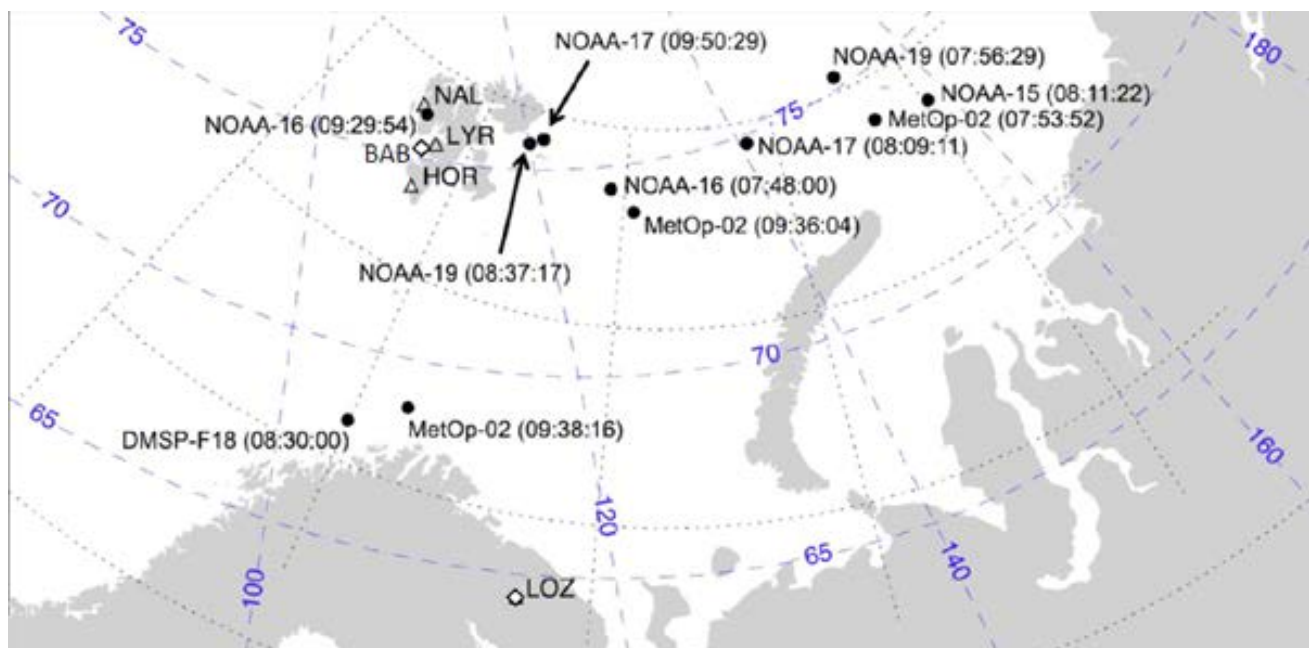
ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

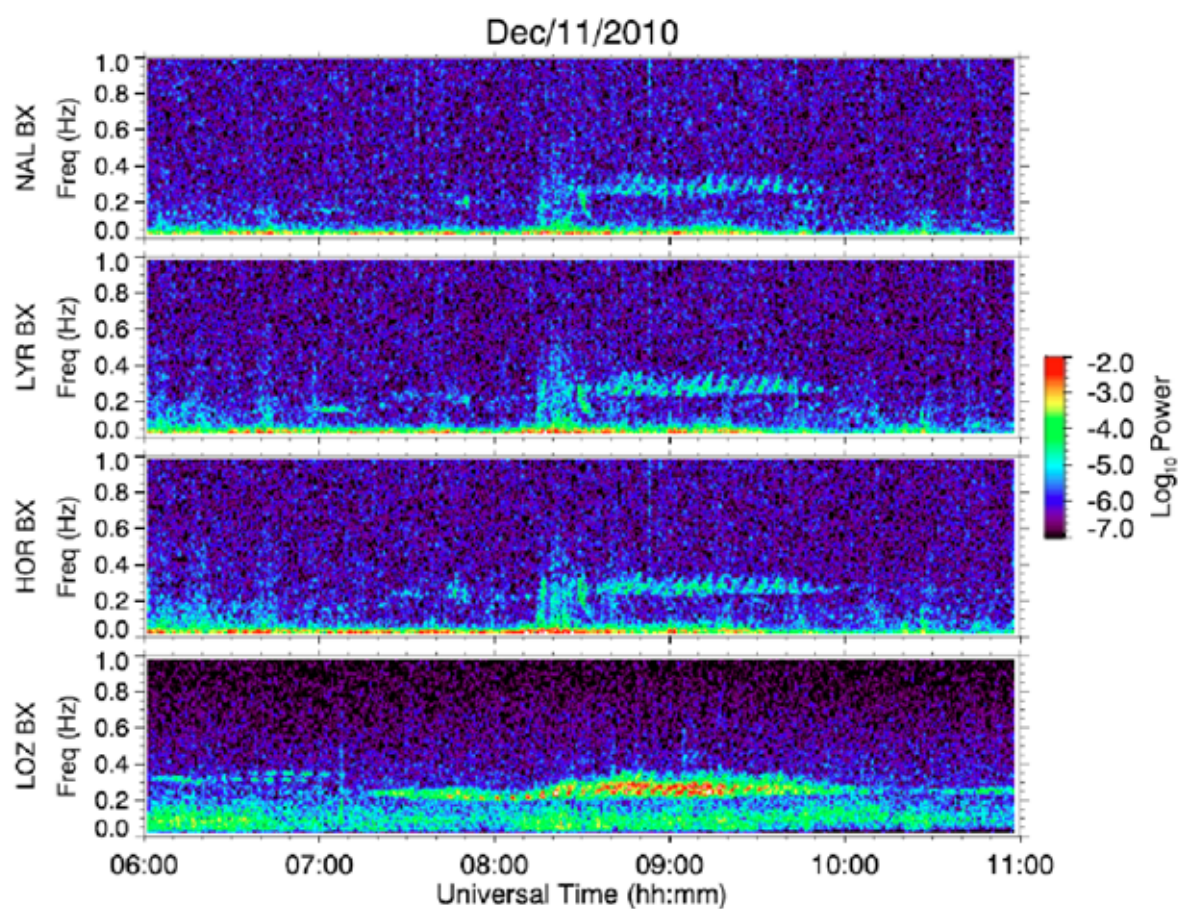
Исследование развития процессов взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли в области дневного полярного каспа, полярной шапки и высокоширотной атмосферы на базе обсерватории ПГИ «Баренцбург».

Во время прохождения вихрей конвекции сеть индукционных магнитометров на Шпицбергене (три магнитометра, принадлежащие университету Нью-Хэмпшира, США, расположенные в Хорзунде, Лонгйербиене, Нью Алезунде, и магнитометр ПГИ в Баренцбурге), а также индукционный магнитометр в Ловозеро на Кольском полуострове (рис. 26) зарегистрировали всплески геомагнитных пульсаций в диапазоне Pc1.

Рис. 27 показывает сопоставление спектрограмм с американских станций и со станции «Ловозеро». В обсерватории «Ловозеро» характер отклика отличался. Всплеск Pc1 не виден, но резко усилилась интенсивность наблюдавшихся еще до импульса давления квазимонохроматических пульсаций, при этом их частота увеличилась с ~0,2 до ~0,3 Гц. Пульсации на частоте 0,3 Гц видны и на Шпицбергене, но сигнал на частоте 0,2 Гц выражен слабо. Сигнал в Баренцбурге очень похож на тот, который зарегистрирован, например, на ближайшей станции (Лонгйербиен), хотя американские магнитометры и магнитометр в Баренцбурге взаимно не калиброваны.

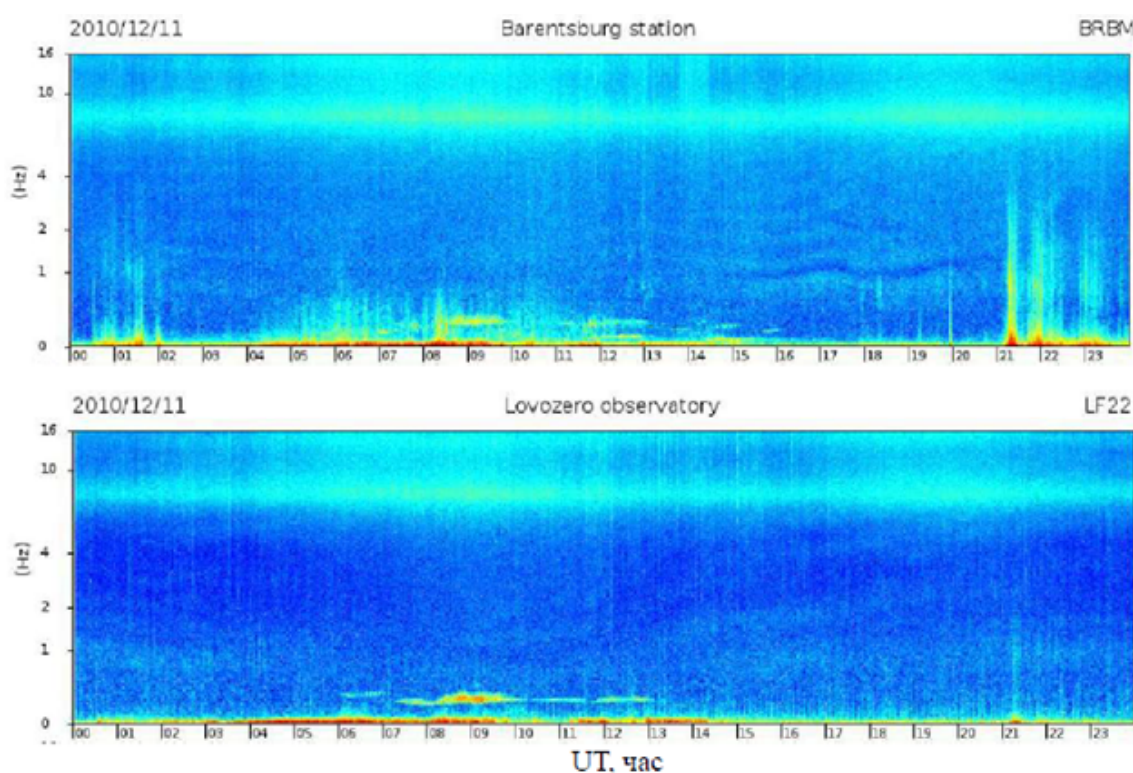
Рисунок 26. Расположение станций и областей высыпаний энергичных протонов. Расположение индукционных магнитометров университета Нью-Хэмпшира показано треугольниками, а индукционных магнитометров ПГИ в Баренцбурге и Ловозеро – ромбами





▲ Рисунок 27. Спектрограммы геомагнитных пульсаций в обсерваториях Нью Алезунд, Лонгйербиен, Хорзунд и Ловозеро

▼ Рисунок 28. Сравнение спектрограмм со станций Ловозеро и Баренцбург



На рис. 28 показано сравнение спектрограмм со станций ПГИ Баренцбург и Ловозеро, оборудованных идентичными датчиками. Из этих сопоставлений следует, что два типа сигналов, зарегистрированных во время прохождения вихрей конвекции, имеют разные источники.

Действительно, всплески излучений в диапазоне 0,1–0,4 Гц в 08:20–08:30 UT имеют, по-видимому, источник на высоких широтах. Сигнал от него виден только на Шпицбергене и неразличим в субавроральной зоне (в Ловозеро). Второй источник, очевидно, расположен ближе к станции Ловозеро и имеет большое время жизни (несколько часов). Наличие разных источников подтверждается наблюдениями высыпаний энергичных протонов на низкоорбитальных спутниках NOAA и MetOp.

В результате рассмотрения геомагнитных пульсаций в диапазоне Pc1–Pc2, при относительно слабом сжатии, когда оно сопровождается образованием вихрей конвекции на высоких широтах, наблюдается два типа отклика: 1) всплески Pc1 во время сжатия и прохождения над станциями вихрей конвекции с источником в высоких широтах и 2) усиление и повышение частоты квазимонохроматических Pc1 с источником в субавроральной зоне. Оба отклика связаны с развитием различных режимов ионноциклотронной неустойчивости в различных условиях. Высокоширотный отклик развивается в областях далеко за плазмопаузой, в то время как источник квазимонохроматических пульсаций связан с плазмосферой.

Исследование характеристик космических лучей

1. Регистрация потоков космических лучей и атмосферного давления на станции нейтронного мониторов (НМ) в Баренцбурге

По данным НМ, продолжается рост интенсивности космических лучей. Это связано с тем, что солнечная активность спадает, 24-й цикл солнечной активности приближается к минимуму. На ст. Баренцбург мониторинг

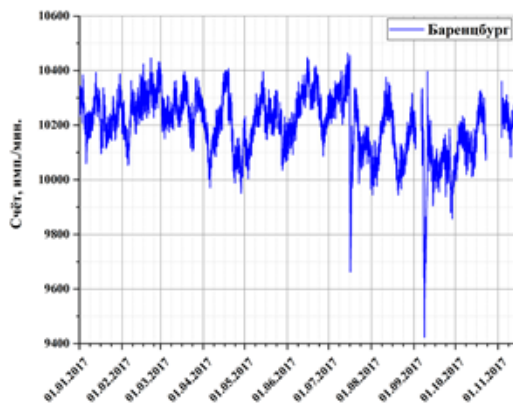
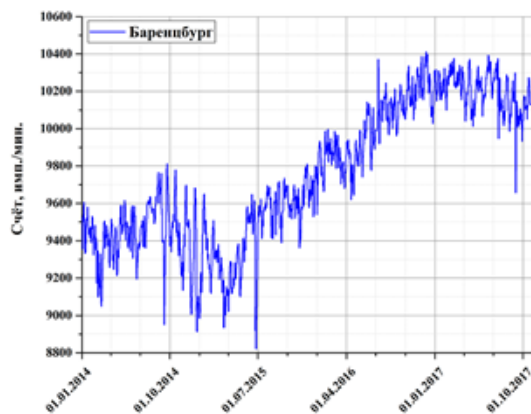
космических лучей выполнялся на комплексе, объединяющем три прибора: стандартный НМ с энергетическим порогом > 50 МэВ, секция бессвинцового нейтронного детектора (умеренные энергии до 100 кэВ) на счетчиках СНМ-18 и спектрометр гамма-излучения в диапазоне 20–400 кэВ. Все три детектора включены в единую регистрирующую систему. Данные Баренцбурга в графическом виде публикуются в Интернете и доступны всем пользователям, числовые данные предоставляются по отдельному запросу.

Поведение космических лучей в 2017 г., по данным НМ в Баренцбурге (рис. 29), несколько необычное, во второй половине года произошел небольшой спад, и только в последний месяц возобновился рост. Во-видимому, это связано с необычно слабой активностью Солнца на протяжении всего 24-го цикла. В течение более двух лет (с 2015 г.) не наблюдалось ни одного значительного форбуш-понижения, и только во второй половине 2017 г. произошли два сильных форбуш-понижения. В настоящее время активность Солнца приближается к минимуму.

2. Событие наземного возрастания в космических лучах, вызванное вспышкой на Солнце

В 2017 г. 10 сентября произошло событие наземного возрастания в космических лучах, вызванное вспышкой на Солнце. Принятое международное обозначение таких событий – GLE. Максимальная амплитуда возрастания была невелика – 6 % на уровне моря.

Рисунок 29. Темп счета нейтронного монитора в Баренцбурге (стандартный НМ) на протяжении последних лет, суточное усреднение (слева). Темп счета нейтронного монитора в Баренцбурге (стандартный НМ) в течение 2017 г., часовое усреднение (справа). В июле и сентябре произошли два форбуш-понижения около 6 %. Связаны они с корональными выбросами масс, произошедшими на Солнце во время сильных вспышек



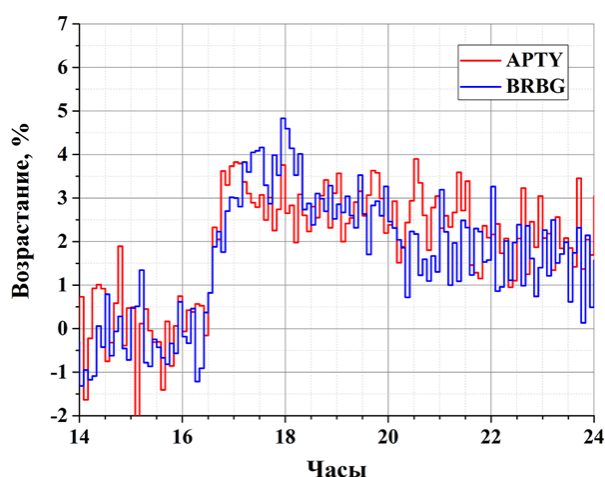


Рисунок 30. Профили возрастаний солнечных космических лучей 10 сентября 2017 г. на станциях Баренцбург и Апатиты

Новое GLE произошло от активной области A2673 типа «Beta-Gamma-Delta» с координатами S08W83. Рентгеновская вспышка класса X8,2 началась в 15:35 UT, максимум достигнут в 16:06 UT. Эта активная область более недели давала вспышки разной силы вплоть до класса X. От подобной вспышки 6 сентября наблюдался форбуш-эффект свыше 6 %. Амплитуда возрастания на станциях не превысила 6 % по пятиминутным данным, однако его уверенно наблюдали десятки станций мировой сети НМ. Этим оно отличается от суб-GLE 06.01.14, которое было видно только на двух-трех полярных станциях (в том числе в Баренцбурге). На рис. 30 показан профиль возрастания GLE на станции Баренцбург и Апатиты.

Единственная станция, принимающая поток космических лучей в основном из области северного полюса эклиптики (более 60 градусов), – Баренцбург. Анализ данных позволяет сделать вывод, что солнечные космические лучи распространялись вдоль межпланетного магнитного поля (ММП), и станции, имеющие конусы приема вблизи эклиптики, первыми отметили возрастание. А с задержкой около 30 минут Земли достигли частицы, имеющие большой питч-угол, и тогда максимальное возрастание отметили станции, конусы которых находятся около линии питч-угла 90 градусов: станции Наин, Певанук и Баренцбург. Причем конус Баренцбурга целиком лежит в интервале питч-углов 60–90 градусов, возрастание на нем больше, чем у других станций.

Данное событие ввиду малости амплитуды сложно в изучении. Анализ события продолжается.

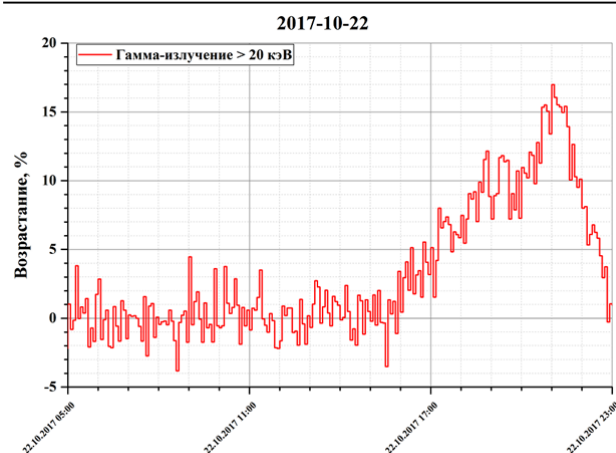
3. Непрерывная регистрация потоков вторичного гамма-излучения

В течение 2017 г. продолжалась непрерывная регистрация потоков вторичного гамма-излучения с энергиями 20–400 кэВ. Регистрация велась на двух станциях (Апатиты и Баренцбург). Эксперимент по наблюдению вариаций гамма-излучения продолжается. Ведется регистрация возрастаний гамма-фона при осадках и накопление важной информации о влиянии космических лучей на атмосферные процессы.

Эффект возрастания гамма-излучения при любых осадках был открыт в ПГИ. События возрастания регистрируются даже в Баренцбурге, хотя они меньше по амплитуде, чем в Апатитах. За прошедший год отмечены десятки таких событий в Баренцбурге. Наблюдениями установлено, что зимние возрастания при твердых осадках в 1,5–2 раза меньше. Это явление показывает наличие нового механизма влияния космических лучей на атмосферные процессы и климат в целом. Открытое явление требует дальнейшего изучения, а также проведения измерений и накопления данных. Пример возрастания гамма-фона в Баренцбурге показан на рис. 31. Также обнаружено, что на линейке станций (Ростов-на-Дону – Апатиты – Баренцбург) амплитуда возрастания падает с увеличением широты станции.

Рабочей гипотезой, объясняющей этот эффект, принята электрическая. В электрических полях дождевых (не грозовых!) облаков происходит дополнительный набор энергии заряженными частицами, которые при дальнейшем движении в атмосфере теряют ее несколькими путями, в том числе за счет тормозного излучения.

Рисунок 31. Возрастание гамма-излучения в Баренцбурге



Заряженная компонента вторичных космических лучей (электроны, позитроны, мюоны) всегда присутствует в атмосфере. Станция в Баренцбурге, где никогда не бывает гроз, служит важным фактором при изучении механизма этого явления.

Исследование характеристик распространения электромагнитных волн экстремально низкочастотного диапазона в высоких широтах

Представленные ниже результаты описывают динамику средней амплитуды естественного магнитного поля на частоте 7,8 Гц. Измерения на трех высокоширотных станциях производились одновременно в режиме мониторинга и охватывают период длительно-стью 6 сут. (7–13 сентября 2017 г.).

Выбранный промежуток наблюдений характеризуется значительными вариациями индекса D_{ST} (рис. 32) в результате возмущения, начавшегося 07.09.2017 г.

После окончания фазы восстановления, в ночное время 11.09.2017 г., наблюдались мощные продолжительные пульсации в диапазоне частот 1–3 Гц (рис. 33, рис. 32 – цветная область). Идентификация источников и описание характера возмущений требует проведения дополнительных исследований. Также следует отметить, что пульсации отчетливо наблюдались не только в высоких широтах, но также и в пункте наблюдений в Ленинградской области, что говорит о высокой мощности источника.

Одним из доступных для наблюдения во время геомагнитного возмущения естественных явлений в диапазоне КНЧ является отклик нижней ионосферы, влияющей на характеристики шумановского резонанса.

Рисунок 32. Вариации индекса D_{ST} в период наблюдений

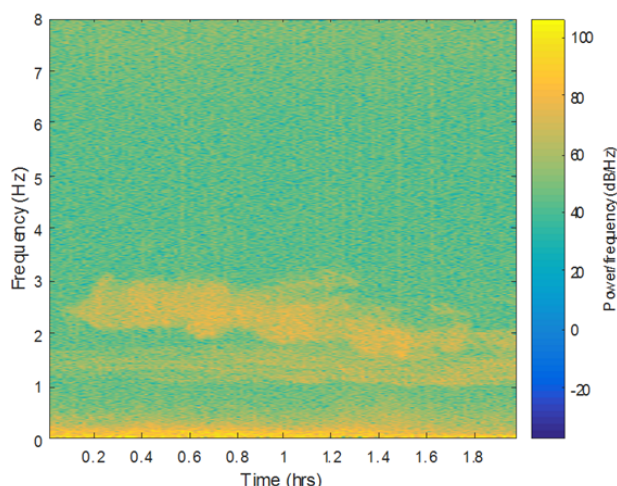
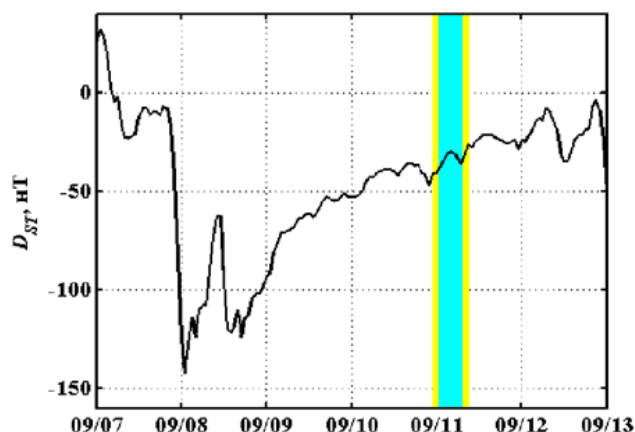


Рисунок 33. Пульсации 11.09.2017 г. по данным регистрации в обс. «Верхнетиуломский»

Крупномасштабные возмущения ионосферы могут оказывать влияние как на распределение амплитуды и на поляризационные характеристики фонового поля, создаваемого мировыми грозовыми центрами. Ниже рассмотрим поведение амплитуды магнитного поля на частоте главного максимума шумановского резонанса (~7,8 Гц) в пунктах наблюдений (рис. 34).

Рисунок 34. Схема расположения пунктов наблюдений



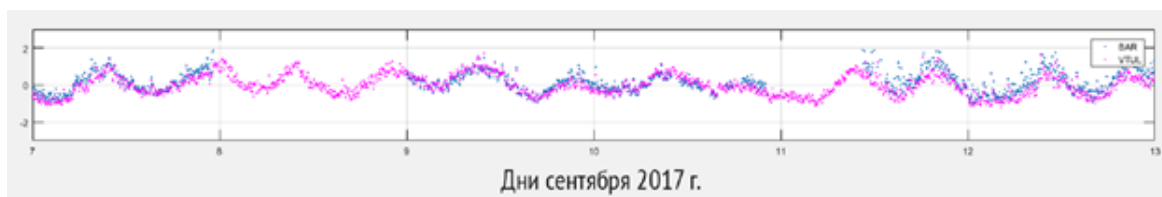


Рисунок 35. Уровень поля (компонента Нс-ю, условные единицы амплитуды) на частоте ШР в пунктах наблюдений 7–13 сентября 2017 г.

На рис. 35 показаны вариации средней амплитуды естественного шумового фона на частоте 7,8 Гц на трех станциях, приведенные в условных единицах в одинаковом масштабе.

Среди особенностей поведения поля, в частности, в начальной фазе бури 7 сентября, на графике видно смещение по времени второго экстремума в вариации мощности ближе к полуночи. Данный максимум относится к активации южноамериканского грозового центра и присутствует во все остальные дни наблюдений на отметке около 20 UT.

Более детально рассмотреть суточные вариации естественного электромагнитного шума в КНЧ-диапазоне можно на рис. 36, где приведенные результаты за каждые сутки сведены на общую диаграмму в осях «время (UT) – амплитуда».

Как видно на этих рисунках, на фазе восстановления (9–10 сентября) уровень «южноамериканского» (вечернего) максимума был значительно ниже «африканского» дневного максимума. В последующие дни характер изменился и оба максимума практически сравнялись по величине.

МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

27 октября 2017 г. в ходе командировки на арх. Шпицберген совместно с сотрудниками университета UNIS Даром Лоренценом, Микко Сюръясуо проведено ознакомление с оптической аппаратурой в обсерватории им. К. Хенриксена для обсуждения параметров наблюда-

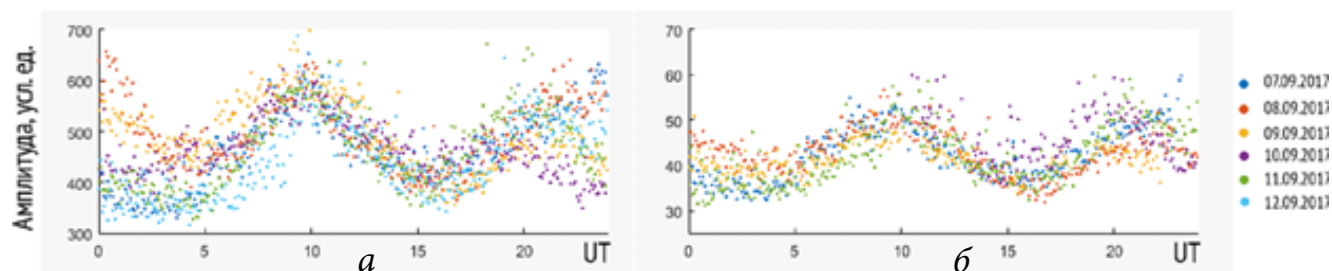
тельного сезона 2017–2018. Достигнута договорённость с сотрудниками данного университета о калибровке эталонного светового источника, используемого в ПГИ.

Проведено ознакомление с содержанием радиофизических наблюдений, проводимых в обсерватории им. Хенриксена. Рассмотрена возможность использования данных радиофизических наблюдений для совместных работ.

30 октября проведено обсуждение с коллегами из обсерватории им. Хенриксена UNIS возможности совместных оптических наблюдений на арх. Шпицберген в текущем наблюдательном сезоне. Обсуждались состав используемой аппаратуры и требования к её параметрам. В числе обсуждаемых параметров представлены: угловое, временное, амплитудное разрешение, точность синхронизации, форматы данных, а также циклограммы работы и возможности обмена получаемыми материалами.

Полярным геофизическим институтом в его обсерватории «Баренцбург» в наблюдательном сезоне 2017–2018 гг., как минимум, обеспечивается работа камеры всего неба с угловым разрешением не более 0,33 град/пикс, временным разрешением 1 Гц, 12-битным амплитудным разрешением, при точности синхронизации с мировым временем не более 0,25 сек. и непрерывной (независимо от метеорологических, астрономических и геофизических условий) работе прибора при угле погружения Солнца ниже –8 град. Начало и окончание сезона наблюдений по договоренности.

Рисунок 36. Суточный ход вариаций фонового шума (НС-Ю) на частоте ШР в период 7–13 сентября на станциях Верхнетуломский (а) и Баренцбург (б)



UNIS обеспечивает работу, как минимум, четырех камер всего неба (в т. ч. одной – на удалённом от обсерватории им. Хенриксена пункте в Ny-Alesund), эмиссионного имажера всего неба для эмиссий 675,0; 840,0; 844,6; 846,5 нм, трех зенитных узкополосных спектрометров высокого разрешения для линий 486,1; 630,0/636,4 и ближнего инфракрасной области 830–865 нм.

Проявлен интерес к работе в обсерватории «Баренцбург» эмиссионного имажера всего неба для эмиссий 470,9; 486,1; 557,7; 630,0 нм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения научно-исследовательской работы в обсерватории ПГИ «Баренцбург» проведен мониторинг геофизических процессов:

- вариаций геомагнитного поля в широком диапазоне частот;
- полярных сияний;
- потоков космических лучей;
- сигналов спутниковых навигационных систем.

По результатам регистрации и обработки данных получено 17,2 Тб научной информации, на основании которой были проведены фундаментальные исследования:

- процессов взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли в области полярного каспа и их влияния на формирование космической погоды;
- 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.

По тематике работ было опубликовано три статьи в реферируемых изданиях [1–3], а также были представлены девять докладов на международных и всероссийских научных конференциях [4–12].

Все полученные результаты соответствуют мировым стандартам, отвечающим современному уровню геофизических исследований. При выполнении работы использованы оригинальные данные, полученные в ходе измерений с применением научной аппаратуры мирового уровня.

Полученные в ходе выполнения темы результаты могут найти практическое применение в разработке аппаратуры радиосвязи, радионавигации и радиолокации,

а также при дистанционном зондировании ионосферы и литосферы Земли и заметно повысить их достоверность и экономическую эффективность.

Накопленные экспериментальные данные и теоретические интерпретации в дальнейшем будут использоваться при проведении фундаментальных научных исследований гелиогеофизических процессов в Арктической зоне, а также при планировании и проведении будущих экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Германенко А.В., Балабин Ю.В. Сезонные эффекты в различных компонентах вторичных космических лучей // Известия РАН. Сер. физическая. 2017. Т. 81, № 4. С. 574–576.
2. Балабин Ю.В. Наблюдение кластеров частиц с энергиями от десятков ГэВ в потоке космических лучей по данным нейтронных мониторов // Известия РАН. Сер. Физическая. 2017. Т. 81, № 4. С. 565–567.
3. Kim H., Lessard M.R., Jones S.L., Lynch K.A., Fernandes P.A., Aruliah A.L., Engebretson M.J., Moen J.I., Oksavik K., Yahnin A.G., Yeoman T.K. Simultaneous observations of traveling convection vortices: Ionosphere-thermosphere coupling // J. Geophys. Res. Space Physics. 2017. Vol. 122, Iss. 5. P. 4943–4959. doi:10.1002/2017JA023904
4. Ларченко А.В., Пильгаев С.В., Лебедь О.М., Никутенко А.С., Федоренко Ю.В. Поляризация магнитного поля ионосферного источника ОНЧ волн в эксперименте по модификации ионосферы // Труды XXX Всероссийского симпозиума «Радиолокационное исследование природных сред», 18–19 апреля 2017, Санкт-Петербург. СПб, 2017. Т. 2, С. 143–150.
5. Козелов Б.В. Космическая погода и о ее влиянии на жизнедеятельность и инфраструктуру в арктических широтах / III Международная конференция «Полярные маршруты Арктики» 14 ноября 2017 г. Мурманск.
6. Balabin Yu.V., Germanenko A.V., Gvozdevsky B.B., Shchur L.I., Mikhalko E.A. Cosmic ray researches in Apatity // Abstract book, Athens, March 20–24, 2017.
7. Balabin Yu.V., Germanenko A.V., Shur L.I. Effects in background gamma radiation fluxes on the Barentsburg-Apatity-Rostov-on-Don station row // Abstract book, Moscow, June 20–22, 2017.
8. Germanenko A.V., Balabin Yu.V., Gvozdevsky B.B., Mikhalko E.A. Complex set of cosmic rays monitoring // Abstract book, Busan, July 12–20, 2017.
9. Balabin Yu.V., Gvozdevsky B.B., Germanenko A.V. Gamma-ray variations in the low atmosphere on a row of stations from Spitsbergen to middle latitude plain // Abstract book, Busan, July 12–20, 2017.
10. Германенко А.В. Балабин Ю.В. Расширение комплексной установки регистрации космических лучей на Шпицбергене // Тезисы 40-го Апатитского семинара, 13–17 марта 2017 г.
11. Балабин Ю.В., Германенко А.В., Гвоздевский Б.Б. Вариации приземного гамма-фона: широтный эффект на линейке станций Баренцбург-Апатиты-Ростов-на-Дону // Тезисы 40-го Апатитского семинара, 13–17 марта 2017 г.
12. Балабин Ю.В., Германенко А.В. Фоновое гамма-излучение 0.2–5 МэВ в приземном слое атмосферы // Тезисы 40-го Апатитского семинара, 13–17 марта 2017 г.

ЭКСПЕДИЦИИ И НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАБСИ НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН: ФАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛНЕНИЕ В 2017 г. И ПЛАН НА 2018 г.

В.К. Жиров, О.Б. Гонтарь*

**Полярно-альпийский ботанический сад-институт
им. Н.А. Аврорина Кольского научного центра
РАН**

*e-mail: gontar_ob@mail.ru

Научно-исследовательская деятельность Полярно-альпийского ботанического сада-института (ПАБСИ) на архипелаге Шпицберген ведется с 2003 г. и в целях расширения присутствия российской науки на архипелаге в настоящее время представлена четырьмя направлениями:

- 1 – почвенное разнообразие;
- 2 – биоразнообразие (сосудистых растений, мхов, лишайников, цианопрокариот);
- 3 – продуктивность растений местных видов;
- 4 – оптимизация жизни человека в Арктике.

Основанием для проведения исследований до 2016 г. являлась тема НИР согласно договору с ФГУП «Государственный трест «Арктикуголь», с 2016 г. – Межведомственная программа научных исследований и наблюдений на архипелаге Шпицберген, с 2017 г. – тема НИР в государственном задании (ГЗ), финансируемая через ФАНО России, а также однократные гранты и проекты: 2013 г. – проект «Изучение флоры и растительности в районе поселка Пирамида», договор с ФГУП «ГТ «Арктикуголь» по заказу LPO Arkitekter AS (Longyearbyen); 2013–2015 г. – грант Svalbard Environmental Protection Fund, проект «Cryptogamic organisms as a key component of the vegetation of Svalbard: educational and tourism potential» – атлас и книга о криптогамных организмах окрестностей поселка Пирамида «Мохообразные, лишайники и цианопрокариоты окрестностей Пирамиды (Шпицберген): краткий путеводитель»; 2015–2018 гг. – грант

Research Council of Norway, проект «Mapping bryophytes on Svalbard as the basis for monitoring and conservation (BryoMap)» – изучение и картирование редких видов мохообразных на Свальбарде.

В рамках темы НИР в ГЗ на 2017 г. «Растительно-почвенные ресурсы, совершенствование методов управления охраняемыми природными территориями в условиях климатических изменений и антропогенного воздействия и оптимизация среды обитания человека на архипелаге Шпицберген» (руководитель темы чл.-корр. РАН В.К. Жиров, финансирование в 2017 г. – 1 620 тыс. руб.) были запланированы (при участии в экспедиции на архипелаг 15 сотрудников) следующие результаты:

- обследовать флору в северо-восточной части архипелага (Северо-Восточная Земля), в том числе Северо-Восточного заповедника (Nordaust-Svalbard Nature Reserve), выявить новые виды (составлены предварительные списки), уточнить места обитания, провести их описание и картирование;
- выявить особенности функциональной активности фотосинтетического аппарата ряда арктических видов растений, произрастающих в экотопах разных типов;
- получить новые сведения о трансформации органического вещества в почвах Шпицбергена;
- подобрать методы функциональной диагностики и тестирования изменений пространственного восприятия жителей Баренцбурга в условиях полярной ночи.

По факту в 2017 г. общее число человеко-дней, проведенных научными и техническими сотрудниками ПАБСИ на архипелаге Шпицберген при выполнении работ, составило 93 (5 сотрудников), объем полученной информации – около 9 Гб (фотографии, экспериментальные данные функциональной диагностики населения, результаты полевых наблюдений и химического анализа растений и почв).

Результаты научных исследований в полном объеме отражены в промежуточном отчете, представленном в ФАНО и в Научный Совет Консорциума «Российский научный центр на архипелаге Шпицберген».

Продуктивность растений местных видов (руководитель раздела д.б.н. Н.Ю. Шамова):

- выявлено преобладание видов арктической фракции (85 %) с циркумполярным типом распространения (70 %);

- выявлены следующие типы адаптаций растений:

- 1) на субклеточном уровне:

- а) при сохранении постоянного содержания всех пигментов;

- б) при снижении содержания зеленых и возрастании содержания желтых пигментов;

- 2) на организменном уровне – объединение отдельных растений и формирование жизненной формы типа «подушка» (рис. 1) для локального повышения температуры и более полного поглощения световой энергии.

Установлено, что в экстремальных условиях у растений снижается межвидовая конкуренция, что обуславливает так называемый эффект няньки: в разных подушках смолевки бесстебельной встречается до 16 сопутствующих видов растений (рис. 2), в том числе древесных (ива полярная, дриада восьмилепестная).

Рисунок 1. Подушка смолевки бесстебельной



Результаты исследования по данному разделу опубликованы в монографии Е.Ф. Марковской, Н.Ю. Шаковой [1], а также в рецензируемых журналах [2, 3] и представлены на конференциях [4].

В планах на 2018 г. – получить данные по функциональной активности фотосинтетического аппарата мхов, произрастающих в разных экологических условиях, и по суточной динамике содержания пигментов пластид доминирующих видов растений с учетом географического ареала.

Направлением «Почвенное разнообразие и генезис почв» руководит д.б.н. Г.М. Кашулина.

Было установлено, что преобладающая часть почв Западного Шпицбергена формируется на почвообразующем материале с высоким содержанием SiO_2 и экстремально низким содержанием щелочноземельных элементов, особенно Са. В процессе почвообразования верхний органогенный горизонт серогумусовых грубогумусных почв обогащается главными биогенными элементами – Са, Mg, P, K и Mn. Несмотря на высокое широтное положение и бедность почвообразующего материала, содержание этих элементов в верхнем органогенном горизонте почв находится на уровне, свойственном северной части европейского континента [5].

В планах на 2018 г. – дать морфологические и химические характеристики основных типов почв на Шпицбергене; выявить особенности химического состава почв и растений; заложить стационарные площадки для режимных наблюдений в западной части Архипелага Шпицберген;

Направление «Оптимизация жизни человека на Севере» (руководитель к.б.н. О.Б. Гонтарь) – самое новое из всех, проводимых ПАБСИ на Шпицбергене, в 2017 г. планировалось выполнять двумя путями:

- 1) биорекультивацией загрязненных районов и
- 2) профилактикой/коррекцией неблагоприятного воздействия условий Арктики на человека методами экологической и садовой терапии.

В обоих случаях был сделан хороший задел по исследованиям в Субарктике: разработаны технологии на основе местного минерального сырья и аборигенных видов трав для восстановления нарушенных территорий Севера; разработаны четыре образовательно-коррекционные программы, которые были апробированы ранее в условиях Кольской Субарктики и реализуются во время наиболее неблагоприятного для человеческого организма периода полярной ночи и весенних месяцев, когда гелиогеофизическая обстановка в регионе отличается максимальной нестабильностью. За разработку образовательных и реабилитационных/коррекционных программ с элементами гардено-, анимало- и арт-терапии ПАБСИ неоднократно получал награды различных видов от регионального до федерального уровня.

В 2017 г. была разработана и проведена первичная апробация программы дополнительного образования «Экологическая терапия для детей в экстремальных условиях Арктики» на входе в полярную ночь. Программа построена с учетом регионального компонента со здоровьесберегающими технологиями гардено-, арт- и анималотерапии.

Рисунок 2. Подушка смолевки бесстебельной с сопутствующими видами



Первичная функциональная диагностика показала необходимость проведения занятий на выходе из полярной ночи, введения дополнительных упражнений для коррекции общего недоразвития речи и 100%-го повышения сопротивляемости детей вирусной инфекции [6].

На 2018 г. планируется продолжить апробацию реабилитационной программы эко-, арт- и садовой терапии для полярников, получить новые данные о психофизиологических реакциях организма на выходе из полярной ночи.

В целях рекультивации нарушенных территорий на архипелаге Шпицберген планируется изучить сроки сбора и всхожесть аборигенных трав, подобрать лабораторным методом технологии создания рулонных газонов в условиях Арктики. Самой главной трудностью при решении поставленной проблемы является соблюдение норвежского закона «Об охране окружающей среды на архипелаге Шпицберген».

В связи с прекращением финансирования экспедиционных работ по договору с ФГУП «ГТ «Арктикуголь» и переводом финансирования в рамках ГЗ через ФАНО, ГЗ и соглашение о дополнительном финансировании были подписаны только в начале октября 2017 г., задачи по планируемым мероприятиям были выполнены частично. Полностью были сорваны летние флористические экспедиционные поездки. Работа в направлении «Биоразнообразие, включая высшие растения, цианопрокариоты, мхи и лишайники» под руководством д.б.н. Н.А. Константиновой велась только по материалам прошлых лет. Были подготовлены предварительные списки видов лишайников для трех районов острова Северо-Восточная Земля [7].

В 2018 г. планируется выявить разнообразие цианопрокариот побережья залива Боккфиорд (остров Западный Шпицберген), мхов побережья залива Иннвика (остров Северо-Восточная Земля), печеночников заповедника «Остров Принца Карла», лишайников побережья залива Сетербухта (остров Северо-Восточная Земля) по сборам прежних лет. При своевременном решении вопроса о включении темы НИР в ГЗ в 2018 г. будут проведены полевые обследования ранее не изученных территорий, выявлены новые для Шпицбергена арктические разновидности и виды печеночников и лишайников; будут выполнены геоботанические описания, выявлены состав сосудистых растений, мохообразных, лишайников и структуры сообществ и группировок гольцовых пустынь на примере хребта Одинфьеллет и горы Пирамида (остров Западный Шпицберген).

ЛИТЕРАТУРА

1. Марковская Е.Ф., Шмакова Н.Ю. Растения и лишайники Западного Шпицбергена: экология, физиология. Петрозаводск: ПетрГУ, 2017. 272 с.
2. Марковская Е.Ф., Галибина Н.А., Ильинова М.К., Никерова К.М., Шмакова Н.Ю. Состав липидов и функциональное состояние мембранных систем *Stellaria humifusa* // Труды Карельского научного центра РАН. 2017. № 5. С. 99–110. doi:10.17076/eb575
3. Марковская Е.Ф., Шмакова Н.Ю. Эколого-биологические особенности однолетних растений в Арктике (Западный Шпицберген) // Scientia. Химия. Биология. Медицина. 2016. № 6. С. 16–20.
4. Марковская Е.Ф., Шмакова Н.Ю., Новичонок Е.В. Оценка активности фотосинтетического аппарата некоторых видов высших сосудистых растений Западного Шпицбергена // Экспериментальная биология растений: фундаментальные и прикладные аспекты: Годичное собрание ОФР, науч. конф. и школа для мол. уч., Судак: сб. мат. докл. / Отв. ред. Вл.В. Кузнецов. М.: Изд-во АНО «Центр содействия научной, образовательной и просветительской деятельности «Соцветие», 2017. С. 228. URL: <http://ofr.su/crimea2017> (дата обращения: 30.03.2018).
5. Кашулина Г.М., Литвинова Т.И., Дрогобужская С.В., Баскова Л.А. Биогеохимические особенности почв юго-западного побережья острова Западный Шпицберген // Труды XIV Всерос. (с международным участием) Ферсмановской научной сессии, посвященной 100-летию со дня рождения акад. АН СССР А.В. Сидоренко и д.г.-м.н. И.В. Белькова. Апатиты, 3–4 апреля 2017 г. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. С. 424–426.
6. Калашникова И.В., Зотова О.Е. Апробация программы Полярно-альпийского ботанического сада-института для детей, проживающих в экстремальных условиях Арктики // Биоразнообразие и культуроценозы в экстремальных условиях: сб. материалов V Всерос. науч.-практич. конф. / ПАБСИ КНЦ РАН. Апатиты, 4–5 декабря 2017 г. Апатиты, 2017. С. 26–29.
7. Конорева Л.А. Лишайники в локальных флорах о. Северо-Восточная Земля (Nordaustlandet, Svalbard) // Труды XIV Всерос. (с международным участием) Ферсмановской научной сессии, посвященной 100-летию со дня рождения акад. АН СССР А.В. Сидоренко и д.г.-м.н. И.В. Белькова. Апатиты, 3–4 апреля 2017 г. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. С. 450–452. URL: http://geoksc.apatity.ru/images/stories/Print/%D0%A4%D0%9D%D0%A1_2017.pdf (дата обращения: 30.03.2018).

ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИА РАН НА ШПИЦБЕРГЕНЕ В 2017 г.

В.Л. Державин*, А.Б. Колесников

Институт археологии РАН

*e-mail: derzh@yandex.ru

Шпицбергенская экспедиция Института археологии проводит регулярные археологические исследования на архипелаге Шпицберген с 1978 г. Основной задачей полевых исследований является поиск, изучение и сохранение археологических памятников, связанных в первую очередь с освоением этого региона Арктики русским населением. Полученные в процессе этих исследований данные служат надежной базой для разработки различных вопросов по истории, культуре и хозяйственно-промысловой деятельности русского населения, осваивавшего архипелаг в XVII–XIX вв. Важнейшей политической составляющей данных исследований является получение надежной доказательной базы многовекового присутствия русского населения на архипелаге. Освоение полярных островных территорий русскими поморами (Шпицберген, Новая Земля, о. Колгуев и др.) в полной мере можно сравнить с подвигом русских землепроходцев и православных миссионеров-подвижников, в результате самоотверженной деятельности которых в состав российского государства вошли земли Русского Севера, а позже Сибири и Дальнего Востока.

В связи с тем, что запланированный рейс на научно-исследовательском судне КНЦ РАН «Дальние Зеленцы» вдоль берегов архипелага по намеченному первоначально маршруту не состоялся, археологические исследования, запланированные в 2017 г., не были реализованы.

Места предполагаемых высадок сотрудников ИА РАН, отмеченные на карте, были выбраны не случайно (рис. 1). Они охватывают обширную территорию

от северного берега Северо-Восточной земли до самой южной географической точки Шпицбергена – острова Серкапп. Именно там располагаются одни из важнейших поморских памятников, вероятно содержащих основную информацию о структуре и хронологии русских памятников архипелага: самые северные православные кресты на островах в Мерчисон-фьорде, поморские становища и китобойная станция на острове Эдж, комплекс памятников на острове Серкапп (самая южная географическая точка архипелага), лагерь русской высокоширотной экспедиции 1764–1766 гг. в заливе Решерш, поморские памятники острова Аксель и др.

К сожалению, полевые работы по указанной выше причине пришлось отложить до неопределенного времени и ограничиться обследованием восточного берега в заливе Грен-фьорд, наиболее доступного для осуществления пеших маршрутов (археологических разведок).

Вместе с тем следует сказать, что на Шпицбергене значительный интерес наряду с ранними памятниками представляют историко-культурные объекты, относящиеся к так называемой индустриальной археологии, в том числе связанные с активной деятельностью российских экспедиций в начале XX столетия, предпринимавших первые шаги для развития отечественного угледобывающего производства в Арктике.

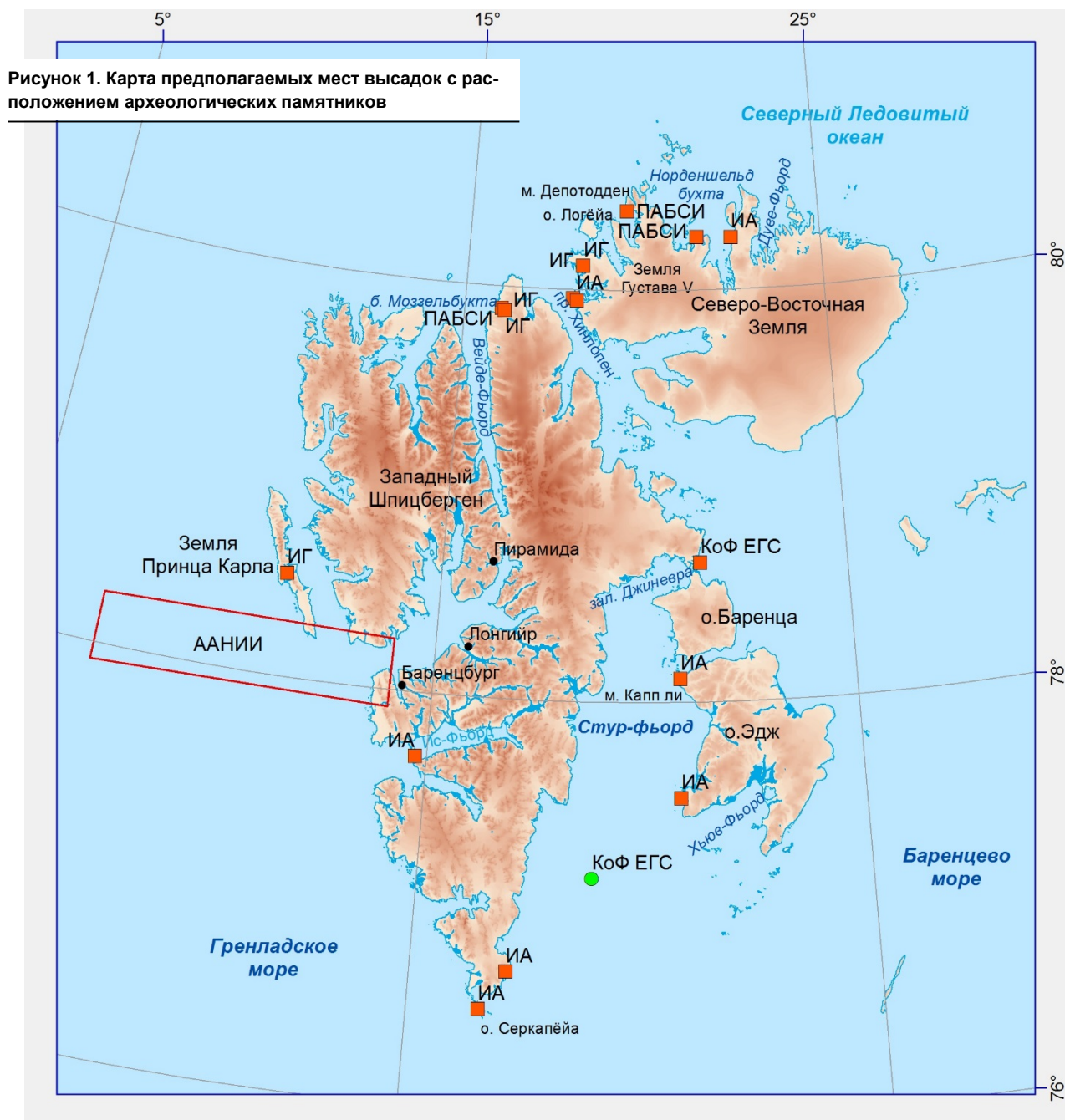
Полученные в результате полевых исследований и поисков в отечественных архивах материалы убедительно свидетельствуют о том, что Россия также имела, как и некоторые другие государства, исторические основания для установления суверенитета над Шпицбергеном, что даже обговаривалось при заключении Шпицбергенского трактата 1920 г. А в начале XX столетия уже закладывались основы российского угледобывающего производства на архипелаге.

Однако все эти процессы были прерваны Октябрьской революцией и Гражданской войной.

Осуществление полевых исследований на обширных территориях архипелага во многом зависит от возможности использования мобильных транспортных средств (морских и воздушных), что, к сожалению, пока оставляет желать лучшего. Для пеших же маршрутов доступна лишь территория Грен-фьорда и, возможно, хотя и отчасти, южного берега Ис-фьорда от мыса Геера до Колсбея. В первом десятилетии текущего века здесь были выявлены новые объекты, связанные в основном с началом угледобывающего производства, и археологические артефакты поморской

материальной культуры, в основном вынесенные на берег этого района архипелага морскими водами.

Все обнаруженные объекты, исходя из разработанной ранее практики, включаются в охранный список памятников историко-культурного наследия Норвегии на Шпицбергене и ставятся на государственную охрану. Поскольку в 2017 г. провести намеченные обследования на судне «Дальние Зеленцы» не удалось, основные усилия были перенаправлены на поиск новых и фиксацию уже известных памятников археологии, а к ним, согласно норвежскому законодательству, относятся все объекты, существовавшие до 1946 г.



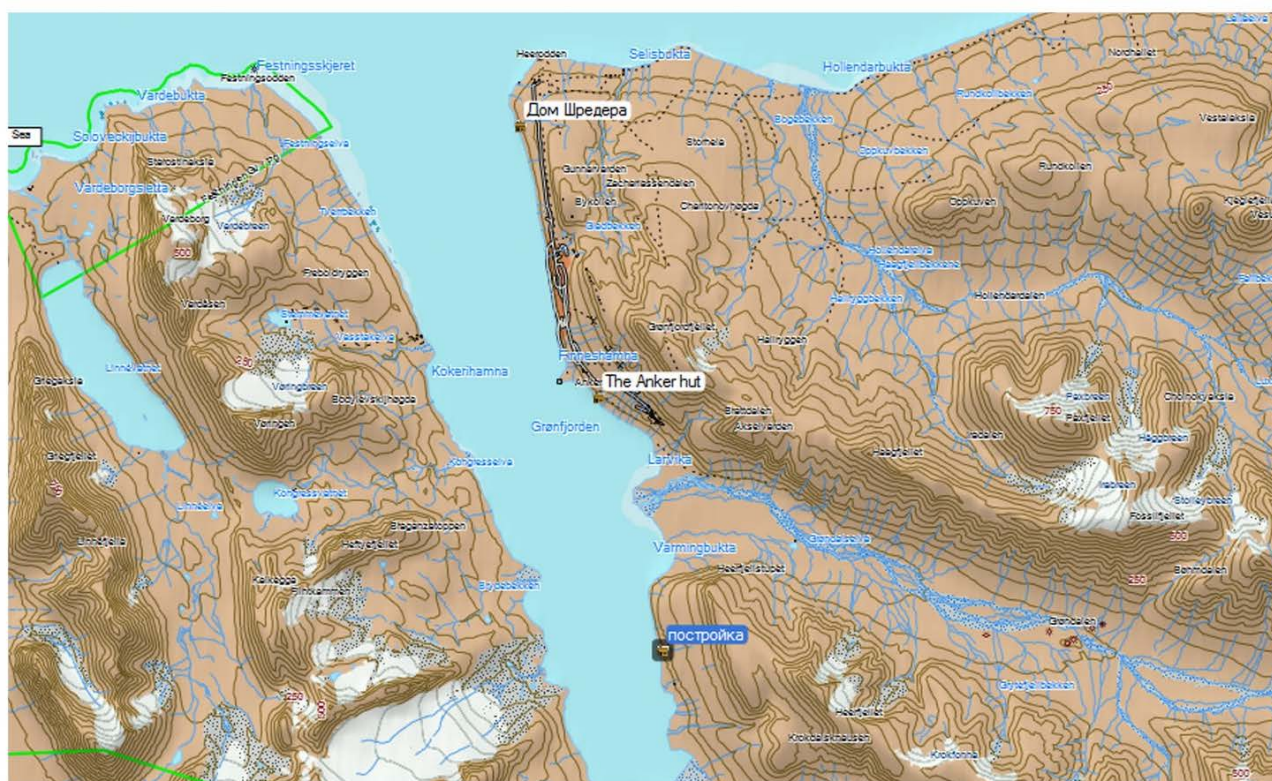


Рисунок 2. Памятники угледобывающего производства в Грен-фьорде

В Грен-фьорде (юго-западный рукав Ис-фьорда) были зафиксированы памятники европейского и российского угледобывающего производства первого десятилетия XX в., которые относятся к историческому периоду так называемой индустриальной археологии: мыс Геерродден («Дом Шредера»), «Гринхарбор Компани» на мысе Финнесет («Норвежка»), а также балок, заявочные столбы у горы Геерфеллет и проч. (рис. 2).

«Дом Шредера» на мысе Геерродден (рис. 3) находится вблизи вертолетной площадки («ГРЭ»). Компания Arctic Coal & Co. в 1905 г. установила заявочные столбы в этом районе наравне с остальными участками на восточной стороне Грен-фьорда и возвела там дом в непосредственной близости от Геерродден. Район был еще в 1912 г. приобретен компанией Stavangerexpeditionen, в свою очередь продавшей его Russian Kulfelter Green Harbour в 1914 г., которая и начала угольную добычу на мысе Геерродден в 1915 г. А в 30-е гг. эти участки были приобретены государственным трестом «Арктиуголь».

Координаты: 33 x 481068

UTM 8668696



Рисунок 3. «Дом Шредера» на мысе Геерродден

Постройка расположена примерно в 1500 м к юго-западу-югу от мыса Геер на высоте 7 м над уровнем моря. От нее сохранились покрытые мхом и камнями контуры сильно расплывшегося валикообразного подпрямоугольной формы фундамента. Высота остатков фундамента от основания находилась в пределах 10–15 см. Внутри постройки находились мелкие камни и фрагменты железа, в т. ч. и от печки. Владелец постройки Андрис Шредер являлся предпринимателем, активно занимавшимся угольными разработками в Грен-фьорде в первом десятилетии прошлого века [1, с. 49].

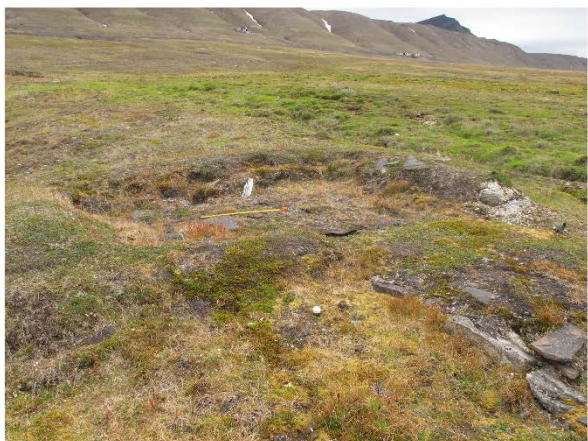
«Дом Анкера» на мысе Финнесет (рис. 4).

Координаты: 33 x 482593

UTM 8662942

Постройка располагалась к югу от мыса Финнесет («Норвежка») и выделялась на поверхности в виде валика подпрямоугольной формы, ориентированного длинной осью вдоль залива с некоторым отклонением в направлении север – юг. Высота валика 15–40 см.

Рисунок 4. «Дом Анкера» на мысе Финнесет



Вход в постройку располагался со стороны моря. Там же лежали несколько относительно крупных преимущественно плоских камней. В пределах жилища зафиксированы камни, небольшие куски дерева и фрагменты железной печки. Дата по письменным источникам – 1909 г. Кристиан Анкер был норвежским разработчиком угольных месторождений в Грен-фьорде примерно в то же время, что и А. Шредер [1, с. 50–52].

Геерфьеллет. Постройка (рис. 5–7).

Координаты: 33 x 483842

UTM 8657575

Сооружение располагалось на высоте 26 м над уровнем моря.

Деревянный балок подпрямоугольной в плане формы (характерное сооружение «Арктикуглы» советской поры), сбитый из горизонтальных планок, обшитых рубероидом, имел почти плоскую крышу с едва намечающимся коньком, ориентированным в направлении север – юг. Крыша также была обшита рубероидом, местами не везде сохранившимся, как, впрочем, и с внешней стороны стен дома.

Рисунок 5. Геерфьеллет. Постройка





Рисунок 6. Геерфьеллет. Постройка

В северной стене сооружения, ближе к его северо-западному углу, выходила наружу печная труба диаметром около 15 см. Дверь и окно располагались в южной стенке. Дверь со временем слетела с петель и лежала снаружи. Сам балок был поставлен на брусы и к настоящему времени накренился в северном направлении.

Деревянное сооружение располагалось в пределах границ довольно обширной старой норвежской постройки (XIX – начала XX в.), которые часто встречаются на архипелаге и обычно связываются со строениями норвежских трапперов или первых разработчиков угледобывающего производства. Оно четко выделялось по мощному валикообразному контуру прямоугольной формы длиной 8,8 м и шириной 6,3 м, ориентированному длинной осью в направлении север – юг. Высота его от уровня основания 0,40–0,70 м, максимальная ширина в основании 1,0–1,2 м. Образовавшийся контур земляного сооружения в виде валика объясняется тем, что большинство построек на архипелаге, в первую очередь норвежских, вокруг обычно обкладывались дерном,



Рисунок 7. Геерфьеллет. Постройка

который использовался в качестве теплоизоляционного материала.

В пределах этой ранней конструкции было разбросано большое количество строительного мусора: фрагменты деревянных досок, куски рубероида, битое стекло, фрагменты железа, в том числе и детали разных печек (трубы, конфорки, заслонки) и т. п. В северо-западном углу балка находилась железная печка с двумя заслонками, а вдоль северной стенки были устроены деревянные нары, западный край которых опирался на деревянную скамейку и вертикально установленную металлическую бочку, снабженную ручками.

Вход в старую норвежскую постройку располагался с северной стороны. За пределами балка, с внутренней восточной стороны земляного валика, ближе к его основанию, частично прослеживались вертикально стоящие и отчасти обгоревшие доски, а также угловой столб-брус, зафиксированный в северо-восточном углу постройки.

За пределами дома также лежали многочисленные фрагменты досок и планок, а также фрагменты железа.

В целом норвежская постройка вполне находит аналогии на памятниках архипелага, но ее выделяют необычайно крупные размеры. Площадь ее составляет, по крайней мере, около 50 м².

Ближайшая аналогия данной конструкции расположена на западном берегу Грен-фьорда на мысе Кокеринесет напротив пос. Баренцбург. Она была исследована Шпицбергенской археологической экспедицией ИА РАН по программе Международного полярного года в 2007 г. [2, с. 541]. Дата ее возведения по историческим источникам – 1901 г. Примерно к этому времени (или немного позднее) относится подобное сооружение на восточном берегу у Геерфьеллет. Балок, как отмечалось выше, характерен для советского пред- и поствоенного времени (30–50-е гг. прошлого века).

За пределами балка, недалеко от восточной стены сооружения, лежала железная печь, судя по надписи – норвежского происхождения, радиатор, каменная наброска и деревянный триангуляционный знак, вероятно, довоенного времени.

Триангуляционный знак (рис. 8).

Координаты: 33 х 0483645

UTM 8658430

Рисунок 8. Геерфьеллет. Триангуляционный знак



Деревянный геодезический знак установлен на высоте 31 м над уровнем моря. Состоял из трех массивных опор-бревен диаметром 12 см, скрепленных в верхней части поперечными планками. Вероятно, представлял собой одну из точек геодезической сети этого района Грен-фьорда, составленной работниками треста «Арктикуголь» советского периода. Маркировок на триангуляционном знаке не зафиксировано.

Под ним, в геометрическом центре между тремя опорами, в земляной грунт вбита полая железная труба диаметром 0,60 см. Высота ее от поверхности 63 см.

Кроме этого, на Геерфьеллет зафиксированы заявочные знаки:

1. Координаты: 33 х 0483717

UTM 8658543

Железный стержень Г-образный в сечении высотой 1,5 м, углубленный в грунт. К моменту фиксации находился под наклоном (около 60°) в сторону залива. В самом верху креста имеются три клепки, которыми крепились заявочная железная табличка, находившаяся в основании. Она имела прямоугольную форму (35 х 25 см) и толщину 0,5 см. На ней посредством небольших круглых сквозных небольших отверстий изображена маркировка собственника участка с указанием датировки заявочного знака: «F. H. 1910» (рис. 9).

Рисунок 9. Заявочный знак с маркировкой





Рисунок 10. Заявочный знак без маркировки

2. Координаты: 33 x 0483755
UTM 8658788

Железный знак полностью идентичен предыдущему, имел высоту 1,35 м и также был углублен в землю. Табличка с маркировкой отсутствовала (рис.10).

В целом зафиксированные памятники на восточном берегу Грен-фьорда относятся к первой трети прошлого века и ограничиваются в хронологическом отношении довоенным временем. Все они связаны с зарождением угледобывающего производства в этом районе Шпицбергена, за исключением деревянного балка, относящегося к хозяйственно-производственной деятельности государственного треста «Арктикуголь».

Следует отметить, что, по данным скандинавских исследователей конца XIX – начала XX вв. (Б. Кейльхау, В. Карлхейм-Гюлленшельд, Х. Норберг), в районе Грен-фьорда отмечено относительно большое число поморских становищ [3, с. 92; 115, 117]. Но при проведении археологических разведок, ведущихся еще с начала 80-х годов прошлого столетия в указанном районе, включая берега Ис-фьорда, эти становища не были обнаружены, за исключением западного берега залива, где сохранился комплекс памятников на мысе Кокеринесет. Это объясняется тем, что исследуемая территория подверглась за более чем столетний индустриальный период своей истории мощному антропогенному воздействию, приведшему хотя и к непроизвольному, но неизбежному уничтожению более ранних (а ими были поморские становища) памятников в этом районе архипелага в результате промышленной деятельности.

Например, на мысе Финнесет («Норвежка»), вероятно, когда-то располагалось и становище, но, поскольку здесь начиная с прошлого столетия велась интенсивная промысловая и промышленная деятельность: сначала возникла норвежская китобойная станция, а с 1911 г. действовала радиотелеграфная станция Грен-фьорд-радио [4, с. 17], – памятники предшествующей эпохи вряд ли могли сохраниться, как и на остальных участках восточного берега залива Грен-фьорд.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dole N. Haskell. America in Spitsbergen. The Romance of an Arctic Coal-mine. Boston: Marshall Jones Co., 1922. 556 p. URL: <https://archive.org/stream/americainspitsb00dole-goog?ref=ol#page/n10/mode/2up> (дата обращения: 30.03.2018).
2. Ануфриев В.В., Державин В.Л., Прокурнов В.В., Старков В.Ф. Исследования Шпицбергенской экспедиции и Международный Полярный год // Археологические открытия 2007 года. М.: «Языки славянской культуры», 2010. С. 541–542.
3. Старков В.Ф. Первые археологические раскопки на архипелаге Шпицберген. М.: ТАУС, 2011. 127 с.
4. Самойлович Р.Л. Остров Шпицберген и первая русская научно-промысловая экспедиция. Архангельск: губ. тип., 1913. 38 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО КЛИМАТА

Н.И. Осокин*, Э.П. Зазовская, А.В. Сосновский
Институт географии РАН
*e-mail: osokin@mail.ru

Введение

Современные климатические изменения в районах распространения многолетней мерзлоты приводят к нагреванию, оттаиванию и деградации многолетнемерзлых пород. Оттаивание многолетней мерзлоты, занимающей до 65 % площади России, уже сейчас приводит к снижению несущей способности свайных фундаментов, потере устойчивости и деформации опор нефте- и газопроводов, многочисленным авариям и чрезвычайным ситуациям. Одним из районов распространения многолетней мерзлоты является архипелаг Шпицберген. Шпицберген – естественный полигон, где можно эффективно изучать и исследовать влияние разных природных и антропогенных факторов на состояние и устойчивость многолетнемерзлых пород.

На термическое состояние и устойчивость многолетней мерзлоты оказывает влияние не только изменение температуры воздуха, но и состояние снежного покрова [1, 2]. Снежный покров является естественным теплоизолятором, изменения параметров которого могут ускорить или замедлить деградацию многолетнемерзлых пород при климатических изменениях. При математическом моделировании влияния снежного покрова на термический режим грунтов значительно расширяется спектр характеристик снежного покрова, являющихся входными параметрами модели промерзания – протаивания почв и грунтов [3]. К параметрам, определяющим теплозащитные свойства снежного покрова, относятся плотность снега, термическое сопротивление снежного покрова, динамика

снегонакопления, сдвиг времени установления снежного покрова относительно времени наступления отрицательных температур, продолжительность залегания и стратиграфия снежного покрова. В работе [4] рассмотрены аномальные и экстремальные значения высоты снежного покрова, сроки установления и схода снежного покрова, продолжительности его залегания, динамика снегонакопления, продолжительность оттепелей и количество жидких осадков на архипелаге Шпицберген. Влияние этих параметров и их динамики на промерзание грунта было рассмотрено в ряде работ [2, 3, 5]. Так, в последние годы продолжительность залегания снежного покрова сократилась на 8 %. Произошел значительный рост суммарной продолжительности оттепелей и количества жидких осадков в холодный период года, влияющих на стратиграфию снежной толщи и ее теплозащитные свойства.

Влияние снежного покрова на термический режим грунта

Результаты наших измерений с применением самозаписывающих термохрон показали, что при мощности снежного покрова 1 м температура поверхности грунта не опускается ниже -3°C , а на глубине 1 м не опускается ниже -1°C (рис. 1).

Наши расчеты и измерения в районе криосферного полигона в окрестностях пос. Баренцбург показали, что при высоте снежного покрова 2 м температура поверхности грунта в зимний период не опускается ниже -1°C . При сохранении значения высоты снежного покрова на уровне 2 м и более в ряде случаев (отсутствие мохового покрова, повышенная влажность грунта и др.) может сформироваться слой несливающейся мерзлоты, что ослабит прочностные свойства и несущую способность грунта [6].

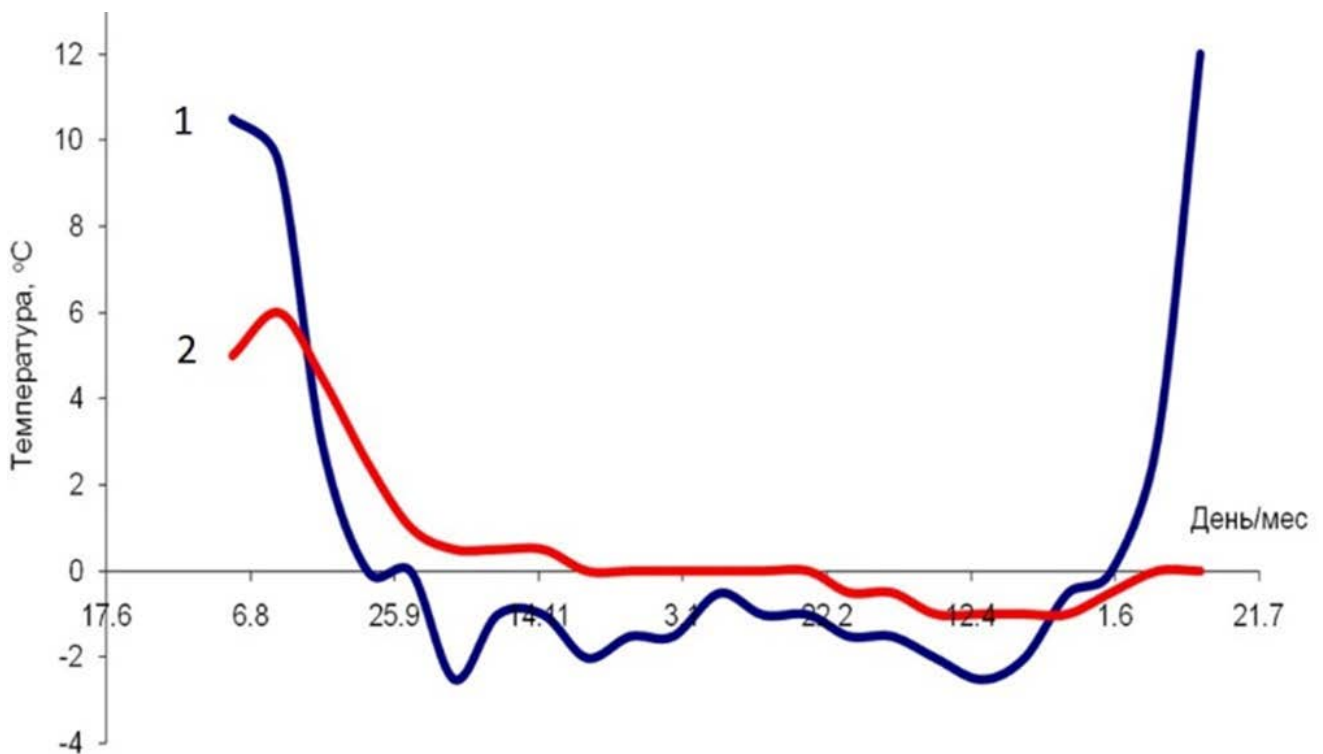


Рисунок 1. Температура грунта на глубине: 1 – 1 см; 2 – 100 см

Современное потепление климата на архипелаге, вызванное в основном ростом отрицательных температур воздуха [4, 6], и динамика параметров поверхностных покровов оказывают значительное влияние на термический режим грунтов [7] и могут привести к снижению их прочностных свойств и несущей способности.

Одним из важнейших параметров снежного покрова, влияющим на промерзание и термический режим грунта, является его высота. Высота снежного покрова в значительной степени определяет возможную изменчивость глубины промерзания сезонно-мёрзлого грунта и термический режим сезонно-талого грунта. Наряду с изменением максимальной толщины снежного покрова, глубина промерзания грунта зависит также от внутригодовой динамики метеопараметров, в частности от динамики снегонакопления в первой половине холодного периода [2, 8]. Так, достаточно тонкий снежный покров в начале зимы и низкие температуры воздуха способствуют быстрому промерзанию грунта. Поэтому к важным характеристикам относятся толщина снежного покрова в ноябре – декабре, когда в основном и происходит промерзание сезонно-талого слоя, и её соотношение с наибольшей толщиной снежного покрова. Наши расчеты показали

[8], что отличие в глубине промерзания грунта при разной динамике снегонакопления может превысить 50 %. Одна из характеристик динамики снегонакопления – отношение толщины снежного покрова до 1 января к максимальной толщине снега – Δh . На Западном Шпицбергене значение Δh с 1984 г. выросло, согласно тренду, с 0,44 до 0,62. В последние годы на Западном Шпицбергене более 60 % толщины снежного покрова формируется в первой трети холодного времени года. В результате ухудшаются условия промерзания грунта, что особенно актуально с учетом роста температуры воздуха в зимний период [6].

Влияние мохового покрова на термический режим грунта

Важным фактором, влияющим на глубину промерзания, термический режим грунта и сохранение многолетней мерзлоты является моховой покров. На архипелаге Шпицберген средняя суточная положительная температура воздуха составляет порядка 4–6 °C. Поэтому моховой покров, снижающий температуру поверхности грунта на несколько градусов, оказывает значительное влияние на термический режим грунта. Наши измерения показали, что температура грунта под 8-сантиметровым моховым покровом на 4 °C ниже, чем в его отсутствие (рис. 2), а температурный градиент во мху на порядок больше, чем в грунте.

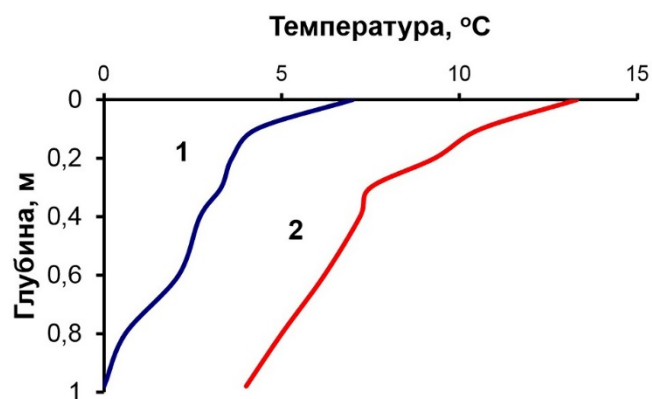


Рисунок 2. Температура грунта: 1 – под моховым покровом толщиной 8 см; 2 – без мохового покрова

Глубина проникновения суточных колебаний температуры воздуха в грунт составляла под моховым покровом 0,1 м, тогда как в отсутствие мохового покрова эта величина составляла 0,3 м. Скорость протаивания грунта в конце июля – начале августа составляет около 1 см в сутки. При моховом покрове толщиной 7–8 см эта скорость в три раза ниже. Эти результаты по влиянию мохового покрова на температурный режим грунта были получены на разных площадках для разного вида мха с разными теплофизическими свойствами. Для оценки влияния мохового покрова на термическое состояние грунта необходимо знание теплофизических свойств основных видов мха, преобладающих на данной территории. В настоящее время имеются только разрозненные усредненные для нескольких видов мха данные по их теплофизическим свойствам.

Моховой покров отличается большим видовым разнообразием. Причем разные виды мха обладают разной толщиной и теплофизическими свойствами. Важным параметром, определяющим в значительной степени изменчивость термического сопротивления мохового покрова, является его влажность – отношение веса воды к весу сухого мха. В холодный период года вода во мху замерзает, что может значительно увеличить коэффициент теплопроводности мохового покрова и понизить его теплоизолирующие свойства. Для определения теплофизических свойств мохового покрова были проведены экспериментальные исследования. Их целью являлось как исследование влияния мохового покрова на температурный режим

грунта, так и определение теплофизических параметров некоторых видов мхов, наиболее распространенных на Западном Шпицбергене.

Были определены значения коэффициентов теплопроводности скелета мха разного вида, что позволяет рассчитать коэффициенты теплопроводности мха при разной влажности при положительных и отрицательных температурах. Было показано, что теплопроводность мха зимой в 3–4 раза выше, чем летом (рис. 3).

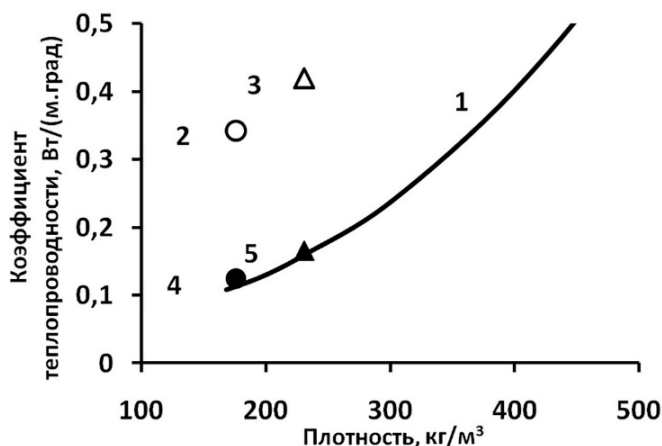


Рисунок 3. Коэффициенты теплопроводности: 1 – снега; 2 и 4 – мха *H. splendens* var *alaskanum*; 3 и 5 – мха *S. uncinata*; 2 и 3 – зимой, 4 и 5 – летом

Таким образом, в холодный период года моховой покров не является существенным препятствием для выхолаживания подстилающих пород. В период с положительными температурами воздуха наличие мохового покрова снижает температуру грунта и значительно уменьшает глубину его протаивания. Применение полученных зависимостей коэффициентов теплопроводности мха позволит точнее прогнозировать влияние климатических изменений на термическое состояние многолетнемерзлых пород и их деградацию.

Оценка условий деградации многолетней мерзлоты архипелага Западный Шпицберген

Деградация многолетней мерзлоты вызывается образованием несливающейся мерзлоты, переходящей в талик. Это происходит при росте температуры воздуха и толщины снежного покрова до их критических значений.

Для оценки условий деградации многолетней мерзлоты архипелага Западный Шпицберген были

проведены расчеты по апробированной математической модели [6]. За основу были приняты теплофизические параметры снежного покрова Шпицбергена. Расчеты были проведены для супеси влажностью 18 %, которая была определена в ходе экспериментальных исследований в разных районах Шпицбергена. Средняя суточная положительная и отрицательная температура воздуха и их тренды за период 1982–2013 гг. принимались по данным метеостанции Баренцбург. Пример расчета деградации мерзлоты (при средней отрицательной $-7,8^{\circ}\text{C}$ и положительной $4,9^{\circ}\text{C}$ температуре воздуха и толщине снега 2 м) приведен на рис 4.

Из рис. 4а видно, что в конце холодного периода талый грунт полностью промерзает, тогда как на рис. 4б фронт промерзания не достигает верхней кровли мерзлоты и остается слой талого грунта. При его увеличении в дальнейшем сформируется талик.

Выводы

Климатические изменения приводят к изменению характеристик снежного покрова, влияющих на термическое состояние и устойчивость многолетнемерзлых грунтов. Изменение параметров снежного покрова оказывает разнонаправленное влияние на термическое состояние и устойчивость многолетней мерзлоты. Так, изменение динамики снегонакопления и выпадение большей части твердых осадков в первой трети холодного периода увеличивают теплозащитную роль снежного покрова и ухудшают условия промерзания грунта. С другой стороны, увеличение количества жидких осадков, изменяющих стратификацию снежной толщи и уменьшающих термическое сопротивление снежного покрова, может способствовать промерзанию грунта. Однако при этом часть природного холода будет потрачена на промерзание жидкой влаги в снежном покрове. Поэтому говорить

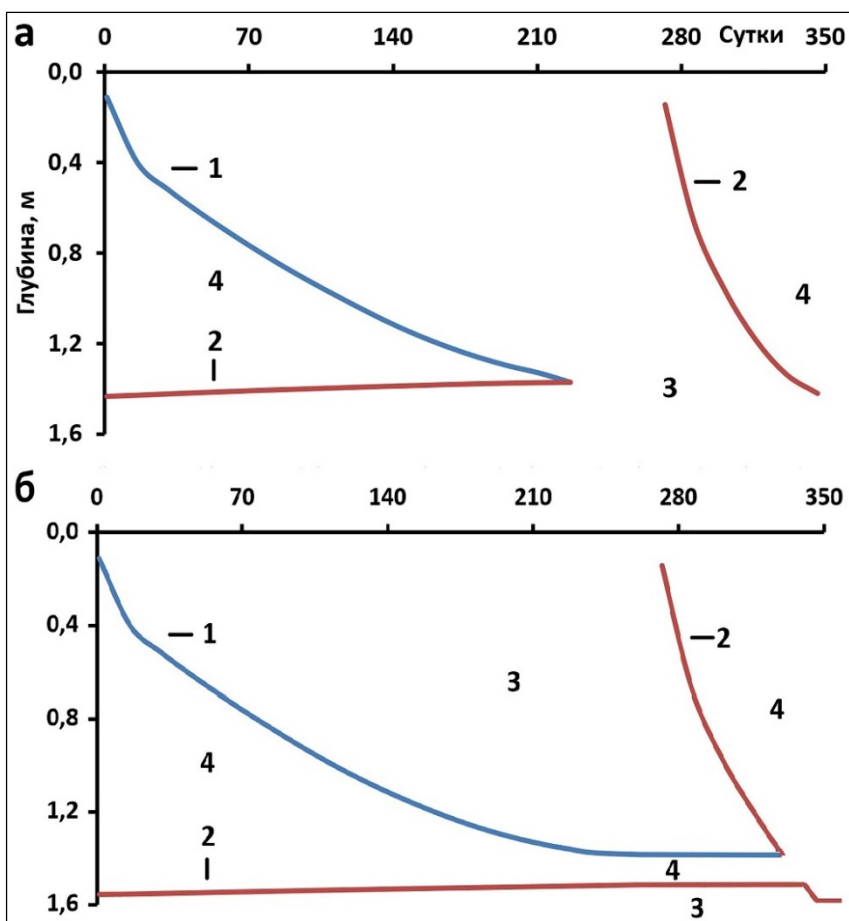


Рисунок 4. Пример расчета промерзания – протаивания влажного грунта без мохового покрова: а – на 4-й год от начала промерзания; б – на 9-й год: 1 и 2 – положение фронта промерзания и оттаивания грунта; 3 – мерзлый грунт; 4 – талый грунт. Отсчет суток от начала промерзания грунта

об одностороннем или преобладающем действии одного из рассмотренных факторов на устойчивость многолетней мерзлоты затруднительно. Здесь нужны дальнейшие наблюдения и модельные расчеты для оценки воздействия разных параметров снежного покрова с учетом аномальных и экстремальных значений и их комплекса на термический режим многолетней мерзлоты.

Установлено, что незначительное повышение зимней температуры воздуха, как и небольшое повышение термического сопротивления снежного покрова или уменьшение термического сопротивления мохового покрова, может привести к неполному промерзанию сезонно-талого слоя и в дальнейшем к образованию талика и деградации многолетней мерзлоты на высоте около 70 м над уровнем моря. Именно на этом высотном уровне и ниже расположен российский пос. Баренцбург.

Благодарности

Работа выполнялась в рамках фундаментальных научных исследований по проекту «Оценки современного состояния и текущих изменений внутреннего гидротермического режима ледников, с выделением данных по эталонным ледникам» рег. № 01201352474 и по Программе Президиума РАН № 55 «Арктика – научные основы новых технологий освоения, сохранения и развития»; экспедиционные исследования на архипелаге Шпицберген проводились при финансовой поддержке гос. задания № 0148-2017-0005 и логистической помощи РНЦШ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Осокин Н.И., Сосновский А.В., Накалов П.Р., Ненашев С.В.* Термическое сопротивление снежного покрова и его влияние на промерзание грунта // *Лёд и Снег*. 2013. Т. 53, № 1. С. 93–103. <http://dx.doi.org/10.15356/2076-6734-2013-1-93-103>
2. *Павлов А.В.* Мониторинг криолитозоны: монография. Новосибирск: ГЕО, 2008. 225 с.
3. *Осокин Н.И., Самойлов Р.С., Сосновский А.В., Сократов С.А.* О роли некоторых природных факторов в промерзании грунтов // *Материалы гляциологических исследований*. М., 2000. Вып. 88. С. 41–45. URL: <http://www.webgeo.ru/books/MGI/88.pdf> (дата обращения: 05.04.2018).
4. *Осокин Н.И., Сосновский А.В.* Динамика параметров снежного покрова, влияющих на устойчивость многолетней мерзлоты на архипелаге Шпицберген // *Лёд и Снег*. 2016. Т. 56, № 2. С. 189–198. <http://dx.doi.org/10.15356/2076-6734-2016-2-189-198>
5. *Осокин Н.И., Самойлов Р.С., Сосновский А.В.* Оценка влияния толщины снежного покрова на деградацию мерзлоты при потеплении климата // *Известия Российской академии наук. Сер. географическая*. 2006. № 4. С. 40–46.
6. *Осокин Н.И., Сосновский А.В., Накалов П.Р., Чернов Р.А., Лаврентьев И.И.* Климатические изменения и возможная динамика многолетнемерзлых грунтов на архипелаге Шпицберген // *Лёд и Снег*. 2012. Т. 52, № 2. С. 115–120. <http://dx.doi.org/10.15356/2076-6734-2012-2-115-120>
7. *Шмакин А.Б., Осокин Н.И., Сосновский А.В., Зазовская Э.П., Борзенкова А.В.* Влияние снежного покрова на промерзание и протаивание грунта на Западном Шпицбергене // *Лёд и Снег*. 2013. Т. 53, № 4. С. 52–59. <http://dx.doi.org/10.15356/2076-6734-2013-4-52-59>
8. *Осокин Н.И., Сосновский А.В.* Влияние динамики температуры воздуха и высоты снежного покрова на промерзание грунта // *Криосфера Земли*. 2015. Т. XIX, № 1. С. 99–105.

ИССЛЕДОВАНИЯ МУРМАНСКОГО МОРСКОГО БИОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА В РАЙОНЕ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН В 2017 г.

**П.Р. Макаревич, Д.В. Моисеев*, Н.В. Лебедева,
Г.М. Воскобойников, О.Л. Зимина, Г.В. Ильин,
Д.О. Салахов, Н.Е. Касаткина**

**Мурманский морской биологический институт
КНЦ РАН**

*e-mail: denis_moiseev@mmbi.info

Архипелаг Шпицберген, в силу своего географического положения, особенностей формирования наземных и морских экосистем, представляет собой уникальный полигон для изучения всего спектра ответных реакций природной среды высокоширотной Арктики на внешнее воздействие естественного и антропогенного происхождения на фоновом уровне. Кроме того, архипелаг является одним из немногих полярных районов Земли, где компоненты природной среды длительное время вовлечены в хозяйственную деятельность человека.

Обеспечение российского присутствия на архипелаге Шпицберген является одним из стратегических приоритетов государственной политики Российской Федерации в Арктике. Мурманский морской биологический институт проводит научные исследования в районе архипелага Шпицберген с 1960-х гг. Начиная с 1990-х гг. исследования приобрели комплексный экосистемный характер, когда изучаются все компоненты морских экосистем – от планктона до белого медведя. Исследования проводились как с борта собственных НИС («Дальние Зеленцы» и «Помор»), так и с НИС дружественных научных организаций («Ян-Майен», «Полярштерн» и др.).

В ходе этих экспедиций был собран обширный материал, анализ которого позволил получить новые сведения о современном состоянии, структуре и функционировании абиотических и биотических составляющих экосистем Гренландского и Баренцева морей

в районе Шпицбергена. Были получены уникальные данные о функционировании пелагических и бентических сообществ в разные сезоны и годы. Собраны и проанализированы данные о структуре популяций морских птиц, почвенных микроартропод и паразитов. Сделана оценка современных процессов осадконакопления в районе Грен-фьорда.

В 2010 г. в районе Баренцбурга для обеспечения комплексных экосистемных исследований на архипелаге Шпицберген, в особенности в районе Грен-фьорда, была построена Биогеостанция ММБИ. Высокоширотная биогеостанция ММБИ создана для обеспечения комплексных экосистемных исследований на архипелаге Шпицберген. Она является одной из самых северных биостанций РФ в Арктике (севернее 78° с.ш.) Состоит из двух зданий: лабораторного корпуса и контейнера-гаража. Полевой стационар укомплектован лабораторным оборудованием для первичного анализа биологических проб и обработки данных. Имеется зал для совещаний, мини-кухня. Отдельно расположен контейнер для хранения лодки, мотора и экспедиционного снаряжения.

До 2016 г. финансирование научных исследований ММБИ и других научных организаций на архипелаге Шпицберген осуществлялось через ФГУП «Государственный трест «Арктикуголь». В конце 2016 г. вопрос о дальнейшем бюджетном финансировании исследований Шпицбергена был открыт. На заседании Наблюдательного совета по координации деятельности Российского научного центра на архипелаге Шпицберген в декабре 2016 г. между представителями заинтересованных в дальнейшем изучении архипелага сторон обсуждался вопрос о направлении бюджетного финансирования на исследования в 2017 г. через учредителей научных организаций. Для ММБИ учредителем является ФАНО России. После заседания

Наблюдательного совета начался процесс открытия новой темы госзадания, посвященной исследованиям Шпицбергена. В итоге к августу 2017 г. была согласована тематика и подтверждено бюджетное финансирование новой темы госзадания ММБИ «Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген». Тема носит межлабораторный характер и продолжает проведенные ММБИ ранее исследования на Шпицбергене.

При проведении исследований в рамках темы НИР «Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген» в 2017 г. первоочередное внимание было уделено изучению следующих аспектов:

- 1) анализ данных о состоянии водных масс на акваториях архипелага;
- 2) закономерности пространственного распределения вирио-, бактерио-, фито- и зоопланктона в прибрежных водах Шпицбергена;
- 3) новые данные по экологии донных организмов, разнообразию, динамике и функциональным особенностям зообентоса в прибрежных экосистемах архипелага;
- 4) оценка распространения и запасов макрофитов в прибрежной зоне Шпицбергена;
- 5) выявление основных экологических факторов,

влияющих на состав, структуру и динамику разнообразия птиц и морских млекопитающих;

6) оценка роли модельных видов мигрирующих птиц в формировании разнообразия почвенных микроартропод на Шпицбергене;

7) анализ уровней химического и радиоактивного загрязнения в среде и биоте архипелага;

8) базы данных компонентов морских экосистем как основы оптимального планирования мероприятий по охране окружающей среды на архипелаге Шпицберген.

В ходе реализации темы научно-исследовательская деятельность осуществлялась по трем блокам:

1) сбор научного материала в морских и береговых экспедициях непосредственно на Шпицбергене;

2) аналитическая обработка полевого материала в лабораториях Института в Мурманске и в лаборатории Шпицбергенской биогеостанции ММБИ в Баренцбурге;

3) публикация научных статей в различных изданиях, а также популяризация научных исследований.

Экспедиционные работы в районе архипелага Шпицберген в 2017 г. выполнялись по двум основным направлениям:

1. Морские исследования на НИС «Дальние Зеленцы» в районе архипелага Шпицберген в июле и ноябре 2017 г. (рис. 1). В июле объем работ составил

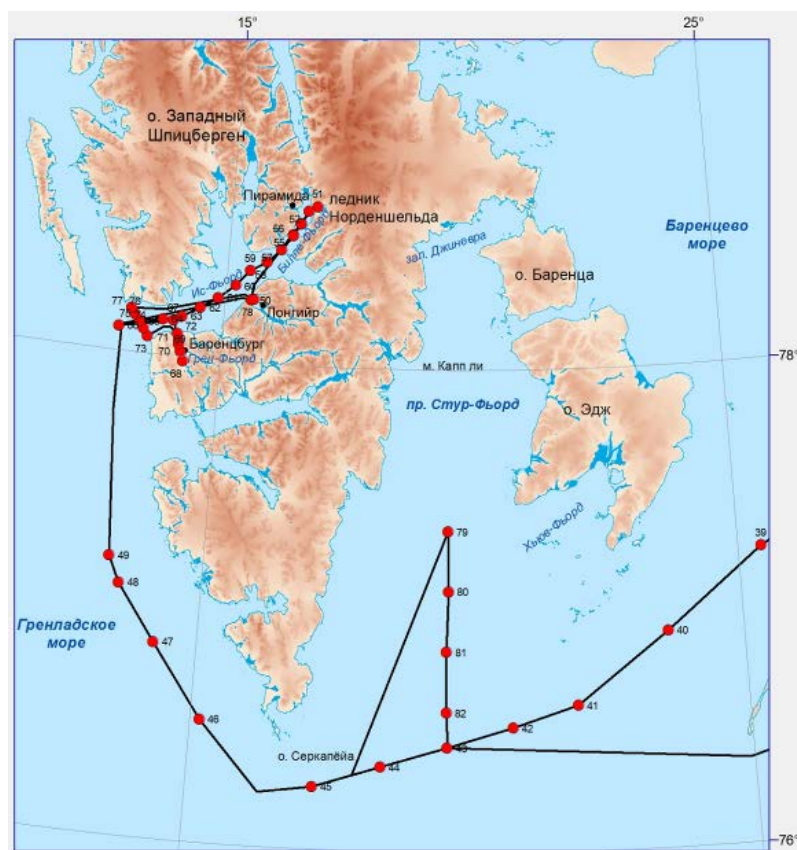


Рисунок 1. Районы экспедиционных исследований ММБИ на НИС «Дальние Зеленцы» в районе Шпицбергена в июле и ноябре 2017 г.

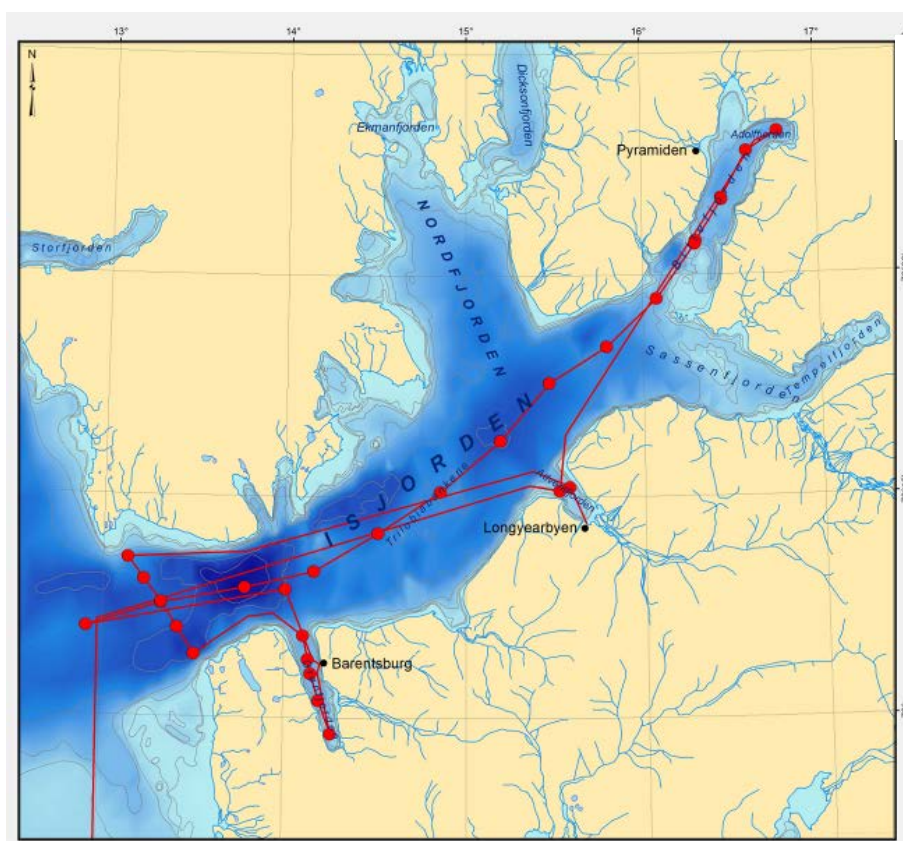


Рисунок 2. Станции и маршрут в территориальных водах архипелага Шпицберген, в заливе Ис-фьорд

85 чел./суток, в ноябре – 135 чел./суток. В экспедициях принимали участие сотрудники ММБИ, ААНИИ, МГТУ, ЧГУ, UNIS, UiT. По специальному разрешению, полученному от норвежских властей, судно работало в территориальных водах архипелага (рис. 2). Экспедиционные исследования носили комплексный характер. Основной объем данных, полученных в ходе исследований, находится в процессе обработки и анализа.

2. Береговые наблюдения в районе Баренцбурга.

Местом базового размещения участников береговой экспедиции и предварительной обработки первичного полевого материала была Шпицбергенская биогеостанция ММБИ в Баренцбурге (рис. 3). В 2017 г. исследования в районе Баренцбурга проводились в июле (18 чел./суток), августе – сентябре (69 чел./суток) и ноябре (24 чел./суток). Проведены альгологические, бентологические и орнитологические исследования в районе залива Грен-фьорд. Продолжалось изучение процессов осадконакопления и уровней радиоактивного загрязнения.



Рисунок 3. Биогеостанция ММБИ на Шпицбергене

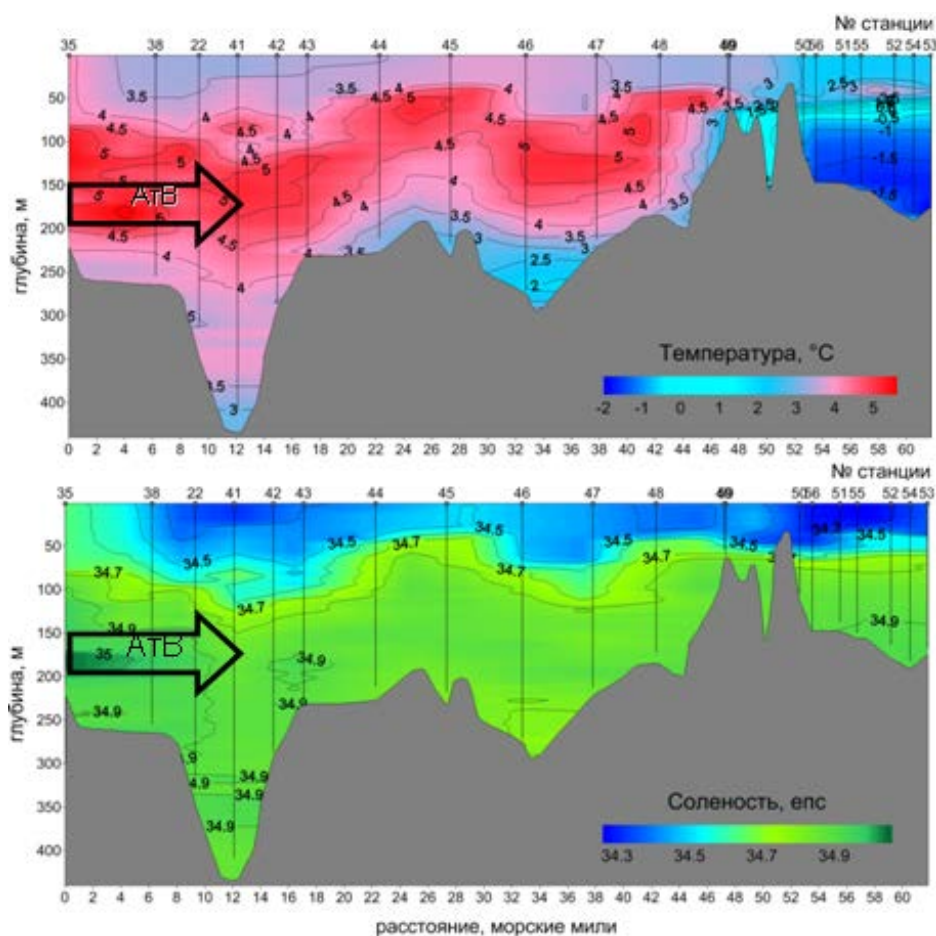


Рисунок 4. Распределение температуры и солёности на продольном разрезе через Ис-фьорд в ноябре 2017 г. Стрелками показано направление затока атлантических вод (АтВ)

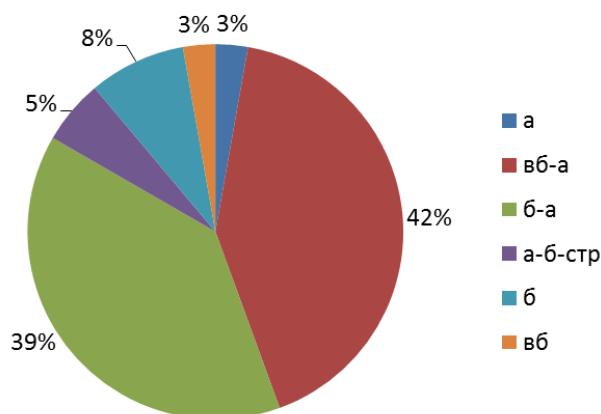
Основные результаты исследований в 2017 г.

1. Проведен сравнительный анализ термохалинных данных для залива Ис-фьорд за период 2001–2017 гг. Показано, что в 2017 г. в Ис-фьорде наблюдался повышенный заток вод атлантического происхождения. Своего максимума он достиг в ноябре 2017 г. (рис. 4).

2. В бентосных фитоценозах залива Грен-фьорд выявлено высокое для архипелага обилие бореальных видов (рис. 5), что обусловлено влиянием атлантических водных масс. Впервые отмечены следующие виды макрофитов: *Petalonia fascia* (Müller) Kunze, *Punctaria plantaginea* (Roth) Greville, *Stictyosiphon griffithianus* (Le Jolis) Holmes.

3. В ноябре 2017 г. в лаборатории РАЭ-Ш проведен эксперимент по измерению фотосинтетической и дыхательной активности водорослей йодометрическим методом. Известно, что в период полярной ночи на архипелаге Шпицберген наблюдается отсутствие видимого фотосинтеза у морских макрофитов. Процессы дыхания преобладают у всех исследуемых видов водорослей (рис. 6). Показано влияние лунного света на процессы фотосинтеза ламинариевых и фукусов в условиях полярной ночи. В этот период рассеянного лунного света вполне хватает для поддержания жизнедеятельности растений.

Рисунок 5. Фитогеографическая характеристика растительности Грен-фьорда: а – арктические виды, вб-а – высоко-бореальные, б-а – бореально-арктические, фб-с – аркто-бореально-субтропические, б – бореальные, вб – высокобореальные



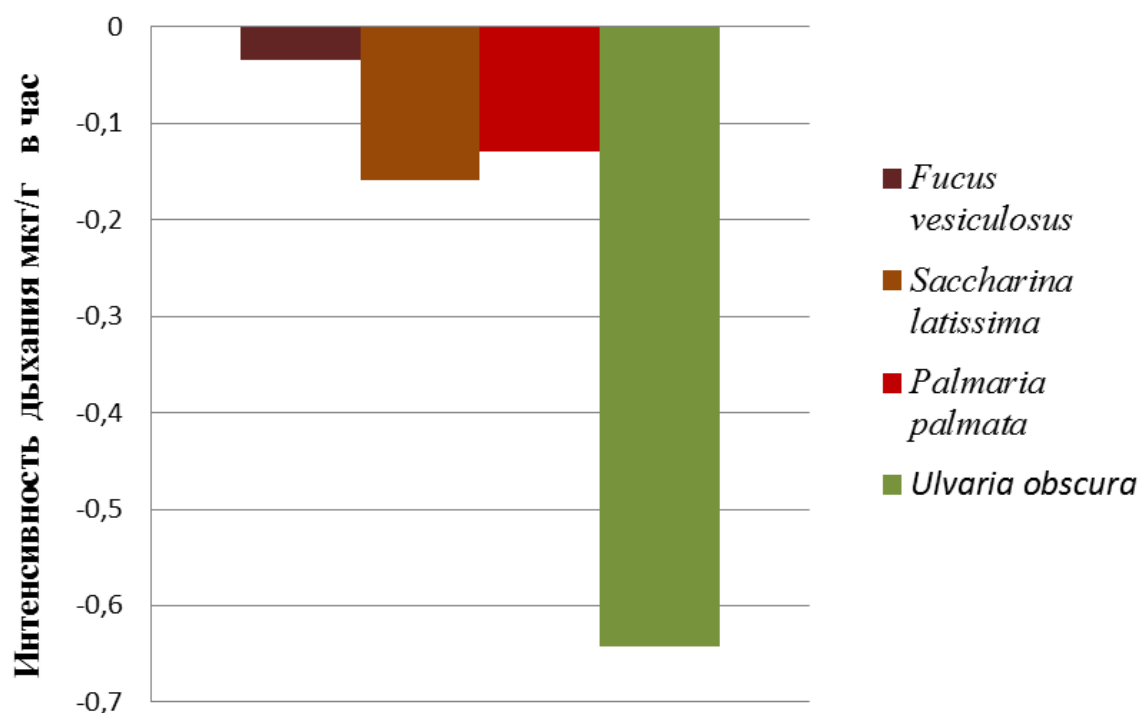
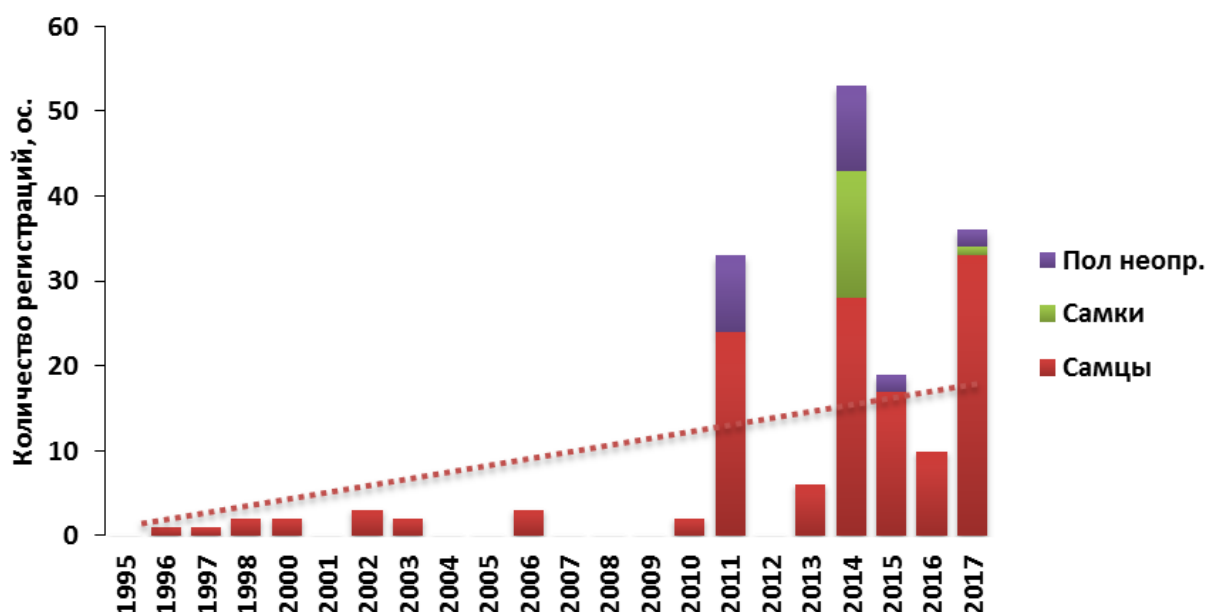


Рисунок 6. Показатели интенсивности дыхания у различных видов макрофитов

4. Впервые представлено описание качественного и количественного состава литоральной фауны залива Грен-фьорд для зимне-весеннего периода. Выявлено 30 таксонов беспозвоночных, не покидающих литораль даже в зимнее время и способных переносить полное замораживание в период отлива.

Рисунок 7. Показатели регистрации кряквы на архипелаге Шпицберген

5. Получены новые данные о пребывании кряквы на архипелаге Шпицберген (рис. 7). Увеличение численности залетов кряквы *Anas platyrhynchos* на Шпицберген отражает климатические изменения на архипелаге.



6. Впервые исследовано валовое содержание ртути в среде обитания и гидробионтах Грен-фьорда. В воде концентрация ртути была ниже предела обнаружения, в донных осадках варьировала в пределах фоновых величин. Содержание ртути в гидробионтах увеличивалось в направлении кутовой части залива, зависело от положения морских организмов в трофической цепи и было самым высоким в моллюсках детритофагах (рис. 8).

7. На примере системы заливов Ис-фьорда показано, что при современной дегляциации арктических архипелагов сток ледников играет заметную роль в формировании радиоэкологического состояния морского побережья и определяет уровень обогащения морской среды техногенными радиоизотопами, ранее погребенными в ледовом покрове.

Непосредственно в морских и береговых полевых работах на архипелаге Шпицберген в 2017 г. принимали участие 30 специалистов ММБИ. Присутствие сотрудников Института на архипелаге составило 319 чел./дней. По итогам исследований опубликовано восемь научных работ, защищена кандидатская диссертация. Результаты НИР были представлены на российских и международных конференциях. Сформированы цели и задачи исследований ММБИ на Шпицбергене в 2018 г.

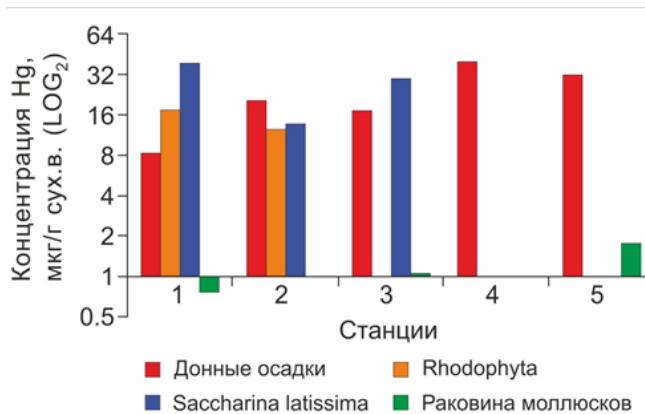
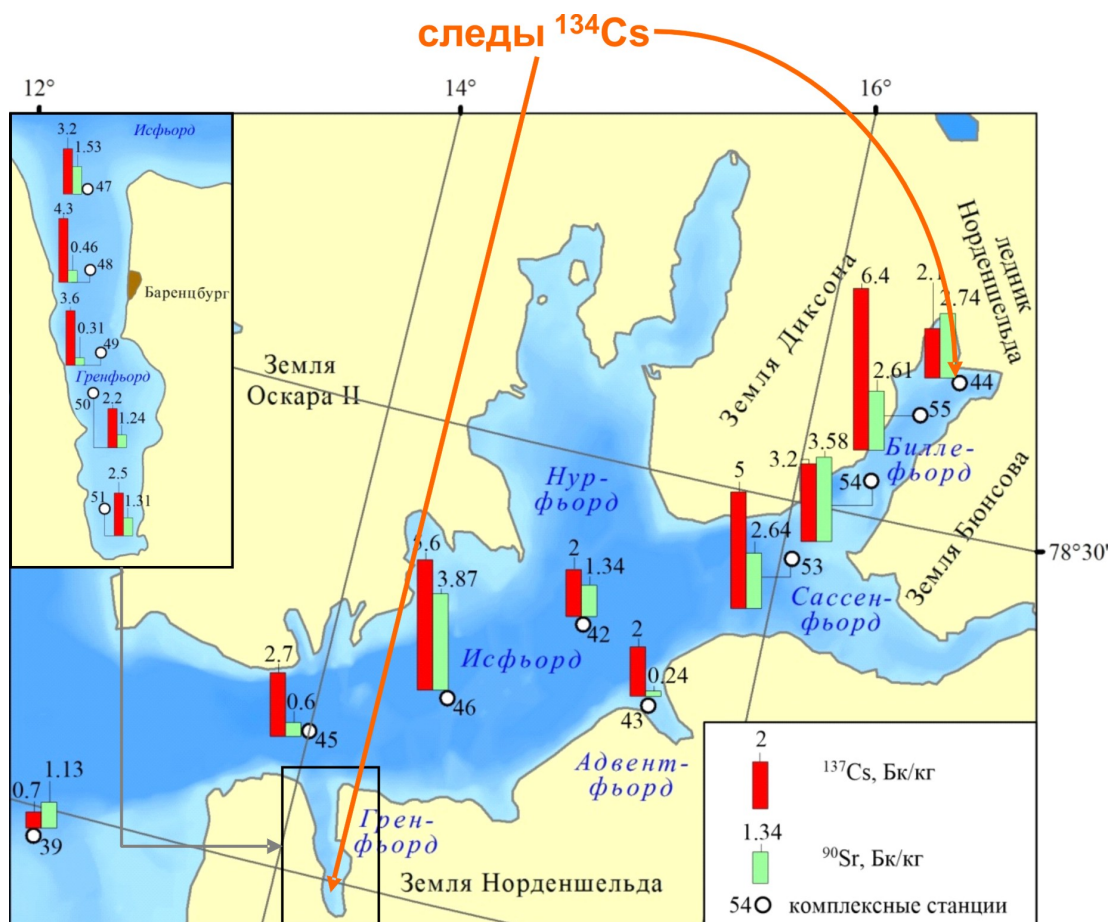


Рисунок 8. Уровни ртути в среде и биоте в заливе Грен-фьорд

Рисунок 9. Распределение удельной активности техногенных радионуклидов в донных отложениях, Бк/кг



СИСТЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО И АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНОВ В 68-м РЕЙСЕ НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»

**М.Д. Кравчишина*, С.В. Гладышев, А.Н. Новигатский,
А.А. Ключиткин, О.В. Копелевич, А.П. Лисицын**
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

*e-mail: kravchishina@ocean.ru

Рейс № 68 НИС «Академик Мстислав Келдыш» (29 июня – 19 августа 2017 г., пройдено 8438 морских миль) стал продолжением многолетней программы исследований ИО РАН по двум направлениям: 15-летнего гидрофизического мониторинга в Северной Атлантике на разрезе по 59°30' с.ш. [1]; комплексного изучения седиментосистем Северной Атлантики и граничащей с ней Арктики, – возобновившихся в 2015 г. [2, 3, 4].

Взаимодействие Атлантического и Северного Ледовитого (СЛО) океанов через Баренцево море и пролив Фрама – главная система, формирующая климат Европы и определяющая климат Земли в целом. Исследуемый район работ является ключевым при формировании единой замкнутой системы течений, осуществляющих глобальный перенос тепла, соли, растворенных элементов, газов и осадочного вещества в толще океанских вод. Изучение одновременно рассеянных (взвесь) и концентрированных (донные осадки) форм осадочного вещества позволит судить о среде и климате по записям в водной толще и в толще донных осадков – по природным и приборным самописцам [5].

В 2000-х гг. увеличилась дальность проникновения атлантической воды на север, а вместе с ней вырос перенос тепла в Арктику, что приводит к прогнозируемым климатическим изменениям [6]. Работы в этом регионе являются стратегически важными, здесь решаются главные задачи океанологии

XXI века. Каковы перспективы обоснованного прогноза климата Европы? В какой мере климатические изменения затронут экосистемы Арктики и повлияют на условия ее среды и осадконакопления? Каковы могут быть экологические следствия этих изменений?

Исследования экспедиции позволят расширить вклад России в изучение ключевых процессов, происходящих в области контакта Северной Атлантики и СЛО. Выполнено 59 гидрологических (по 59°30' с.ш.) и 75 комплексных станций, на семи из которых применялись автоматические глубинные седиментационные обсерватории (АГОС) [7].

На первом этапе экспедиции (29 июня – 16 июля) проводились работы, основная цель которых – продолжение долговременного мониторинга состояния гидрологической и кинематической структуры вод Северной Атлантики для выявления современных климатических трендов, а также исследование современной седиментационной системы и получение материала для высокоразрешающих реконструкций палеоклиматических изменений в этом районе океана. Исследования выполнялись на многолетнем разрезе по 59°30' с.ш. (рис. 1).

Основной целью исследований второго этапа экспедиции (17 июля – 18 августа) стало сопряженное изучение условий и процессов современной и древней седиментации с оценкой потоков вещества и загрязнений в области взаимодействия Северной Атлантики и европейской части Арктики для целей обоснованного прогноза климата и среды будущего (рис. 2).

Экспедиция организована ИО РАН с привлечением шести сотрудничающих институтов РАН и вузов Москвы, Севастополя, Петрозаводска и Якутска. Участвовали 46 научных сотрудников, из которых 48 % составляли молодые ученые (до 35 лет).

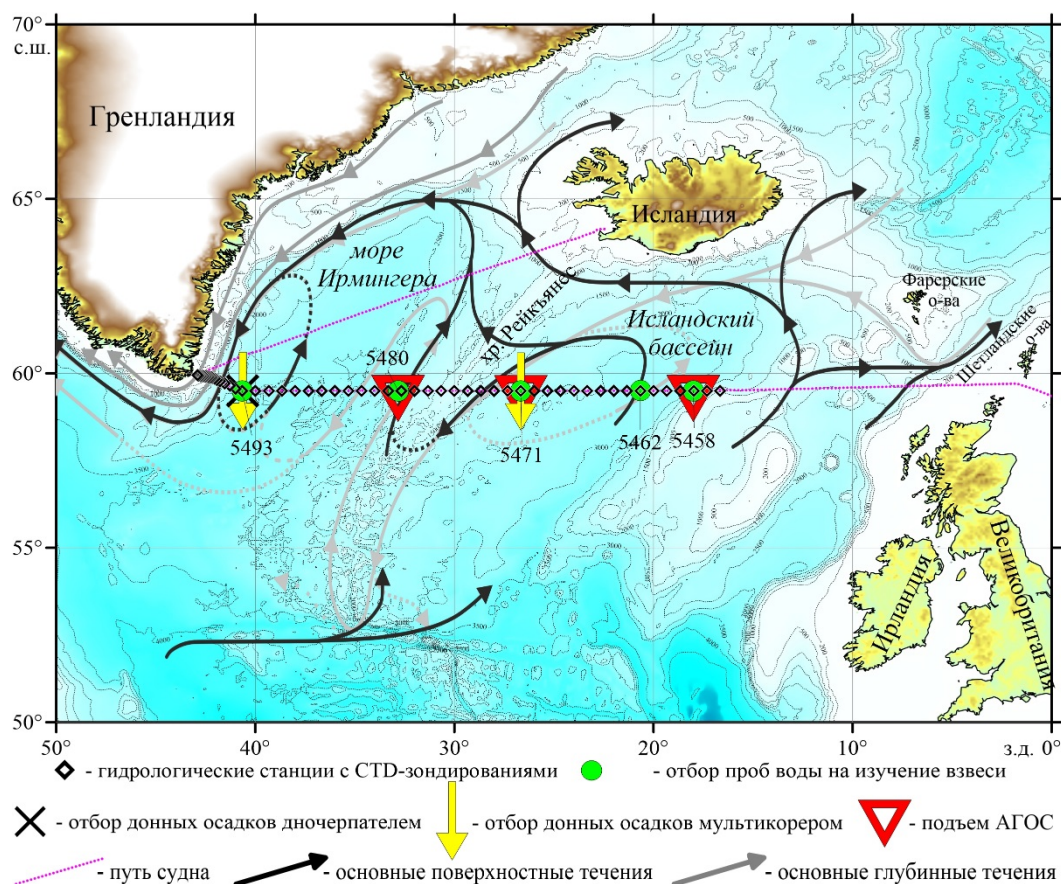
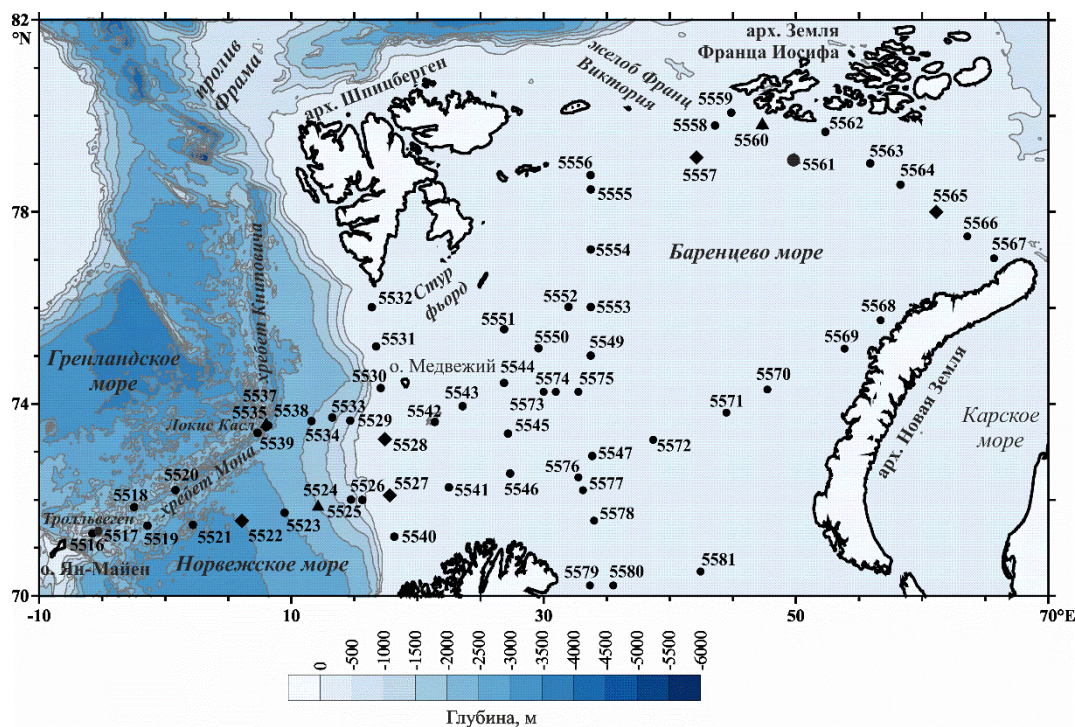


Рисунок 1. Гидрофизические и комплексные океанологические станции, выполненные в Северной Атлантике в 68-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш», июнь – июль 2017 г. Стрелками показаны поверхностные и глубинные течения по [16].

Рисунок 2. Комплексные океанологические станции, выполненные в Баренцевом море и Норвежско-Гренландском бассейне в 68-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш», июль – август 2017 г.



Ниже приводятся некоторые из результатов междисциплинарных исследований, выполненных в ходе рейса.

Гидрологические исследования. Обнаружено продолжение аномально глубокой (до 1500 м) конвекции в море Ирмингера, начавшейся в 2015 г. (рис. 3). Ранее это явление наблюдалось более 20 лет назад (1991–1995 гг.) [8]. В результате конвекции такого масштаба температура промежуточных вод на глубинах 500–1500 м в море Ирмингера упала на 0,2 °С, а за прошедшие 5 лет (2012–2017 гг.) – на 0,5 °С. Впервые установлено, что конвективное ядро составляют воды, поступающие из разных источников.

Выявлена многоструйность глубинных течений. Доказано существование двух квазистационарных придонных струй на восточном склоне Гренландии и трех придонных струй на восточном склоне хребта Рейкьянес, обнаруженных в предыдущих рейсах. Эти струи – основной источник холодных арктических вод в Северной Атлантике – имеют разные термохалинные характеристики.

Подтверждена полузамкнутая крупномасштабная циркуляция в море Ирмингера и Исландском бассейне. Показана двухструйность придонного Западного пограничного течения, переносящего холодные арктические и модифицированные атлантические воды на юг [1].

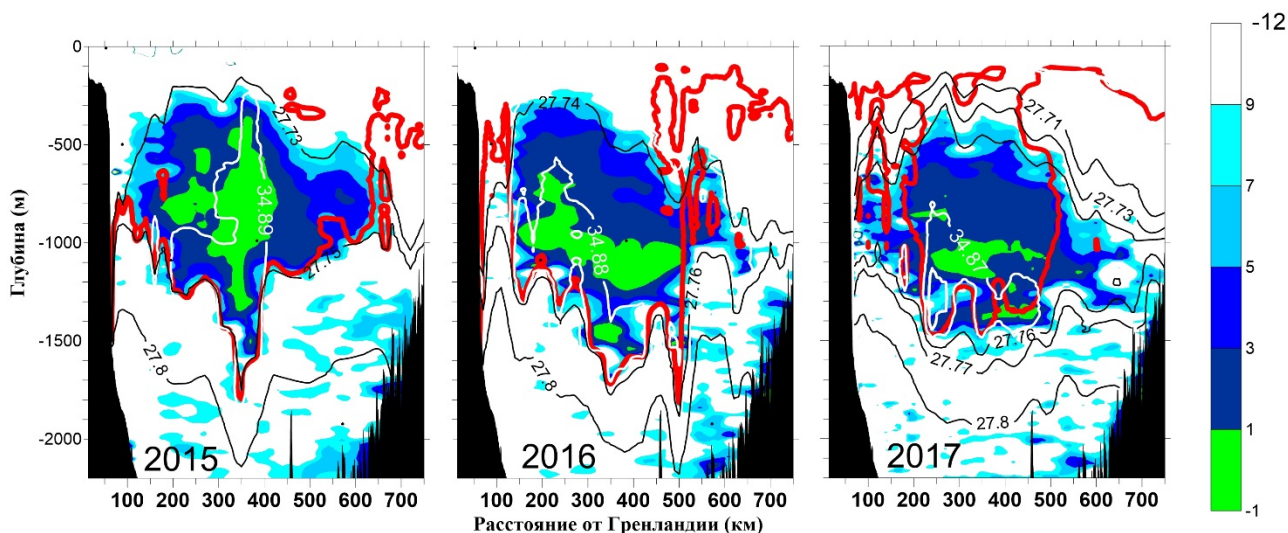
Получены новые сведения о структуре основных струй Северо-Атлантического течения в Исландском бассейне и в море Ирмингера (течение Ирмингера), а также Восточно-Гренландского течения. Рассчитаны термохалинные индексы основных водных масс Субполярного круговорота для определения долгопериодных климатических трендов в Северной Атлантике.

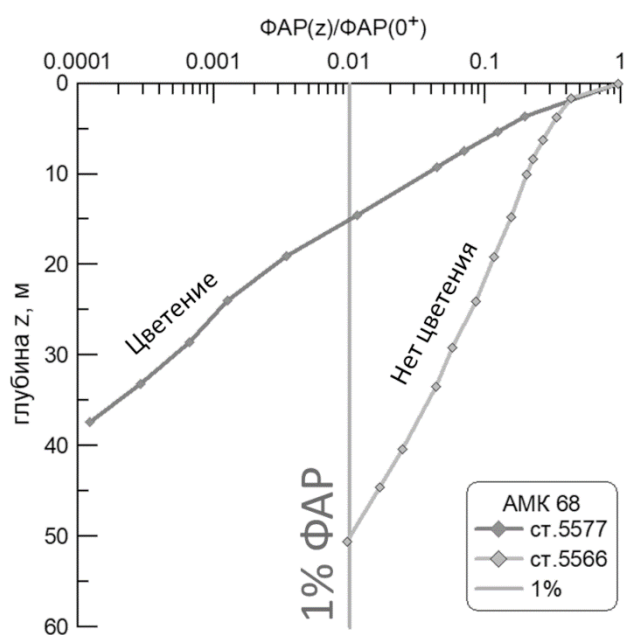
Гидрооптические исследования. Развивается комплексный подход к исследованию морей, сочетающий судовые контактные измерения и спутниковые наблюдения с разработкой собственных алгоритмов анализа спутниковых данных, учитывающих региональные особенности морей [9].

Детально изучены оптические свойства морской воды в области цветения кокколитофорид в Баренцевом море, поскольку это цветение может воздействовать на климатические факторы вследствие влияния на балансы тепла и CO₂ в системе океан – атмосфера [10]. Показано, что это цветение резко увеличивает альбедо водной толщи и тем самым уменьшает количество поступающей в водную толщу солнечной радиации. Так, глубина проникновения 1 % фотосинтетически активной радиации (ФАР) не превышала 15 м в области цветения, в то время как за пределами этой области достигала 50 м и более (рис. 4).

Аэрозоли в приводном слое атмосферы. Атмосферный перенос взвешенных частиц является быстрым путем поступления многих веществ (включая сажевый углерод) в удаленные районы. Количество аэрозольных частиц колебалось от 4000 до 21000 л⁻¹.

Рисунок 3. Положение ядра Лабрадорской промежуточной воды (ЛПВ) в море Ирмингера в 2015–2017 гг. Слабая стратификация ядра ЛПВ характеризуется низкими значениями потенциальной завихренности промежуточных вод и показана оттенками синего. Красная линия обозначает нижнюю границу зимней конвекции, которая определяется 93%-ным уровнем насыщения растворенным кислородом. Изолинии потенциальной плотности показаны черным цветом. Минимальные значения солёности ЛПВ показаны изолинией белого цвета





Максимальная запыленность атмосферы зафиксирована при поступлении воздушных масс со стороны североамериканского континента и Центральной Европы.

Преобладающие концентрации сажевого углерода ($20\text{--}50\text{ нг/м}^3$) характерны для фоновых районов Арктики и Северной Атлантики. Высокие концентрации ($100\text{--}200\text{ нг/м}^3$ и выше) наблюдались локально вблизи районов с развитой техносферой.

Взвесь водной толщи. Реализовано всестороннее исследование взвеси разными методами (вакуумной фильтрацией, кондуктометрическим и оптическим с интеркалибрацией полученных данных), включая изучение первичной продукции, бактерио- и фитопланктона.

Получены данные, характеризующие промежуточные нефелоидные слои Исландского бассейна и моря Ирмингера (концентрация взвеси до $1,5\text{ мм}^3/\text{л}$, медианный диаметр частиц до 41 мкм). Эти данные позволяют установить генезис этих «облаков» взвеси.

Выявлено, что в Баренцевом море и Норвежско-Гренландском бассейне высокие концентрации взвеси (до $4\text{ мм}^3/\text{л}$) приурочены к ареалам цветения фитопланктона (рис. 5). Изотопный состав $C_{\text{орг}}$ взвеси в поверхностном слое воды относительно облегчен по сравнению с океанской взвесью и варьировал в широких пределах ($\delta^{13}\text{C-}C_{\text{орг}} = -30,4 \dots -22,6\text{ ‰ PDB}$). Такой изотопный состав углерода взвеси обусловлен специфичностью процесса фотосинтеза в высоких широтах [11].

Рисунок 4. Сравнение проникновения 1 % ФАР в водную толщу на двух станциях: ст. 5577 располагалась в области цветения кокколитофорид, ст. 5566 – за пределами этой области

Установлено разное фенологическое состояние фитопланктона в июле – августе: массовое развитие арктических видов диатомей на севере Баренцева моря (у кромки ледяных полей от $78^\circ 46'$ до $80^\circ 03'$ с.ш.) и вспышки обилия автотрофных бореальных динофлагеллят в зоне Полярного фронта. Эти скопления соответствовали высокой концентрации хлорофилла a (до 5 мкг/л). Разное сезонное состояние фитопланктона определило различия в трофическом статусе водных масс. Величина интегральной первичной продукции варьировала в 11 раз: от 71 до $786\text{ мгС}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сут}^{-1}$.

Изучено уникальное для Арктики явление – обильное кокколитофоридное цветение (до $6,6\text{--}106\text{ кл/л}$) в Баренцевом море к югу от Полярного фронта. Массовые цветения этого вида, ежегодно наблюдавшиеся с начала 2000-х гг., могут быть напрямую связаны с изменениями климата Арктики. Получены доказательства атлантического происхождения баренцевоморской популяции кокколитофориды *Emiliana huxleyi* [Л.А. Паутова, устное сообщение]. Показано, что в составе взвеси преобладала фракция $4\text{--}7\text{ мкм}$. Проверяется гипотеза о слабом накоплении жировой капли зоопланктоном ввиду малой питательности кокколитофорид, которые заполняют желудки особей за время цветения; мало изучены вопросы вертикальной структуры и питания зоопланктона в этот период.

Вертикальные потоки вещества в водной толще. Для вертикального распределения интегральных потоков в Северной Атлантике характерны максимумы в поверхностном ($400\text{--}500\text{ м}$) и в придонном нефелоидном (50 м от дна) слоях [12]. При этом наименьшие величины потоков отмечены на западном склоне Исландского бассейна (ст. 5471), а наибольшие – на восточном склоне моря Ирмингера (ст. 5480). Наблюдался квазипостоянный перенос придонных водных масс в северо-восточном направлении на ст. 5458 и в юго-западном и юго-юго-западном направлениях на станциях 5471 и 5480, соответственно (см. рис. 1). Наибольшая интенсивность течений (до 35 см/с) выявлена в придонном слое на ст. 5471 (рис. 6).

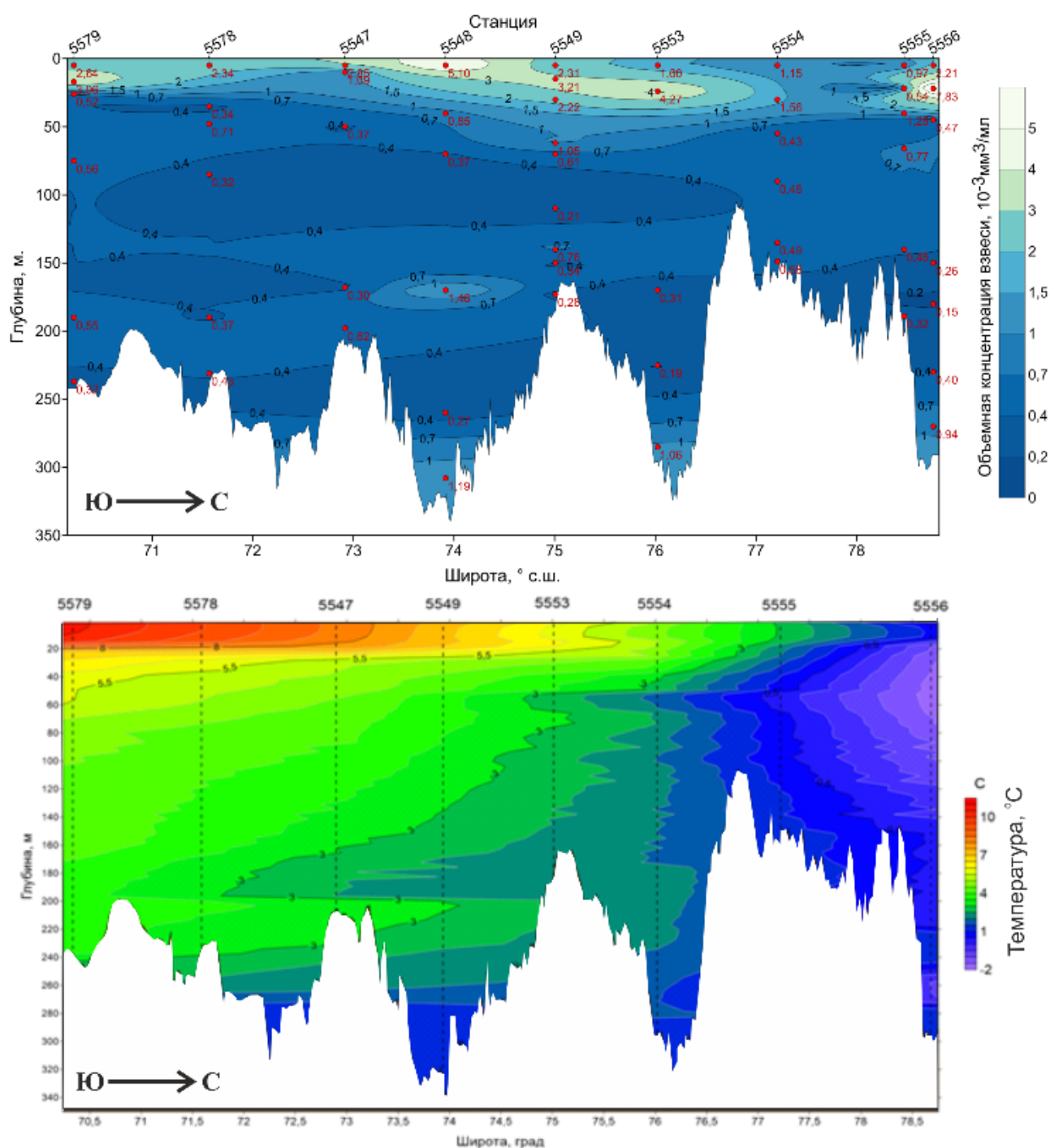


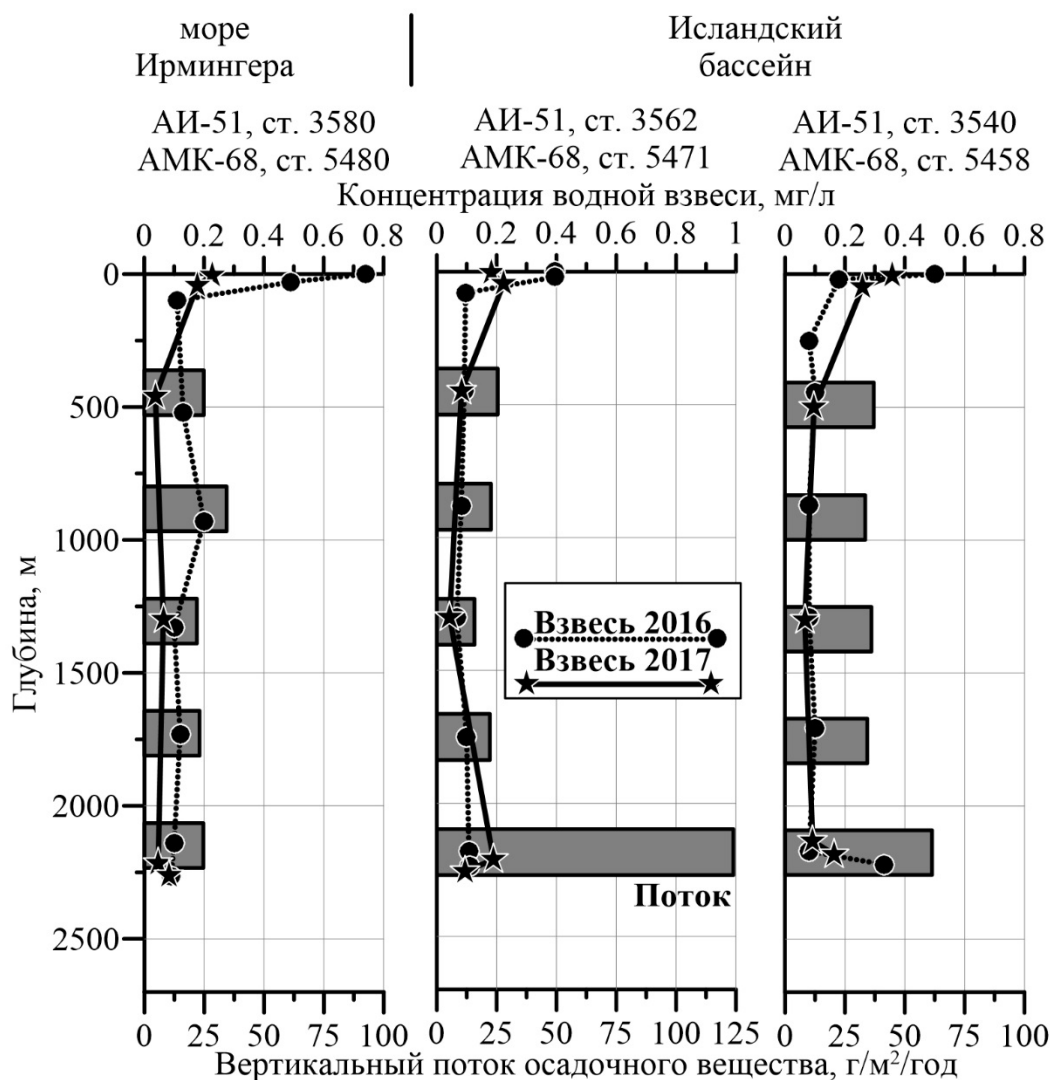
Рисунок 5. Пример распределения объемной концентрации взвеси (вверху) и температуры (внизу) в Баренцевом море на разрезе по Кольскому меридиану вплоть до кромки дрейфующего ледяного поля (ст. 5556)

«Биологический насос» в СЛО может подвергнуться значительным изменениям в связи с климатическими колебаниями. Для исследования этого процесса выполнены две станции с годовыми и три станции с краткосрочными (до недели) экспозициями АГОС [13]. Изучение состава вертикального потока взвеси, фекальных пеллет и некрзоопланктона в сопоставлении с составом наилка, количественными показателями фито- и зоопланктона позволит получить новую информацию для познания цикла углерода в Арктике и др.

Биогеохимические процессы в воде и осадках. В преобразовании взвеси в осадок участвуют различные по своей природе процессы, в том числе биогеохимические. На большей части изученной акватории установлены низкие скорости микробных процессов (сульфатредукция, метаноокисление) трансформации органических веществ в донных осадках.

Изучение эмиссии метана в Арктике важно для оценки вклада этого парникового газа в региональные климатические изменения, значение которого иногда преувеличивается. Признаки незначительной эмиссии метана в атмосферу обнаружены вблизи Стур-фьорда (ст. 5531, глубина моря 190 м): до $30 \text{ нмоль} \cdot \text{л}^{-1}$ в воде у поверхности и до $4140 \text{ нмоль} \cdot \text{л}^{-1}$ в осадках (при низких скоростях метаноокисления). Аномально высокая концентрация метана ожидаема в осадках грязевого вулкана Хаакон Мосби (ст. 5525, глубина моря 1283 м): от 1,2 до $\geq 3,2 \text{ ммоль} \cdot \text{л}^{-1}$. Обычные концентрации в верхнем слое воды ($2,9\text{--}19,5 \text{ нмоль} \cdot \text{л}^{-1}$) и осадков ($50\text{--}800 \text{ нмоль} \cdot \text{л}^{-1}$) близки к фоновым значениям для Арктики [4].

Рисунок 6. Вертикальные потоки осадочного вещества ($\text{г}/\text{м}^2/\text{год}$) по данным интегральных седиментационных ловушек МСП-110 и концентрации водной взвеси ($\text{мг}/\text{л}$) в момент постановки (51-й рейс НИС «Академик Иоффе», 2016 г.) и подъема (68-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш») АГОС после годичной экспозиции



Влияние эндогенных источников вещества (хребет Мона). Данные о составе взвеси позволяют оценить влияние источников эндогенного вещества на седиментосистему Норвежско-Гренландского бассейна, которое до сих пор еще мало изучено. Вблизи дна над гидротермальным полем Тролльвегэн (Ян-Майенская зона разлома) установлены аномалии температуры, солености, кислорода, присутствие сероводорода; изучается состав взвеси и гидротермально-измененных пород. Выполнены исследования над уникальным гидротермальным полем Локис Касл (Гренландская зона разлома), влияние которого достигает ~1 км от дна [14].

Литологические, петрографические и полеоокеанологические исследования. Грунтовые колонки, отобранные в рифтовой долине хребта Мона, в конусе выноса Медвежинского желоба и желобе Франц-Виктория, позволят восставить климат и условия среды в голоцене – плейстоцене. Удалось вскрыть мощные прослой базальтоидной пирокластики (стратиграфические маркеры): горизонты 370–374 и 384–385 см (ст. 5536, длина керна 437 см). Примечательны резкая смена условий (увеличение содержания CaCO_3) в период между эоловыми выпадениями пепла и высокие скорости седиментации (наклонные границы пепловых прослоев).

Исследуется рассеянный пирокластический материал в донных осадках Северной и Субполярной Атлантики. Обнаружены крупные (до ~5 см) обломки обсидиана на поверхности осадков на севере хребта Мона (ст. 5536).

Изучение грубообломочного материала из позднечетвертичных и голоценовых осадков Баренцева моря важно при определении типа и состава земной коры [15].

Находки железомарганцевых корок и конкреций (≥ 10 см длиной) на поверхности осадков вблизи арх. Земля Франца-Иосифа (станции 5561, 5562) позволят восстановить условия седиментации и послужат ключом к познанию процессов рудообразования.

С помощью мультикорера отобраны керны донных осадков (на 25 станциях) для изучения процессов раннего диагенеза и высокоразрешающего исследования поведения металлов в ходе диагенетических преобразований вещества.

Эколого-геохимические исследования. Развивается мониторинг загрязнения морей нефтяными уг-

леводородами, искусственными радионуклидами и тяжелыми металлами. Выделенные штаммы углеводородокисляющих микроорганизмов (перспективные в биотехнологии получения биопрепаратов) отправлены на генетическую идентификацию и патентное депонирование.

Для исследования седиментосистемы морей применялся новый подход, который заключается в сопряженном изучении аэрозолей, взвеси (с оценкой потоков), условий среды (гидрологических, гидрооптических, гидрохимических), верхнего слоя осадков и подстилающей толщи донных отложений, фокусируясь на границе контакта вода – осадок, диагенетических преобразованиях, получении микропалеонтологических и прямых геохронологических данных.

Экспедиция проведена в соответствии с планом морских экспедиций на научно-исследовательских судах ФАНО России. Выполнение задач рейса финансировалось Российским научным фондом: проекты № 14-50-00095 (работы в Северной Атлантике и Норвежско-Гренландском бассейне) и 14-27-00114-П (работы в Баренцевом море). Участие отдельных научных сотрудников поддержано грантом РФФИ № 15-05-02250, программой Президиума РАН I.3П (темы № 0149-2015-0058 и 0149-2015-0050), Программой IX.131.1.

Работы в рейсе обеспечивают выполнение исследований по 11 государственным заданиям ФАНО России: темы № 0149-2018-0016 и 0149-2018-0028, а также по отдельным направлениям № 0149-2018-0002, 0149-2018-0031, 0149-2018-0030, 0149-2018-0029, 1001-2014-0013, 0377-2016-0002, 0149-2018-0035, 0149-2018-0009, 0149-2018-0012.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Гладышев С.В., Гладышев В.С., Гулев С.К., Соков А.В. Модификации субполярных модальных вод в северо-восточной части Северной Атлантики: межгодовая и долгопериодная изменчивость // Доклады РАН. 2017. Т. 476, № 5. С. 571–575. doi:10.7868/S0869565217290205
2. Ключиткин А.А., Политова Н.В., Новигатский А.Н. и др. Геологические исследования в Северной Атлантике в 51-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Иоффе» // Океанология. 2017. Т. 57, № 3. С. 514–516. doi:10.7868/S0030157417020071

3. Политова Н.В., Саввичев А.С., Ключиткин А.А. и др. Биогеохимическая характеристика взвеси на широтном разрезе в Северной Атлантике // *Океанология*. 2018. (В печати).
4. Кравчишина М.Д., Новигатский А.Н., Саввичев А.С. и др. Исследование седиментосистем Баренцева моря и Норвежско-Гренландского бассейна в 68-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» // *Океанология*. 2018. (В печати).
5. Лисицын А.П. Современные представления об осадкообразовании в океанах и морях. Океан как природный самопищевой цикл взаимодействия геосфер Земли // *Мировой океан*. Т. II. / Отв. ред. Л.И. Лобковский, Р.И. Нигматулин. М.: Научный мир, 2014. С. 331–571.
6. Koenig T., Brodeau L. Ocean heat transport into the Arctic in the twentieth and twenty-first century in EC-Earth // *Climate Dynamics*. 2014. Vol. 42, Iss. 11–12. P. 3101–3120. doi: 10.1007/s00382-013-1821-x
7. Лисицын А.П., Новигатский А.Н., Шевченко В.П. и др. Рассеянные формы осадочного вещества и их потоки в океанах и морях на примере Белого моря (результаты 12 лет исследований) // *Доклады РАН*. 2014. Т. 456, № 3. С. 355–359. doi: 10.7868/S086956521415016X
8. Гладышев С.В., Гладышев В.С., Гулев С.К., Соков А.В. Аномально глубокая зимняя конвекция в море Ирмингера зимой 2014–2015 гг. // *Доклады РАН*. 2016. Т. 469, № 3. С. 351–355. doi: 10.7868/S0869565216210192
9. Копелевич О.В., Артемьев В.А., Глуховец Д.И. и др. Оценка биогеохимических характеристик поверхностного слоя вод Баренцева моря летом 2017 г. по оптическим данным // *Геология морей и океанов: Материалы XXII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии*. Т. IV. – М.: ИО РАН, 2017. С. 87–91.
10. Копелевич О.В., Каралли П.Г., Лохов А.С. и др. Перспективы улучшения точности оценки параметров кокколитофоридных цветений в Баренцевом море по спутниковым данным // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2017. Т. 14, № 7. С. 267–279. doi: 10.21046/2070-7401-2017-14-7-267-279
11. Иванов М.В., Леин А.Ю., Саввичев А.С. Влияние фитопланктона и микроорганизмов на формирование изотопного состава углерода органического вещества морей российской Арктики // *Микробиология*. 2010. Т. 79, № 5. С. 579–594.
12. Ключиткин А.А., Гладышев С.В., Кравчишина М.Д. и др. Геологические и гидрологические исследования в Северной Атлантике в 2017 году на разрезе по 59° 30' с.ш. // *Океанология*. 2018. (В печати).
13. Frey D.I., Novigatsky A.N., Kravchishina M.D., Morozov E.G. Water structure and currents in the Bear Island Trough in July–August 2017 // *Russian Journal of Earth Sciences*. 2017. Vol. 17. ES3003. P. 1–5. doi: 10.2205/2017ES000602
14. Богданов Ю.А., Сагалевич А.М., Галкин С.В. и др. Геологические и биологические исследования в северной части хребта Мона (Норвежское море) // *Океанология*. 1997. Т. 37, № 4. С. 609–616.
15. Харин Г.С., Политова Н.В., Лисицын А.П. и др. Грубообломочный материал ледового разноса на дне Баренцева моря // *Геология морей и океанов: Материалы XXII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии*. Т. II. – М.: ИО РАН, 2017. С. 115–119.
16. Sarafanov A., Falina A., Mercier H. et al. Mean full-depth summer circulation and transports at the northern periphery of the Atlantic Ocean in the 2000s // *J. Geoph. Res.* 2012. Vol. 117. C01014. doi:10.1029/2011JC007572

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ, ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ И РАДИОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДОННЫХ ОСАДКОВ В ШЕЛЬФОВЫХ МОРЯХ РОССИЙСКОГО СЕКТОРА АРКТИКИ

**В.Ю. Русаков*, В.С. Севастьянов, В.Д. Володин,
В.В. Крупская, А.С. Зверев, Н.В. Душенко,
Е.В. Дурягина**

**Институт геохимии и аналитической химии
им. В.И. Вернадского РАН**

*e-mail: rusakov@geokhi.ru

Работы по изучению донных осадков проводились в 69-м рейсе на борту НИС «Академик Мстислав Келдыш» в Карском море, море Лаптевых и Восточно-Сибирском море с августа по октябрь 2017 г. Научные исследования проводились по следующим направлениям:

- 1) биогеохимические исследования, изучение состава углеводородов в водной среде и донных осадках;
- 2) исследования донных осадков в области неорганической химии и литолого-фациальные исследования;
- 3) радиохимические исследования морей Российского сектора Арктики.

Основные цели и задачи выполненных работ заключались в следующем:

- 1) установить источники поступления углеводородных газов на основе измерения изотопного состава углерода органического вещества осадков, проведения биомаркерного анализа и анализа состава растворенных газов;
- 2) определить химический, минеральный и литологический состав донных осадков, включая петрогенные элементы, микроэлементы (тяжелые металлы и редкоземельные элементы), с целью реконструкции условий седиментации и установления зависимости между составом осадков и петрофондом питающих провинций, а также климатом в высоких широтах

Северного полушария;

- 3) определить скорости седиментации на основе изучения вертикального распределения неравно-весного ^{210}Pb и глобальных выпадений ^{137}Cs .

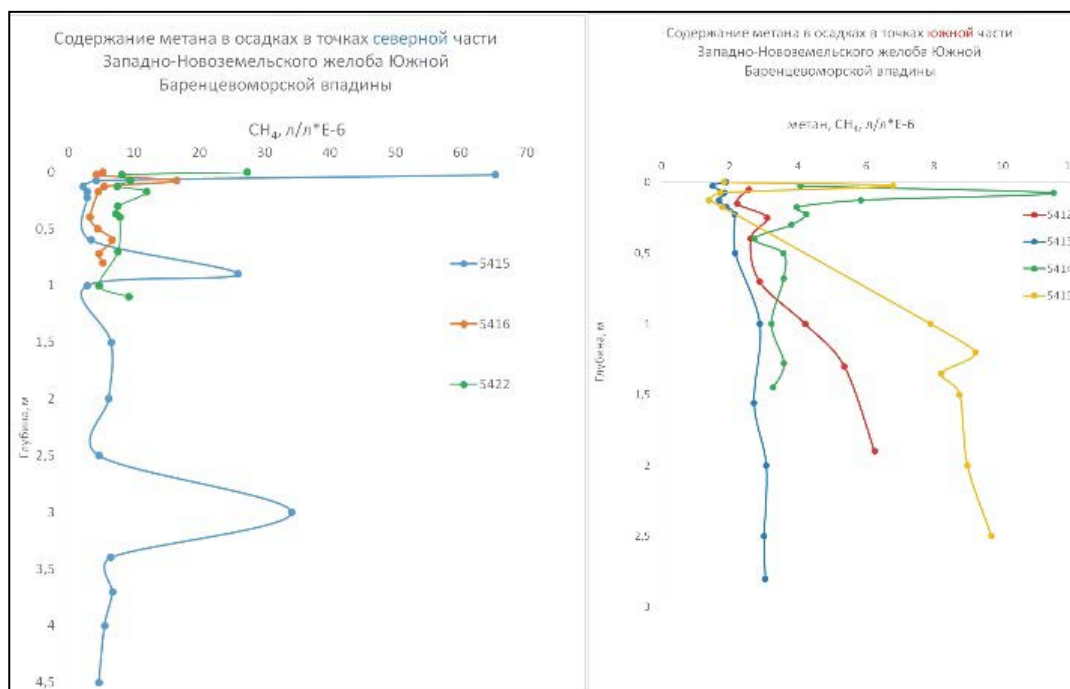
Информация о количестве проб, собранных в рейсе:

- литология – 475 образцов,
- неорганическая геохимия – 289 образцов,
- органическая геохимия – 81 образец,
- состав газов – 53 образца,
- Cs-137 – 271 образец,
- Pb-210 – 201 образец,
- консервация – 48 образцов ненарушенного сложения (трубка Ø 110 мм, шприц V 60 мл, шприц V 160 мл),
- вода из розетты – 36 л (24 образца по 1,5 л из поверхностного и придонного слоя),
- вода на сорбцию Cs-137 – 1514 л,
- пробы льда – 3 образца,
- пробы растительности – 4 образца,
- пробы осадочных пород и фрагментов почвенных разрезов – 36 образцов.

Основными источниками поступления углеводородных газов в шельфовых морях Российской Арктики являются продукты диагенетических и катагенетических преобразований органического вещества донных осадков. В рейсе были применены специальные методики, разработанные в Институте геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН (ГЕОХИ), для отбора растворенного газа из иловых вод методом дегазации проб и его последующей транспортировки в береговые лаборатории. Газовый состав проб изучается с помощью газового хроматографа, а изотопный состав углерода углеводородных

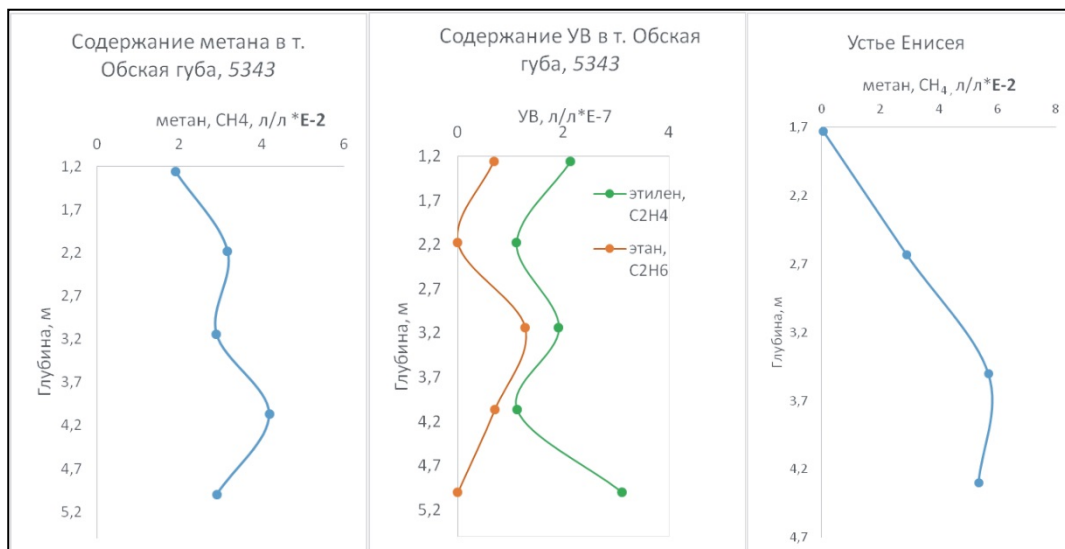
газов и CO_2 – с помощью масс-спектрометрии (масс-спектрометр Delta Plus фирмы Finnigan (Germany) в соединении с газовым хроматографом (метод GC-C-IRMS)). Первые результаты показали, что в поверхностном слое донных осадков (глубиной до 5 м) в составе углеводородных газов преобладают метан CH_4 (рис. 1). В меньших количествах присутствуют: этан C_2H_6 и этилен C_2H_4 . При этом максимальные значения содержания метана до $\text{л/л} \cdot \text{E-2}$ отмечены в Обской губе и Енисейском заливе (рис. 2), т. е. там, где скорости седиментации наиболее высоки. Распределение газов вдоль колонок осадков весьма неоднородно и конт-

ролируется литологическим составом. Так, в более крупнозернистых горизонтах содержание газов минимально и возрастает с уменьшением их гранулометрической крупности. В целом отмечено два наиболее стабильных пика в распределении углеводородных газов – в поверхностном слое и на горизонте более 0,2–1,5 м. Верхний пик, вероятно, связан с наиболее высокими скоростями деструкции органического вещества. Нижний пик вызван деятельностью метаногенных бактерий, живущих ниже зоны сульфат-редукции, т. е. зоны перехода от окислительных к восстановительным условиям.



▲ Рисунок 1. Вертикальные профили распределения метана вдоль семи колонок донных осадков, расположенных в Западно-Новоземельском желобе

▼ Рисунок 2. Вертикальные профили распределения метана и его гомологов вдоль колонок донных осадков, расположенных в Обской губе и Енисейском заливе





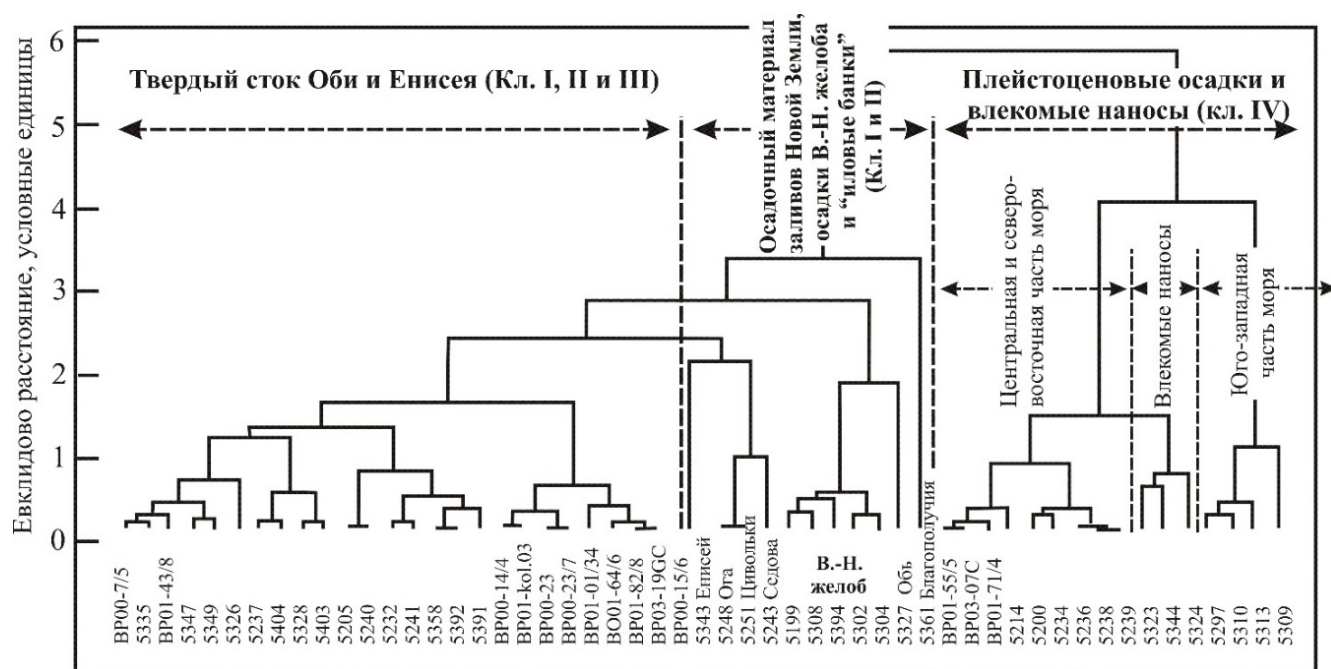
Все изученные донные осадки были разделены на кластерные группы, включающие в себя их литологические и химические типы (рис. 4). На основе выделенных кластеров, а также состава редкоземельных элементов и Y (рис. 5) проведена фацально-генетическая типизация донных осадков и установлены области аккумуляции для каждого отдельного типа осадка (кластера) (рис. 6). Показано, что основными источниками голоценовых осадков Карского моря являются: речные взвеси Оби и Енисея, а также ледниковый материал архипелагов Новая Земля и Северная Земля, выносимый в море талыми водами [4, 5]. Рассеяние тонких взвесей контролируется циркуляцией поверхностных морских течений (рис. 7). Модель аккумуляции взвесей на дне осложняется волновым воздействием и циркуляцией придонных морских течений, вымывающих тонкие фракции осадка из мелководных районов моря и переносающих их в наиболее глубоководные гидродинамически спокойные части желобов.

Выделены основные стадии накопления тяжелых металлов [6] (рис. 8). Первая стадия связана с лавинным осаждением терригенных отложений в эстуарии и отличается повышенным содержанием Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Sb и Bi. Вторая стадия отражает механическую дифференциацию осадочного материала волнами и придонными течениями в мелководной части моря, примыкающей к эстуарной зоне. Здесь концентрируются тяжелые рудные минералы, несущие Pb и Sn.

В более глубоководных фоновых терригенно-морских осадках накапливаются преимущественно Ni, Zn и Cd, а также Mn. Реликтовые осадки отличаются высоким содержанием Si, Mn и Sn.

Радиохимические исследования. Результаты изучения скоростей седиментации за последние 200 лет выявили хорошую корреляцию между скоростями аккумуляции и фацально-генетическими типами донных отложений. Наиболее высокие скорости аккумуляции около 0,2–2,0 см/год встречены на иловых банках, расположенных в эстуариях рек Оби и Енисея. Иловые банки отличаются тонким гранулометрическим составом осадков и повышенным содержанием растворенных в иловых водах метана. Высокие скорости седиментации также определены в северных заливах Новой Земли, т. е. там, где происходит основная разгрузка ледникового материала. В заливах Седова, Цивольки, Ога и Благополучия средняя скорость седиментации составила около 0,1–1,0 см/год. На акватории Карского моря максимальные скорости седиментации приурочены к наиболее глубоководным желобам: Восточно-Новоземельский желоб – 0,2-0,3 см/год (рис. 9), желоб Воронина – 0,15 см/год.

Рисунок 4. Дендрограмма, построенная на основе кластерного анализа. Она показывает степень и структуру сродства между химическим составом (по 24 химическим элементам и п.п.п.) донных осадков разных станций, используя евклидово расстояние (EP) в условных единицах (у. е.). Номера станций (образцов) показаны внизу [3]



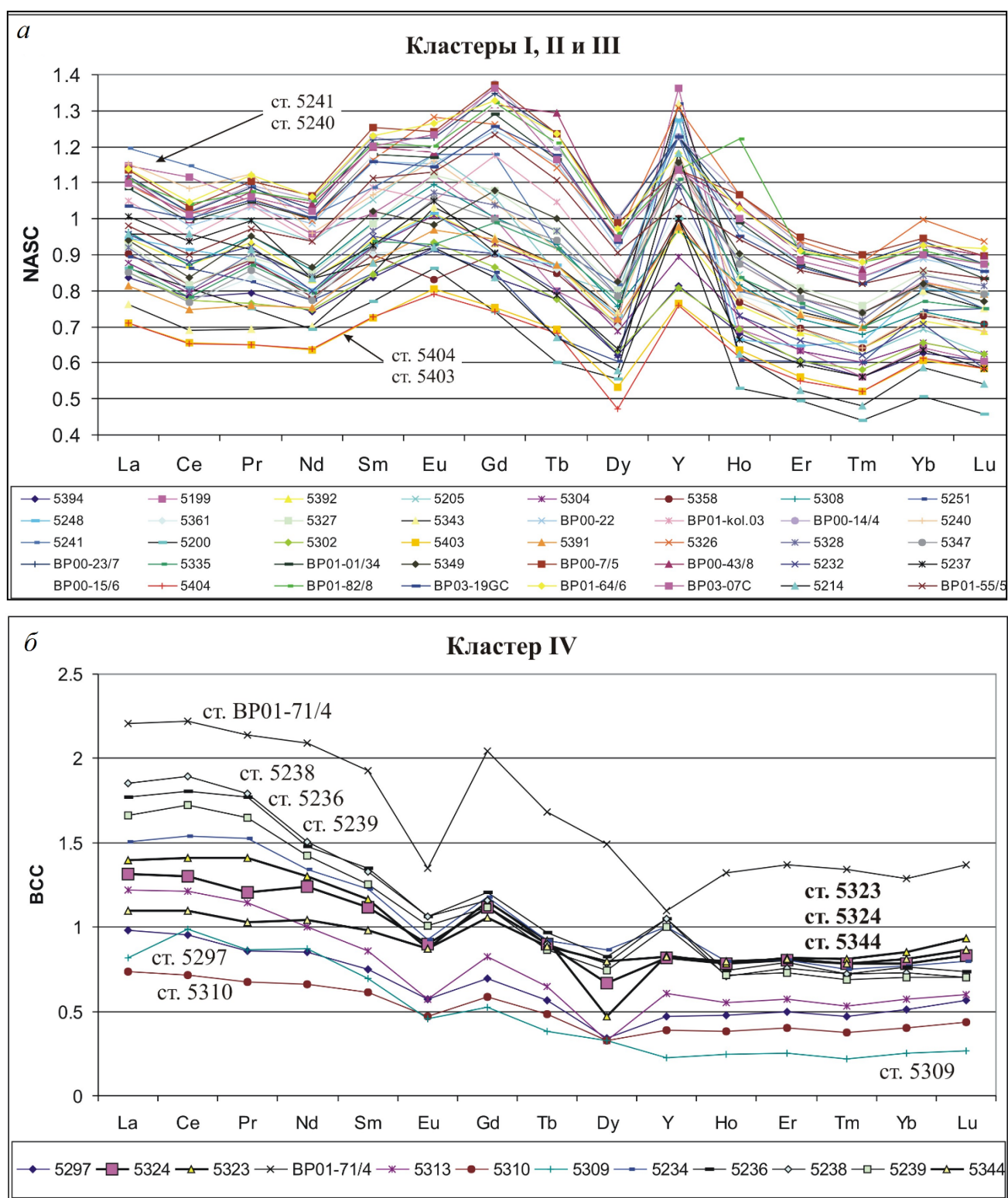
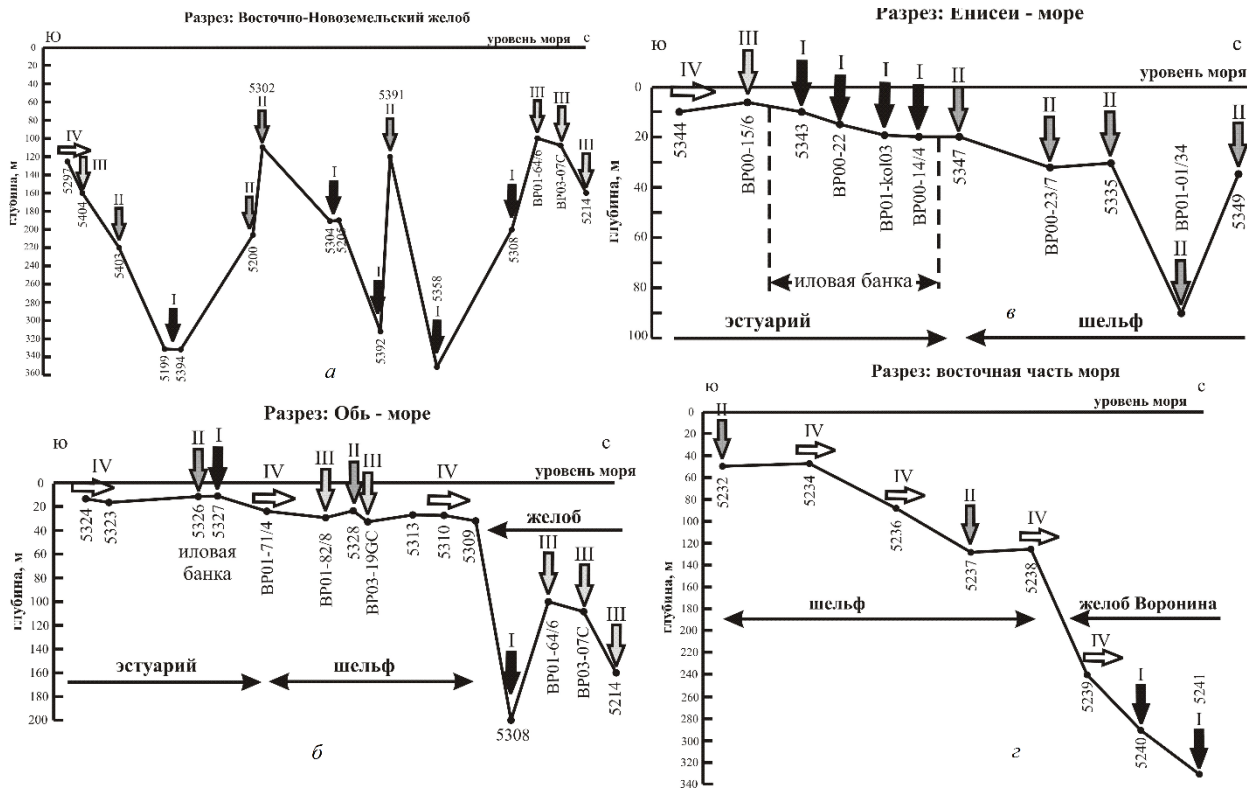
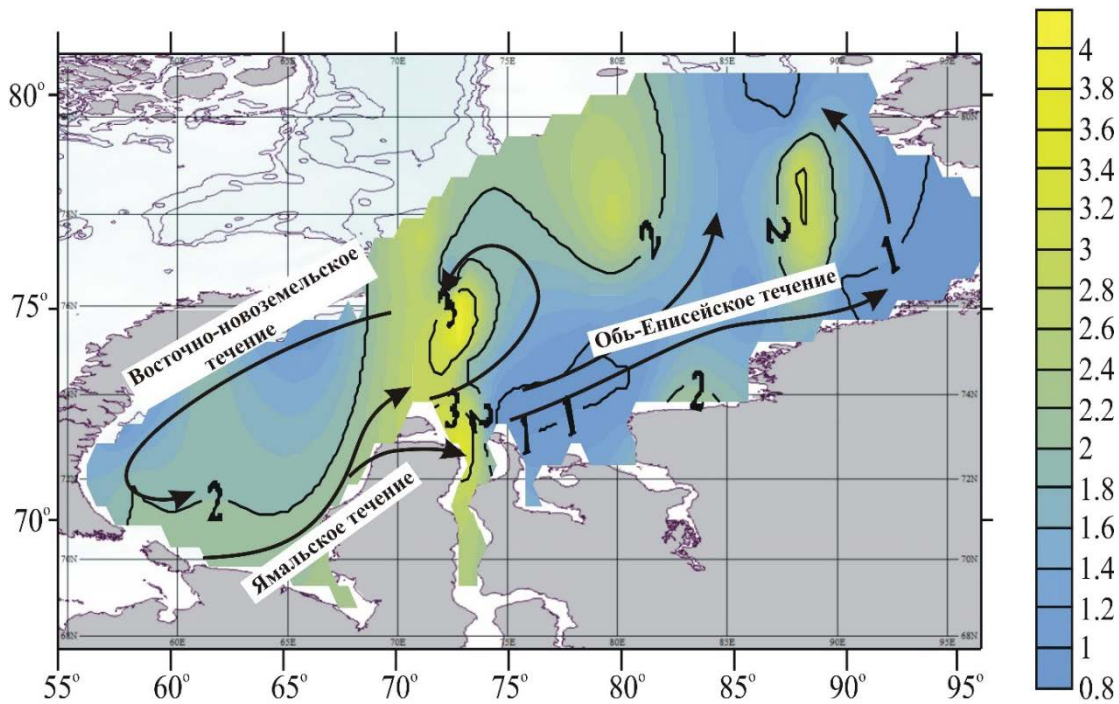


Рисунок 5. Составы РЗЭ + Y [3]: а – осадки кл. I, II и III нормированы на средний состав Северо-Американских сланцев (NASC) [7]; б – осадки кл. IV нормированы на средний состав континентальной коры (BCC) [8]



▲ Рисунок 6. Вертикальные разрезы, показывающие перепады глубин между станциями: а – Восточно-Новоземельский желоб; б – Обь – море; в – Енисей – море; г – восточная часть моря. Стрелками, направленными вниз, показаны станции, на которых аккумулируется осадочный материал. Стрелки, направленные горизонтально, указывают на зону неосаждения осадочного материала (или перемычка донных осадков). Тон стрелки соответствует кластеру: черный – кл. I; темно-серый – кл. II; серый – кл. III; белый – кл. IV [3]

▼ Рисунок 7. Распределение первых трех кластеров: 1 – кластер I; 2 – кластер II и 3 – кластер III в верхнем слое донных осадков Карского моря [3]



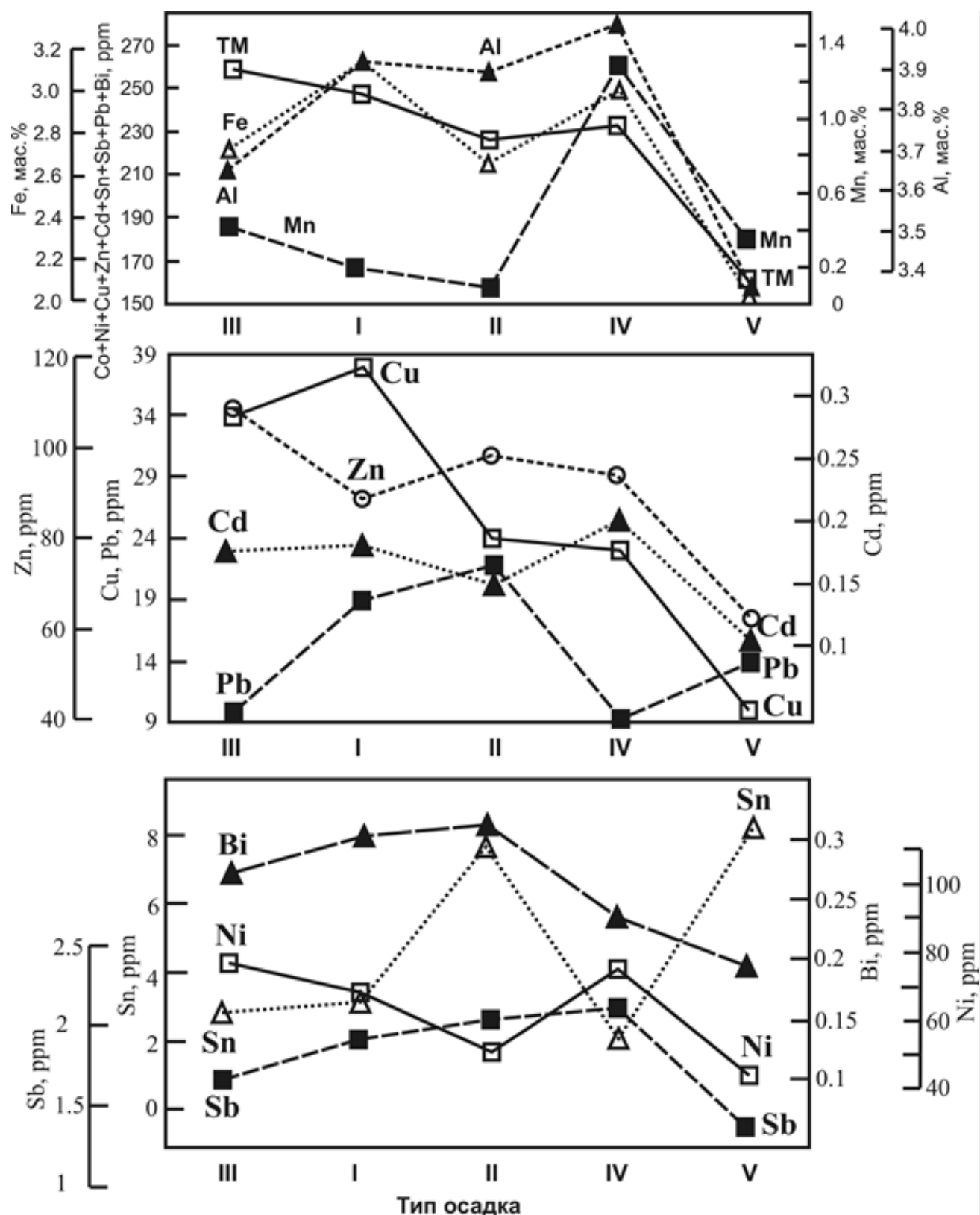


Рисунок 8. Содержание тяжелых металлов (ТМ), а также макроэлементов в разных типах поверхностного слоя донных осадков Карского моря [6]

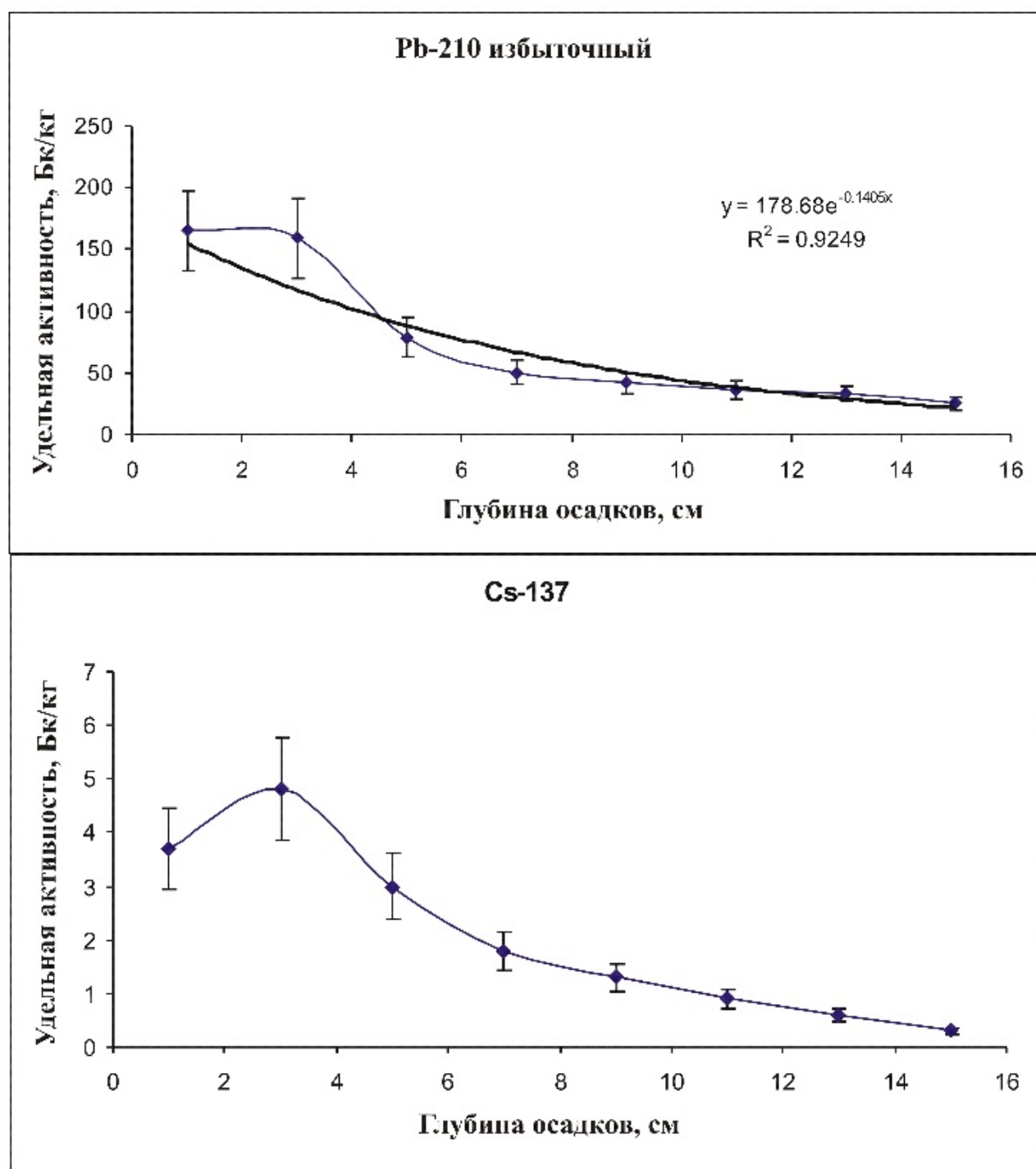


Рисунок 9. Вертикальные профили удельной активности Pb-210 и Cs-137 вдоль колонки осадков ст. 5347 в Восточно-Новоземельском желобе. Расчетная скорость осадконакопления составила $0,2 \pm 0,06$ см/год

ЛИТЕРАТУРА

1. Русаков В.Ю., Кузьмина Т.Г., Левитан М.А., Торопченова Е.С., Жилкина А.В. Литолого-геохимическая типизация поверхностного слоя донных осадков Карского моря // *Океанология*. 2017. Т. 57, № 1. С. 214–226. doi:10.7868/S0030157417010166
2. Русаков В.Ю. Фациально-генетические типы поверхностного слоя донных осадков Карского моря / Вопросы геоморфологии и палеогеографии морских побережий и шельфа: Материалы науч. конф. памяти Павла Алексеевича Каплина. Москва, 2–3 февраля 2017 г. М.: Географический факультет МГУ, 2017. С. 125–127. URL: http://www.geogr.msu.ru/structure/labs/notl/Kaplin-2017/2017.02.02-03_Kaplin_proceedings_res.pdf (дата обращения: 05.04.2018).
3. Русаков В.Ю., Кузьмина Т.Г., Торопченова Е.С., Жилкина А.В. Механизмы современной седиментации в Карском море по данным литолого-геохимического изучения поверхностного слоя донных осадков // *Геохимия*. 2018. № 8. (В печати).
4. Русаков В.Ю., Кузьмина Т.Г., Левитан М.А., Торопченова Е.С., Жилкина А.В. Механизмы современной седиментации в Карском море / Физическое и математическое моделирование процессов в геосредах: Третья междунар. науч. школа молодых ученых; Москва, 1–3 ноября 2017 г.: сб. материалов школы. М.: ИГМех РАН, 2017. С. 177–179.
5. Русаков В.Ю., Кузьмина Т.Г., Торопченова Е.С., Жилкина А.В. Реконструкция современных условий седиментации на основе изучения поверхностного слоя донных осадков Карского моря / *Геология морей и океанов: Материалы XXII Междунар. науч. конф. (Школы) по морской геологии*. Т. II. М.: ИО РАН, 2017. С. 105–109.
6. Русаков В.Ю., Кузьмина Т.Г., Левитан М.А., Торопченова Е.С., Жилкина А.В. Некоторые особенности распределения тяжелых металлов в поверхностном слое донных осадков Карского моря // *Геохимия*. 2017. № 12. С. 1088–1099. doi:10.7868/S0016752517090072
7. Gromet L.P., Haskin L.A., Korotev R.L., Dymek R.F. The "North American shale composite": Its compilation, major and trace element characteristics // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1984. Vol. 48, iss. 12. P. 2469–2482. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(84\)90298-9](https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90298-9)
8. Taylor S.R., McLennan S.M. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution: An Examination of the Geochemical Record Preserved in Sedimentary Rocks*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1985. 312 p. ISBN-13: 978-0632011483

ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ММБИ КНЦ РАН В 2017 г.

П.Р. Макаревич, И.В. Берченко, А.Г. Дворецкий,
А.В. Ежов, Д.Г. Ишулов, О.В. Карамушко,
Ю.В. Краснов, Д.В. Моисеев, Л.В. Павлова
Мурманский морской биологический институт КНЦ
РАН

e-mail: mmbi@mmbi.info

Проведение морских экспедиционных исследований является одной из основных составляющих научной деятельности Мурманского морского биологического института. В 2017 г. география морских научных исследований охватывала обширный сектор

Арктики от Гренландского моря до Восточно-Сибирского (рис. 1).

В настоящей работе приведены основные результаты морских научных исследований 2017 г., а также итоги ряда программ, начатых в предыдущие годы и продолженные в 2017 г.

Основное внимание было сосредоточено на проведении полномасштабного геоэкологического мониторинга Северо-Западного сектора Арктики.

Рисунок 1. Схемы рейсов НИС «Дальние Зеленцы» в 2017 г.



Целью работ являлось изучение океанографических и биотических процессов во фронтальных зонах Баренцева и Гренландского морей в условиях современных климатических перемен. В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

- изучение океанографических, геоэкологических и биотических характеристик фронтальных зон Северо-Западного сектора Арктики и изменчивости этих характеристик в условиях климатических перемен;
- описание основных характеристик и выявление аномалий в термохалинной, гидрохимической и гидро-биологической структуре фронтальных зон;
- продолжение комплексного геоэкологического мониторинга по разрезу «Кольский меридиан»;
- сбор данных для комплексного анализа и прогноза экосистемных процессов Баренцева моря с учетом влияния климатических факторов и антропогенного воздействия.

Работы проводились при финансировании Федерального агентства научных организаций РФ по следующим пунктам государственного задания:

- 0228-2014-0001 «Продукционные процессы в районах арктических архипелагов»;
- 0228-2014-0005 «Орнитофауна северных морей: особенности гнездовой экологии»;
- 0228-2014-0008 «Популяционные параметры морских млекопитающих и мониторинг их состояния в экосистемах белого, Баренцева и Карского морей»;
- 0228-2014-0009 «Биогеографические особенности функционирования больших морских экосистем (БМЭ) Арктики в условиях комплексного природопользования»;
- 0228-2014-0010 «Многолетняя динамика накопления химических и радиохимических токсикантов в среде и в биоте арктических морских экосистем»;
- 0228-2014-0013 «Биоразнообразие и экология зообентоса Баренцева моря, его водосборного бассейна и сопредельных акваторий».

Кроме специалистов ММБИ, в рейсах принимали участие сотрудники четырех российских и трех иностранных научных организаций: Южного научного центра РАН, Мурманского государственного технического университета, Чувашского государственного университета им. И.Н. Ульянова, Арктического и Антарктического научно-исследовательского института, The University Centre in Svalbard, Uit The Arctic University of Norway, Akvaplan-niva AS.

Основной объем работ выполнен в ходе двух экспедиций на НИС «Дальние Зеленцы». Первая проведена в июне – июле, в разгар полярного дня (рис. 2), вторая в ноябре – декабре, в период полярной ночи (рис. 3).

Кроме работ на открытых морских акваториях, выполнены сетки станций в прибрежье Кольского п-ва (Кольский и Мотовской заливы) и архипелага Шпицберген (рис. 4, 5).

Таким образом, по программам ФАНО РФ в 2017 г. проведено две крупные морские экспедиции общей продолжительностью 60 сут., в ходе которых отобран материал на 223 комплексных станциях и проведены судовые учеты морских птиц и млекопитающих. Далее будут приведены важнейшие результаты исследований, полученные в ходе морских научных исследований.

Океанологические исследования выявили продолжающиеся положительные термохалинные аномалии в весенне-летний период, свидетельствующие о повышенном затопе вод атлантического происхождения в Баренцево море.

По результатам экспедиционных исследований проанализировано термохалинное состояние водных масс и выполнен расчет аномалий температуры и солёности вод по слоям в ветвях Нордкапского течения (станции 1–10) – основного транзитного атлантического течения в море (табл. 1).

В июле и декабре в западной части моря атлантические воды, выделенные по изохалине 35 ‰, в глубинных слоях сохраняют термохалинные свойства на уровне предшествующих теплых лет и характеризуются положительной температурной аномалией.

Положительные аномалии температуры воды зарегистрированы на всех станциях и практически во всех слоях в летний и осенний сезоны. Знак аномалий солёности атлантических вод слабо варьировал от положительного в июле до отрицательного значения на большинстве станций в декабре. Последнее может быть вызвано как естественными процессами режима вод, так и слабой обеспеченностью климатической базы данных для осеннего периода.

От лета к осени отмечено значимое увеличение толщины деятельного слоя и заглубление термоклина до 70–75 м. Рост толщины деятельного слоя обусловлен сокращением притока опресненного материкового стока вод и активизацией ветровой деятельности.

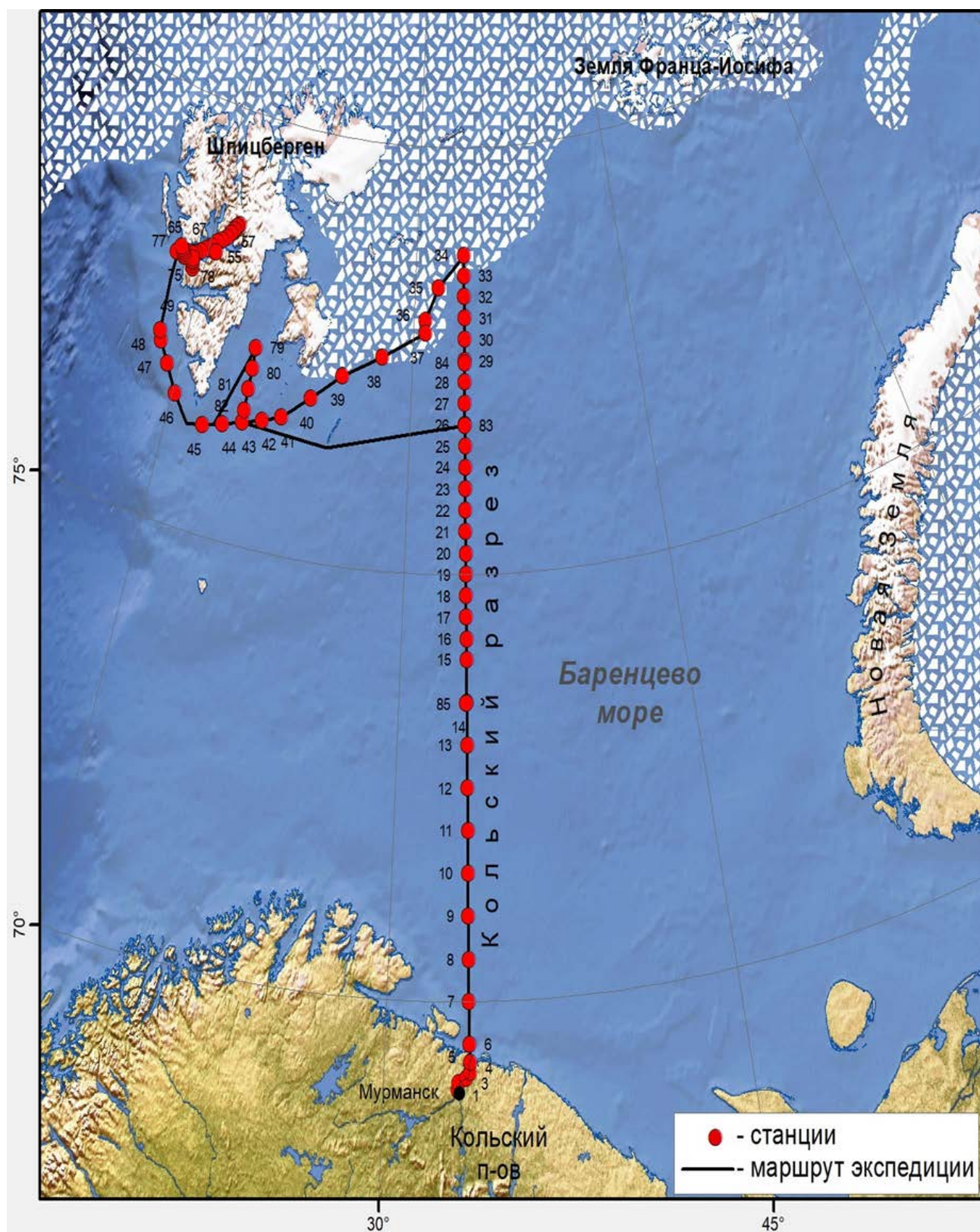


Рисунок 2. Карта-схема маршрута и расположения станций комплексной морской экспедиции на НИС «Дальние Зеленцы» 13 июля – 1августа 2017 г.

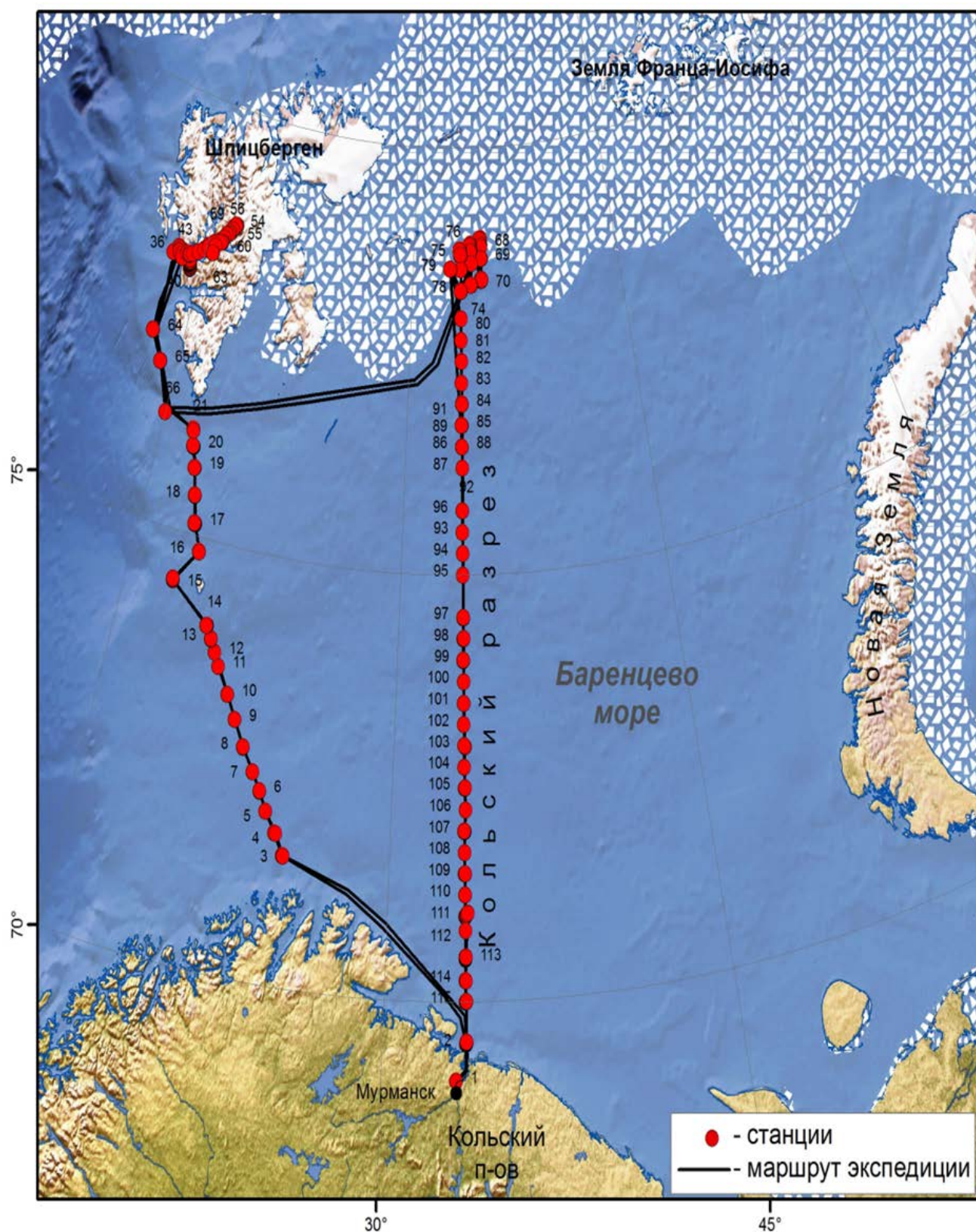
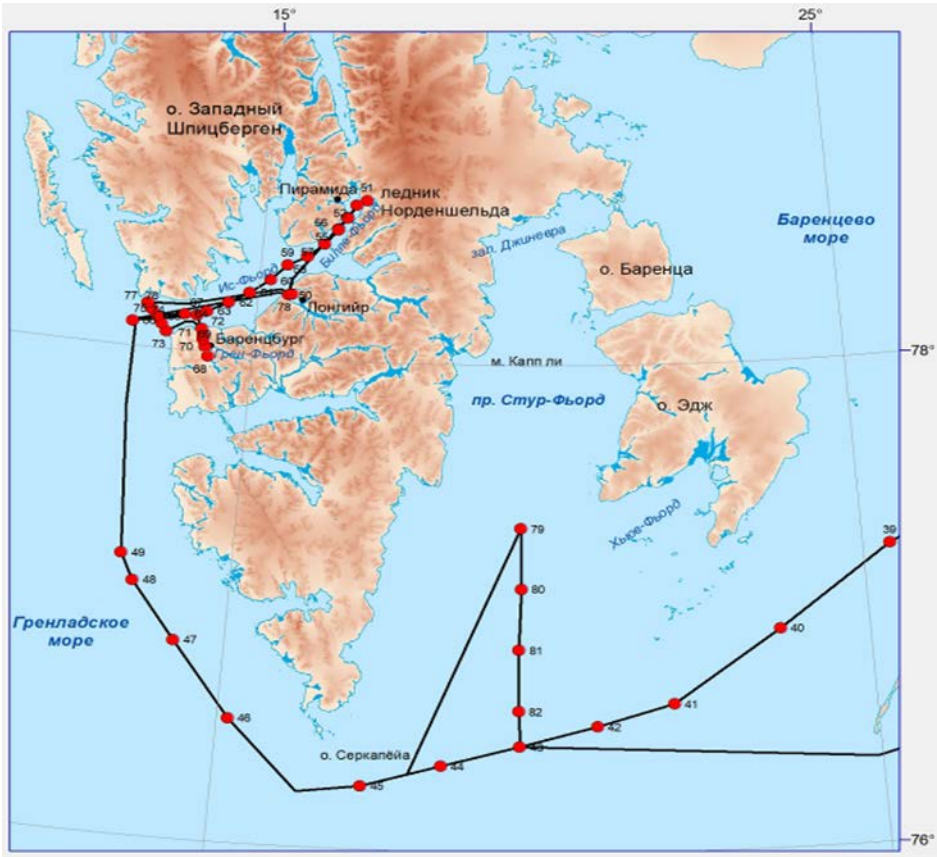


Рисунок 3. Карта-схема маршрута и расположения станций комплексной морской экспедиции на НИС «Дальние Зеленцы» 26 октября – 8 декабря 2017 г.



▲ Рисунок 4. Исследования на НИС «Дальние Зеленцы» в районе Шпицбергена в июле и ноябре 2017 г.

▼ Рисунок 5. Исследования на НИС «Дальние Зеленцы» в Кольском и Мотовском заливах в октябре – ноябре 2017 г.

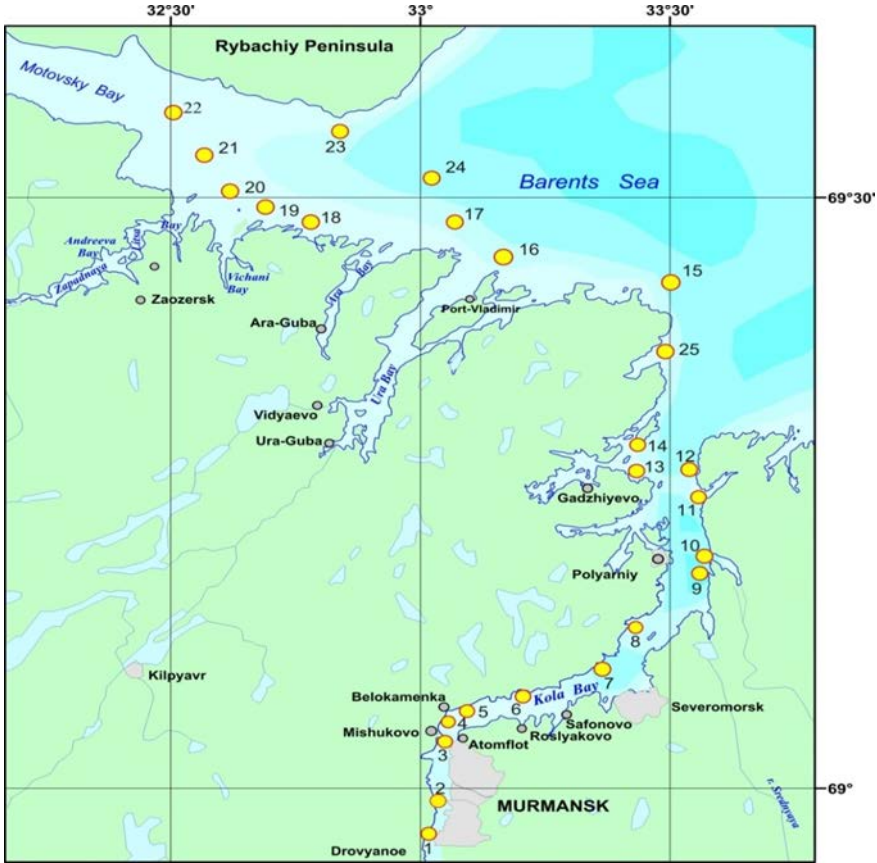


Таблица 1

**Аномалии температуры воды на разрезе «Кольский меридиан» в летний (13–14 июля)
и осенний (4–7 декабря) периоды 2017 г.**

Аномалии средней взвешенной температуры (Т, °С) 13–14 июля 2017 г.											
слой, м	Ст.1	Ст.2	Ст.3	Ст.4	Ст.5	Ст.6	Ст.7	Ст.8	Ст.9	Ст.10	Сред.
0–50	–0,58	0,63	0,12	0,84	0,55	0,70	0,56	0,94	1,18	0,85	0,58
0–100	–0,08	0,62	0,51	1,02	0,79	0,76	0,86	1,11	1,13	1,00	0,77
150–200	1,25	–	1,42	1,51	1,10	0,35	1,53	1,18	1,16	1,12	1,19
0–200	0,52		0,95	1,31	1,00	0,66	1,13	1,22	1,14	1,10	0,99
0–дно	0,70	0,71	1,02	1,32	0,88	0,44	1,26	1,20	1,10	0,98	0,93
Аномалии средней взвешенной солености (S, ‰) 13–14 июля 2017 г.											
слой, м	Ст.1	Ст.2	Ст.3	Ст.4	Ст.5	Ст.6	Ст.7	Ст.8	Ст.9	Ст.10	Сред.
0–50	0,36	0,09	–0,04	–0,09	0,00	0,13	0,07	0,12	0,12	0,14	0,09
0–100	0,17	0,03	–0,06	–0,08	0,01	0,12	0,06	0,10	0,09	0,11	0,05
150–200	–0,09		–0,08	–0,01	0,08	0,07	0,05	0,06	0,05	0,05	0,04
0–200	0,05		–0,07	–0,04	0,04	0,09	0,05	0,08	0,07	0,08	0,05
0–дно	0,02	0,01	–0,07	–0,04	0,05	0,09	0,05	0,08	0,07	0,07	0,05
Аномалии средней взвешенной температуры (Т, °С) 4–7 декабря 2017 г.											
слой, м	Ст.2	Ст.3	Ст.4	Ст.5	Ст.6	Ст.7	Ст.8	Ст.9	Ст.10	Сред.	
0–50	1,11	0,76	0,84	1,17	1,71	1,28	1,00	1,36	0,91	1,13	
0–100	1,17	0,88	0,91	1,49	2,04	1,46	1,10	1,44	0,89	1,26	
150–200		0,40	–0,06	1,21	1,69	1,51	0,39	1,40	0,47	0,77	
0–200		0,74	0,54	1,33	1,94	1,46	0,95	1,47	0,76	1,12	
0–дно	1,23	0,71	0,54	1,35	1,92	1,44	0,91	1,49	0,56	1,07	
Аномалии средней взвешенной солености (S, ‰) 4–7 декабря 2017 г.											
слой, м	Ст.2	Ст.3	Ст.4	Ст.5	Ст.6	Ст.7	Ст.8	Ст.9	Ст.10	Сред.	
0–50	–0,15	–0,06	–0,10	–0,15	–0,24	–0,13	–0,02	0,00	0,01	–0,09	
0–100	–0,19	–0,05	–0,09	–0,03	–0,16	–0,04	–0,02	0,00	0,01	–0,06	
150–200		–0,04	–0,15	0,12	0,05	0,03	0,02	–0,02	0,02	0,03	
0–200		–0,03	–0,10	0,04	–0,05	–0,01	0,00	0,00	0,02	–0,03	
0–дно	–0,22	–0,04	–0,10	0,05	–0,04	0,00	0,00	0,00	0,01	–0,01	

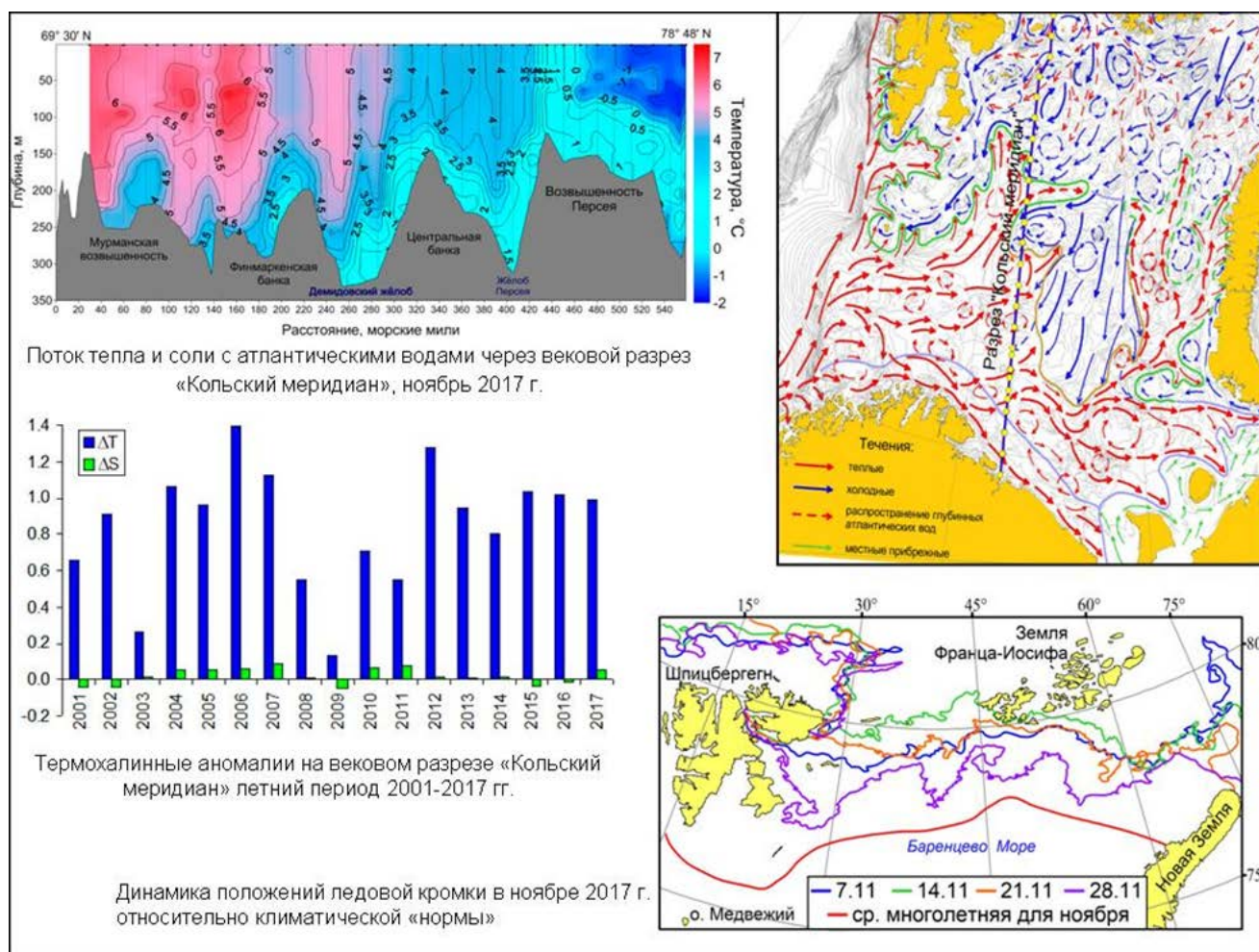


Рисунок 6. Элементы термохалинного режима Баренцева моря по многолетним данным и результатам экспедиционных исследований ММБИ в 2017 г.

Анализ многолетних и вновь полученных океанографических данных (2001–2017 гг.) показывает, что сложившаяся структура аномалий характеризует начавшийся на рубеже XXI столетия в океанографическом режиме Баренцева моря и устойчиво сохраняющийся период положительных термохалинных аномалий и низкой ледовитости.

Данные по ледовой обстановке в Баренцевом море в период начального в годовом цикле ледообразования (ноябрь) указывают на значительную вариативность южной границы ледовой кромки. По состоянию на конец ноября южная граница ледовых полей в море располагается значительно севернее средне-многолетнего положения – климатической нормы, что связано с текущим режимом теплового состояния водных масс моря и усилением адвекции тепла и солей с атлантическими водами в южной части Баренцева моря.

Термохалинное состояние вод на разрезе «Кольский меридиан» является индикатором океанографических процессов во всей южной части Баренцева моря. Таким образом, из анализа вновь полученных океанографических данных можно заключить, что условия среды и состояние баренцевоморской экосистемы в целом соответствуют теплому климатическому периоду.

На границе ледовой кромки в период формирования ледового покрова зарегистрирована зона повышенного обилия зоопланктона в верхнем 50-метровом слое.

В ходе исследований в районе прикромочных зон ледовых полей зафиксировано резкое увеличение количественных показателей обилия зоопланктона в верхнем 50-метровом слое (рис. 7).

Максимальные значения численности (до 3,5 тыс. экземпляров на кубический метр) зарегистрированы непосредственно у самой кромки формирующегося ледового покрова, и по мере удаления они снижались до средних (известных из литературы) показателей.

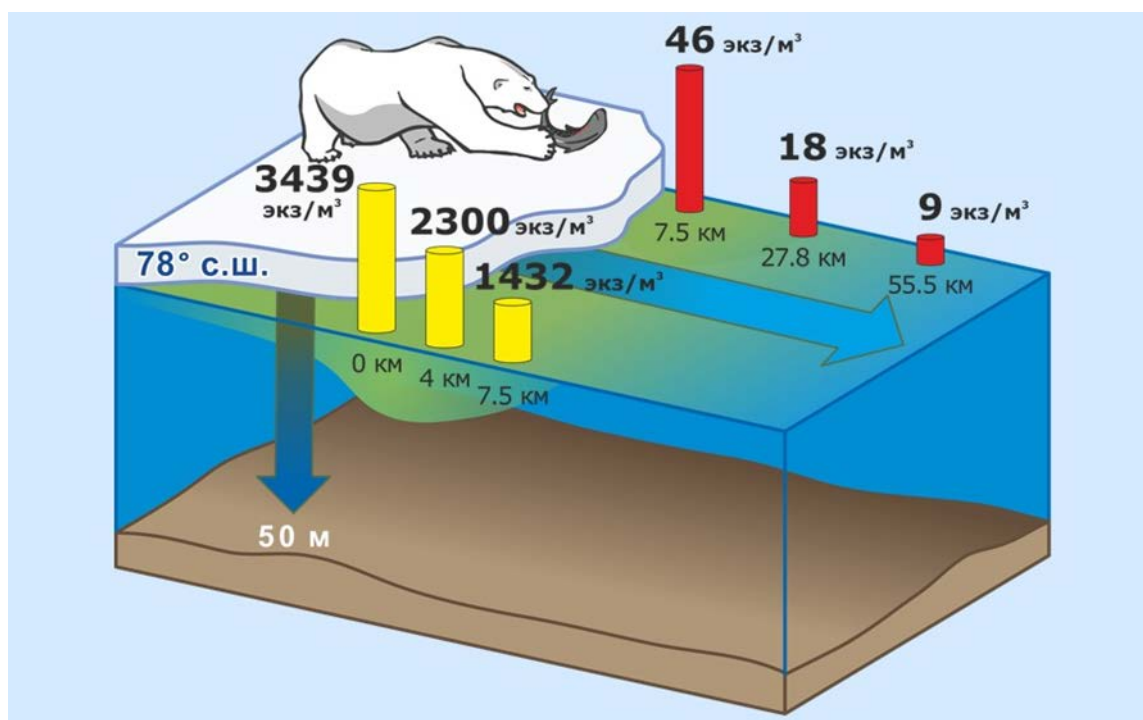


Рисунок 7. Количественные показатели обилия зоопланктона на границе ледовой кромки в период формирования ледового покрова

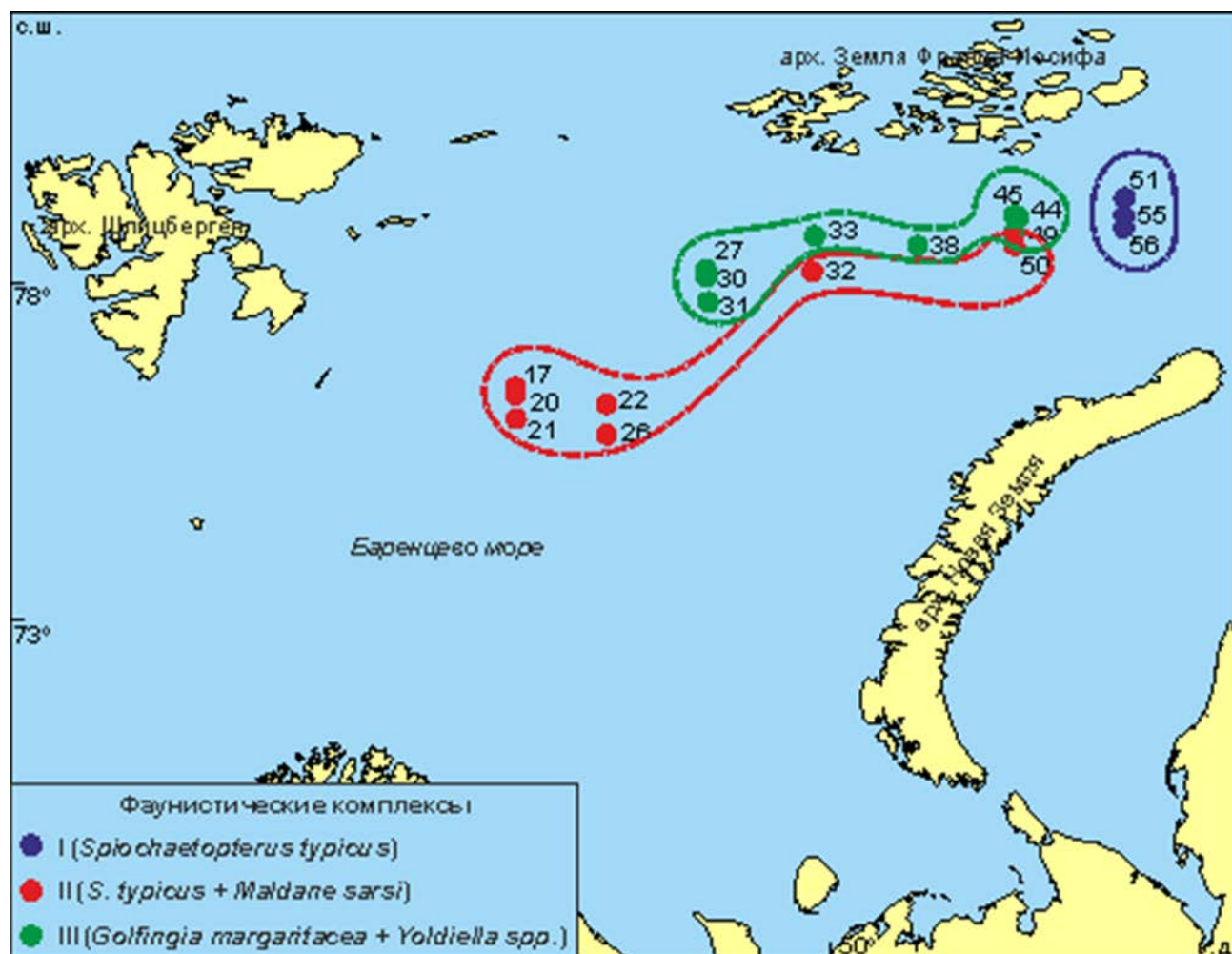
Впервые в северной части Баренцева моря подробно описаны сообщества зообентоса и определены их количественные характеристики. Показано положительное влияние на них краевых глубоководных желобов, как источника теплых атлантических вод и аккумулярованного органического вещества.

Впервые получены подробные количественные данные о видовом составе, фаунистических комплексах и распределении зообентоса в малоизученном районе северной части Баренцева моря. Вся информация о донной фауне указанного района ранее основывалась на редких траловых съемках и единичных дночерпательных сборах [1]. Видовое разнообразие бентоса Баренцева моря зависит от состава грунта, температуры и солености вод. Исследования, проведенные ММБИ, позволили выяснить степень влияния краевых желобов на состав и распределение бентоса в целом и доминирующей по всем количественным показателям группы полихет в частности. Материал был собран в экспедициях ММБИ на НИС «Дальние Зеленцы» в 2016–2017 гг. вдоль кромки льда на семи разрезах (рис. 8).

В районе исследований идентифицировано 275 таксонов донных беспозвоночных (232 видового ранга), относящихся к 12 типам, 17 классам. Видовое

богатство на станциях колебалось от 27 до 103 таксонов, в среднем составило 63 ± 6 таксонов на станцию. Плотность поселений зообентоса варьировала от 550 до 7800 экз./м² при среднем значении 2500 ± 500 экз./м². Биомасса изменялась от 7,5 до 250 г/м², в среднем составляя 85 ± 17 г/м². Выделено три фаунистических комплекса/сообщества (рис. 8). Комплекс *Spiochaetopterus typicus* (I) распространен на глубине 300–360 м на жидких коричневых илах при отрицательной придонной температуре; *Spiochaetopterus typicus* + *Maldane sarsi* (II) встречается на глубине 170–290 м на смешанных грунтах и преимущественно при положительной температуре; *Golfingia margaritacea* + *Yoldiella* spp. (III) отмечен на глубинах 250–300 м на мягких грунтах и при преимущественно низкой температуре.

Максимальные значения всех количественных параметров бентоса зафиксированы в юго-западной части исследованного района на смешанных илисто-песчаных грунтах при положительной придонной температуре. Здесь на увеличение видового богатства, биомассы и плотности поселения макрозообентоса влияют краевые желоба – Медвежинский и Зюйдкапский, по которым проникают теплые атлантические воды. Являясь ловушками осадочного вещества, они увеличивают кормовую базу для организмов. В зоне смешения с холодными водными массами происходит интенсивное оседание органического вещества, что создает благоприятные условия для детритофагов,



которые в районе исследования представлены преимущественно многощетинковыми червями. Минимальные значения разнообразия, биомассы и плотности поселений отмечены на восточных станциях преимущественно на жидких коричневых илах при отрицательной придонной температуре.

Получены документальные данные об успешной зимовке в тихоокеанском регионе моевки (*Rissa tridactyla*) из колонии, расположенной в европейском секторе Арктики.

В ходе исследований в колонии моевок на мысе Саханин южного острова Новой земли устанавливали геолокаторы (логгеры) на пойманных птицах. На основе данных логгеров район зимовки большинства меченых моевок из этой колонии был локализован в северо-западной Атлантике и центральных районах Баренцева моря (рис. 9).

В 2017 г. в данной колонии была отловлена гнездящаяся особь с логгером, помеченная нами в предыдущем году. Установлено, что зимовку данная особь осуществляла главным образом в Беринговом море

Рисунок 8. Распространение донных сообществ в северной части Баренцева моря

и частично в северо-западных районах Тихого океана. Таким образом, доказана возможность пребывания моевок из западных секторов Арктики в Тихоокеанском регионе. Этот факт свидетельствует о возможном существовании обмена генетическим материалом птиц одного вида из разных географически удалённых и, как ранее считалось, изолированных популяций.

Установлено, что начиная с 2015 г. в Баренцевом море наблюдается устойчивый рост численности камчатского краба (в 1,6–1,7 раза). Положительные тенденции отмечены как в прибрежье, так и в открытой части моря.

Одним из промысловых представителей зообентоса в Баренцевом море является камчатский краб. Анализ литературных данных показал, что положительные тенденции в индексах запаса наблюдаются с 2012 г.

Исследования камчатского краба, проведенные на модельной акватории губы Дальнезеленецкой

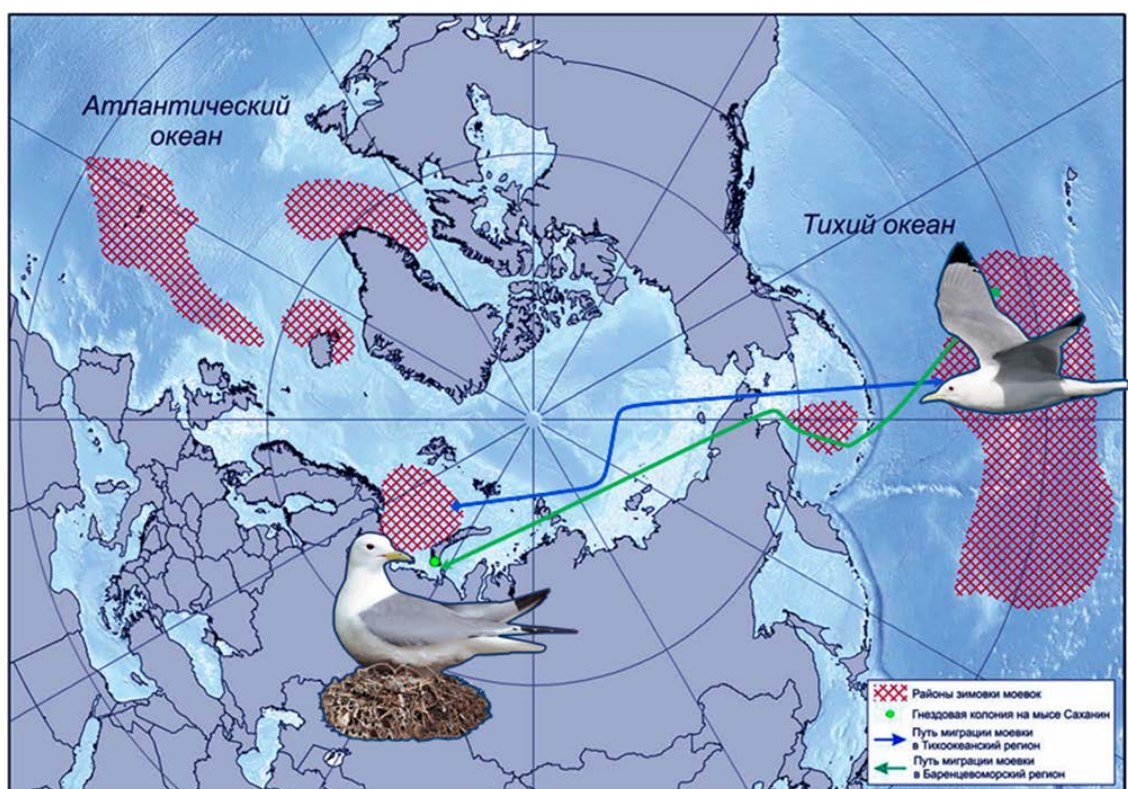


Рисунок 9. Путь миграции мовки из Баренцевоморского в Дальневосточный регион

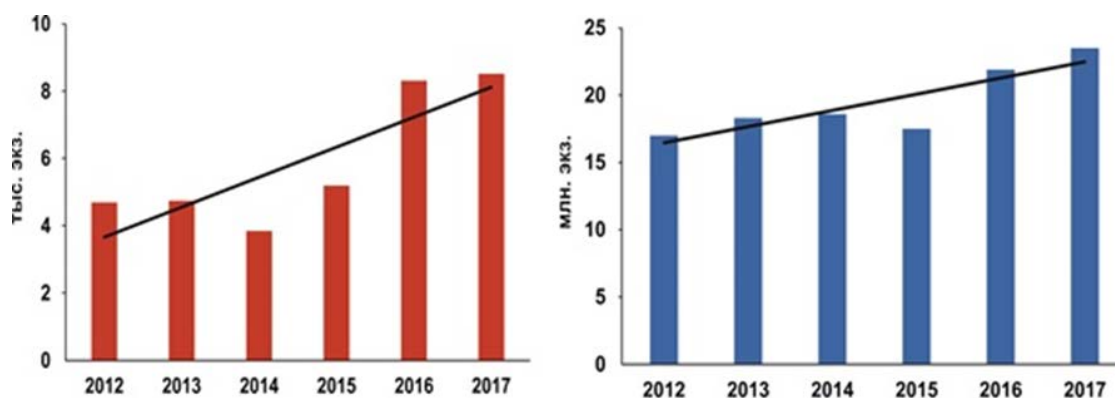
в ходе морских экспедиций последних лет, показали, что группировка данного вида находится в хорошем состоянии. Общая численность краба была на относительно стабильном уровне в период с 2012 по 2015 гг., после чего произошел рост численности в 1,6–1,7 раза (рис. 10). При этом численность икраных самок возросла в четыре раза. Положительные тенденции, отмеченные как в прибрежье, так и в открытой части моря, позволяют рассчитывать на продолжение интенсивной эксплуатации камчатского краба и повышение общего допустимого улова в последующие годы при условии соблюдения правил, регулирующих промысел данного вида.

Открыты новые обширные акватории обитания окуня-клевача.

Исследования биологии окуня-клевача как отдельного вида проводятся с момента описания данного вида в 1951 г. За 65-летний период наблюдений сложились представления о том (рис. 11), что выростные районы для личинок и ранней молодежи находятся на европейском шельфе Норвежского и Гренландского морей между Скандинавским п-овом и архипелагом Шпицберген [2].

Ареал же окуня-клевача норвежско-баренцевоморской популяции (рис. 11) выходит за пределы шельфа и ограничивается вогнутой линией от о. Западный Шпицберген до юго-восточной окраины шельфа о. Ян-Майен.

Рисунок 10. Динамика численности камчатского краба в губе Зеленецкой (слева) и на открытых акваториях (справа) в 2012–2017 гг.



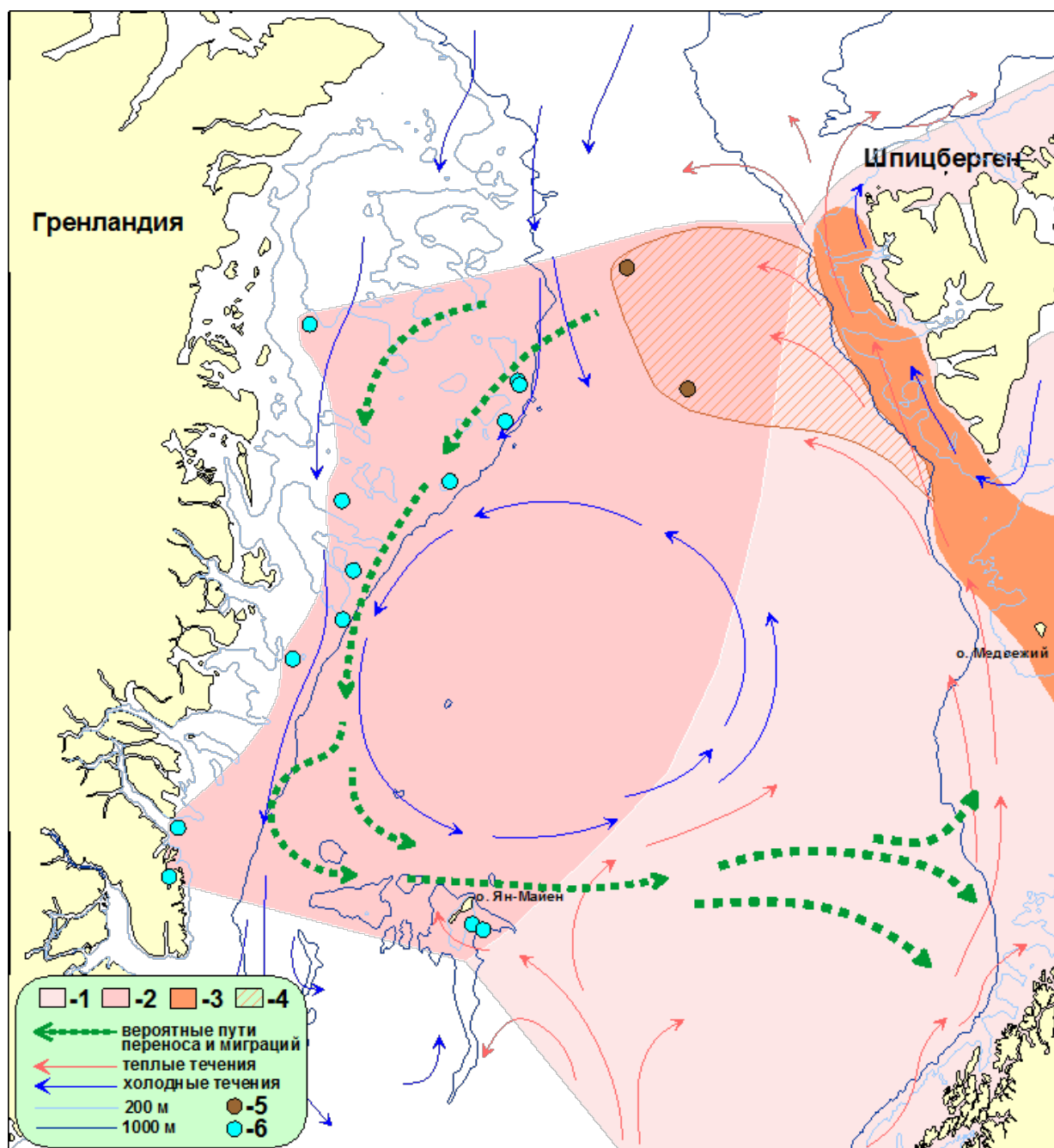


Рисунок 11. Новые данные о географическом распространении и жизненном цикле норвежско-баренцевоморской популяции окуня-клевача, полученные на основании экспедиционных исследований ихтиофауны шельфа северо-восточной Гренландии в 2010–2017 гг.

1 – прежние представления о распространении окуня-клевача [2], 2 – новые районы распространения, открытые в 2010–2017 гг., 3 – прежние представления о районах распространения сеголеток [2], 4 – новый район распространения сеголеток, открытый в 2017 г., 5 – станции, где обнаружены сеголетки в 2017 г., 6 – станции, где обнаружена молодь в 2010–2017 гг.

В результате ихтиологических исследований, выполненных на шельфе северо-восточной Гренландии в 2010–2017 гг., были открыты новые районы обитания окуня-клювача и показано, что прежние представления о географической составляющей жизненного цикла данного вида требуют существенной корректировки. Так, распространение сеголеток не ограничивается только европейским шельфом, а простирается гораздо дальше к западу на глубоководную часть пролива Фрама (рис. 11). Установлено, что молодь окуня-клювача постоянно встречается у северо-восточной Гренландии, где ветви Гольфстрима достигают ее шельфа, а также далее к югу, в районе формирования кругового течения в восточной части Гренландского и западной части Норвежского морей. По-видимому, данная система течений представляет собой неотъемлемую часть нагульного и миграционного пути личинок, молоди и подросших особей окуня-клювача в район его воспроизводства на европейском шельфе, являясь важнейшим элементов его жизненного цикла.

Полученные данные могут служить достаточным основанием для организации целенаправленных исследований за пределами шельфовой зоны Норвежского и Гренландского морей, в районе кругового течения, образуемого на их обширной приграничной акватории теплым Западно-Шпицбергенским и холодным Восточно-Гренландским течениями. Ранее считалось, что глубоко

водный пролив Фрама между архипелагом Шпицберген и Гренландией является барьером в распространении рыб [3], что, по последним данным, не соответствует действительности.

Подводя итог представленной работы, необходимо отметить, что исследованиями Мурманского биологического института были охвачены все компоненты экосистем, начиная с донных беспозвоночных и заканчивая морскими птицами. Несмотря на то что часть отобранного материала еще находится в обработке (например, по радиоактивному загрязнению), представленные результаты во многом меняют наше представление о структуре и функционировании арктических морских экосистем и позволяют по-новому взглянуть на современное состояние среды и биоты в Арктике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кийко О.А., Погребов В.Б. Донные сообщества Европейской Арктики близ архипелагов Шпицберген и Земля Франца-Иосифа // Природа шельфов и архипелагов Европейской Арктики. М: ГЕОС, 2008. Вып. 8: Материалы междунар. науч. конф. С. 164–169.
2. Мельников, С.П. Окунь-клювач *Sebastes mentella* Атлантического и Северного ледовитого океанов : популяционная структура, биология, промысел : автореф. дисс. ... доктора биологических наук. М.: ВНИРО. 2013. 49 с.
3. Briggs J.C. Marine Zoogeography. New York: McGraw-Hill, 1974. 475 p.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДИНАМИКИ ФРОНТАЛЬНЫХ РАЗДЕЛОВ И ФРОНТАЛЬНЫХ ЗОН ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОЛУСУТОЧНОГО ПРИЛИВНОГО ЦИКЛА В БЕЛОМ МОРЕ

Р.Э. Здоровеннов*, А.В. Толстиков, А.П. Георгиев,
А.В. Зимин

Институт водных проблем Севера

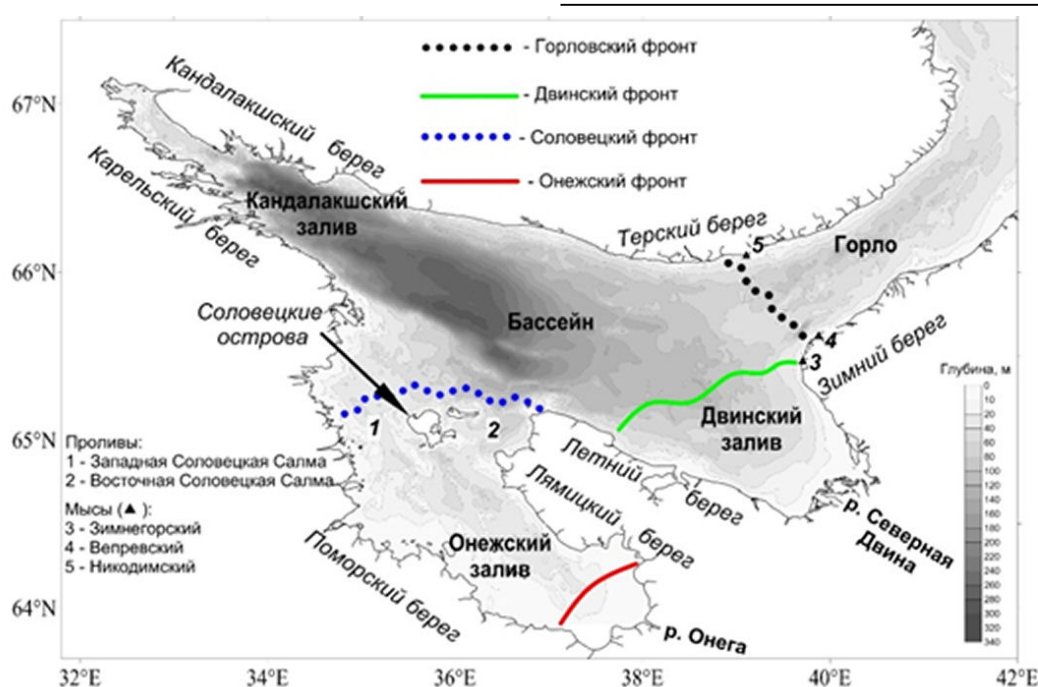
*e-mail: romga74@gmail.com

Введение

Белое море имеет сложную конфигурацию рельефа дна и берегов, в связи с чем его районы значительно различаются по глубинам и объемам поступающего в них речного стока. В теплый период года подобные условия приводят к формированию хорошо выраженной вертикальной стратификации и горизонтальных фронтальных зон, имеющих различную физическую природу: эстуарные фронты образуются под влиянием речного стока, а приливные – под влиянием приливов и сезонного прогрева.

Изучению фронтальных зон в Белом море посвящен ряд работ [1–7]. В настоящее время известно, что образование приливных фронтов связано с неравномерным распределением скоростей приливных течений [1, 2]. На акватории Белого моря хорошо выражены две области приливных фронтов – Горловский и Соловецкий фронт (рис. 1). Первая из них наблюдается в районе Горла, вторая область находится в районе Соловецких островов на границе Онежского залива и Бассейна. Формирование фронтов в Восточной и Западной Салме начинается в середине мая, после разрушения ледяного покрова и образуется зона раздела между сильно стратифицированными водами Бассейна и теплыми хорошо перемешанными водами Онежского залива.

Рисунок 1. Карта Белого моря с положением главных фронтов (по [3])



Эстуарные фронтальные зоны – Двинский и Онежский фронт (рис. 1) – возникают в местах впадения рек и хорошо проявляются в Онежском и Двинском заливах. Сток пресной воды приводит к образованию термохалинных фронтов с градиентами солености до 0,2–0,4 ‰/км, которые в отдельные годы могут достигать несколько промилле на километр. Кроме градиента солености, в них наблюдаются и температурные градиенты, которые в среднем составляют 0,08–0,17 °С/км [1].

В настоящее время имеется лишь схематичное представление о положении и общей динамике приливных фронтов в Белом море. Несмотря на констатацию значительной изменчивости положения фронтальных разделов в Белом море под влиянием приливов, описание этой изменчивости в осенний период по данным наблюдений отсутствует.

Целью экспедиционных исследований было изучение особенностей динамики фронтальных разделов и фронтальных зон под действием полусуточного приливного цикла в Онежском заливе Белого моря в осенний период и оценка связи между изменчивостью термохалинной структуры вод и содержанием хлорофилла *a*,

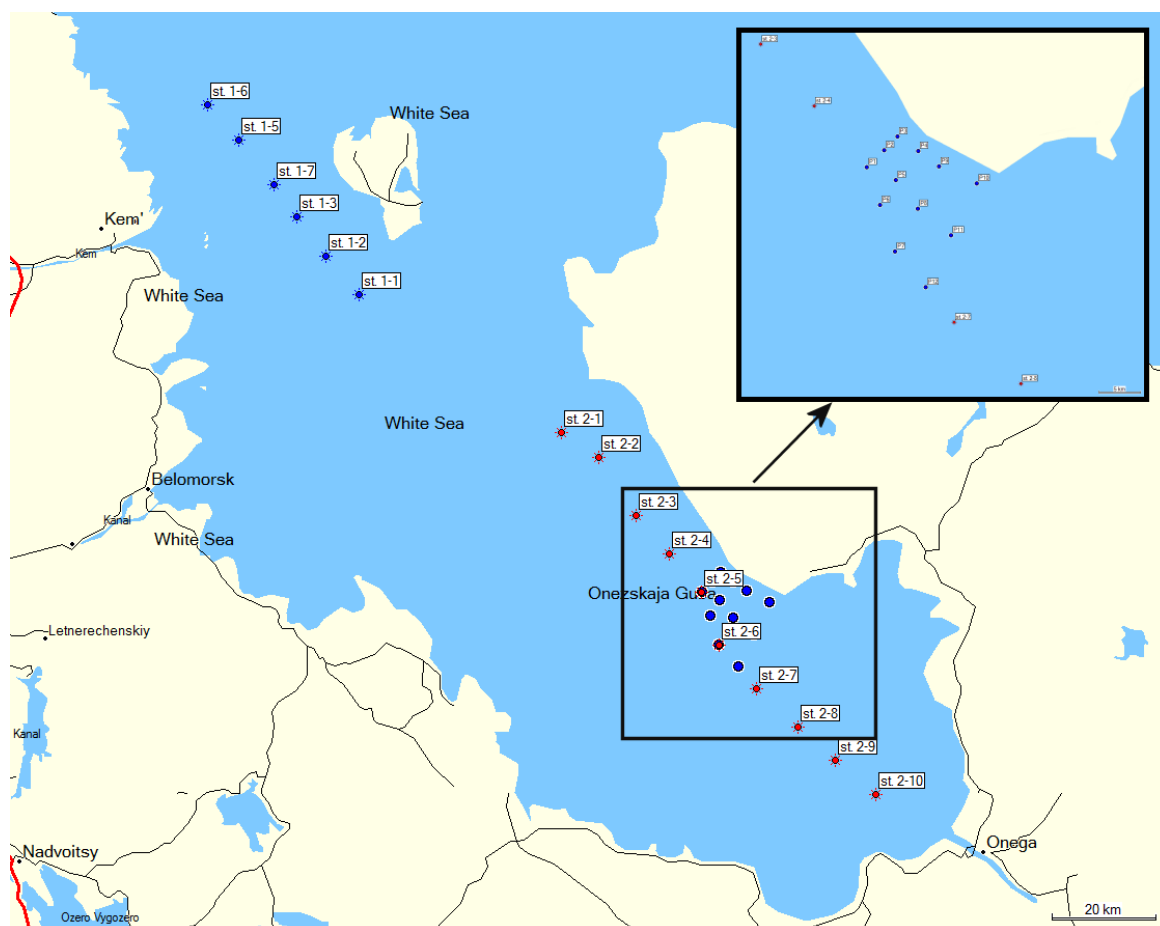
а также получение данных для верификации модели термогидродинамики и экосистемы Белого моря (JASMINE).

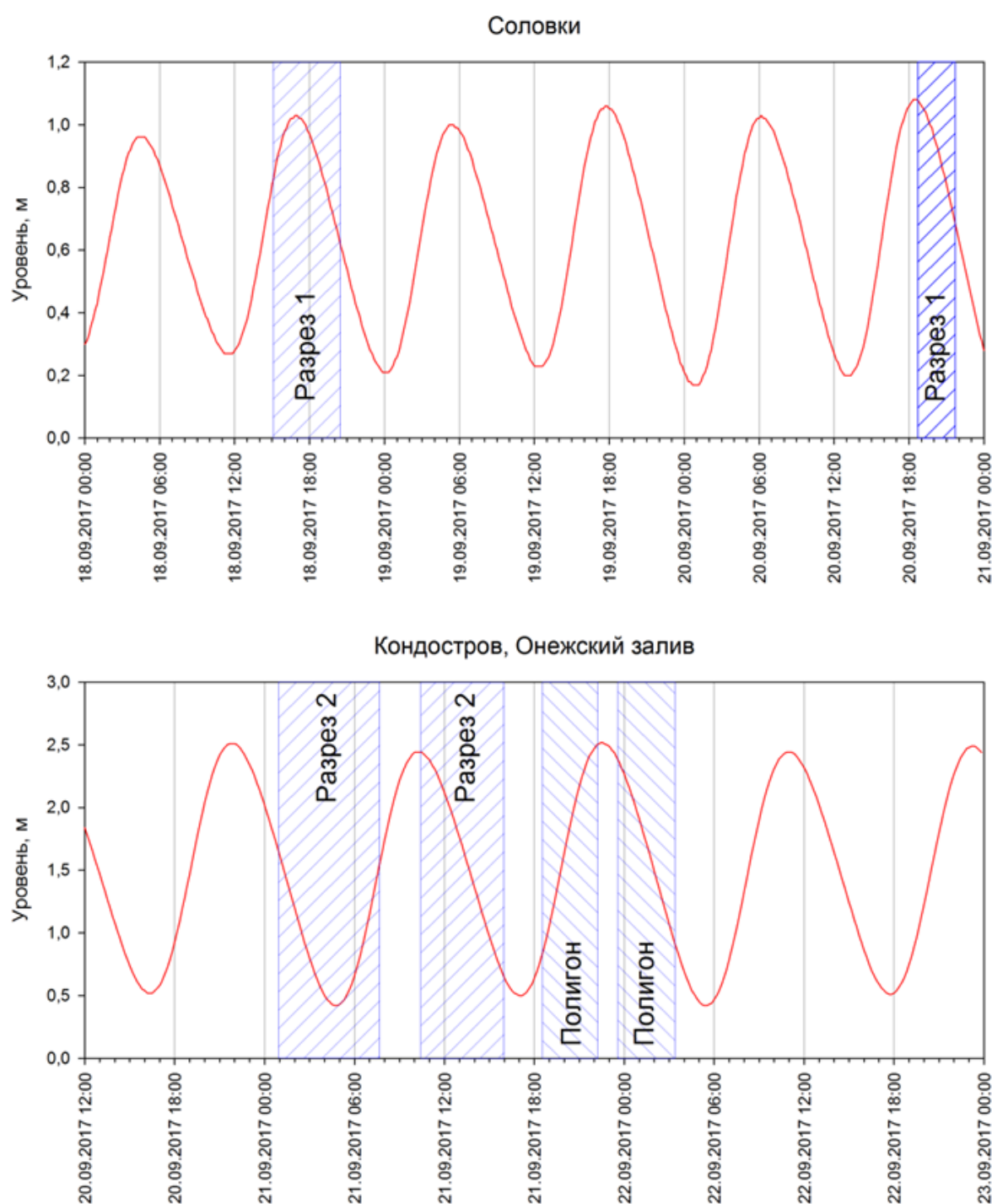
Исходные данные

Экспедиционные работы на Белом море с 18 по 22 сентября 2017 г. включали в себя гидрофизические исследования, которые были выполнены при помощи мультипараметрического зонда CTD 90M Sea&Sun Technology (Германия). Проводились измерения вертикального распределения температуры, солености, мутности и хлорофилла *a*. Всего было выполнено 57 океанографических станций. Работы выполнялись на двух океанографических разрезах. Кроме того, была сделана одна полигонная съемка. Работы выполнялись в двух основных районах (рис. 2) – в проливе Западная Соловецкая Салма (разрез 1) и в юго-восточной части Онежского залива (разрез 2 и полигон).

18 и 20 сентября работы выполнялись в проливе Западная Соловецкая Салма и включали в себя измерения по осевому разрезу вдоль пролива (рис. 2).

Рисунок 2. Схема районов проведения работ в сентябре 2017 г.





Были сделаны вертикальные зондирования на 6 станциях на разрезе 1 (ст. 1-1-1-7). Измерения выполнялись дважды в разные фазы приливного цикла. Непосредственные приборные регистрации хода уровня во время экспедиции не производились, поэтому колебания уровня на период экспедиционных работ были рассчитаны при помощи программы WXTide32. В качестве ближайшего к району работ пункта были выбраны Соловецкие острова (рис. 3).

Рисунок 3. Ход колебания уровня в период проведения экспедиции с нанесенными периодами выполнения разрезов и полигонной съемки

21 и 22 сентября работы выполнялись в юго-восточной части Онежского залива и включали в себя измерения по разрезу вдоль оси пролива и на полигоне вблизи Лямецкого берега (рис. 2). Всего было выполнено 10 станций на разрезе 2 (ст. 2-1-2-10) и 12 станций на полигоне (ст. Р-1-Р-12). Как и в первом районе,

все измерения выполнялись дважды – в фазу прилива и в фазу отлива. Колебания уровня на период работ были также рассчитаны при помощи программы WXTide32. Был выбран пункт, ближайший к району работ, – Кондостров (рис. 3).

Анализ данных наблюдений

Результаты измерений температуры, солености и хлорофилла *a* на разрезах 1 и 2 представлены на рис. 4 и 5. В целом они говорят о классическом для сентября распределении измеренных параметров. Температура варьировалась от 4,5 до 11,5 °C в зависимости от станции. Наиболее холодные участки поверхностного слоя были отмечены в северной части Онежского залива, наиболее теплые – в центральной и южной частях. Вертикальное распределение температуры в центральной части залива отличалось относительной гомотермией. В северной части Западной Соловецкой Салмы температура с глубиной понижалась, а в вершине Онежского залива теплые воды были у поверхности «накрыты» слоем холодных вод. Это позволяет утверждать, что в северной (разрез 1) и южной (разрез 2) частях залива на разрезах наблюдались фронтальные разделы.

Соленость на разрезах колебалась от 24 до 25,5 ‰ в слое за исключением устьевой области р. Онеги, где была отмечена соленость в 22–23 ‰. С глубиной соленость возрастала, максимальные значения (до 26 ‰) наблюдались в мористой части пролива Западная Соловецкая Салма. Распределение солености подтверждает ранее сделанный вывод о том, что в северной (разрез 1) и южной (разрез 2) частях залива наблюдаются фронтальные разделы

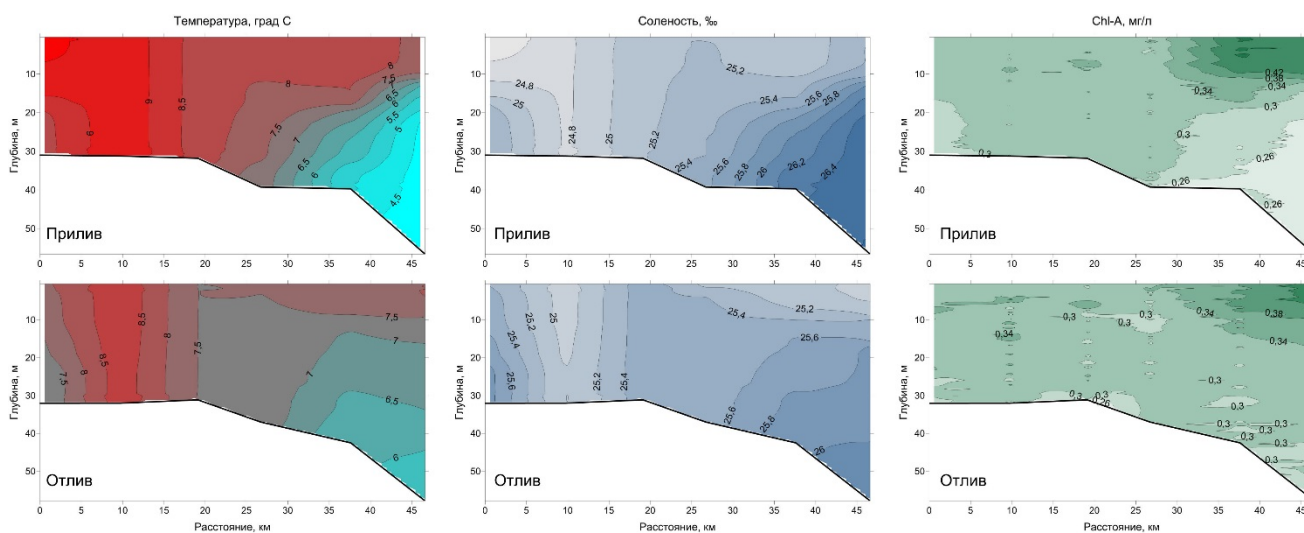
(Соловецкий фронт – разрез 1, Онежский фронт – разрез 2).

Содержание хлорофилла *a* колебалось от 0,34 на поверхности до 0,26 мг/л в придонном горизонте. Максимальные значения хлорофилла (более 0,5 мг/л) наблюдались в районе Онежской фронтальной зоны, образованной стоком р. Онеги.

В районе пролива Западная Соловецкая Салма (рис. 4) приливной фронтальный раздел наиболее четко прослеживался в проекции изотермы 7 °C и почти совпадающей с ней изогалины 26,6 ‰. Он разделял поверхностную водную массу, отличающуюся самыми высокими температурами и самой низкой соленостью и занимающую большую часть разреза, и промежуточную водную массу, занимающую небольшую глубинную его часть. Под влиянием прилива фронтальный раздел незначительно менял свое положение в пространстве, но при этом значительно трансформировался. В фазу прилива он интенсифицировался в полтора раза до значений градиента 0,7 °C/м и образовывал ярко выраженную наклонную поверхность от 25 до 45 км разреза. В отлив он был менее интенсивен, но над топографической неровностью дна наблюдался куполообразный подъем изотерм и изогалин, характерный для вихревого движения.

В кутовой части Онежского залива (рис. 5), в районе южнее 75 км разреза, обнаружили существенно распресненные (до 22 ‰) и относительно холодные поверхностные воды в виде ограниченной в пространстве

Рисунок 4. Вертикальное распределение температуры, солености и хлорофилла *a* на разрезе 1. Разрез ориентирован с юга (0 км) на север (45 км).



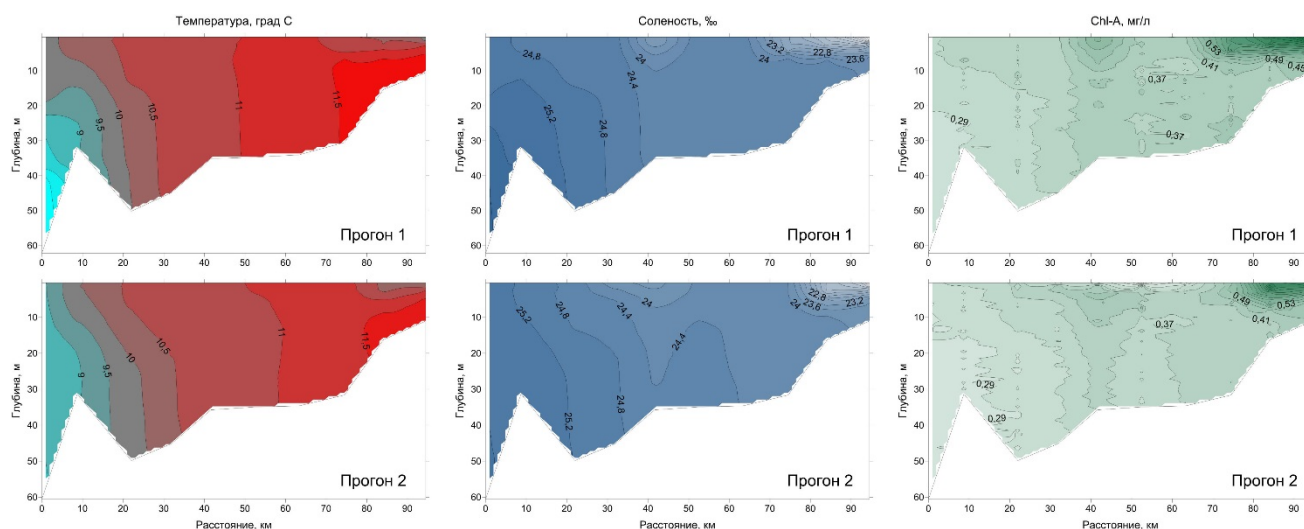


Рисунок 5. Вертикальное распределение температуры, солености и хлорофилла а на разрезе 2. Разрез ориентирован с севера (0 км) на юг (90 км)

прослойки толщиной 5–10 м. Граница этой прослойки образовывала фронтальный раздел, за счет которого у поверхности маскировалось положение стокового фронтального раздела. Раздел, как и следовало ожидать, наиболее четко маркировался по распределению изогалин. Под влиянием приливно-отливных течений происходило значительное (8–9 км) изменение положения Онежского фронтального раздела и незна-

чительное изменение его интенсивности. Следует отметить, что динамика концентрации хлорофилла а совпадала с динамикой солености.

Полигонная съемка, выполненная в Онежском заливе у Лямичьего берега, позволила проследить особенности пространственной динамики стоковой Онежской фронтальной зоны под влиянием приливных процессов (рис. 6). На всех полученных картах распределения температуры фронт был выражен в виде сильно меандрирующей границы раздела распресненных и солоноватых вод. В отлив наблюдалось перемещение фронтального раздела примерно на 10 км от берега.

В фазу прилива в поверхностном слое распресненные воды, ограниченные Онежским фронтом, были прижаты к берегу, что хорошо прослеживается в поле солености. В фазу отлива фронтальная зона сдвигалась в мористую часть, и на границах фронтальной зоны наблюдалось интенсивное формирование вихревых образований.

Следует отметить, что при оценке динамики субмезомасштабных процессов необходимо учитывать влияние локальных атмосферных факторов, несколько искажающих исходную картину. Так, некоторое смещение изотерм на полигоне может быть обусловлено не только влиянием приливных сил, но и влиянием дрейфовых течений и дневным прогревом.

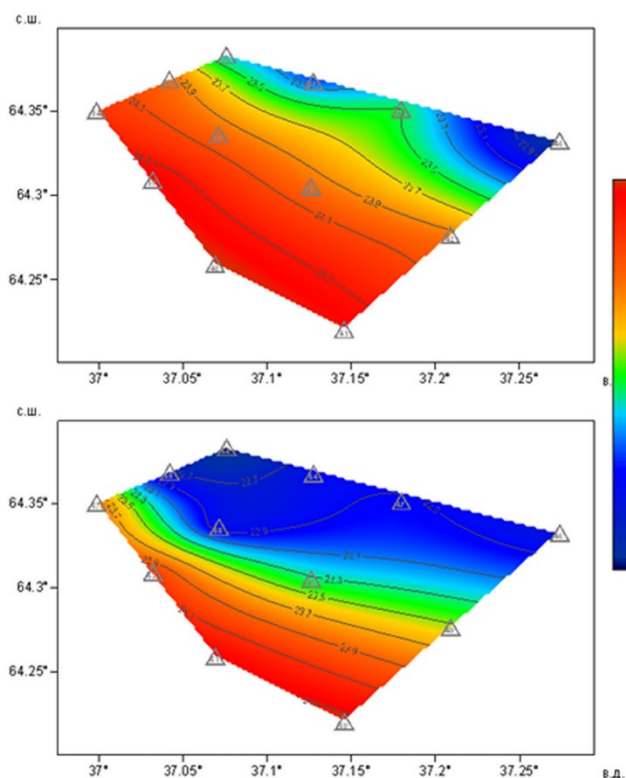


Рисунок 6. Распределение солености на глубине 10 м на полигоне в Онежском заливе в фазу прилива и отлива

Предварительные результаты экспедиции

1. Получены сведения об изменении положения приливного и эстуарного фронта в Онежском заливе Белого моря под влиянием прилива. Приведенные результаты предварительного анализа экспедиционных наблюдений в районах активной фронтальной динамики в Западной Соловецкой Салме и в кутовой части Онежского залива в сентябре 2017 г. свидетельствуют о значительной мезомасштабной (приливной и, возможно, ветровой) изменчивости характеристик фронтальных разделов в Белом море в осенний период. Это проявляется в усилении (ослаблении) значений вертикального и горизонтального градиентов температуры и солености в области Соловецкого фронта в несколько раз и в смещениях Онежского фронтального раздела на дистанцию до 10 км. Временной интервал наблюдаемой изменчивости составлял от нескольких часов до суток.

2. Собраны данные для верификации модели термогидродинамики и экосистемы Белого моря JASMINE (КарНЦ РАН).

ЛИТЕРАТУРА

1. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 2: Белое море. Вып. 1: Гидрометеорологические условия / Под ред. Б.Х. Глуховского. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 240 с.
2. Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов / [И.А. Барышев и др.]; под ред. Н.Н. Филатова, А.Ю. Тержевика; Российская акад. наук, Карельский науч. центр, Ин-т водных проблем Севера. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 333 с.
3. Пантюлин А.Н. Структура и динамика водного тела Белого моря. Динамика, структура, водные массы // Система Белого моря. Том II. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера. М.: Научный мир, 2012. С. 309–379.
4. Ионов В.В., Шилов И.О. Особенности распространения речных вод и динамики океанологических фронтов в Белом море по результатам спутниковых ИК-измерений и натурным наблюдениям в летний период // Вестник СПбГУ. Сер. 7: Геология, география. 1996. Вып. 2. С. 53–61.
5. Колдунов А.В., Кузьмина А.А., Фукс В.Р. Спутниковый мониторинг фронтальных зон Белого моря // Материалы X Международной конференции «Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря» 18–20 сентября 2007 г., Архангельск, Россия. Архангельск: Изд-во СГМУ, 2007. С. 31–33.
6. Зимин А.В., Романенков Д.А., Родионов А.А., Жегулин Г.В., Родионов М.А. Экспедиционные исследования короткопериодной изменчивости гидрофизических полей Белого моря в августе 2013 г. // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2014. Т. 7, № 1. С. 85–91.
7. Романенков Д.А., Зимин А.В., Родионов А.А., Атаджанова О.А., Козлов И.Е. Изменчивость фронтальных разделов и особенности мезомасштабной динамики вод Белого моря // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2016. Т. 9, № 1. С. 59–72.

ЭКОСИСТЕМЫ РОССИЙСКОЙ МОРСКОЙ АРКТИКИ - 2017

Научные результаты 69-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в Карское, Лаптевых и Восточно-Сибирское моря

22 августа – 03 октября



М.В.Флинт, ИО РАН



Конференция
«Итоги экспедиционных исследований
на научных судах ФАНО России в 2017 г.»

21-22 февраля 2018 г.



Российский
научный
фонд

ОРГАНИЗАЦИИ – УЧАСТНИКИ 69-го НАУЧНОГО РЕЙСА НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»



1. Институт океанологии РАН (ИО РАН) – организатор экспедиции
2. Атлантическое отделение Института Океанологии РАН (АО ИО РАН)
3. Южное отделение Института Океанологии РАН (ЮО ИО РАН)
4. Архангельское отделение Института океанологии РАН (АрХО ИО РАН)
5. Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (ИГЕМ РАН)
6. Институт геохимии и аналитической химии РАН (ГЕОХИ РАН)
7. Институт биологии внутренних вод РАН (ИБВВ РАН)
8. Институт общей генетики РАН (ИОГен РАН)
9. Институт морских биологических исследований РАН (ИМБИ РАН,
г.Севастополь)
10. Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»
11. Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова (МГУ)
12. Московский физико-технический университет (ФИЗТЕХ).

**В 69-ом НАУЧНОМ РЕЙСЕ НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»
ПРОВОДИЛИСЬ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СЛЕДУЮЩИМ ТЕМАМ
ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗАДАНИЯ**



- **№0149-2014-0038.** Геолого-геохимические исследования природных
- и антропогенных процессов в воде, взвесьях и донных осадках морских
- акваторий, в том числе в окраинных районах Мирового океана»
- **№ 0149-2014-0047.** Механизмы формирования структуры и биологической
- продуктивности морских и океанских экосистем в условиях меняющегося
- климата и антропогенного воздействия.
- **№ 0149-2014-0002.** Исследование мезомасштабных и субмезомасштабных
- процессов в районах, находящихся под влиянием материкового стока
- на основе натурных измерений и численного моделирования.
- **№ 0149-2015-0030.** Исследования геодинамической эволюции Арктики
- и зоны перехода от Тихого океана к Евразии; изучение развития
- катастрофических и потенциально опасных процессов в зонах субдукции,
- окраинных, внутренних морях и береговой зоне, анализ их геоэкологических
- последствий; оценка и генезис полезных ископаемых континентальных
- окраин и внутриокеанических областей, окраинных и внутренних морей.

**В 69-ом НАУЧНОМ РЕЙСЕ НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»
ПРОВОДИЛИСЬ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СЛЕДУЮЩИМ ТЕМАМ
ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗАДАНИЯ**



- **№ 0149-2016-0001.** Исследование седиментосистем морей Европейской
- части России, Атлантического и Северного Ледовитого океанов.
- Оценка роли различных природных и антропогенных процессов
- в седиментогенезе и рудогенезе.
- **№ 0149-2014-0047.** Исследование механизмов формирования структуры
- и биологической продуктивности морских экосистем Арктики и ключевых
- районов Океана в условиях меняющегося климата и антропогенного
- воздействия.
- **№ 0149-2014-0049.** Исследование динамики основных биогенных элементов
- (O, C, N, P, Si, Fe) в природных морских и солоноватых водах, включая
- нарушение естественного биогенного режима и эвтрофикацию как показатель
- изменения климата и степени антропогенного воздействия на экосистемы.
- **№ 0149-2014-0052.** Исследование многолетней динамики структуры
- и пространственной организации прибрежных донных сообществ Арктических
- и европейских морей России и определяющих ее абиотических
- и биотических факторов.

**В 69-ом НАУЧНОМ РЕЙСЕ НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»
ПРОВОДИЛИСЬ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СЛЕДУЮЩИМ ТЕМАМ
ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗАДАНИЯ**



- **№ 0149-2014-0051.** Исследование крупномасштабных закономерностей
- структурно-функциональной организации донной биоты Мирового океана
- **№ 0149-2014-0050.** Исследование состава, структуры и процессов
- формирования ихтиоценозов морей России и Мирового океана.
- **№ 0149-2014-0058.** Технологическое гидролокационное обеспечения текущих
- исследований и прикладных работ Института. Разработка новых
- гидролокационных технологий (технические средства, методики проведения
- прикладных и фундаментальных исследований гидросферы, методы анализа
- получаемой информации о дне океанов и подводных объектах). Разработка
- технологии оценки эффективности средств магнитометрического поиска
- подводных объектов (ПО).
- **№ 0149-2014-0060.** Технологическое обеспечение текущих исследований
- и прикладных работ Института с применением телеуправляемых необитаемых
- подводных аппаратов (ТНПА) серии ГНОМ.

**В 69-ом НАУЧНОМ РЕЙСЕ НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»
ПРОВОДИЛИСЬ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СЛЕДУЮЩИМ ТЕМАМ
ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗАДАНИЯ**



- **№ 0136-2016-0015.** Закономерности миграции и распределения радиоактивных
- и стабильных загрязнителей в ландшафтно-геохимических системах Севера.
- **№ 0136-2015-0046.** Поисковые фундаментальные научные исследования
- в интересах развития Арктической зоны Российской Федерации.
- **№ 0136-2015-0044.** Закономерности современного распределения
- радионуклидов и тяжелых металлов в донных осадках Карского моря.
- **№ 0112-2016-0002.** Популяционные генофонды в условиях динамично
- изменяющейся среды: молекулярно-генетические подходы к анализу
- факторов эволюции и адаптации

ОБЩЕЕ КОЛИЧЕСТВО ТЕМ ГОСЗАДАНИЯ - 16

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ЗАДАЧИ ЭКСПЕДИЦИИ

«Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года», подписанная Президентом Российской Федерации

ОЦЕНКА СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОДУКТИВНОСТИ МОРСКИХ АРКТИЧЕСКИХ ЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ МАСШТАБНОГО КОНТИНЕНТАЛЬНОГО СТОКА НА АРКТИЧЕСКИЕ ПРИРОДНЫЕ КОМПЛЕКСЫ

ОЦЕНКА НАКОПЛЕННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ В АРКТИКЕ, СВЯЗАННЫХ С ИСПЫТАНИЯМИ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ НА НОВОЙ ЗЕМЛЕ И КРУПНЕЙШИМИ МОГИЛЬНИКАМИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ В КАРСКОМ МОРЕ

ОЦЕНКА МАСШТАБОВ МЕТАНОВЫХ СОЧЕНИЙ НА АРКТИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРИРОДНЫЕ СИСТЕМЫ



ОРГАНИЗАЦИОННАЯ СТРУКТУРА ЭКСПЕДИЦИИ

14 НАУЧНЫХ ОТРЯДОВ:

- Гидрофизики
- Оптических исследований
- Исследований поверхностного слоя моря
- Биогидрохимии
- Фитопланктона
- Первичной продукции
- Микрогетеротрофного планктона
- Зоопланктона
- Ихтиологии
- Донной фауны
- Радиогеохимии и гляциологии
- Взвеси и углеводородов
- Геолого-геофизических исследований
- Инженерно-технических исследований



НАУЧНЫЙ СОСТАВ ЭКСПЕДИЦИИ – 75 ЧЕЛОВЕК

из 75 участников научной группы – **36 (47%)**

МОЛОДЫЕ СПЕЦИАЛИСТЫ

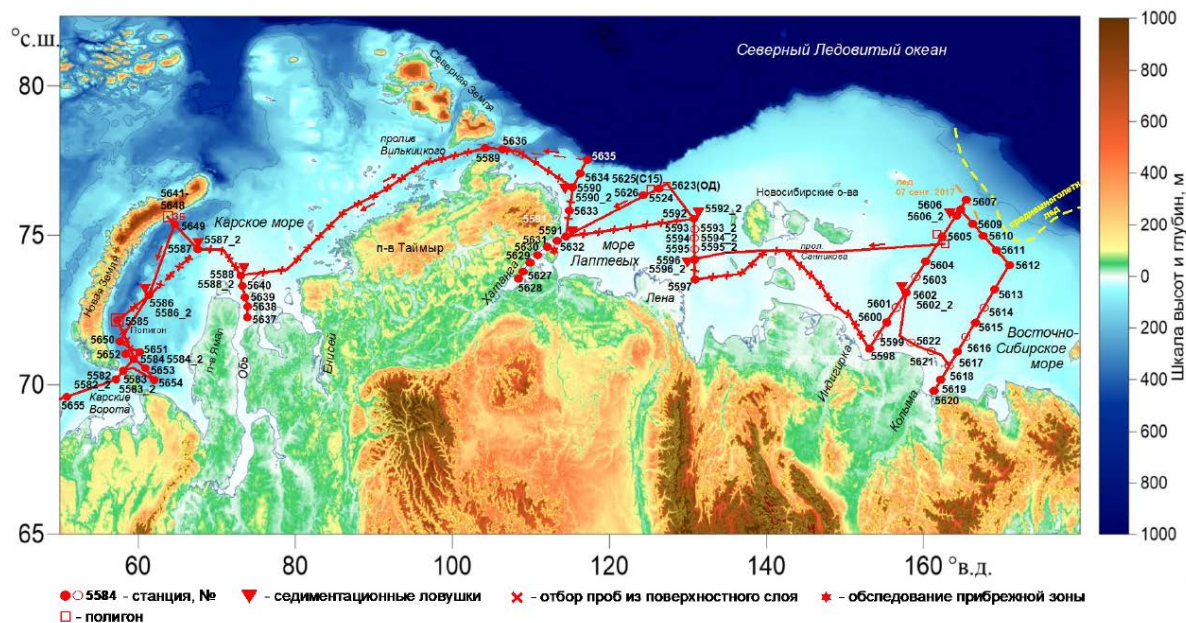


СТУДЕНТОВ – 3 ЧЕЛОВЕКА АСПИРАНТОВ – 4 ЧЕЛОВЕКА
3 МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТА РУКОВОДИЛИ НАУЧНЫМИ ОТРЯДАМИ

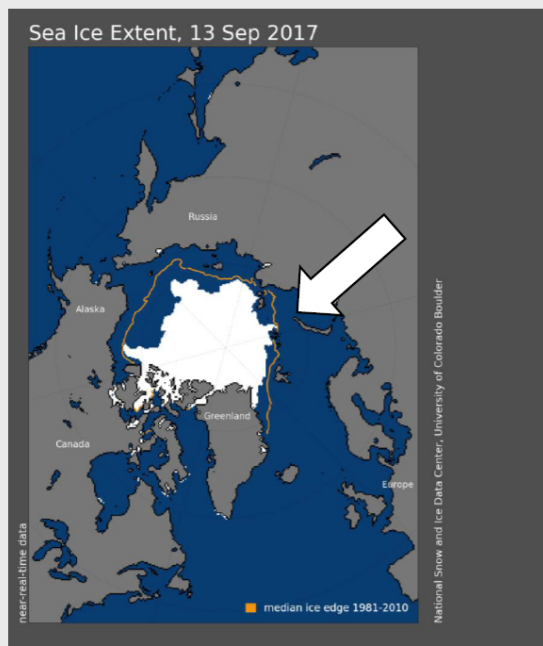
69-й РЕЙС НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»

Карское, Лаптевых и Восточно-Сибирское моря

45 судо-суток (22 августа – 03 октября 2017 г.)

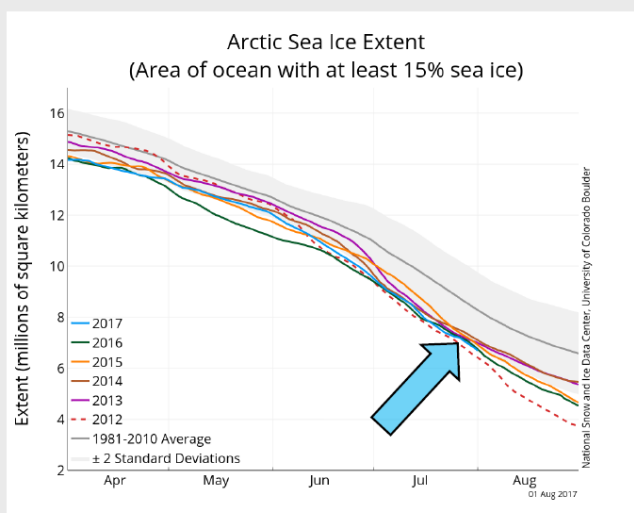


Протяженность экспедиционного маршрута - 8108 миль (15 016 км)



Красной линией показано среднее положение летней ледовой кромки за период с 1981 по 2010 гг.

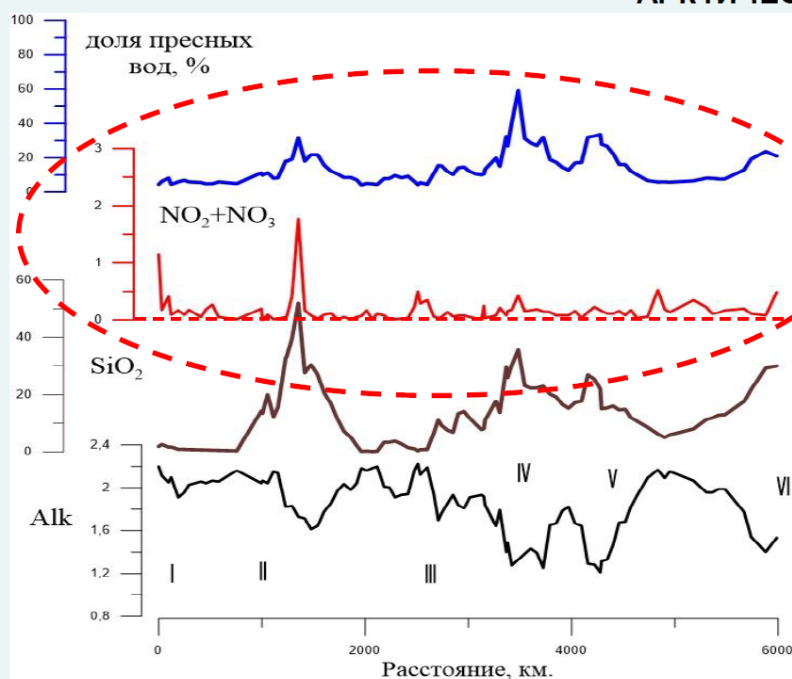
ЛЕДОВЫЕ УСЛОВИЯ В СИБИРСКОЙ АРКТИКЕ В 2017 г.



ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕРХНЕГО ПРОДУКЦИОННОГО СЛОЯ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

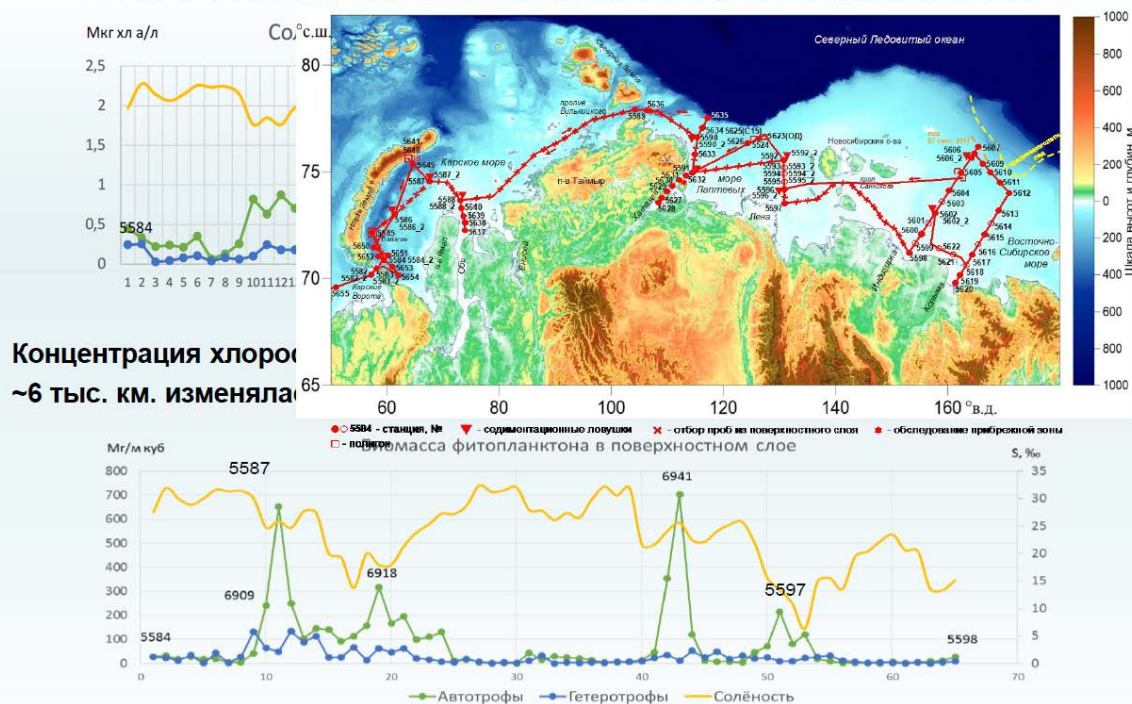


БИОГЕННЫЙ РЕЖИМ ВЕРХНЕГО ПРОДУКЦИОННОГО СЛОЯ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ



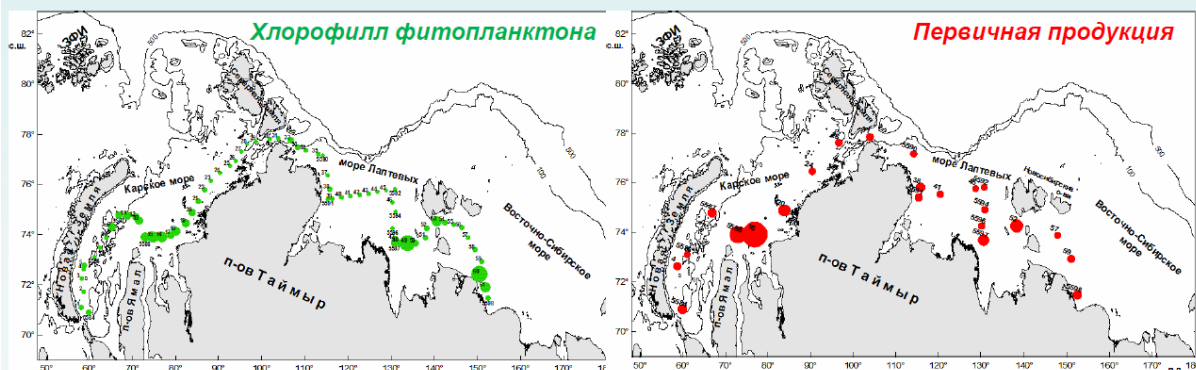
Близкое к аналитическому нулю содержание нитратов поверхностном слое на большей части шельфа является основным фактором, лимитирующим сезонную первичную продукцию и развитие фитопланктона в Арктических морях

ХЛОРОФИЛЛ и ФИТОПЛАНКТОН в АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ



Распределение биомассы фитопланктона на трансарктическом разрезе протяженностью ~6 тыс. км. Изменчивость от 40 до 700 мг/м³.

ПИГМЕНТЫ ФИТОПЛАНКТОНА И ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ НА ШЕЛЬФЕ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ



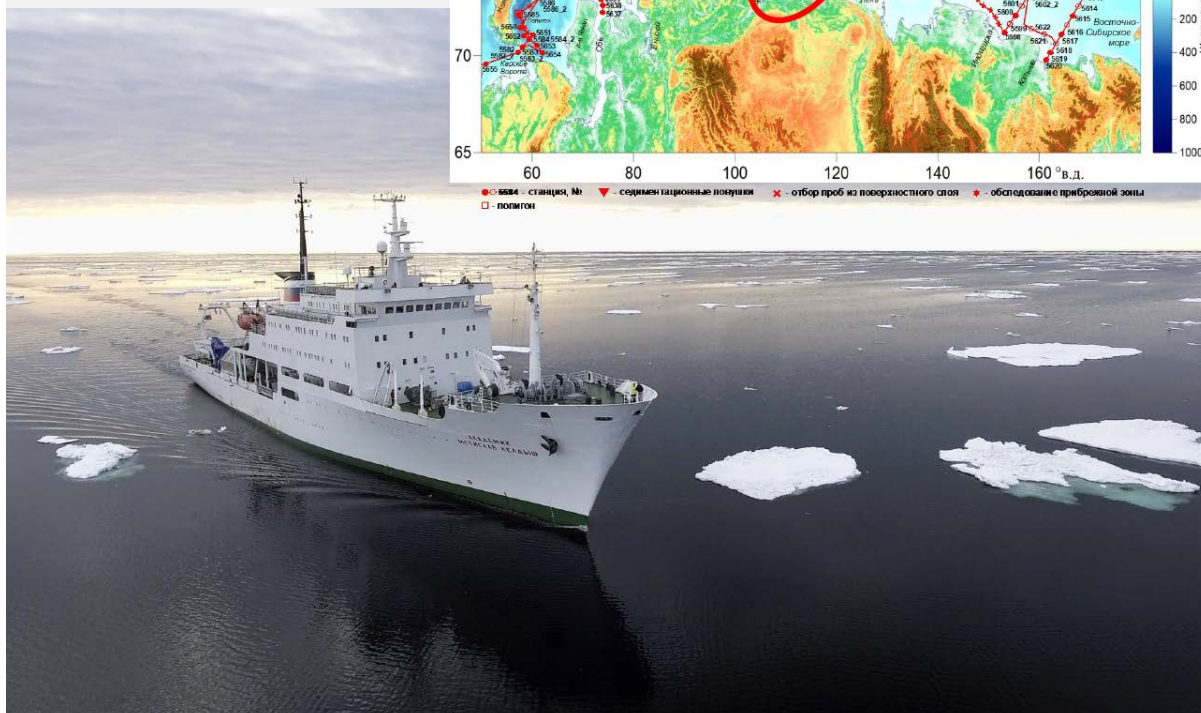
КОЛОССАЛЬНАЯ ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРОДУКЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФИТОПЛАНКТОНА

Концентрация хлорофилла «а» в поверхностном слое изменялась в **58** раз - от 0.04 до 2.32 мг/м³,
В среднем величины крайне низкие – **<0.4 мг/м³**

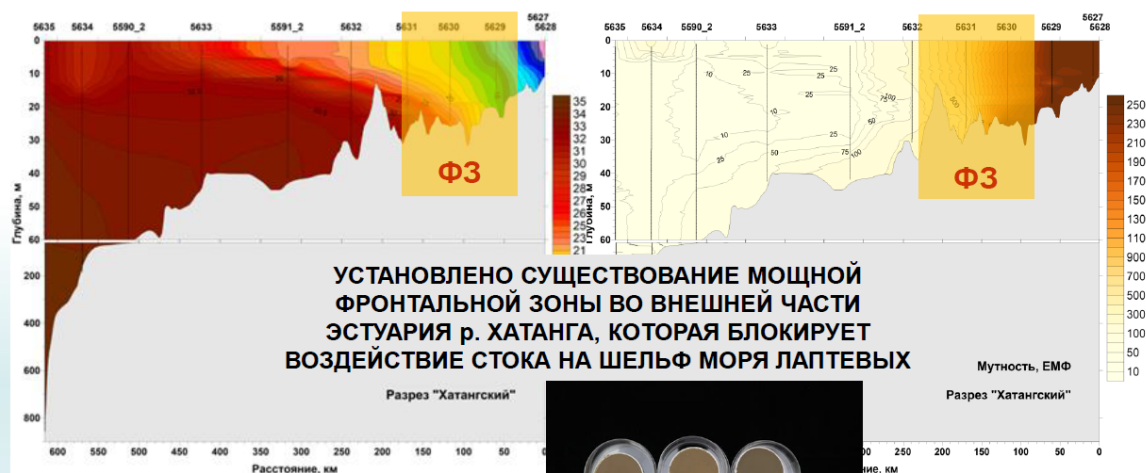
Величины первичной продукции изменялись в **59** раз - от 1.12 до 66.31 мгС/м³/сутки.
В среднем показатели крайне низкие – **8 мгС/м³** в день.

Большая часть Арктического шельфа относится к ультраолиготрофным районам с первичной продукцией **<50 мгС/м²** в день.

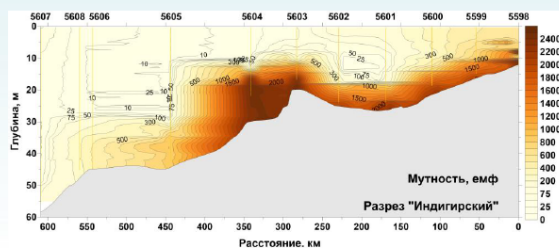
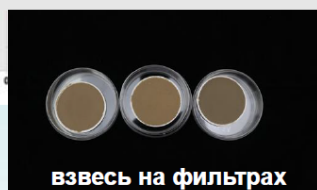
ЗАПАДНАЯ ЧАСТЬ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ



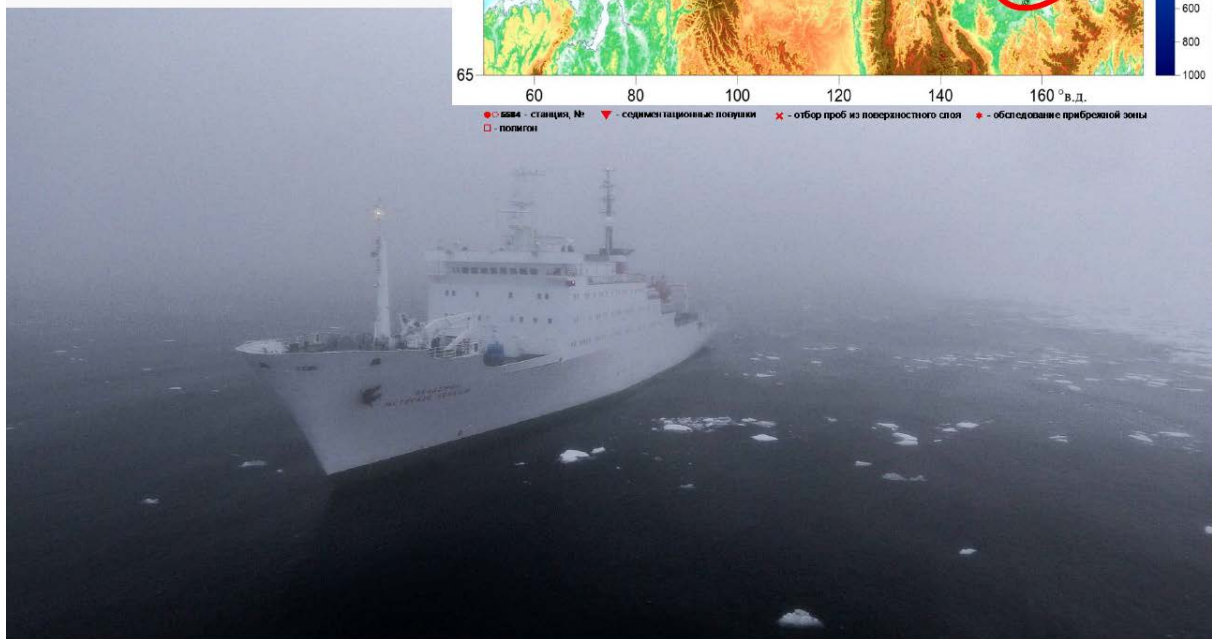
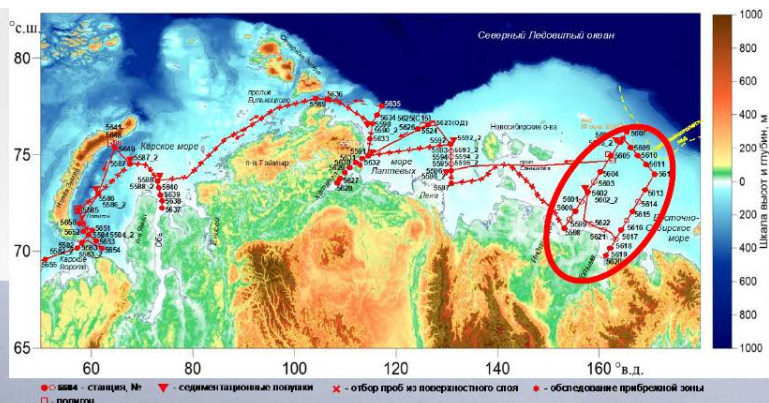
ВОЗДЕЙСТВИЕ СТОКА РЕКИ ХАТАНГА НА АРКТИЧЕСКИЙ ШЕЛЬФ



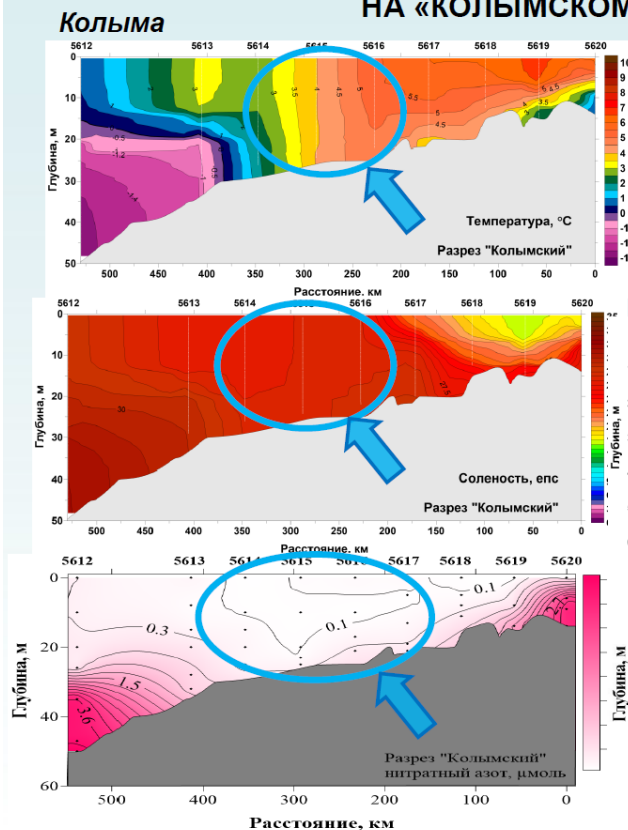
Несмотря на небольшой сток (в 5 раз меньше стока р. Лена) и небольшую водосборную площадь р. Хатанги в зоне воздействия ее стока зафиксировано самое высокое на Арктическом шельфе значение ПО – $C = 80.6 \text{ м}^{-1}$ (для сравнения в зоне воздействия стока Лены – 12.4 м^{-1})



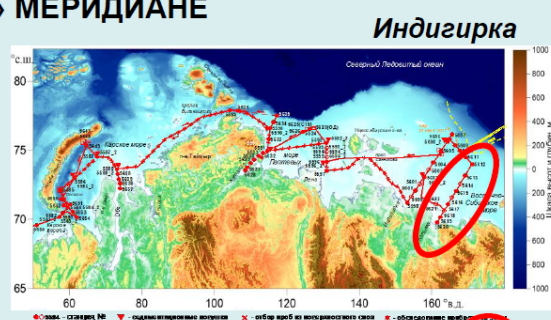
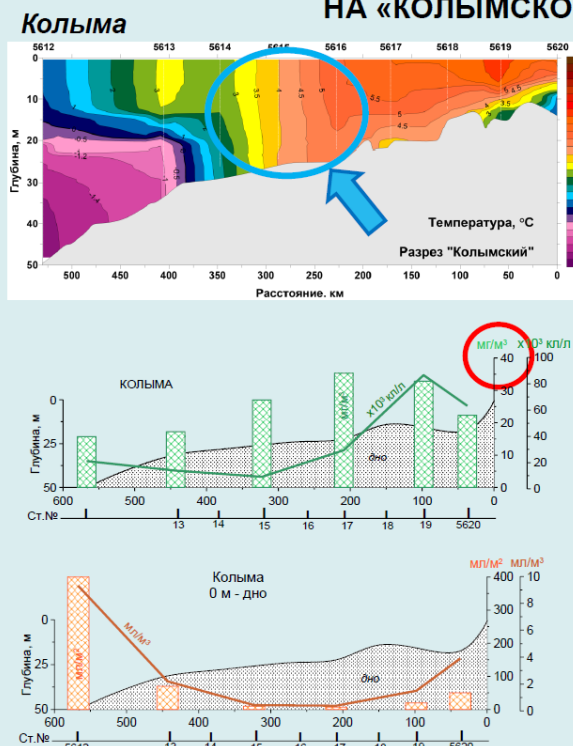
ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЕ МОРЕ



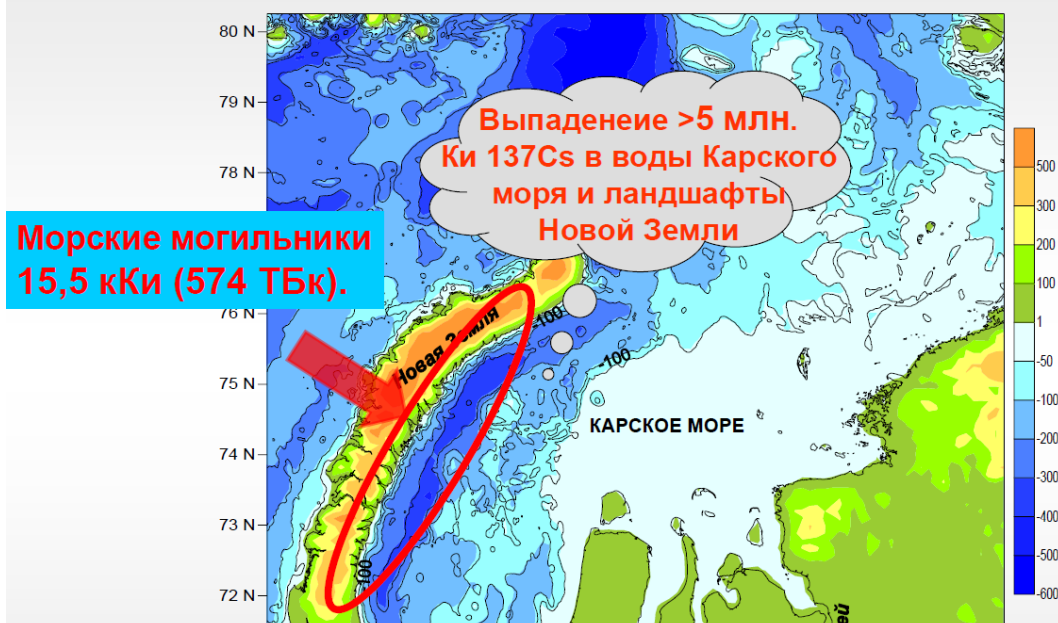
СПЕЦИФИКА ЭКОСИСТЕМЫ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ НА «КОЛЫМСКОМ» МЕРИДИАНЕ



СПЕЦИФИКА ЭКОСИСТЕМЫ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ НА «КОЛЫМСКОМ» МЕРИДИАНЕ



НАКОПЛЕННЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ В КАРСКОМ МОРЕ



В результате испытаний ядерного оружия **45 млн. Ки** радиоцезия попало в атмосферу. Последствием было выпадение более **5 млн. Ки 137Cs** на акваторию Карского моря и ландшафты Северного острова Новой Земли, включая его покровное оледенение.

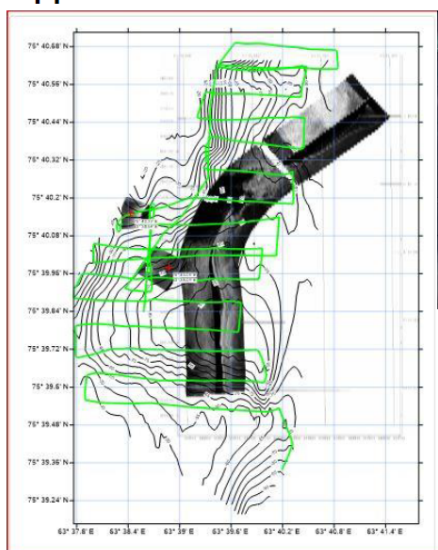


РАБОТЫ В ЗАЛИВАХ НОВОЙ ЗЕМЛИ

Залив Благополучия и выводной ледник Налли



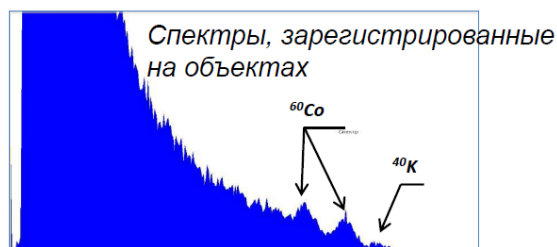
ПОИСК И ИДЕНТИФИКАЦИЯ «ПОТЕРЯННЫХ» ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ РАДИОАКТИВНЫХ ЗАХОРОНЕНИЙ НА ДНЕ ЗАЛИВА БЛАГОПОЛУЧИЯ



Выполнена гидролокационная съёмка высокого разрешения и установлены места нахождения объектов



Применение подводного телеуправляемого аппарата «Гном» позволило установить, что захоронения содержат контейнеры с радиоактивными отходами и парогенераторы



На объектах произведены измерения погружаемым гамма-спектрометром и установлено отсутствие утечки радиоактивности.

РАБОТА НА ЛЕДНИКАХ НОВОЙ ЗЕМЛИ



Река, питающаяся ледником и впадающая в залив Благополучия

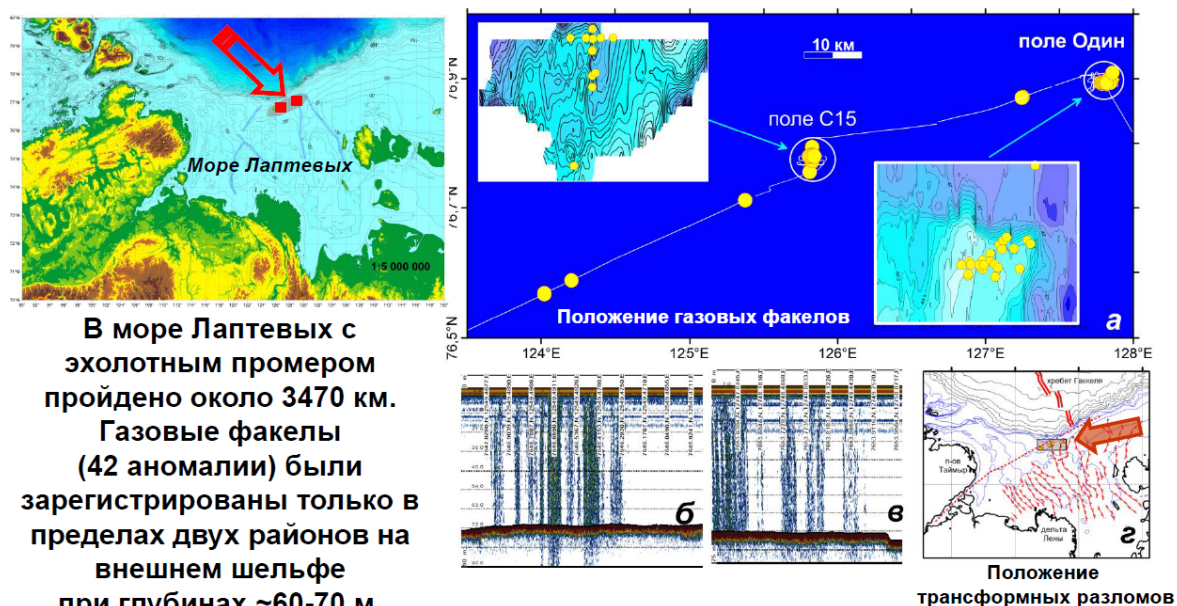


ЛЕДНИКИ НОВОЙ ЗЕМЛИ ЯВЛЯЮТСЯ КОМПОНЕНТОМ ЛАНДШАФТОВ, АККУМУЛИРУЮЩИМ РАДИОАКТИВНЫЕ АТМОСФЕРНЫЕ ВЫПАДЕНИЯ

РАБОТА НА ЛЕДНИКАХ НОВОЙ ЗЕМЛИ



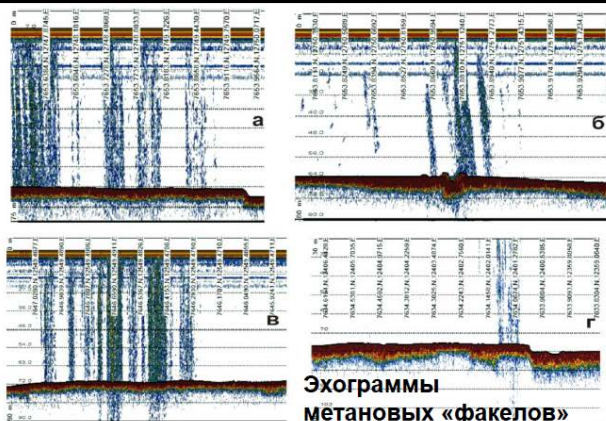
ХОЛОДНЫЕ МЕТАНОВЫЕ СИПЫ НА ШЕЛЬФЕ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ



Эхолотные наблюдения, по всему маршруту экспедиции свидетельствуют об узколокальном распространении метановых сипов в Сибирских морях. В море Лаптевых поперечник каждого из районов с газовыми факелами составляет всего несколько километров, расстояние между ними – в 50 километров.

Районы метановых высачиваний расположены вблизи сочленения хребта Гаккеля с системой разломов на шельфе.

ХОЛОДНЫЕ МЕТАНОВЫЕ СИПЫ НА ШЕЛЬФЕ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ



Материал получен БНПА «Видеомодуль»



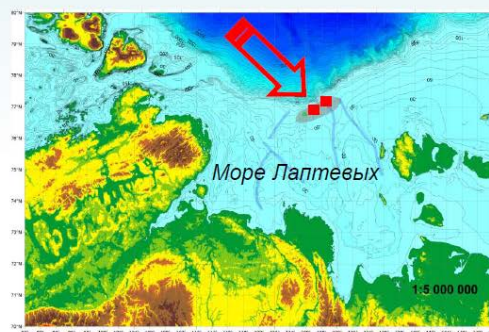
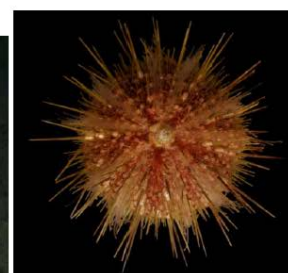
Материал получен БНПА «Видеомодуль»



Материал получен БНПА «Видеомодуль»

ДОННОЕ НАСЕЛЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ РАЙОНОВ МЕТАНОВЫХ СИПОВ

В локальных районах метановых Сипов обнаружено **66** бентосных видов, в фоновом районе – **34**.

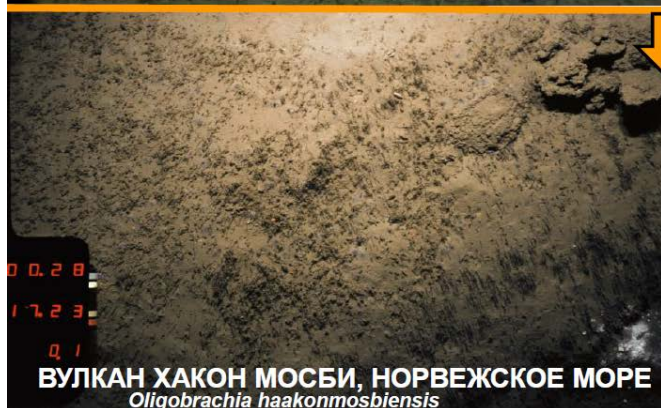
*Oligobranchia haakonmosbiensis**Frigidalvania* sp.*Craniella polyura**Strongylocentrotus pallidus*

ДОННОЕ НАСЕЛЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ РАЙОНОВ МЕТАНОВЫХ СИПОВ

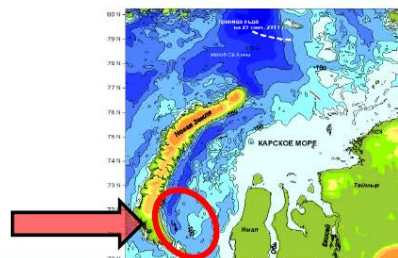
Бактериальный мат и колония погонофор
Oligobrachia haakonmosbiensis
в море Лаптевых

Материал получен БНПА «Видеомодуль»

Для этих районов характерно массовое развитие погонофор *Oligobrachia haakonmosbiensis*. Наблюдения с использованием БНПА «Видеомодуль» показали, что погонофоры образуют поселения площадью до нескольких квадратных метров.



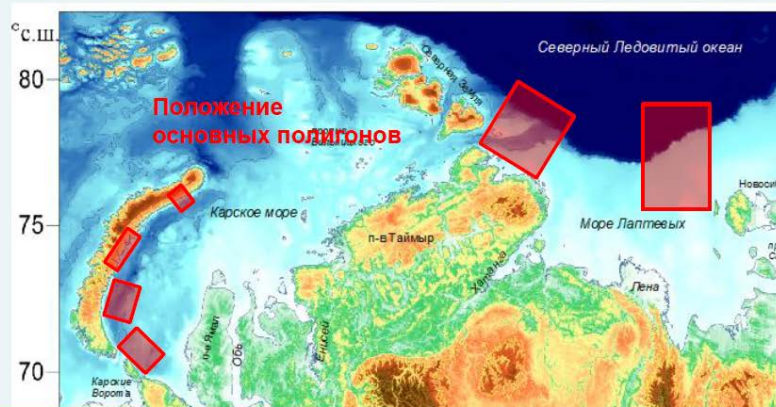
ВИДЫ-ВСЕЛЕНЦЫ В СИБИРСКИЕ АРКТИЧЕСКИЕ МОРЯ



Плотность популяции крабов в западной части Карского моря составила 0,1-0,12 экз./м² или 951-1124 экз. на 1 га. В составе популяции преобладают взрослые половозрелые формы, что служит доказательством формирования в Карском море воспроизводящейся популяции.



ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ «ЭКОСИСТЕМЫ РОССИЙСКОЙ МОРСКОЙ АРКТИКИ – 2018» (10-ая ЭКСПЕДИЦИЯ ПО ПРОГРАММЕ)



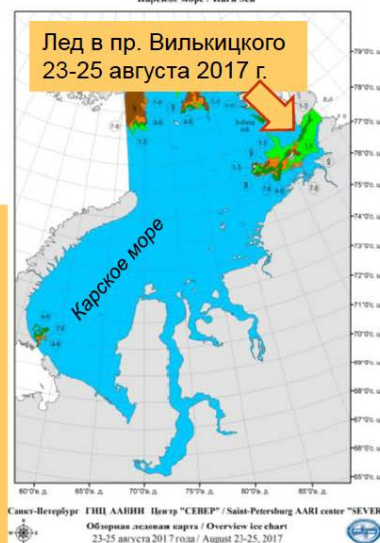
Продолжительность рейса 35 суток
Начало – 18 августа, что определяется возможностью прохода проливом Вилькицкого

ОЦЕНКА СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОДУКТИВНОСТИ МОРСКИХ АРКТИЧЕСКИХ ЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

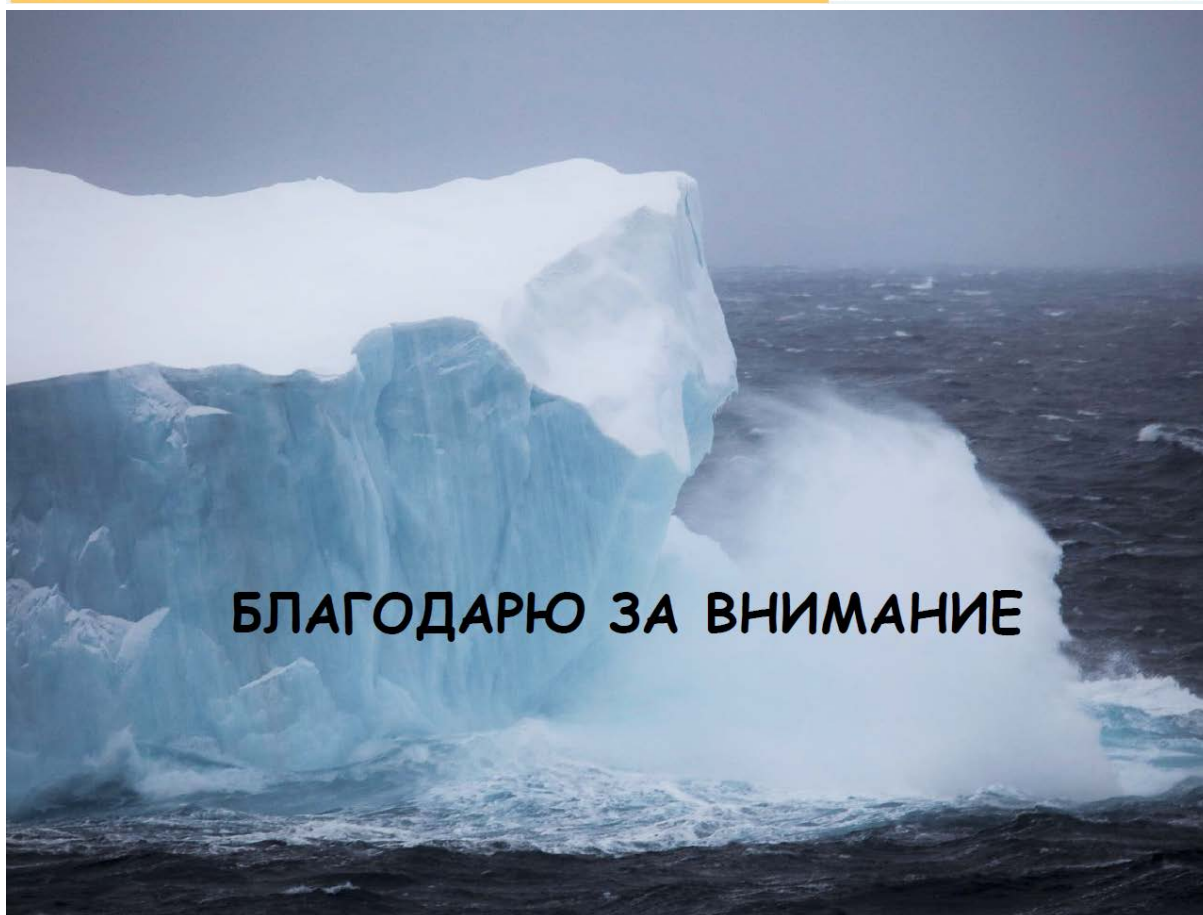
ОЦЕНКА МЕХАНИЗМОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ПРИРОДНОЙ СИСТЕМЕ АРКТИЧЕСКИЙ ШЕЛЬФ – ГЛУБОКОВОДНЫЙ АРКТИЧЕСКИЙ БАССЕЙН

ОЦЕНКА НАКОПЛЕННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ В АРКТИКЕ, СВЯЗАННЫХ С ИСПЫТАНИЯМИ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ НА НОВОЙ ЗЕМЛЕ И КРУПНЕЙШИМИ МОГИЛЬНИКАМИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ В КАРСКОМ МОРЕ

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕТАНОВЫХ ХОЛОДНЫХ СИПОВ НА АРКТИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ НА СТРУКТУРНО-ПРОДУКЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ДОННЫХ ЭКОСИСТЕМ



Санкт-Петербург ГИЦ ААНИИ Центр "СЕВЕР" / Saint-Petersburg AARI center "SEVER"
Обзорная ледовая карта / Overview ice chart
23-25 августа 2017 года / August 23-25, 2017



БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ

ИССЛЕДОВАНИЯ ДОННЫХ ЭКОСИСТЕМ ПЕЧОРСКОГО МОРЯ В РАЙОНЕ ОСТРОВА ДОЛГИЙ НА НИС «ПРОФЕССОР ВЛАДИМИР КУЗНЕЦОВ» В 2014 И 2016 гг.

**С.Г. Денисенко*, С.Ю. Гагаев, Н.В. Денисенко,
Н.Е. Журавлева, В.В. Петряшев, А.А. Сухотин,
Е.М. Чабан**

Зоологический институт РАН

*e-mail: Stanislav.Denisenko@zin.ru

Зоологический институт РАН располагает двумя небольшими судами, базирующимися на Беломорской биологической станции «Картеш». Одно судно водоизмещением порядка 60 тонн используется в основном для каботажного плавания. Другое – НИС «Профессор Владимир Кузнецов» водоизмещением 280 тонн – может выходить в открытое море, но на ограниченное удаление от берега (рис. 1).

Этому судну 25 лет, и работает оно в основном в Белом море, где используется для отбора проб планктона, бентоса и изучения гидрологии. Кроме того, на нем выполняются ежегодные летние работы и в Баренцевом море, но преимущественно в юго-восточных районах, что обусловлено небольшой автономностью судна по топливу (около 1 месяца) и по запасам пресной воды (около 3 недель). Начиная с 2014 г. судно трижды выполняло мониторинговые

наблюдения в районе острова Долгий, располагающегося в самой восточной части Печорского моря.

Печорское море, расположенное восточнее меридиана о-ва Колгуев, представляет собой один из наиболее своеобразных районов Баренцева моря. Эта достаточно мелководная область хорошо прогревается в летнее время, несмотря на приток арктических вод из Карского моря. Помимо влияния близлежащего Карского моря район подвергается сильному воздействию речного стока: сюда поступает более 80 % всех речных стоков (преимущественно реки Печоры), принимаемых Баренцевым морем в целом. Осолоненные воды рек, впадающих в Печорское море, достигают в паводковый период южной оконечности Новой Земли. В последнее время Печорское море стало важнейшим участком Северного морского пути, и здесь уже начата промышленная разработка Приразломного нефтяного месторождения.

Донные осадки в этом районе Баренцева моря представляют собой сравнительно рыхлую толщу голоценовых отложений мощностью до нескольких десятков метров. На глубинах 10–20 м под поверхностью осадков находится вечная мерзлота [1]. В палеодолинах рек и палеорусле стока талых вод располагаются достаточно многочисленные, но не очень крупные месторождения нефти, некоторые из них, как упоминалось выше, уже начинают разрабатываться.

Морские экосистемы Печорского моря характеризуются достаточно большим биоразнообразием (рис. 2). Здесь нерестятся и нагуливаются сайка и навага, обитают такие достаточно ценные рыбы, как малопопозвонковая сельдь, корюшка, омуль, нельма и семга. Ежегодно на материковом побережье и на островах гнездятся сотни тысяч водоплавающих птиц.



Рисунок 1. Научно-исследовательское судно «Профессор Владимир Кузнецов», принадлежащее ЗИН РАН



Рисунок 2. Экологическая карта Печорского моря

Из морских млекопитающих обычны нерпы, моржи, белухи и белые медведи. Сообщества донных обитателей моря представлены в основном моллюсками, червями и иглокожими. Совокупность этих организмов, называемая зообентосом, создает в Печорском море биомассу в несколько сотен граммов на 1 м² дна, что является высоким показателем даже по сравнению со всей акваторией Баренцева моря, продуктивность которого обусловлена интенсивным притоком атлантических вод с запада [2].

Интерес многих исследователей к Печорскому морю обусловлен прежде всего тем, что эта часть Баренцева моря до сих пор остается относительно слабо затронутой деятельностью человека, несмотря на добычу нефти в последние годы. Кроме того, это единственное место в южной части Баренцева моря, где существуют лежбища атлантических моржей, численность которых в последние годы стала неуклонно расти, благодаря эффективным охранам мероприятиям [3]. Вместе с тем полагают, что нефтедобыча и плотные скопления морских млекопитающих, питающихся донными беспозвоночными на ограниченных акваториях, могут оказывать негативное влияние на поселения зообентоса и отрицательно сказываться на

благополучия морских экосистем региона в целом.

Исследования зообентоса на мелководьях Печорского моря вокруг острова Долгий (рис. 3) выполнялись Зоологическим институтом РАН на судне «Профессор Владимир Кузнецов» в 2014 и 2016 гг. и были направлены на оценку возможного влияния роста численности моржей на донные экосистемы юго-восточной части Баренцева моря.

Раньше обитающие в Печорском море бентосоядные атлантические моржи считались вымирающим видом, а сейчас они формируют постоянные крупные лежки в районе островов Колгуев, Долгий и Вайгач (рис. 3).

Остров Долгий вместе с островом Матвеев формируют узкую полосу суши, перемежающуюся небольшими проливами, вытянутую в юго-восточном – северо-западном направлении примерно на 10 км. В наши задачи не входило проводить оценку численности моржей в этом районе, но, судя по опубликованным данным, ее рост имеет линейный характер. В 1990 г. у острова Долгий в летнее время было отмечено несколько десятков этих животных, в 2000 г. –

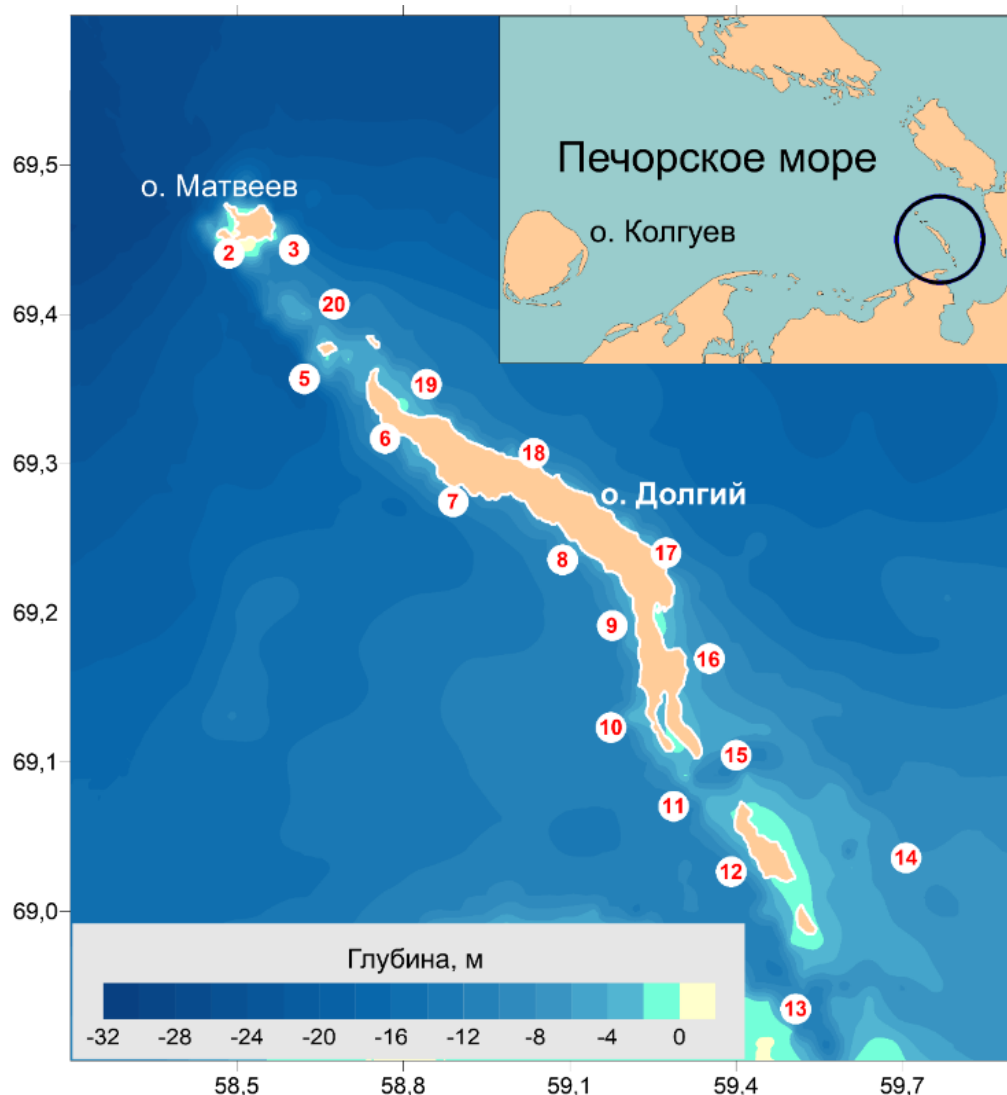
полторы сотни, в 2010 г. – около 200, а в 2015 г. – от 300 до 500 особей [4, 5, 6, 7]. Это были моржи, которые отмечены только на лежках. По мнению специалистов, они составляют всего лишь четвертую часть от общего количества, поскольку остальные животные находятся в воде. Таким образом, общая численность моржей в районе острова Долгий в настоящий момент может составлять порядка 2000 особей. Интересно отметить, что, по данным авианаблюдений, в 2014 г. в Печорском море могло находиться порядка 3000 животных, а к 2017 г. в районе нашего исследования численность моржей уже возросла до 2000 голов [8].

Эти крупные млекопитающие абсолютно не боятся проходящих мимо судов и подпускают к себе на достаточно близкое расстояние, как, например, было отмечено нами в 2014 г. (рис. 4). Такое поведение животных является реальным результатом действия запрета на их отстрел, существующего уже несколько десятилетий.

Моржи, питаясь преимущественно донными беспозвоночными, потребляют в среднем за сутки не менее 30 кг зообентоса [9]. Едят моржи в основном крупных двустворчатых и брюхоногих моллюсков, мелких крабов и морских тараканов, эхиурид, сипункулид, полихет семейства *Nephtyidae*, голотурий и асцидий (рис. 5). Среди двустворчатых моллюсков, наиболее обычных в рационе, можно назвать представителей следующих родов: *Serripes*, *Mya*, *Macoma*, *Yoldia*, *Panomya*, *Astarte* и др. Из брюхоногих это *Neptunea* и *Viscinum*.

Как правило, питание моржей осуществляется группами. При этом во время добычи корма они вспахивают дно клыками, оставляя на дне ямы и борозды глубиной до 30 см [10, 11].

Рисунок 3. Район исследований и бентосные станции НИС «Профессор Владимир Кузнецов» в 2014 г.





▲ Рисунок 4. Лежка моржей на о. Долгий в 2014 г.
(расстояние от судна до берега ~ 500 м)

▼ Рисунок 5. Донные беспозвоночные – основ-
ная пища моржей



Согласно подводным видеонаблюдениям морж сначала подбирается к моллюскам, разбрасывая грунт клыками и вибриссами (усаами). Затем струями воды изо рта он размывает осадок и еще больше освобождает моллюсков от окружающего грунта [12]. После этого моллюски всасываются пастью и заглатываются. Если моллюски крупные, с прочной раковиной, морж растирает их между лапами и только после этого поглощает полученный субстрат. Одновременно с моллюсками из мягкого грунта могут высасываться и беспозвоночные, живущие в глубоких вертикальных норках. Несмотря на серьезные повреждения морского дна, оставленные моржами борозды и ямы достаточно быстро заминаятся.

Озабоченность морских биологов, о которой упоминалось выше, вызвана отсутствием ясности, что будет с донными экосистемами, когда численность этих ластоногих превысит естественную экологическую емкость Печорского моря. И беспокоит биологов отнюдь не возможное снижение биомассы и продуктивности зообентоса, которые часто происходят в экосистемах, флуктуирующих естественным образом. Причина озабоченности кроется совсем в другом. Морские сообщества донных беспозвоночных представлены, как правило, долгоживущими и малоподвижными организмами и поэтому «накапливают» в своей таксономической и популяционной структуре обширную информацию о былых и текущих воздействиях со стороны внешней среды. Именно поэтому зообентос является важнейшим объектом наблюдений при контроле качества водной среды.

В случае значительного воздействия моржей на донные экосистемы результаты мониторинговых наблюдений за рыболовством, деятельностью разведочных и нефтедобывающих компаний, соблюдением санитарных норм судоходства и обустройства наземных сооружений могут оказаться ложными. Морские экологи, работающие преимущественно дистанционными методами, будут обвинять государство или бизнес в деградации биоразнообразия экосистем, а реальными виновниками могут быть моржи.

Исследования зообентоса вокруг крупных лежек моржей в Печорском море были выполнены в июле 2014 г. Зоологическим институтом РАН в районе островов Долгий и Матвеев, где на 21 станции было взято 3 качественных и 50 количественных проб бентоса (рис. 3). Большинство дночерпательных сборов (70 %) было осуществлено на глубинах, не превышающих

14 м, которые доступны для откорма моржей. В сентябре 2016 г. на шести мониторинговых станциях (6, 8, 10, 15, 19 и 20) вокруг о. Долгий был проведен повторный отбор дночерпательных проб. Разбор собранных коллекций, идентификация, подсчет и взвешивание организмов проходили в лабораторных условиях. Статистическая обработка материалов осуществлена стандартными методами. Экологическое благополучие донных сообществ оценивалось по индексу «разности видовых выравнинностей» – De' [13].

Из 190 таксонов донных беспозвоночных, обнаруженных в районе исследования в 2014 г., 75 % были идентифицированы до видового уровня. Общая биомасса зообентоса на станциях варьировала от 9 до 370 г/м². Почти на всех участках преобладали двусторчатые моллюски, и лишь на некоторых – многощетинковые черви и ракообразные.

Наибольший вклад в суммарную биомассу (90 %) принадлежал только 19 видам, из которых самой значимой оказалась доля 3 видов ракообразных (крабы – *Hyas coarctatus*, усонogie раки двух видов – *Semibalanus balanoides* и *Balanus balanus*) и четырех видов двусторчатых моллюсков (*Mytilus edulis*, *Serripes groenlandicus*, *Macoma calcarea* и *Mya pseudoarenaria*). Почти все перечисленные организмы представляют собой важнейший компонент рациона моржей и относятся к организмам-фильтраторам – доминирующим или субдоминирующим формам в обследованных нами донных сообществах.

На некоторых станциях, особенно расположенных вблизи лежек моржей, в зообентосе преобладали всеядные и хищные организмы. Благоприятные условия для плотоядных могли там появиться в результате питания моржей, которые оставляют после себя много травмированных и ослабленных животных.

Выполненный нами стандартный мультирегрессионный анализ показал, что неблагоприятные в отношении экологического самочувствия бентоса участки вокруг о. Долгий располагаются как раз вблизи квазистационарных скоплений моржей (табл. 1). При этом вариации показателя экологического стресса на 52 % зависят от гранулометрического состава донных осадков, биомассы крабов *H. coarctatus* и двусторчатых моллюсков *M. calcarea* и *S. groenlandicus*. Такие виды моллюсков, как *Mytilus edulis* и *Mya pseudoarenaria*, были отклонены моделью множественной регрессии в качестве предикторов экологического благополучия,

поскольку мидии в районе исследований живут преимущественно на жестких донных осадках, которые пасущиеся моржи избегают, а мии глубоко закапываются в грунт и поэтому неудовлетворительно облавливаются дночерпателями, которые мы применяли.

Выполненные расчеты позволяют заключить, что при снижении биомассы предикторных видов и увеличении доли мелкофракционных фракций в осадках стресс, испытываемый конкретным донным сообществом, возрастает. И действительно, моржи, взрыхляющие донный осадок при добывании корма, наносят гораздо больший урон зообентосу на мягких, нежели на жестких грунтах, которых они избегают, опасаясь повреждения клыков.

Материалы анализа количественных проб зообентоса, собранных в сентябре 2016 г. в местах

аналогичных работ в 2014 г. в районе о. Долгий, показали статистически значимые различия в количестве видов, обнаруженных на шести станциях в разные периоды исследований (табл. 2). Средняя биомасса различалась примерно в 1,5 раза, но статистически значимость нулевой гипотезы была достаточно высокой. На этом фоне количество ключевых видов в 2014 г. было почти в два раза больше, нежели в 2016 г. Информационное разнообразие видов по численности (индекс Шеннона) и по биомассе было выше в 2016 г., но статистическая значимость этих различий имела место только для численности. Отсюда следует предварительный вывод, что сообщества не были подвержены экологическому стрессу ни в 2014 г., ни в 2016 г., но в первом случае на нескольких станциях показатели D_E' были близки к критическим.

Таблица 1

Параметры множественной регрессии показателя экологического благополучия донных сообществ ($D_E = J'_b - J'_a$) [13] от биотических и абиотических факторов

Параметры	B	Ошибка B	b	Ошибка b	Критерий t (17)	Вероятность нулевой гипотезы
Intercept			1,272	0,202	6,309	0
<i>Hyas coarctatus</i>	-0,459	0,154	-0,002	0,001	-2,989	0,008
<i>Macoma calcarea</i>	-0,643	0,169	-0,012	0,003	-3,793	0,001
Тип осадка	-0,433	0,179	-0,045	0,019	-2,411	0,027
<i>Serripes groenlandicus</i>	-0,213	0,151	-0,002	0,001	-1,414	0,175
C орг., мг·г ⁻¹ сух. осадка	-0,196	0,163	-0,531	0,437	-1,215	0,241

$R = 0,794$; $R^2 = 0,631$; откорректированный $R^2 = 0,523$

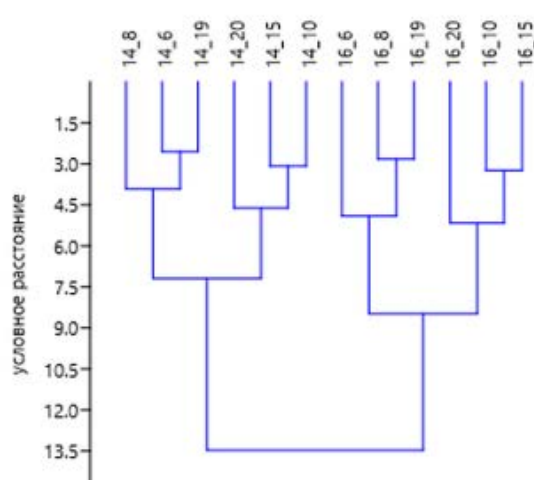
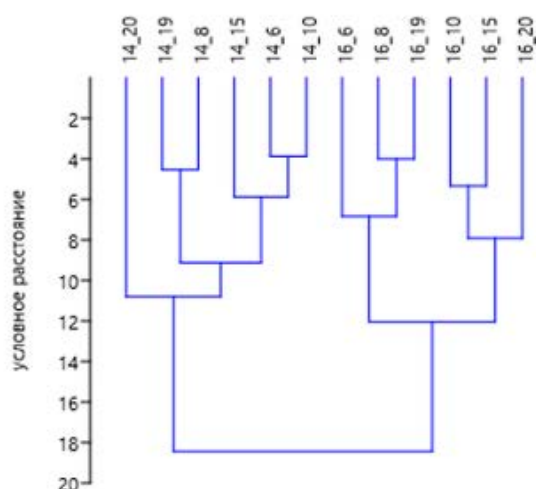
$F(5,17) = 5,8172$; $p < 0,002$; стандартная ошибка вычислений: 0,124

Таблица 2

Структурно-функциональные показатели сообществ зообентоса в районе о. Долгий в 2014 и 2016 гг.

Структурно-функциональные показатели	2014 г.	2016 г.	Вероятность нулевой гипотезы
Среднее количество видов в пробе на 0,1 м ²	36 ± 5,7	63 ± 2,3	0,03
Средняя биомасса на 1 м ² (г·м ²)	159 ± 52	91 ± 55	0,25
Количество ключевых видов*	9	5	не оценена
Средний индекс Шеннона по численности (SH'_a , бит·1,44 ⁻¹ ·особь ⁻¹)	2,08 ± 0,46	3,13 ± 0,13	0,03
Выравненность видов по численности ($J'_a = SH'_a \cdot \log(N)^{-1}$)	0,56 ± 0,11	0,76 ± 0,03	0,25
Средний индекс Шеннона по биомассе (SH'_b , бит·1,44 ⁻¹ ·г ⁻¹)	1,42 ± 0,19	1,48 ± 0,35	0,06
Выравненность видов по биомассе ($J'_b = SH'_b \cdot \log(N)^{-1}$)	0,39 ± 0,05	0,48 ± 0,08	0,13
Наличие экологического стресса ($D_E = J'_b - J'_a$)	-0,18 ± 0,09	-0,28 ± 0,06	0,50

*Количество видов, составляющих 80 % суммарных биоресурсов.



С другой стороны, кластеризация станций по видовым составам показала (рис. 6), что сообщества в разные годы различаются уже на уровне ~ 25 % как для полных списков видов, так и для наборов видов с частотой встречаемости от 20 до 60 %, которые обычно отвечают за уникальный облик ценозов [14].

Биомасса ключевых видов, в том числе и входящих в рацион моржей, существенно уменьшилась: *Macoma calcaria* – в три раза, *Mya pseudoarenaria* – в шесть раз, *Serripes groenlandicus*, *Hyas coarctatus*, *Priapulus caudatus* – более чем на порядок.

Доля крупных таксономических групп в суммарной биомассе статистически не различалась (табл. 3), но относительное количество червей в 2016 г. было почти вдвое выше, чем в 2014 г., а количество ракообразных намного выше в 2014 г., нежели в 2016 г.

Таблица 3
Доля (%) крупных таксономических групп в суммарной биомассе

Таксоны	2014 г.	2016 г.	Вероятность нулевой гипотезы
Черви	18,3 ± 10,4	38 ± 10,4	0,28
Ракообразные	11,7 ± 7,9	0,9 ± 0,3	0,20
Моллюски	60,9 ± 11,3	51,7 ± 9,4	0,55
Прочие	9,1 ± 4,8	9,4 ± 5,4	0,98

В трофической структуре сообществ зообентоса заметные статистически значимые отличия отмечены только для относительной биомассы грунтоедов (табл. 4), которых стало существенно больше в 2016 г. по сравнению с 2014 г.

Рисунок 6. Дендрограммы сходства видовых составов зообентоса на разных станциях в 2014 и 2016 гг., построенные методом Варда (слева – для полных списков, справа – для видов с частотой встречаемости 20–60 %)

Таблица 4
Доля (%) основных трофических групп в суммарной биомассе

Трофические группы	2014 г.	2016 г.	Вероятность нулевой гипотезы
Хищники	23,3 ± 8,81	22,7 ± 7,84	0,96
Грунтоеды	2,62 ± 1,05	16,3 ± 5,40	0,03
Фильтраторы	65,8 ± 12,5	45,2 ± 12,2	0,27
Растительноядные	0,02 ± 0,02	0,04 ± 0,04	0,67
Собиратели	8,29 ± 4,17	15,5 ± 5,88	0,34
Тип питания не ясен	0,02 ± 0,02	0,24 ± 0,17	0,24

Таким образом, сопоставление структурно-функциональных характеристик зообентоса в разные годы показывает, что основным отличием сообществ в 2016 г. по сравнению с 2014 г. было статистически значимое увеличение доли грунтоедов на фоне статистически незначимого увеличения доли собирателей и уменьшения доли фильтраторов. Это могло быть следствием роста потока фитодетрита, поступающего на дно в результате интенсификации вегетации планктона и выноса реками аллохтонных продуктов.

Из этого следует, что отмеченное двукратное снижение биомассы и значимый рост количества обнаруженных видов, скорее всего, был обусловлен двумя факторами – выеданием моржами, численность которых имеет заметную тенденцию роста, и заилением

донных осадков в результате усиления штормовой погоды в 2016 г. по сравнению с 2014.

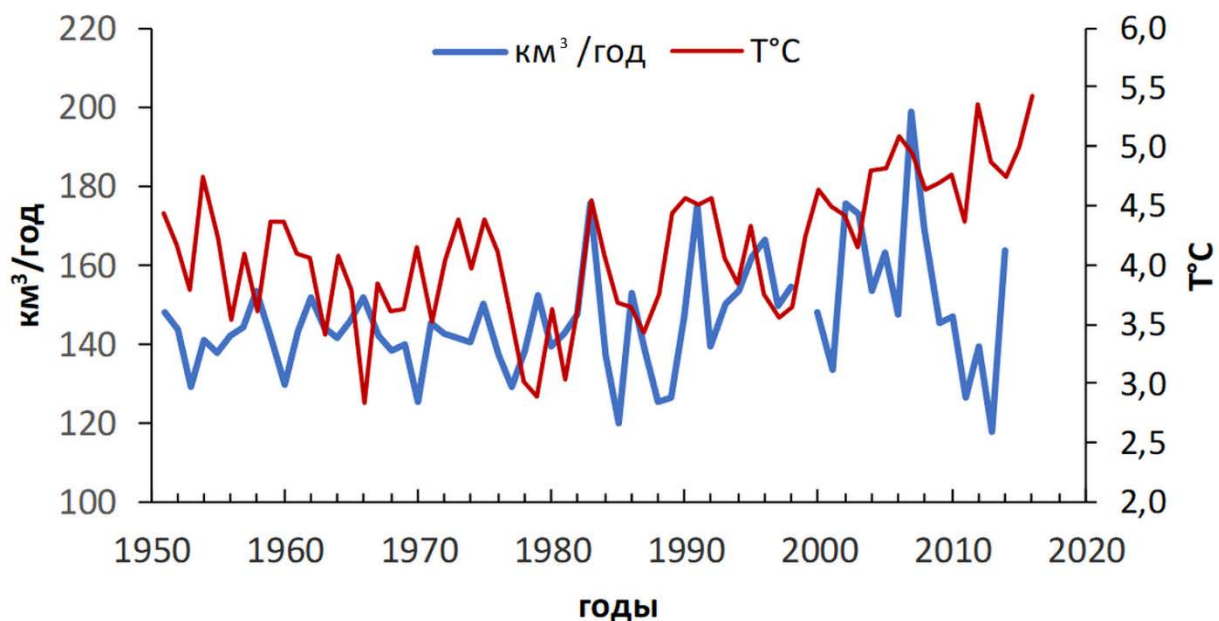
Помимо указанных причин, статистически значимое увеличение числа видов в пробах зообентоса, различия видового состава и увеличение информационного разнообразия Шеннона по материалам 2014 и 2016 гг. можно объяснить разным временем проведения наблюдений. В 2016 г. образцы были собраны не в августе, как в 2014 г., а в сентябре, когда произошло массовое оседание молоди донных беспозвоночных, возможно, представленных тепловодными видами. И здесь мог оказать свое влияние климатический фактор.

Повышение температуры придонной воды наблюдается в Печорском море с 2004 г. (рис. 7), и этот процесс сопровождается распространением на восток-северо-восток вод атлантического происхождения с повышенной теплоемкостью [15], способствуя развитию бореальных и борео-арктических видов атлантического происхождения и угнетению арктических видов [16, 17]. В этом случае причиной заметного несоответствия видового состава на сравниваемых станциях в разные годы могут быть значимые изменения численности видов атлантического происхождения, которые расширили область своего обитания в результате быстрого расселения планктотрофных личинок при повышении температуры воды в районе исследования. В то же время повышение температуры менее существенно влияет на арктические виды

с лецитотрофными личинками, которые менее чувствительны к изменению температуры по сравнению с бореально-арктическими видами [2].

Как указано выше, кроме отмеченных изменений в видовом составе, в целом было зарегистрировано значительное уменьшение биомассы доминирующих видов. При этом произошла существенная перестройка трофической структуры макрозообентоса, и последнее не может быть объяснено только ростом температуры воды. Мы полагаем, что резкое увеличение биомассы поверхностных детритофагов в составе бентосных животных и уменьшение биомассы фильтраторов, скорее всего, являются результатом сильного взмучивания донных осадков. Последнее может быть следствием прямого потребления макрозообентоса животными, как это неоднократно отмечено в других районах обитания моржей [20]. Кроме того, переотложение осадков часто наблюдается во многих мелководных районах в результате волно-ветрового перемешивания водных масс, которое всегда сопровождается увеличением концентрации неорганического взвешенного вещества в водном столбе [20, 21, 22].

Рисунок 7. Многолетние изменения среднегодовых значений температуры воды в столбе 0–200 м вдоль разреза «Кольский меридиан» и ежегодного стока реки Печоры (построено по данным [18], дополненным собственными расчетами за 2016 г., и по данным [19] для гидрометеостанции Оксина)



И действительно, как было показано выше, в 2016 г. ветры юго-западного направления преобладали в районе исследований, индуцируя аномально сильные штормы вдоль островов (рис. 8). Именно следствием этих штормов и была обнаруженная у острова Долгий гомотермия водного столба.

Общеизвестно, что повышенные концентрации взвешенного неорганического вещества в воде оказывают негативное влияние на фильтрационный аппарат донных беспозвоночных. Вероятно, это и стало причиной исчезновения баянусов *Balanus balanus*, которые не были обнаружены в районе исследования в 2016 г. Названный вид обитает на дне с крупнообломочными отложениями около северной части лежбища моржей на острове Матвеева, но млекопитающие не могут питаться баянусами из-за опасности повреждения клыков камнями. Поэтому наличие статистически значимых изменений в биомассе *B. balanus* как доминирующего вида указывает на чисто абиотическую причину его исчезновения (резкого уменьшения численности) в 2016 г.

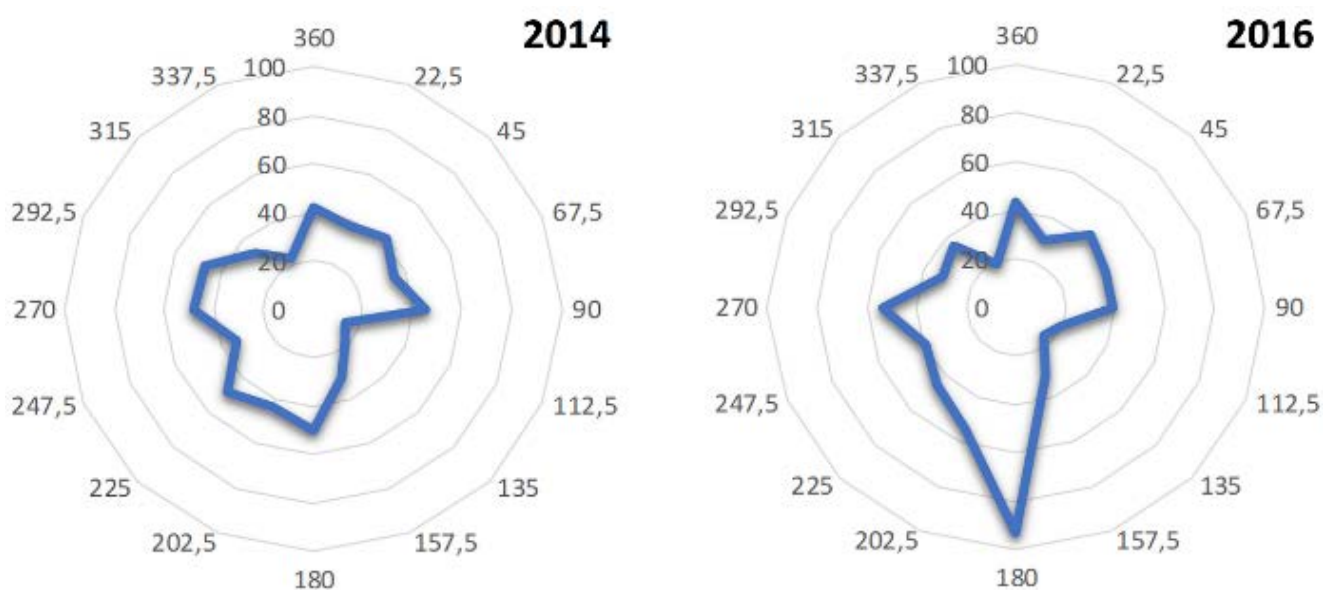
Исходя из изложенного мы пришли к заключению, что в настоящее время несколько факторов регулируют экологическое благополучие макробоиотоса вокруг лежбищ моржа в районе выполненных исследований. Основное влияние, по-видимому, пока оказывают абиотические факторы: повышение температуры воды и штормовое воздействие. В целом состояние донной экосистемы на момент наблюдений было благополучным, о чем свидетельствовали высокие

значения показателя информационного биоразнообразия (SH') и оценки экологического стресса (DE') в поселениях макробоиотоса.

Вместе с тем не остается сомнений и в том, что моржи играют определенную роль в формировании количественных характеристик донных беспозвоночных и могут быть одной из причин экологического стресса, испытываемого сообществами зообиотоса в Печорском море. В скором будущем представляется целесообразным контроль плотности поселений этих ластоногих во избежание экологических аберраций донных экосистем. При этом, однако, не следует сокращать саму численность популяции моржей. Достаточно воздействовать на них какими-то тревожащими факторами, которые они плохо переносят, в частности техногенными звуками. Такие мероприятия, по крайней мере периодически, нужно осуществлять в местах нефтегазодобычи и других видов активной хозяйственной деятельности, а также в районах так называемых особо охраняемых территорий, которые постоянно находятся под наблюдением природоохранных ведомств и организаций.

Авторы благодарят С.Д. Гребельного, А.В. Меркульева и И.С. Смирнова за помощь в таксономической идентификации Anthozoa, Gastropoda и Ophiuroidea.

Рисунок 8. Интенсивность ветра различных направлений (скорость, м/с, • продолжительность, % от 365) в районе о. Долгий на протяжении года, предшествовавшего наблюдениям в 2014 и 2016 гг. (построено по данным [23] для близлежащих к острову метеостанций – Варандей и мыс Белый)



ЛИТЕРАТУРА

1. Денисенко С.Г. Многолетние изменения зообентоса в Печорском море // Известия РГО. 2006. Т. 138, № 2. С. 37–48.
2. Денисенко С.Г. Биоразнообразие и биоресурсы макрозообентоса Баренцева моря: структура и многолетние изменения. СПб.: Наука, 2013. 284 с.
3. Семенова В.С., Болтунов А.Н., Никифоров В.В. Изучение и сохранение атлантического моржа в юго-восточной части Баренцева моря и сопредельных районах Карского моря. Результаты исследований 2011–2014 гг. Мурманск: Всемирный фонд дикой природы (ЦЦА), 2015. 82 с.
4. Haug T., Nilssen K.T. Observations of walrus (*Odobenus rosmarus rosmarus*) in the southeastern Barents and Pechora Seas in February 1993 // *Polar Res.* 1995. Vol. 14, Iss. 1. P. 83–86. <https://doi.org/10.3402/polar.v14i1.6653>
5. Болтунов А.Н., Беликов С.Е., Горбунов Ю.А., Менис Д.Т., Семенова В.С. Атлантический морж юго-восточной части Баренцева моря и сопредельных районов. М.: WWF России, 2010. 29 с.
6. Lydersen C., Chernook V.I., Glazov D.M., Trukhanova I.S., Kovacs K.M. Aerial survey of Atlantic walruses (*Odobenus rosmarus rosmarus*) in the Pechora Sea, August 2011 // *Polar Biol.* 2012. Vol. 35, Iss. 10. P. 1555–1562. doi:10.1007/s00300-012-1195-2
7. Ануфриев В.В., Глотов А.С., Золотой С.А. Мониторинг атлантического моржа (*Odobenus rosmarus rosmarus*) в Государственном природном заповеднике «Ненецкий» // Труды Карельского научного центра РАН. 2017. № 4: Научные исследования в заповедниках и национальных парках России. С. 15–25. doi: 10.17076/them542
8. Богомолова Ю.М., Мизин И.А., Кочнев А.А. Остров Матвеев – важнейший район сохранения атлантического моржа в Печорском море // Международная конференция «Живая природа Арктики: сохранение биоразнообразия, оценка состояния экосистем». Сборник тезисов. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2017. С. 31–32.
9. Bluhm B.A., Gradinger R. Regional variability in food availability for Arctic marine mammals // *Ecological Applications*. 2008. Vol. 18, Iss. Suppl. 2. P. S77–S96. <https://doi.org/10.1890/06-0562.1>
10. Born E.W., Rysgaard S., Ehlme G., Sejr M.K., Acquarone M., Levermann N. Underwater observations of foraging free-living Atlantic walruses (*Odobenus rosmarus rosmarus*) and estimates of their food consumption // *Polar Biology*. 2003. Vol. 26, Iss. 5. P. 348–357.
11. Ray G.C., McCormick-Ray J., Berg P., Epstein H.E. Pacific walrus: benthic bioturbator of Beringia // *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 2006. Vol. 330. P. 403–419.
12. Kastelein R.A., Mosterd P. The excavation technique for molluscs of Pacific walruses (*Odobenus rosmarus divergens*) under controlled conditions // *Aquatic Mammals*. 1989. Vol. 1, No 1. P. 3–5.
13. Денисенко С.Г. Информационная мера Шеннона и ее применение в оценках биоразнообразия (на примере морского зообентоса [Баренцева и Печорского морей]) // Исследования фауны морей. СПб.: Изд. ЗИН РАН, 2006. Вып. 56: Морские беспозвоночные Арктики, Антарктики и Субантарктики. С. 35–46.
14. Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Введение в современную науку о растительности. М.: ГЕОС, 2017. 280 с.
15. Loeng H., Brender K., Carmack E., Denisenko S., Drinkwater K., Hansen B., Kovacs K., Livinstoun P., MacLauphling F., Sakshoug E. Marine systems // Arctic climate impact assessment. London: Cambridge University Press, 2005. P. 453–538.
16. Антипова Т.В., Денисенко Н.В., Семенов В.Н. Распределение донной фауны и проблемы биогеографического районирования северных морей // Жизнь и среда Полярных морей. Л.: Наука, 1989. С. 146–157.
17. Денисенко Н.В. Распределение и экология мшанок Баренцева моря. Апатиты: Изд. КНЦ АН СССР, 1990. 157 с.
18. Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии имени Н.М. Книповича: [сайт]. URL: <http://www.pinro.ru/> (дата обращения: 08.01.2018).
19. Global Runoff Database: [site]. URL: http://www.bafg.de/GRDC/EN/01_GRDC/13_dtbse/database_node.html (Accessed on 09.04.2018)
20. Wu J. Sea-Surface Drift Currents Induced by Wind and Waves // *J. Phys. Oceanogr.* 1983. Vol. 13, No. 8. P. 1441–1451. [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1983\)013<1441:SSDCIB>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1983)013<1441:SSDCIB>2.0.CO;2)
21. Долотов Ю.С. Процессы рельефообразования и осадконакопления на приливных побережьях мирового океана. М.: Научный мир, 2010. 180 с.
22. Denisenko N.V. The description and prediction of benthic biodiversity in high Arctic and freshwater-dominated marine areas: The southern Onega Bay (the White Sea) // *Mar. Pollut. Bull.* 2010. Vol. 61, Iss. 4-6. P. 224–233. doi:10.1016/j.marpolbul.2010.02.017
23. Архив погоды в Варандее: [электронный ресурс] // Расписание погоды: [сайт] [2004–2018]. URL: https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Варандее (дата обращения: 12.02.2018).

КОМПЛЕКСНЫЕ ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В 34-м и 36-м РЕЙСАХ НИС «АКАДЕМИК НИКОЛАЙ СТРАХОВ»

**В.Т. Пака*, С.А. Щука, Е.Е. Ежова, Ю.Ю. Полунина,
А.А. Кондрашов, А.О. Корж, В.А. Кречик, В.А. Чечко**
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
*e-mail: vpaka@mail.ru

В 2017 г. Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН были проведены экспедиционные рейсы на НИС «Академик Николай Страхов»: 34-й рейс (14 июня – 8 июля 2017г.) и 36-й (02–21 ноября 2017г.). Основной задачей было исследование процессов перемешивания в Балтийском море; дополнительно решались задачи по геологии, геофизике и морской биологии, а также по проблеме химического загрязнения моря. Поставленные задачи выполнялись отрядами гидрофизики и морской техники, геологии и геофизики, гидробиологии и взвеси. В рейсах также участвовали две группы приглашенных ученых из Технологического университета Чалмерс (Гетеборг, Швеция) и из Института океанологии Польской академии наук (Сопот, Польша).

В результате исследований структуры термохалинных полей и распределения кислорода по всей Южной Балтике было выявлено, что уровень пикноклина на границе раздела соленых и распресненных вод в Борнхольмской впадине летом и осенью 2017 г. располагался в первом приближении горизонтально на уровне гребня Слупского порога с возвышением над гребнем в его самой нижней точке на несколько метров. Это означает, что большого запаса вод, проникающих на Балтику в виде затоков через датские проливы, не было, и умеренная адвекция соленой воды определялась ее возвышением над гребнем порога, меняющимся в соответствии с колебаниями уровня галоклина под воздействием эпизодических малых затоков и внутривпадинной динамики, обусловленной атмосферными воздействиями. За порогом, в Слупском желобе, летом галоклин был на 10 м ниже уровня порога, что создавало предпосылки для

перетока соленой воды через порог и формирования гравитационного течения над наклонным дном. Осенью уровень галоклина за порогом неожиданно оказался на той же глубине, что и перед порогом, т. е. предпосылки для перетока исчезли. Изменение условий формирования перетока подтвердили результаты специальных дополнительных исследований структуры и динамики тонкого придонного слоя воды под галоклином над гребнем и склонами Слупского порога. Признаками быстрого гравитационного течения, кроме тонкого (менее 5 м) слоя соленой воды над восточным склоном порога, является турбулизация и гомогенизация придонного соленого слоя. Эти свойства определялись на дополнительных разрезах вдоль и поперек порога, выполненных с использованием микроструктурного зонда-турбулиметра «Баклан», оснащенного, кроме датчиков турбулентности, датчиками СТД. Вывод: в июле 2017 г. на восточном склоне Слупского порога имело место гравитационное течение, несущее соленые воды на восток и способное энергично взаимодействовать с вышележащим неподвижным промежуточным холодным распресненным максимально аэрированным слоем. В Слупском желобе эти воды распространялись изопикнически под галоклином, не достигая дна. Аналогичные измерения проводились в октябрьском рейсе и показали отсутствие указанных признаков перетока.

Полученные материалы биологических исследований позволяют приступить к выявлению особенностей пространственного распределения планктонных и донных сообществ в связи со структурой вод, их сезонной изменчивостью и изменчивостью адвекции соленых вод. На станциях в Гданьской впадине обнаружено присутствие сероводорода, ограничившее развитие макрозообентоса изобатой 87 м, где в 2016 г. донная макрофауна еще присутствовала. Следовательно, умеренные затоки североморской воды не достигали дна впадины. На станциях

в остальных бассейнах бескислородных условий не наблюдалось и донная макрофауна присутствовала.

В Скагерраке основу макрозообентоса составляли иглокожие и разнообразные полихеты, присутствовал крупный моллюск *Arctica islandica*. На станциях в Арконском и Борнхольмском бассейнах чаще доминировали двусторчатые моллюски *Astarte sp.*, *Macoma balthica*, др., наряду с полихетами.

В южной части Готландского бассейна на смешанных грунтах также доминировали двусторчатые моллюски – *Macoma balthica* и, возможно, *M. calcaria*, идентификацию затруднила необычно высокая степень коррозии раковин, что само по себе является интересным фактом, требующим специального исследования.

В поверхностных водах Гданьской впадины (0–20 м) и в южной части Готландского бассейна необычно рано, уже в третьей декаде июня – первых числах июля, наблюдалось поверхностное и подповерхностное цианобактериальное цветение с доминированием токсичной *Nodularia spumigena*, *Anabaena sp.* и потенциально-токсичного *Aphanizomenon flos-aquae*. При наступлении кризиса цветения, в результате отмирания цианобактериальных клеток токсины попадают в водную среду, затем они аккумулируются в мягких донных отложениях и сохраняются длительное время. Поэтому были отобраны пробы мягких илов для количественного и качественного определения в них цианобактериальных токсинов.

Основной объем геологических и геофизических исследований был выполнен на геоакустическом полигоне в пределах Слупского желоба, играющего роль подводного канала для прохождения потока соленых вод на восток. Проводилась съемка многолучевым эхолотом RESON SeaBat 8111. Результатом стала батиметрическая карта участка дна Слупского желоба к востоку от Слупского порога. Карта демонстрирует гидродинамическое воздействие на рельеф дна на склонах и в основном русле. Аналогичные съемки в Борнхольмской впадине подтвердили в литературе существование района с глубиной 108 м, превышающей указанное максимальное значение 104 м. Новая точка расположена не в центре, а на южной периферии впадины в координатах 55°00,068' с.ш., 15°40,882' в.д.

В соответствии с соглашением со шведскими партнерами по проекту DAIMON о кооперации в исследованиях химической загрязненности верхнего слоя донных отложений в одном из крупных районов затопления химического оружия, расположенном в шведских водах пролива Скагеррак, было отобрано и заморожено большое количество проб для пополнения

банка первичных данных и передачи части материала на специальный химический анализ в институт VERIFIN (Хельсинки).

В круг задач экспедиции входила оценка экологической безопасности, поэтому в рейсах проводилось уточнение координат потенциально опасных затопленных объектов. Поиск выполнялся в рекомендованной польскими специалистами южной части Слупского желоба гидролокатором бокового обзора, размещенным на автономном подводном аппарате. За короткое время съемки (3 ч) было обнаружено 19 предположительно техногенных объектов, которые включены в реестр объектов, подлежащих идентификации.

Можно отдельно отметить обновление в 2017 г. методов одного из наиболее важных видов работ – измерений на разрезах с использованием мультипараметрических зондов. Последние 20–25 лет разрезы мезомасштабной структуры вод на Балтике выполнялись на непрерывном ходу со скоростью 5–6 узлов с помощью сканирующих буксируемых зондов. Недостатком этого способа зондирования является неполная информация о структуре придонного слоя по той причине, что зонд часто не достигал дна. Для Балтики этот слой имеет первостепенное значение. Поэтому вместо буксировки пришлось выполнять зондирование до дна на часто повторяющихся предельно коротких дрейфовых станциях с использованием квазисвободно падающего мультипараметрического зонда. Более высокое качество измерений тонкой вертикальной стратификации, включая придонный слой, достигнуто ценой снижения результирующей скорости прохождения разреза с 6 до 3 узлов. Однако на завершающем этапе экспедиции был успешно испытан новый вариант измерений на разрезах, основанный на использовании квазисвободно падающего мультипараметрического зонда, не требующий остановки судна. В результате высокое качество первичных данных сохранилось, а потери в скорости прохождения разреза были устранены. Новый вариант представляется перспективным для дальнейшего использования.

Финансирование экспедиции осуществлялось за счет бюджетных средств ИО РАН, внебюджетных средств АО ИО РАН, проектов РФФИ № 14-37-00047 и 14-27-00114, а также грантов РФФИ.

Исследования проводились по темам Госзаданий № 0149-2014-0016; 0149-2014-0007; 0149-2016-0003; 0149-2016-0005. Обработка и анализ данных проводились по темам Госзаданий № 0149-2018-0003; 0149-2018-0012.

ИЗУЧЕНИЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ В 2017 г.

**А.В. Крек*, М.О. Ульянова, Е.С. Бубнова, В.А. Кречик,
Е.В. Крек, А.Р. Данченков**

Институт океанологии им П.П. Ширшова РАН

*e-mail: av_krek_ne@mail.ru

Для оценки сезонной изменчивости экосистемы Балтийского моря экспедиционные исследования проводились в три этапа:

– 135-й рейс НИС «Профессор Штокман» (3–7 апреля 2017 г., российский сектор юго-восточной части Балтийского моря (ЮВБ)),

– 35-й рейс НИС «Академик Николай Страхов» (14–28 июля 2017 г., российский сектор ЮВБ и Финского залива);

– 37-й рейс НИС «Академик Николай Страхов» (24–28 октября 2017 г., российский сектор ЮВБ) (рис. 1).

Цели и задачи

Особенностью Балтийского моря является эпизодическое обновление придонных вод в периоды больших затопов из Северного моря через мелководные Датские проливы, которые способствуют этому процессу. Постепенно трансформируясь, более плотные воды распространяются по впадинам Балтийского моря. Продвижение североморских вод в восточную часть Балтики, в частности Гданьскую впадину, было затруднено особенностями рельефа дна и отсутствием крупных затоповых явлений в период с 2003 по 2014 гг. [1], что способствовало возникновению застойных условий в придонном слое. При отсутствии дополнительной аэрации в придонных водах происходит смена окислительных условий на восстановительные, что отражается на химическом составе верхнего слоя осадков и на экосистемах.

Целью экспедиционных исследований являлся сезонный мониторинг биотических и абиотических компонентов экосистемы Балтийского моря под влиянием затопов североморских вод. Для этого были изучены гидрологические условия, гидрохимические показатели, взвешенное осадочное вещество, а также было проведено детальное картирование микрорельефа бассейнов на ключевых участках дна с дополнительным отбором геологических образцов верхнего слоя осадков (в том числе ненарушенного).

Методы исследований

Гидролого-гидрохимические работы включали CTD-зондирование от поверхности до дна в режиме свободного падения с помощью зонда CTD 90M (Sea&Sun Technology) и отбор проб воды с помощью гидрологического комплекса MWS 12 Slimline (Hydrobios). В судовых лабораториях определялись pH (всего 189 проб), концентрация кислорода (246 проб), взвешенного вещества (286 проб) и нефтепродуктов (110 проб).

Акустические исследования включали батиметрическую съемку рельефа дна многолучевым эхолотом SeaBat 8111 с рабочей частотой 100 кГц и углом обзора, сформированным 101 лучом (всего 150°), съемку структуры верхнего слоя осадков профилографом EdgeTech 3300-НМ с частотой 2–6 kHz. Всего акустические исследования были проведены на протяжении 1775 морских миль, из них в ЮВБ – 1242, в Финском заливе – 533.

Отбор проб поверхностных донных осадков осуществлялся дночерпателями Ван Вина, «Океан-50» и «Боксер» (в ЮВБ – 111, в Финском заливе – 45 станций), проб верхнего ненарушенного слоя осадков и придонной воды – трубкой системы Лаури-Ниемисто (15 станций) и длинных колонок – ударной геологической трубой большого диаметра (две колонки).

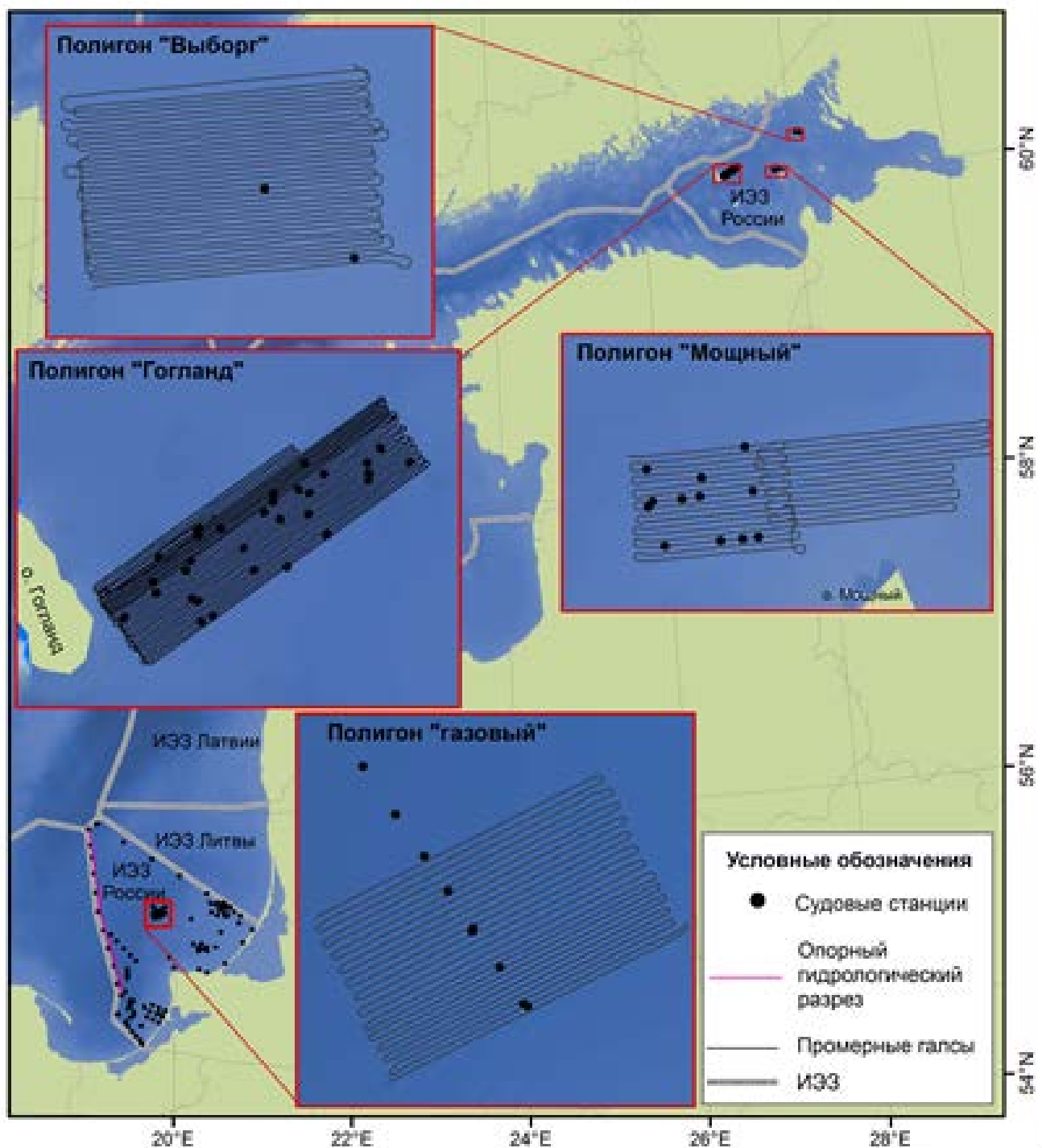


Рисунок 1. Расположение геофизических профилей и станций отбора проб воды и донных осадков в экспедициях 2017 г. в Балтийском море

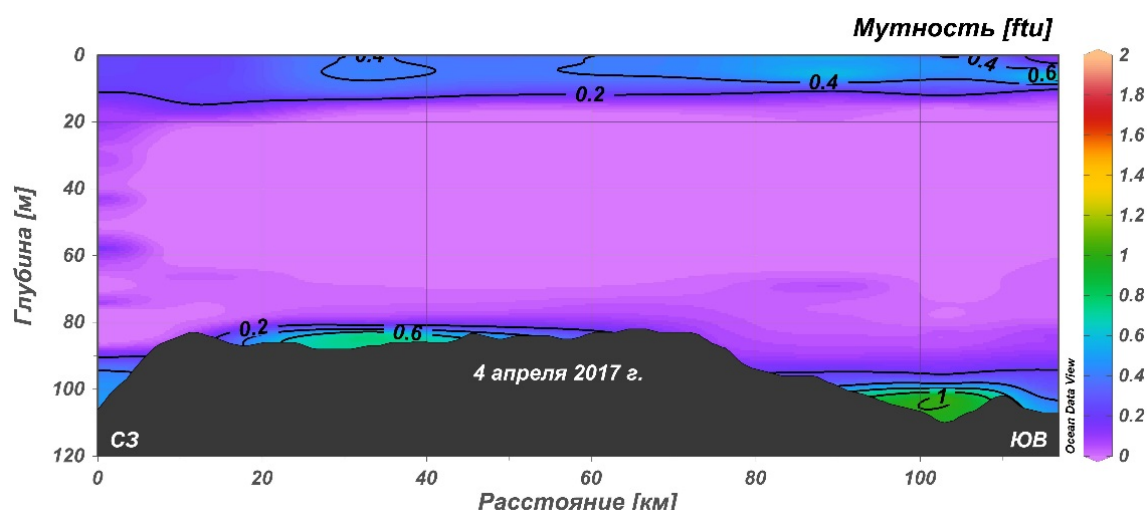


Рисунок 2. Максимальное проявление нефелоидного слоя в Гданьской впадине. Расположение разреза показано на рис. 1 (опорный гидрологический разрез)

Основные результаты

Юго-Восточная Балтика

Проявления большого «рождественского» залива 2014 г. [2] и нескольких последовавших за ним, которые были зафиксированы в Гданьском бассейне в 2015–2016 гг. [3,4], значительно ослабли. Придонная соленость, как индикатор залива, понижалась в течение всего года, достигнув минимальных значений осенью 2017 г. (13,2 епс в Гданьской впадине, в 2015 г. там же 14,4 епс). Содержание кислорода в придонном слое также понизилось (от 3,63 мл/л в апреле до

0,84 мл/л в октябре). Установление стагнационных условий можно наблюдать и по изменению мутности придонного слоя: во время весенней съемки наблюдался ярко выраженный придонный нефелоидный слой (косвенное свидетельство придонного течения), к лету значения мутности снизились практически в два раза, а осенняя съемка не обнаружила повышения мутности у дна (рис. 2).

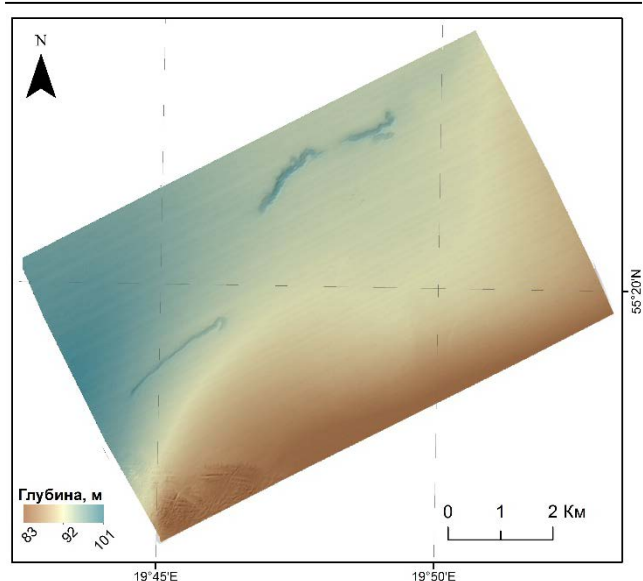
Картирование элементов микрорельефа с помощью многолучевого эхолота позволило впервые в ЮВБ провести детальную съемку покмарков, образование которых связано с выходом метана из донных осадков в воду (рис. 3). Их форма и размеры необходимы для дальнейшей оценки потока метана, так как его значения сильно разнятся в пределах одного покмарка.

Финский залив

Исследования в Финском заливе (район о-ва Голланд) были направлены на изучение покмарков. Были обследованы узкие линейные углубления в зонах распространения газонасыщенных илов (рис. 4). Некоторые из них примыкают к положительным формам рельефа и, очевидно, связаны с контурными течениями [5].

Исследование железно-марганцевых конкреций (ЖМК) в районе о-ва Мощный показало наличие признаков замедления их роста с последующим растворением и захоронением под слоем илов. Растворение ЖМК происходит в восстановительной (бескислородной) среде, распространение которой в Финском заливе также может быть связано с долгим отсутствием аэрации. Наиболее опасным аспектом растворения ЖМК с экологической точки зрения является десорбция фосфора и тяжелых металлов, концентрации которых в конкрециях Финского залива значительны.

Рисунок 3. Морфология покмарков в ЮВБ (по результатам профилирования многолучевым эхолотом)



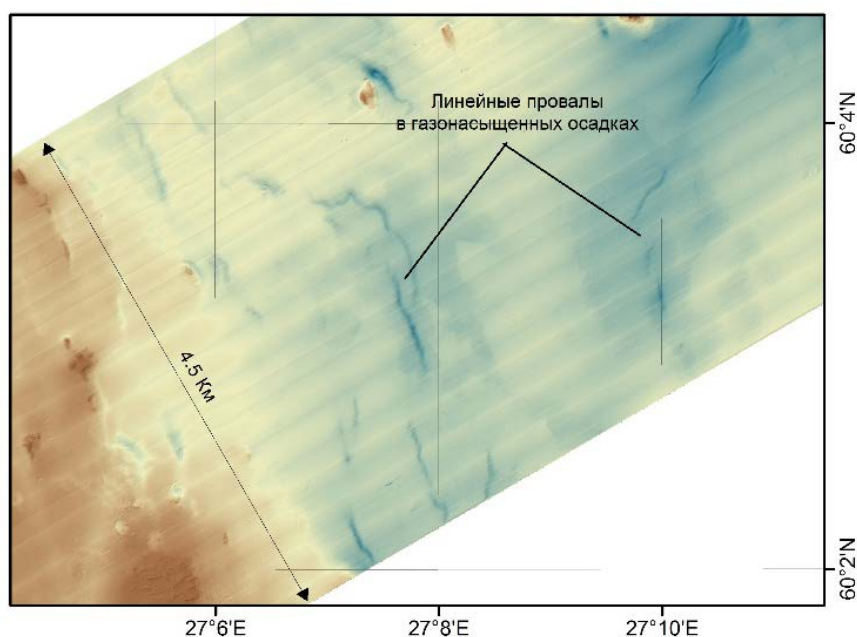


Рисунок 4. Линейные отрицательные формы рельефа (провалы) в зонах газонасыщенных илов (по результатам профилирования многолучевым эхолотом)

Заключение

Одним из основных результатов является выявление ослабления воздействия залива трансформированных североморских вод в Гданьской впадине. Кроме того, были детально закартированы покмарки в Юго-Восточной Балтике и Финском заливе и изучены особенности современного состояния ЖМК в Финском заливе.

Значительная часть полученного в экспедициях материала направлена на геологические и геохимические анализы. После окончания лабораторных исследований результаты будут опубликованы в высоко-рейтинговых изданиях.

Экспедиционные работы выполнялись в рамках плана научно-исследовательской работы ИО РАН на 2017–2019 гг. (темы: № 0149-2015-0058, 0149-2016-0003, 0149-2016-0004). Анализ результатов проводился в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0012).

ЛИТЕРАТУРА

1. Mohrholz V., Naumann M., Nausch G., Krüger S., Gräwe U. Fresh oxygen for the Baltic Sea – An exceptional saline inflow after a decade of stagnation // J. Mar. Syst. 2015. Vol. 148. P. 152–166. doi:10.1016/j.jmarsys.2015.03.005
2. Naumann M., Mohrholz V., Nausch G. Baltic inflow of December 2014 [Электронный ресурс] // The Leibniz Institute for Baltic Sea Research: [Официальный сайт]. URL: <http://www.io-warnemuende.de/baltic-inflow-of-december-2014.html> (дата обращения: 10.01.2016).
3. Кречик В.А., Капустина М.В., Бубнова Е.С., Гриценко В.А. Абиотические условия придонных вод Гданьской впадины Балтийского моря в 2016 году // Ученые записки РГТУ. 2017. № 48. С. 186–194. URL: <http://www.rshu.ru/university/notes/archive/issue48/UZ-48el-186-194.pdf> (дата обращения: 01.05.2018).
4. Кречик В.А., Капустина М.В., Дубравин В.Ф., Ежова Е.Е., Лукашин В.Н. Изменчивость термохалинных и гидрохимических, седиментационных и биологических показателей придонных вод Гданьской и Готландской впадин в 2015–2016 годах // Система Балтийского моря / [А.П. Лисицын, Е.М. Емельянов, В.Ф. Дубравин и др.; науч. ред. А.П. Лисицын; РАН, Ин-т океанологии им. П.П. Ширшова РАН]. Москва: Научный мир, 2017. С. 109–121.
5. Ryabchuk D., Sergeev A., Krek A., Kapustina M., Tkacheva E., Zhamoida V., Budanov L., Moskovtsev A., Danchenkov A. Geomorphology and Late Pleistocene–Holocene Sedimentary Processes of the Eastern Gulf of Finland // Geosciences. 2018. Vol. 8, Iss. 3. P. 102. doi:10.3390/geosciences8030102

ЛАДОЖСКОЕ ОЗЕРО – ТРИ СЕЗОНА – ТРИ ЭКСПЕДИЦИИ НА НИС «ЭКОЛОГ» В 2017 г.

С.Г. Каретников

Институт озероведения РАН

*e-mail: sergeyka55@mail.ru

Экспедиции проводились на НИС «Эколог» по теме № 0154-2014-0003 «Разработка и совершенствование научных, технических, методических и правовых основ с целью сохранения Ладожского озера как геостратегического объекта федерального значения на основе комплексных исследований».

В составлении отчета использованы материалы сотрудников Института озероведения РАН с.н.с. М.А. Барбашовой, м.н.с. М.А. Гусевой, н.с. И.В. Иофиной, зав. лаб. гидробиологии Е.А. Курашова, н.с. Т.Н. Петровой и с.н.с. Т.В. Сапелко.

Цели и задачи экспедиции на Ладожском озере в 2017 г.

1. Продолжить исследования закономерностей функционирования экосистемы Ладожского озера.
2. Параметризовать взаимозависимость биотических и абиотических параметров воды.
3. Оценить сезонную изменчивость биотических и абиотических параметров воды в сравнении с их многолетними колебаниями.
4. Отработать методики отбора проб придонной воды и тонкого поверхностного слоя грунта для оценки гранулометрии частиц наноразмера.
5. Отобрать пробы грунта для анализа изменений в составе мейобентоса под воздействием внешних факторов.
6. Провести поисковые измерения гидрохимического состава придонного слоя воды в местах возможной разгрузки грунтовых вод.

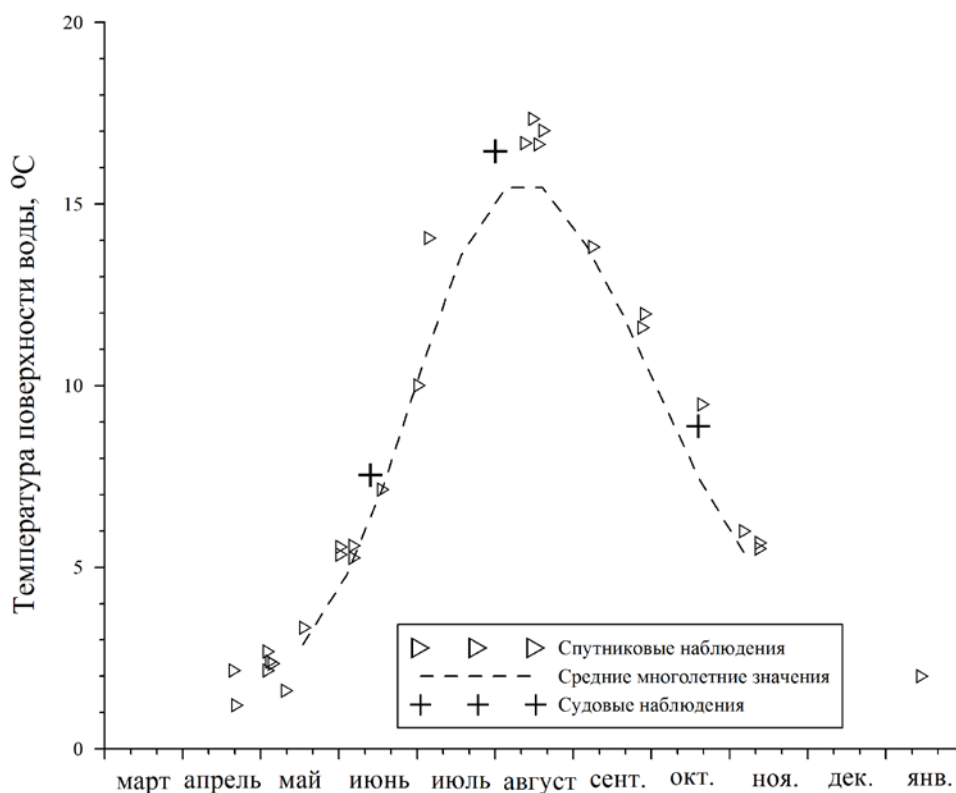
Характеристика метеоусловий лета 2017 г.

Характеристика метеоусловий для Ладожского озера базируется на среднесуточных данных метеостанции Сортавала, где имеется непрерывный ряд наблюдений начиная с 1945 г. [1]. Детальный анализ срочных метеоданных проводится с 2005 г. В 2017 г. продолжилось уменьшение числа безоблачных дней за период с апреля по октябрь, вместе с этим увеличилось число сроков со штилевой погодой, и в последние два года отмечались максимальные значения летних месячных сумм осадков. Все это не могло не сказаться на термическом и гидробиологическом режимах Ладожского озера. Снижение числа солнечных дней приводит к более медленному весеннему прогреву воды озера, уменьшение ветра также уменьшает глубину перемешанного поверхностного слоя воды. Увеличение осадков в конечном счете приводит к увеличению стока воды с водосбора, а значит, с одной стороны, к увеличению поступления плоскостного смыва биогенов, а с другой стороны – к большему разбавлению точечных источников загрязнения [2].

Приведенные на рис. 1 изменения средних температур поверхности воды летом 2017 г., по спутниковым данным, приведенным на рис. 2, были близки к средним многолетним значениям, полученным по судовым наблюдениям за период с 1897 по 2000 гг. [3, 4], и совпадали со средней для озера температурой поверхности во время проведения трех судовых съемок. На всех станциях во время проведения рейсов осуществлялись измерения температуры, электропроводности и мутности зондом RBR.

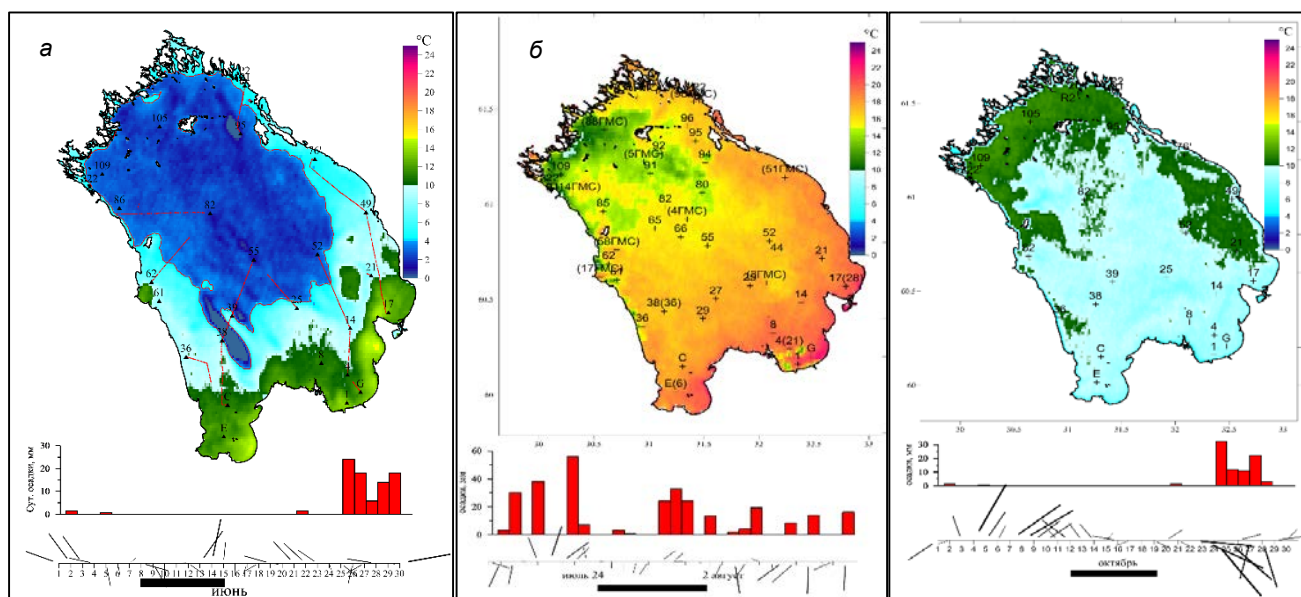
На рис. 3 приведен пример зондировок на глубоководной станции.

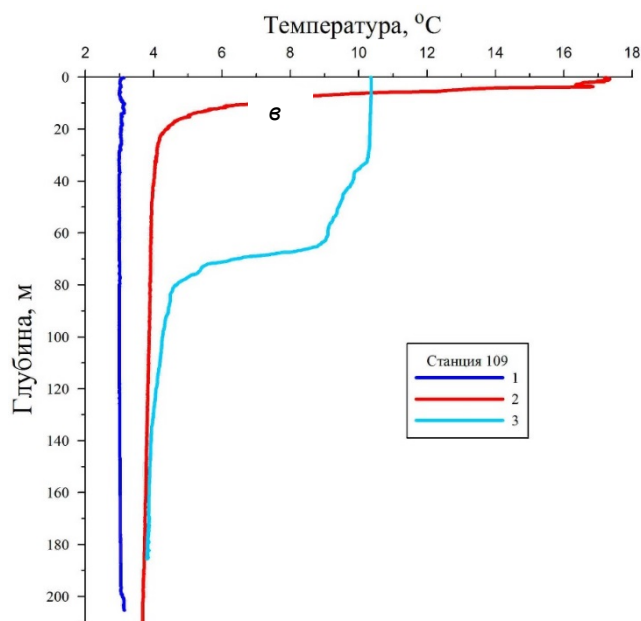
Весной на этой станции наблюдалась полная гомотермия при температуре около 3 °С, летом прогретый слой воды был всего 20 м, хотя температура



▲ Рисунок 1. Характеристика температуры поверхности Ладожского озера, полученной в 2017 г. различными способами

▼ Рисунок 2. Характеристика теплового состояния поверхности Ладожского озера по спутниковым данным, осадки и ветер по данным метеостанции Сортавала: а – рейс 8–15 июня, б – рейс 24 июля – 3 августа, в – рейс 11–20 октября





1 – 12/06/2017, 2 – 31/07/2017, 3 – 15/10/2017

Рисунок 3. Пример вертикальных распределений температуры воды на глубоководной станции

самой поверхности достигала 17 °С, во время осеннего охлаждения воды с поверхности толщина поверхностного перемешанного слоя воды увеличилась до 80 м, придонная температура при этом не изменилась и оставалась около 4 °С.

Рейс 8–15 июня 2017 г.

– Изучение гидрофизических, гидробиологических и гидрохимических процессов в период существования в озере весеннего термического фронта.

– Проведение калибровки спутниковых данных о температуре поверхности воды.

Во время рейса комплексные измерения проводились на 27 станциях, из них 18 относились к теплой зоне с температурой поверхности выше 4 °С и 9 – в изотермической зоне с температурой по всей глубине ниже 4 °С. В составе экспедиционного отряда было 11 человек, из них 1 сотрудник АНИИ (договор о сотрудничестве) и 3 студента СПбГУ (производственная практика).

Характерной особенностью весеннего периода нагревания Ладожского озера, продлившегося в 2017 г. с 20 апреля, когда у восточного берега еще наблюдались скопления льда, до 3 июля, является его разделение на две различные по механизму передачи тепла зоны – центральную со свободной конвекцией до дна и прибрежную с образованием слоя вертикального температурного скачка и вынужденной ветровой конвекцией верхнего перемешанного слоя. Именно такая картина изображена на рис. 4.

Рейс 24 июля – 3 августа 2017 г.

– Измерение пространственного и вертикального распределения гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических параметров в период максимального прогрева поверхности озера.

– Изучение изменения бентосных сообществ.

– Определение распределения в воде и поверхностном слое грунта наночастиц [5].

– Получение материала для датировки палеолонок новым методом.



Рисунок 4. Характерный термический разрез через фронтальный разрез

– Сравнение методик отбора и обработки проб ИНОЗ и СЗ УГМС.

За время рейса было выполнено 44 комплексных станции, в рейсе приняло участие 13 человек, в том числе: 2 сотрудника СЗ УГМС (договор о сотрудничестве) и 2 студента СПбГУ (производственная практика).

Рейс 11–20 октября 2017 г.

– Оценка толщины и температуры поверхностного прогреваемого слоя воды.

– Отбор проб придонной воды в районе предполагаемой разгрузки грунтовых вод.

Число выполненных станций – 26, число участников рейса – 8.

Основные результаты, полученные летом 2017 г.

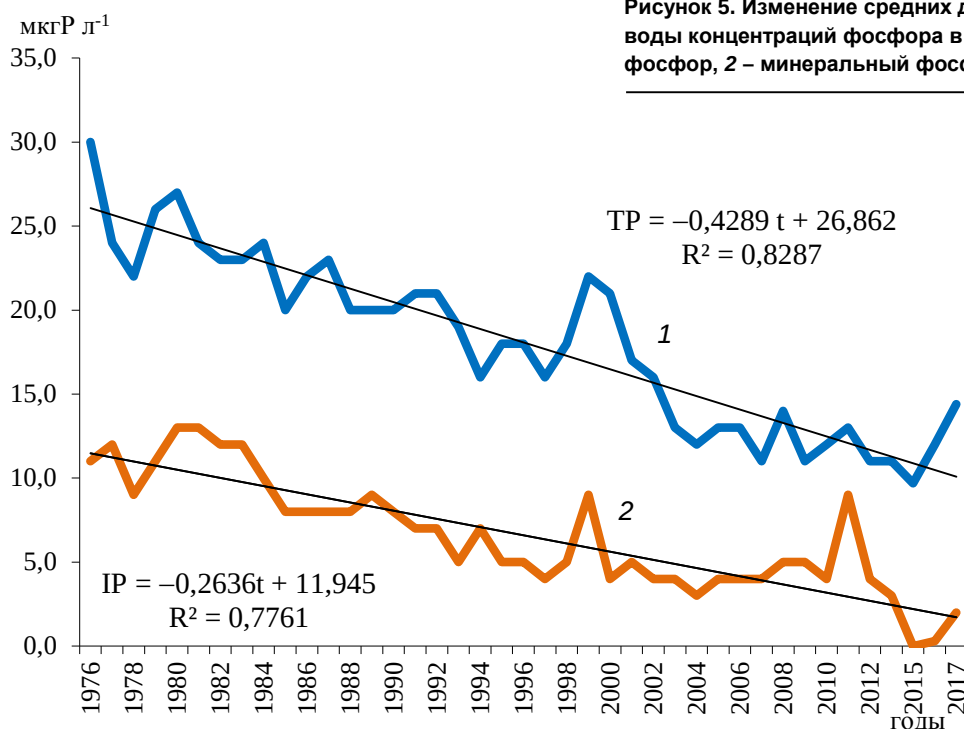
Гидрохимия

В число определяемых в воде озера гидрохимических показателей вошли: удельная электропроводность, общая минерализация воды и содержание главных ионов, значение pH, содержание растворенного кислорода, фосфор общий и неорганический, общий азот и содержание нитратов, цветность, содержание общего и лабильного органического углерода [6],

количество взвешенных веществ и концентрация нефтяных углеводородов [7]. Наиболее важными с точки зрения изменения экологического состояния являются **кислородный режим** и режим **общего и неорганического фосфора**.

Для Ладожского озера, как для холодноводного димиктического водоема, характерно высокое содержание **растворенного в воде кислорода** в течение всего года. В летний и весенний периоды увеличение относительного содержания кислорода, как правило, свидетельствует о фотосинтетической активности. Особенно сильно потребление кислорода было выражено в Волховской губе, где кислород быстро расходуется на деструкцию органического вещества как автотонного, так и поступающего с речными водами. В придонном слое дефицит кислорода не достигает критических значений.

Для Ладожского озера лимитирующим фактором развития водных организмов является содержание **фосфора**, поэтому оценка его количественного содержания в воде и характера распределения имеет большое значение при определении биологической продуктивности водоема. Основные особенности распределения **общего фосфора**, характерные для среднего многолетнего распределения в воде Ладожского озера, в целом прослеживаются и в 2017 г. (рис. 5).



Гидробиология

Весной 2017 г. по всей акватории озера преобладали диатомовые (33–97 % от общей биомассы **фитопланктона**) водоросли. В летний период почти по всему озеру преобладали криптофитовые (до 74 %) и синезеленые (до 63 % от общей биомассы фитопланктона) водоросли. Максимальное видовое богатство (32 вида) наблюдалось в районе западного берега, минимальное (15 видов) – в районе бухты Петрокрепость.

Следует отметить низкий уровень развития синезеленых водорослей в районе Волховской губы, а также отсутствие среди доминант видов рода *Microcystis*, характерных для этого района озера. По-видимому, это связано в первую очередь с неблагоприятными для водорослей гидрометеорологическими условиями в озере.

Сообщество **зоопланктона** является одним из основных планктонных сообществ, обладающих высокой скоростью размножения, что определяет его значительную численность, а интенсивная фильтрационная активность зоопланктона, большое количество видов которого являются фильтраторами и седиментаторами, обуславливает ведущую роль зоопланктона в самоочищении вод и формировании качества воды. Сравнение структуры и количественного развития зоопланктона по годам показало довольно устойчивую картину распределения основных групп зоопланктона и относительно равномерное распределение численностей и биомасс зоопланктона на исследованной акватории озера. На большинстве станций доля доминантной коловратки *Conochilus hippocrepis* изменялась от 83 до 94 %. Причем, если структура сообщества менялась при температуре воды выше 20 °С, то количественное развитие не всегда зависело от температуры воды.

Результаты исследования 2017 г. показали, что в профундали озера видовой состав донных биоценозов, их доминирующий комплекс, соотношение основных групп остаются достаточно стабильными. Небольшие количественные показатели **макробентоса** в 2017 г. наблюдались не только в северной глубоководной части озера и центре, но и в южной открытой акватории озера. Невысокий уровень развития амфипод, вероятно, связан с сезонными изменениями и активными миграциями ракообразных. Наибольшие значения численности и биомассы донных беспозвоночных отмечены как в южном районе, в приустьевом

участке реки Волхов, так и в северной глубоководной части озера.

Наблюдения за динамикой изменения структуры **мейобентосного сообщества** в профундальной зоне озера открытой акватории за четырнадцатилетний период показали тенденцию улучшения экологического состояния озера, что выявляется исчезновением скоплений диапаузирующих циклопов. Зонами риска, где отмечено слабое развитие мейобентоса и отсутствие видов-индикаторов нормального экологического состояния, остаются два участка: 1) участок, находящийся северо-западнее г. Приозерска, и 2) участок вблизи г. Питкяранта. В 2017 г. отмечено значительное снижение количественных показателей и обеднение таксономического состава мейобентоса по сравнению с предыдущими годами, что особенно сильно проявилось для станций прибрежной и деклинальной зон Ладожского озера.

В июле – начале августа, в условиях максимального прогрева воды и пика развития фитопланктона, обычно наблюдается и наиболее высокий уровень развития **бактериопланктона**. По данным 2017 г. отмечена достаточно высокая численность сапрофитных бактерий в придонных горизонтах глубоководных станций, что может свидетельствовать об интенсивном развитии в этих районах фитопланктона, являющегося источником легкоокисляемого органического вещества, которое используют сапрофиты. Микрофлора воды была представлена в основном палочковидными и кокковидными формами. Нитевидные формы и спирали встречались крайне редко, как правило, в южном прибрежье. Преобладание палочковидных форм обычно косвенно свидетельствует о более высокой концентрации и низкой степени минерализации органического вещества в воде.

В условиях антропогенного воздействия на озеро **водные грибы** могут быть использованы в качестве показателя степени загрязнения водоема. Увеличение численности грибов в таких объемах не может привести к ухудшению качества воды. Отмечено уменьшение роли дрожжевых грибов, что, возможно, вызвано ростом объема новообразованного органического вещества. Замечено увеличение численности микопланктона в придонных слоях воды. В районе Питкяранты доминируют два вида *Trichoderma viride* и *Penicillium funiculosum*, которые участвуют в деградации целлюлозы.

Палеолимнологические исследования

В 2017 г. на Ладожском озере проведен пробоотбор колонок донных отложений Ладожского озера с целью датирования этапов развития озера в голоцене новым более точным методом. Было отобрано 11 кернов донных отложений на семи станциях, проведено описание всех кернов с их взаимной корреляцией.

Выводы

Таким образом, новая информация, полученная во время трех основных гидрологических сезонов 2017 г., по оценке гидрохимического и гидробиологического режимов основной части акватории Ладожского озера, подтверждает тот факт, что в целом развитие экосистемы Ладожского озера определяется естественными факторами природной среды в конкретных климатических условиях. Обнаруженное в последние годы увеличение численности сапрофитных бактерий и микопланктона в придонных слоях воды на глубоководных станциях требует особого контроля, так как может быть вызвано вовлечением растворенного в воде органического вещества в процесс его разложения. Антропогенные воздействия на отдельных локальных участках могут вносить возмущения в озерную среду, что фиксируется по соответствующему изменению гидрохимических и гидробиологических параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Наumenko М.А., Каретников С.Г. Особенности многолетних изменений температуры воздуха в северной части Ладожского озера // Успехи современного естествознания. 2017. № 5. С. 114–122. doi: 10.17513/use.36465
2. Кондратьев С.А., Шмакова М.В. Опыт создания математических моделей, описывающих процессы стока и выноса примесей с водосбора // Общество. Среда. Развитие. 2017. № 1. С. 80–84. URL: http://www.terrahumana.ru/arhiv/17_01/17_01_14.pdf (дата обращения: 05.04.2018).
3. Наumenko М.А., Каретников С.Г., Гузиватый В.В. Ежедневные средние пространственные распределения температуры поверхности воды Ладожского озера с мая по ноябрь // Ладожское озеро: Мониторинг, исследование современного состояния и проблемы управления Ладожским озером и другими большими озерами / Под ред. Н.Н. Филатова. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2000. С. 335–345.
4. Наumenko М.А., Каретников С.Г., Гузиватый В.В. Термический режим Ладожского озера // Ладога / под ред. В.А. Румянцев, С.А. Кондратьева. СПб.: Нестор-История, 2013. С. 122–123.
5. Крюков Л.Н., Поздняков Ш.Р., Румянцев В.А. Актуальность идентификации наноразмерных частиц в пресноводных объектах на примере Ладожского озера // Водные ресурсы. 2017. Т. 44, № 4. С. 475–484. doi:10.7868/S0321059617040095
6. Петрова Т.Н., Гусева М.А. Динамика содержания и распределения органического вещества в воде Ладожского озера в течение многолетнего периода // Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах: Тр. VI Всеросс. симпозиума с междунар. участием, 28 августа – 1 сентября 2017 г., Барнаул. Барнаул, 2017. С. 181–187.
7. Гусева М.А., Петрова Т.Н. Межгодовая и сезонная динамика основных гидрохимических показателей в устье реки Вуоксы // Озера Евразии: проблемы и пути их решения. Материалы 1-й Междунар. Конф. (11–15 сентября 2017 г.). Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2017. С. 341–346.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА И ВЫГОЗЕРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В РЕЙСАХ НИС «ЭКОЛОГ» 2017 г.

**М.С. Потахин*, Н.А. Белкина, А.В. Рябинкин,
А.Е. Рыбалко, Д.А. Субетто**
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН
*e-mail: mpotakhin@mail.ru

Донные отложения представляют собой архивы природных событий, происходящих непосредственно в водоемах и на их водосборах. При этом в ряде случаев их можно рассматривать и как маркеры процессов, носящих глобальный характер [1]. В настоящее время, в связи с повсеместным вовлечением компонентов природной среды в хозяйственную деятельность, донные отложения водоемов выступают индикаторами и антропогенных преобразований.

Институтом водных проблем Севера Карельского научного центра РАН в 2017 г. посредством использования НИС «Эколог» было проведено два экспедиционных рейса по изучению донных отложений Онежского озера и Выгозерского водохранилища. Экспедиции организованы в рамках госзадания по Программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы, раздел IX «Науки о Земле», подраздел 137 «Эволюция окружающей среды и климата под воздействием природных и антропогенных факторов, научные основы рационального природопользования и устойчивого развития; территориальная организация хозяйства и общества». Тема ИВПС: «Эволюция озерно-речных систем Севера России. Реакция озер на антропогенное воздействие и изменения климата в северном полушарии».

Онежское озеро — второй по величине пресноводный водоем Европы с площадью водной поверхности около 10 000 км². Котловина озера расположена

в тектонической депрессии на границе двух геологических структур — Фенноскандинавского кристаллического щита и Русской плиты. На протяжении плейстоценовых скандинавских оледенений она неоднократно была вмещалищем ледниковых потоков, а в межледниковые периоды — морских и пресноводных водоемов. После строительства в 1953 г. Верхне-Свирской ГЭС уровень Онежского озера был незначительно поднят (около 0,3 м) и оно стало водохранилищем [2, 3]. Выгозеро расположено в бассейне реки Выг и является одним из крупнейших водоемов на водосборе Белого моря (площадь водной поверхности 1250 км²). В естественном состоянии озеро существовало до начала 1930-х гг. В дальнейшем, в процессе хозяйственного освоения, Выгозеро дважды претерпевало изменения: первое преобразование связано со строительством Беломорско-Балтийского канала и созданием Выгозерского вдхр. (1933 г.), второе — с гидроэнергетическим освоением бассейна р. Выг и созданием Выгозерско-Ондского вдхр. (1957 г.) [3, 4].

Исследования донных отложений Онежского озера проходили в два этапа. Целью первого этапа была сейсмоакустическая съемка донных отложений Онежского озера. Работы выполнялись в рамках договора о сотрудничестве между ИВПС, ЦАСД МГУ им. М.В. Ломоносова и СПбГУ. В ходе экспедиции было отработано 180 погонных километров сеймопрофилей (рисунок). Получен полный разрез четвертичных отложений, вскрывающий современные озерные, позднеплейстоценовые ледниково-озерные и ледниковые отложения, перекрывающие кровлю кристаллических пород; вскрыты глубокие палеоврезы и выявлены зоны проявления гравитационных процессов.

Основной целью второго этапа была оценка роли

биогенного фактора в концентрировании вещества при формировании железомарганцевых образований Онежского озера. Работы проводились в рамках сотрудничества с Институтом геологии и минералогии СО РАН (Новосибирск).

Основные экспедиционные задачи:

1) определение температуры и электропроводности воды (гидрофизическое зондирование профилографом CastAway CTD);

2) отбор проб воды батометром с поверхности, толщи и придонного горизонта;

3) отбор проб поверхностных донных отложений и донной фауны дночерпателем Экмана-Берджа;

4) отбор колонок донных отложений трубкой ГОИН ТГ-1 и стратометром Limnos;

5) стратиграфическое описание колонок донных отложений и отбор проб донных отложений для лабораторных анализов.

Всего было выполнено 14 станций, расположенных в различных частях акватории озера (см. рисунок). Методы исследований, используемые в ходе экспедиции, описаны в ряде работ [1, 5 и др.].

Полевые исследования включали:

1) отбор на 14 станциях 9 проб воды озера и 7 проб надильной воды на общий химический анализ, 66 проб на железо общее и взвешенное;

2) отбор на 11 станциях 132 проб донных отложений для дальнейшего изучения комплексом современных аналитических методов, 6 проб надильных вод и 24 проб донных отложений на определение метана газохроматографическим методом;

3) определение физико-химических характеристик воды и донных отложений, изучение газового состава, гидрокарбонатов, железа.

Лабораторные исследования включали:

1) анализ химического состава воды (минерализация и ионный состав воды (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-), органическое вещество (цветность, ПО, ХПК, БПК), биогенные элементы ($\text{P}_{\text{мин}}$, $\text{P}_{\text{общ}}$, NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , $\text{N}_{\text{орг}}$), литофильные элементы (Fe, Si, Al, Mn));

2) анализ физических характеристик и химического состава донных отложений (влажность, пористость, удельная масса, плотность, зольность, потери при прокаливании, $\text{C}_{\text{орг}}$, пигментный состав, биогенные элементы, тяжелые металлы и др.);

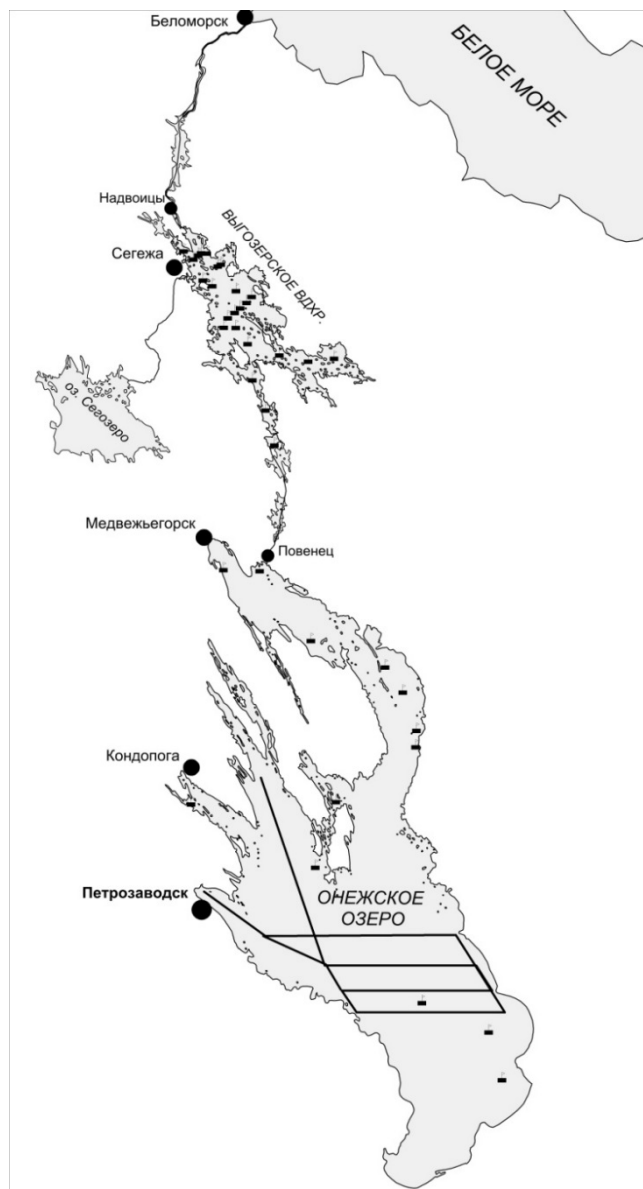
3) анализ макро- (Al, Fe, Ca, Mg, K, Na) и микро-элементного состава (Cd, Pb, Cu, Zn, Mn, Cr, Ni, Co, V, Be, Ba, Sr, Li) озерных вод и донных отложений

атомно-абсорбционным методом с использованием пламенных и электротермических методов атомизации;

4) электронную микроскопию.

Основной целью экспедиции на Выгозерское водохранилище было изучение пространственных неоднородностей донных отложений и их изменения в результате хозяйственной деятельности [6]. Работы проводились в сотрудничестве с Институтом геологии КарНЦ РАН. В ходе экспедиции было выполнено 24 станции (см. рисунок), расположенные в различных частях акватории водохранилища.

Онежское озеро и Выгозерское водохранилище с указанием станций отбора проб донных отложений и проделанных сейсмопрофилей



Основные экспедиционные задачи:

1) определение температуры и электропроводности воды (гидрофизическое зондирование профилографом CastAway CTD);

2) определение глубины прозрачности воды (по диску Секки);

3) отбор проб воды батометром с поверхности, толщи и придонного горизонта;

4) отбор проб поверхностных донных отложений и донной фауны дночерпателем Экмана-Берджа;

5) отбор колонок донных отложений трубкой ГОИН ТГ-1 и стратометром Limnos;

6) постановка седиментационных ловушек МСЛ-110.

Непосредственно на месте проводилось литостратиграфическое описание колонок донных отложений и их фотофиксация, образцы донных отложений и воды отбирались для последующих лабораторных исследований. Методы исследований, используемые в ходе экспедиции, описаны в ряде работ [1, 5 и др.].

В ходе полевых работ было сделано следующее:

1) отобрано 12 проб воды и 64 пробы донных отложений на химический анализ;

2) отобрано 30 проб донных отложений на гранулометрический анализ;

3) отобрано 106 проб донных отложений на палеобиологический анализ;

4) установлены седиментационные ловушки на 3 станциях;

5) выполнены анализы физико-химических характеристик донных отложений (рН, Eh) и газового состава придонных вод (CO₂, O₂, CH₄).

Лабораторные исследования включали:

1) анализ химического состава вод (30 компонентов);

2) анализ физических характеристик и химического состава донных отложений (влажность, пористость, удельная масса, плотность, зольность, ППП, Сорг, пигментный состав, биогенные элементы, тяжелые металлы и др.);

3) гранулометрический анализ донных отложений;

4) микропалеонтологический анализ донных отложений (хирономидный анализ).

В качестве основных результатов исследований 2017 г. можно назвать следующие результаты.

1. Получены новые данные о пространственном распределении голоценовых и верхних неоплейстоценовых отложений Онежского озера. Получены сведения об активном проявлении современных геодинамических движений, а также связанных с ними гравитационных процессов. Впервые были получены данные о наличии выходов газов (покмарки).

2. Впервые выполнен минералогический и палеогеографический анализ условий залегания железомарганцевых и карбонатных конкреций в современных донных отложениях Онежского озера, изучены формы миграции железа и марганца в воде.

3. Получены новые данные о стратиграфии, гранулометрии, химическом составе донных отложений Выгозерского водохранилища.

ЛИТЕРАТУРА

1. Субетто Д.А. Донные отложения озер: Палеолимнологические реконструкции. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2009. 339 с.
2. Онежское озеро: Атлас / Отв. ред. Н.Н. Филатов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2010. 151 с.
3. Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях / [Редкол.: Н.Н. Филатов (отв. ред.) и др.]. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. 375 с.
4. Озера Карелии: справочник / под ред. Н.Н. Филатова, В.И. Кухарева. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2013. 464 с.
5. Субетто Д.А., Прыткова М.Я. Донные отложения разнотипных водоемов. Методы изучения. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2016. 89 с.
6. Потахин М.С., Белкина Н.А., Слуковский З.И. Исследование донных отложений Выгозера в рейсе НИС «Эколог» летом 2017 года // География Арктических регионов 2017. Коллективная монография по материалам Международной научно-практической конференции. СПб: Типография ООО «Старый город», 2017. С. 49–53.

ОТЧЕТ ОБ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ В 2017 г. С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НИС «ЭКОЛОГ» В РАМКАХ ГОСЗАДАНИЯ № 82 «ЭВОЛЮЦИЯ ОЗЕРНО-РЕЧНЫХ СИСТЕМ СЕВЕРА РОССИИ. РЕАКЦИЯ НА АНТРОПОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В СЕВЕРНОМ ПОЛУШАРИИ» (РЕГИСТРАЦИОННЫЙ НОМЕР АААА-А17-117040610312-0)

Н.М. Калинкина*, Е.В. Теканова, Р.Э. Здоровеннов
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

*e-mail: cerioda@mail.ru

Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН в течение 60 лет ведет планомерные полномасштабные наблюдения на крупнейших озерах-водохранилищах Северо-Запада России – Онежском озере и Выгозерском водохранилище [1]. Актуальность настоящих исследований определяется значимыми изменениями в водоемах северных регионов мира в последние десятилетия: увеличением цветности воды (brownification) и содержания органического вещества [2, 3, 4]. Эти явления связаны с возрастанием влияния речного стока на водоемы в новых климатических условиях (вследствие увеличения осадков, наступления мягких зим, возрастания стока с болотных массивов в зимний период) [5, 6]. Климатические изменения, а также воздействие антропогенных факторов (целлюлозно-бумажные комбинаты, коммунально-бытовые стоки), появление новых источников загрязнения (форелевые хозяйства) определяют необходимость анализа современного состояния Онежского озера и Выгозерского водохранилища, что явилось целью исследований и проведения в 2017 г. экспедиционных работ на этих водоемах.

В 2017 г. состоялось три экспедиции с использованием НИС «Эколог». В период 3–12 июля 2017 г. (10 суток) исследованиями были охвачены основные районы Онежского озера: центральная, южная часть, район устья Вытегры, залив Большое Онего, Петрозаводская губа, Кондопожская губа. В этот период впервые были проведены наблюдения в районе расположения форелевых хозяйств в Кондопожской губе (станции KF1 – KF4). Координаты станций отбора проб

воды и донных отложений в Онежском озере представлены в табл. 1. В июле 2017 г. были определены температурные профили с использованием зонда CastAway (21 станция). Гидрохимические пробы отобраны на 11 станциях: 17 показателей (23 пробы). На 21 станции отобраны пробы воды на определение цветности и содержания хлорофилла *a* (127 проб). Гидробиологические пробы отобраны на 22 станциях: микробиологические показатели (69 проб); продукция и деструкция органического вещества (69 проб); фитопланктон (7 проб); зоопланктон (59 проб); зообентос (18 проб). Ихтиологические работы на Онежском озере включали определение размерно-возрастной структуры рыб семейства карповых, сбор проб на гистопатологические исследования. Проведена производственная практика с тремя студентами Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону (М.П. Галушко, А.Р. Каверина, Ю.А. Олейник).

В период 7–20 августа 2017 г. (14 суток) исследования проводились на Онежском озере (центральная, южная часть, залив Большое Онего, Петрозаводская губа, Кондопожская губа, Повенецкий залив, устье р. Водлы) и Выгозерском водохранилище (центральная часть, южные и северные районы). Координаты станций отбора проб воды и донных отложений представлены в табл. 1 и 2.

В августе 2017 г. были определены температурные профили с использованием зонда CastAway (29 станций). Гидрохимические пробы отобраны на 13 станциях: 18 показателей (30 проб). На 29 станциях отобраны пробы воды на определение цветности и содержания хлорофилла *a* (170 проб). Гидробиологические пробы отобраны на 29 станциях: микробиологические показатели (60 проб); продукция и деструкция органического вещества (60 проб); фитопланктон (10 проб); зоопланктон (58 проб); зообентос (6 проб).

Таблица 1

Координаты станций отбора проб на Онежском озере в 2017 г.

Станция	Координаты	Июль	Август	Октябрь
B_1	N62 04.186 E34 51.604	+	+	+
C_1	N61 38.205 E35 28.274	+	+	+
C_2	N61 48.044 E35 04.248	+	+	+
C_3	N61 41.937 E34 58.995	+	+	+
C_4	N61 29.951 E35 46.652	+	+	+
K_3	N62 10.078 E34 16.443	+	+	+
K_4	N62 08.149 E34 18.638	+	+	+
K_50	N62 06.008 E34 24.133	+	+	+
K_6	N62 04.519 E34 29.223	+	+	+
K_7	N62 00.146 E34 41.477	+	+	+
KF1	N62 05.050 E 34 22.298	+	-	+
KF2	N62 04.333 E 34 23.417	+	-	+
KF3	N 62 03.890 E 34 24.338	+	-	+
KF4	N62 04.177 E 34 21.978	+	-	+
P_2	N61 48.447 E34 26.018	+	+	+
P_3	N61 46.128 E34 31.917	+	+	+
P_5	N61 48.510 E34 21.490	+	+	+
P_7	N61 44.172 E34 31.424	+	+	+
PO_2	N61 40.316 E34 42.496	+	+	+
S_1	N61 18.991 E36 02.083	+	+	+
S_2	N61 12.112 E36 13.078	+	+	-
S_5	N60 59.322 E35 30.093	+	+	-
VT1	N61 06.182 E36 16.860	+	-	-
VT2	N61 06.654 E36 18.032	+	-	-
VD1	N61 47.249 E35 58.116	-	+	-
VD2	N61 46.494 E35 53.076	-	+	-
W_5	N62 38.564 E35 07.554	-	+	-
Z_2	N62 04.302 E35 13.061	+	-	-

Таблица 2
Координаты станций отбора проб
на Выгозерском водохранилище
в августе 2017 г.

Станция	Координаты
240	N63 19.050 E34 51.717
312	N63 15.783 E34 53.383
220	N63 41.253 E34 36.485
201	N63 34.268 E34 39.878
7	N63 47.067 E34 23.067
30	N63 43.133 E34 27.483
69	N63 45.883 E34 33.417
8	N63 46.350 E34 20.733
3	N63 46.560 E34 19.794
52	N63 48.700 E34 19.700
46	N63 48.984 E34 25.110

Отобрано 11 проб донных отложений для биотестирования. Выполнены ихтиологические работы на Онежском озере (определение размерно-возрастной структуры рыб семейства сиговых, сбор проб на гистопатологические исследования).

В период 30 сентября – 6 октября 2017 г. (7 суток) были исследованы следующие районы Онежского озера: Центральная, Южная часть, залив Большое Онего, Петрозаводская губа, Кондопожская губа (см. табл. 1). В октябре были определены температурные профили с использованием зонда CastAway (16 станций). Гидрохимические пробы отобраны на 16 станциях: 18 показателей (37 проб). На 18 станциях отобраны пробы воды на определение цветности и содержания хлорофилла *a* (106 проб). Гидробиологические пробы отобраны на 16 станциях: микробиологические показатели (65 проб); продукция и деструкция органического вещества (65 проб); фитопланктон (9 проб); зоопланктон (54 пробы); зообентос (13 проб). Отобрано 8 проб донных отложений для биотестирования.

В настоящее время продолжается обработка данных, полученных в экспедиции на Выгозерское водохранилище, а также анализ данных за август и октябрь 2017 г. по Онежскому озеру. В данной работе представлены предварительные результаты исследований в июле 2017 г. на Онежском озере, которые велись

вдоль продольных разрезов, объединяющих загрязняемые участки озера (северо-западные заливы) с чистыми центральными и южными районами (рис. 1).

В июле 2017 г. в глубоководном Центральном Онего, в Петрозаводском Онего, а также в заливах, за исключением их вершинных участков, сложилась устойчивая температурная стратификация (рис. 2). При сравнении со среднемноголетними данными [7] в июле, августе и октябре 2017 г. отмечался характерный для данных периодов температурный режим Онежского озера.

Максимальные концентрации хлорофилла *a* в июле 2017 г. наблюдались в слое, равном двойной прозрачности воды. В Южном, Центральном, Петрозаводском Онего и Петрозаводской губе содержание хлорофилла *a* в поверхностном слое варьировало в пределах 3,4–4,7 мкг/л, что, согласно классификации С.П. Китаева [8], соответствует олиго-α-мезотрофному состоянию водной экосистемы в этот период (рис. 3). В Кондопожской губе в районе расположения форелевых хозяйств содержание хлорофилла *a* достигало 9,9–11,4 мкг/л, что указывает на β-мезотрофный статус этих участков.

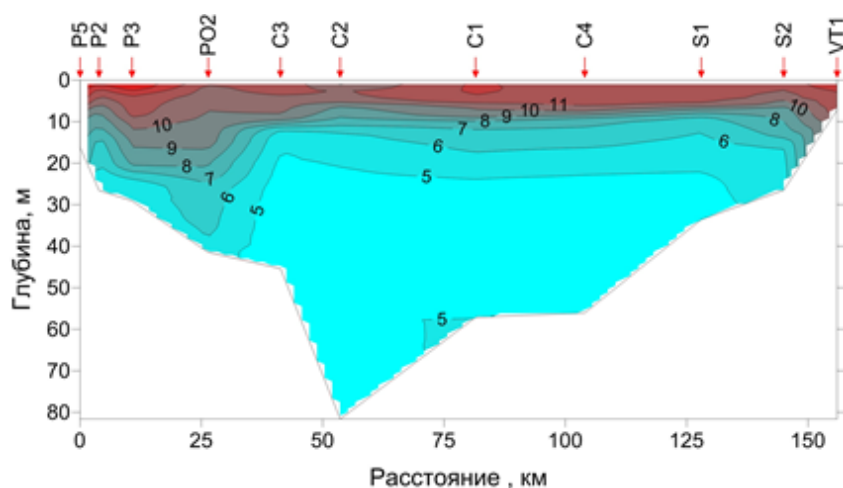
Вертикальное распределение сапрофитных бактерий в июле 2017 г. представлено на рис. 4. В эпилимнионе всех изученных районов озера, за исключением Кондопожской губы, концентрация бактерий не превышает нескольких сотен КОЕ/мл, а в гиполимнионе – нескольких десятков КОЕ/мл.

Согласно классификации О.П. Оксик и соавторов [9], уровень развития сапрофитного бактериопланктона характеризует воду эпилимниона Онежского озера как очень чистую (категория 2а), а воду гиполимниона – как предельно чистую (категория 1). Максимальные концентрации сапрофитных бактерий (2000–3000 КОЕ/мл) отмечались в эпилимнионе вершинной части Кондопожской губы, где производится сброс сточных вод целлюлозно-бумажного комбината.

Высокая заболоченность (около 30 %) водосбора Онежского озера определяет повышенное содержание гуминовых и фульвокислот в притоках и в районах приустьевых участков. Показателем содержания гумусовых веществ является цветность воды. В период наблюдения цветность воды на основной акватории Онежского озера (Южного, Центрального и Петрозаводского Онего) варьировала в пределах 23–31 град. Pt-Co шкалы (рис. 5).



Рисунок 1. Расположение станций отбора проб на Онежском озере в августе 2017 г.



▲ Рисунок 2. Стратификация температуры воды (°C) в июле 2017 г. вдоль разреза Петрозаводская губа – Центральное Онего – Южное Онего; P5, P2, P3, PO2, C3, C2, C1, C4, S1, S2, VT1 – станции

▼ Рисунок 3. Распределение в воде хлорофилла а (мкг/л) в июле 2017 г. вдоль разреза Петрозаводская губа – Центральное Онего – Южное Онего; P5, P2, P3, PO2, C3, C2, C1, C4, S1, S2, VT1 – станции

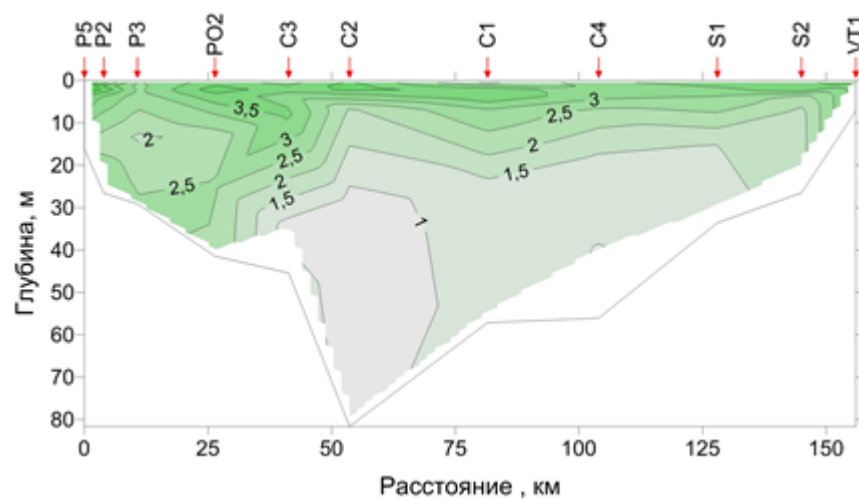
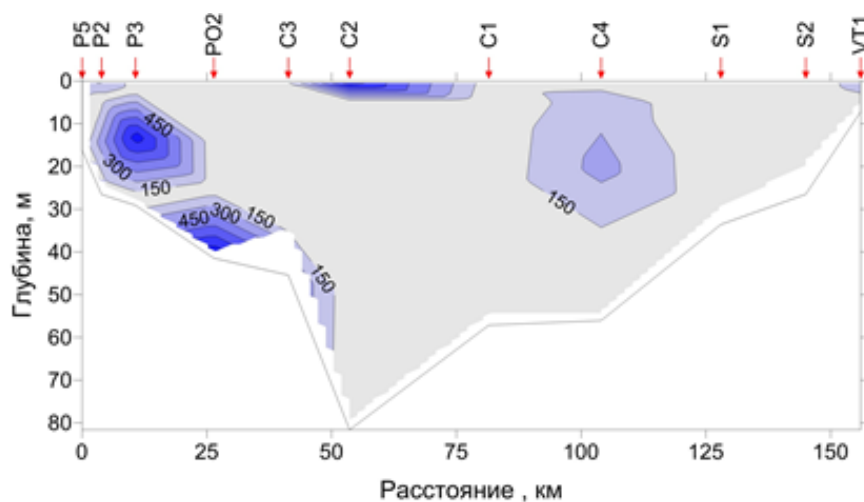


Рисунок 4. Распределение в воде сапрофитных бактерий (КОЕ/мл) в июле 2017 г. вдоль разреза Петрозаводская губа – Центральное Онего – Южное Онего; P5, P2, P3, PO2, C3, C2, C1, C4, S1, S2, VT1 – станции

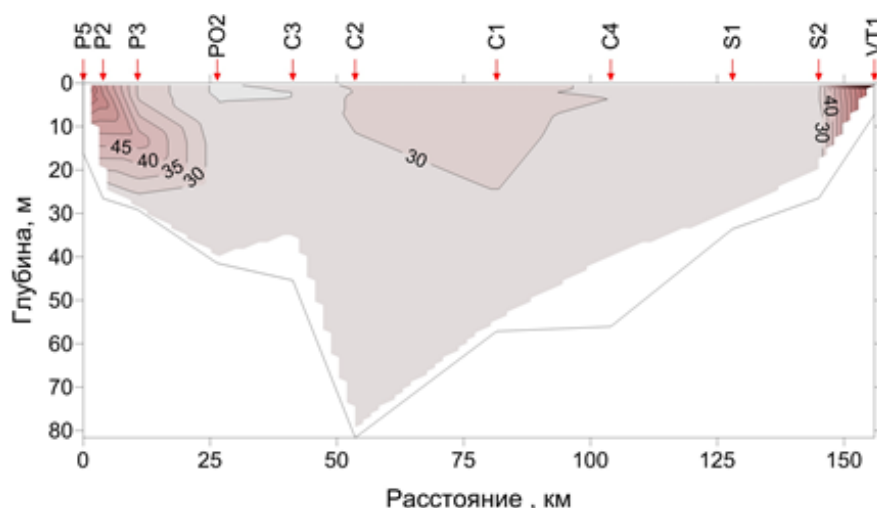


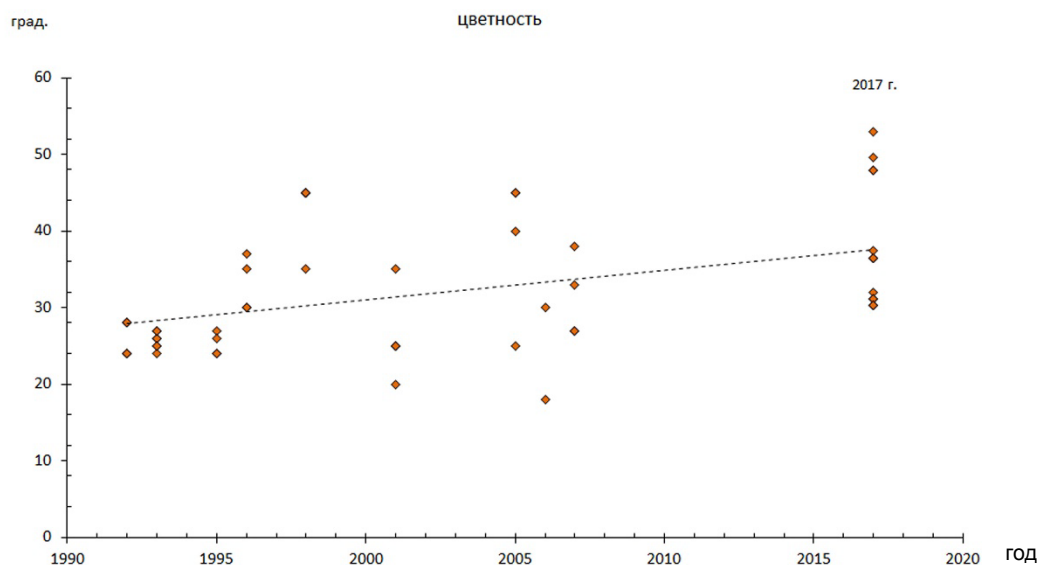
Рисунок 5. Распределение показателей цветности воды (град. Pt-Co шкалы) в июле 2017 г. вдоль разреза Петрозаводская губа – Центральное Онего – Южное Онего; P5, P2, P3, PO2, C3, C2, C1, C4, S1, S2, VT1 – станции

Другая картина наблюдалась в Петрозаводской и Кондопожской губах. Цветность воды здесь была заметно выше за счет стока полигумозных вод рек – Шуи и Суны соответственно. В Петрозаводской губе значения цветности воды в эпилимнионе в июле 2017 г. достигали 27–55 град., а в Кондопожской – 34–48 град.

Сравнение данных по Петрозаводской губе за 2017 г. с литературными сведениями периода 1970–2000-х годов [10, 11] показало, что величина цветности воды в заливе проявляет достоверную ($p < 0,05$) тенденцию к увеличению (рис. 6). Одновременно в воде залива возрастают концентрации фосфора, железа, образующих прочные комплексные связи с гумусовыми веществами. В 2000-х гг. по сравнению

с 1990-ми гг. в воде Петрозаводской губы увеличилась концентрация CO_2 , снизились величины pH и содержание растворенного кислорода. Выявленные достоверные тренды химических показателей свидетельствуют об увеличении стока в залив богатого гумусом аллохтонного органического вещества, что согласуется с литературными данными об усилении влияния водосборной территории на водоемы северных регионов мира в связи с климатическими изменениями [2, 3, 4 и др.]. Необходимо отметить, что более сильное влияние речных вод на залив в последнее десятилетие отмечается в весенний период, когда Петрозаводская губа изолирована от центрального плеса озера термобаром.

Рисунок 6. Динамика показателей цветности воды в эпилимнионе Петрозаводской губе в летний период (станции P2, P3) в 1992–2017 гг.



Полученные в 2017 г. результаты определяют необходимость оценки последствий климатических изменений для гидрохимического режима Онежского озера как стратегического источника чистой воды для Северо-Запада России. Эту задачу в рамках госзадания по теме № 82 предполагается выполнить с использованием НИС «Эколог» в 2018 г. Кроме того, в рамках выполнения госзадания по теме № 85 «Закономерности формирования биопродуктивности разнотипных озер Северо-Запада России в современных условиях» в 2018 г. планируется изучить влияние терригенного стока на компоненты биоты и на общую биопродуктивность экосистемы Онежского озера.

Выводы

– Исследования 2017 г. показали, что основная часть экосистемы Онежского озера по-прежнему сохраняет природные характеристики – высокое качество воды и низкий трофический статус.

– Повышенные значения цветности воды, хлорофилла *a*, количества гетеротрофных бактерий в приустьевых участках Петрозаводской и Кондопожской губ закономерно снижаются, а насыщение воды кислородом, напротив, увеличивается по мере продвижения в центральную часть озера. Это свидетельствует об эффективной трансформации в пределах этих заливов автохтонного и аллохтонного органического вещества, поступающего с обогащенным гумусом речным стоком и коммунально-промышленными стоками крупных промцентров.

– Полученные в 2017 г. данные позволили выявить тенденцию увеличения влияния на Онежское озеро поступающего с речными водами, богатого гумусом аллохтонного органического вещества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крупнейшие озера–водохранилища Северо–Запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях / Отв. ред. Н.Н. Филатов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. 375 с.
2. Моисеенко Т.И., Дину М.И. Феномен нарастания органических кислот в природных водах и их влияние на закисление вод // Доклады Академии наук. 2015. Т. 460, № 5. С. 574–578. doi:10.7868/S0869565215050205
3. Worral F., Burt T., Shedden R. Long term records of riverine dissolved organic matter // Biogeochemistry. 2003. Vol. 64, Iss. 2. P. 165–178. <https://doi.org/10.1023/A:1024924216148>
4. Roulet N., Moore T.R. Browning the waters // Nature. 2006. Vol. 444. P. 283–284.
5. Назарова Л.Е. Атмосферные осадки в Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. Сер. Лимнология. 2015. № 9. С. 114–120. <http://dx.doi.org/10.17076/lim56>
6. Калужный И.Л., Лавров С.А. Механизм влияния глыбины промерзания почв речных бассейнов на зимний сток // Водные ресурсы. 2017. Т. 44, № 4. С. 442–451. doi:10.7868/S0321059617040071
7. Ефремова Т.В., Пальшин Н.И. Формирование вертикальной термической структуры озер северо-запада России и Финляндии // Водные ресурсы. 2003. Т. 30, № 6. С. 696–706. doi:10.21782/GIPR0206-1619-2017-2(100-106)
8. Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский науч. центр, 2007. 395 с.
9. Оксюк О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П., Линник П.Н., Кузьменко М.И., Клениус В.Г. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиологический журнал. 1993. Т. 29, № 4. С. 62–76.
10. Пирожкова Г.П. Гидрохимический режим озера и его изменение под влиянием антропогенного воздействия // Экосистема Онежского озера и тенденции ее изменения. Л.: Наука, 1990. С. 95–146.
11. Сабылина А.В. Химический состав воды притоков // Крупнейшие озера–водохранилища Северо–Запада европейской территории России / Отв. ред. Н. Н. Филатов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. С. 61–68.

ВЛИЯНИЕ ПРИДОННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ НА ГЛУБОКОВОДНОЕ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЕ В ЮЖНОЙ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ АТЛАНТИКЕ В СРЕДНЕ-ПОЗДНЕЧЕТВЕРТИЧНОЕ ВРЕМЯ (ПО МАТЕРИАЛАМ ЭКСПЕДИЦИИ 53-го РЕЙСА НИС «АКАДЕМИК ИОФФЕ»)

Е.В. Иванова*, И.О. Мурдмаа, Д.Г. Борисов
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

*e-mail: e_v_ivanova@ocean.ru

В результате геолого-геофизической экспедиции 53-го трансатлантического рейса научно-исследовательского судна (НИС) «Академик Иоффе» (19 сентября – 17 октября 2017 г., нач. эксп. Е.В. Иванова, науч. рук. И.О. Мурдмаа, зам. нач. Д.Г. Борисов) получены новые сейсмоакустические данные о формах рельефа и строении верхней части осадочного чехла дна Атлантического океана от абиссальной равнины Сомы до верхней части континентального склона Аргентины (рис. 1). Экспедиция была совмещена с перегонем судна из п. Галифакс в п. Ушуайя, поэтому время начала и конца экспедиции, а также основной маршрут определялись исходя из требований к перегону.

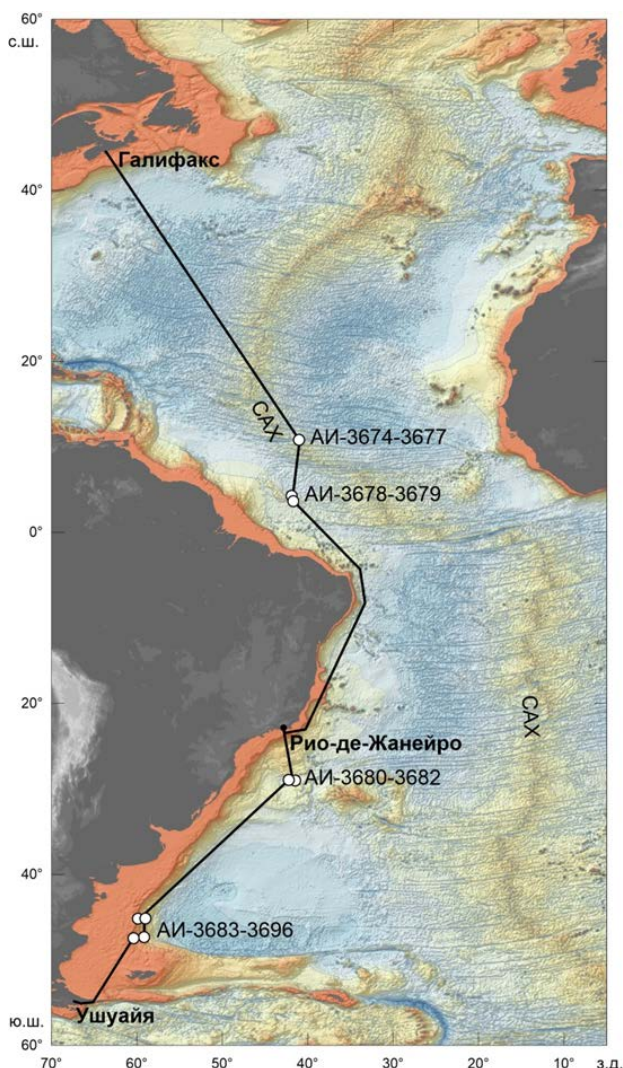
Научные задачи экспедиции включали:

- получение данных о воздействии измеренных скоростей течений на современное осадконакопление на изученном ранее гидрофизическом полигоне трансформного разлома Вима, который является одним из главных проходов Антарктических донных вод (ААДВ) в Северную Атлантику;
- выявление литологических и сейсмических признаков деятельности придонных течений в юго-восточной части поднятия Сеара, определение влияния придонной циркуляции на осадконакопление в этом районе в позднечетвертичное время;

Рисунок 1. Маршрут экспедиции 53-го рейса НИС «Академик Иоффе», положение полигонов сейсмопрофилирования и станций отбора проб донных осадков показано белыми кружками. САХ – Срединно-Атлантический хребет

– сбор данных для проверки гипотезы о контуритово-турбидитовом заполнении канала и контуритовой природе вала у подножия эскарпа плато Сан-Паулу;

– выяснение распространения песчаных, в том числе глауконитовых, контуритов, биогенно-детритовых осадков и материала айсбергового разноса





на верхних террасах континентального склона Патагонии в диапазоне глубин 1400–550 м.

Короткие полигонные исследования проведены в зоне трансформного разлома Вима в пределах Срединно-Атлантического хребта, на поднятии Сеара в Тропической Атлантике, на СЗ и ЮЗ Аргентинской котловины в Южной Атлантике. На всех четырех полигонах выявлены признаки воздействия придонных течений на процессы глубоководного осадконакопления. В зоне трансформного разлома Вима собраны пробы поверхностных донных осадков, обломки пород и железо-марганцевые конкреции (рис. 2) на станциях с измеренными ранее скоростями придонных течений [1]. Поднятые дночерпателями обвальные грубообломочные эдафогенные отложения не покрыты тонкозернистыми осадками (в том числе биогенными известковыми и выносами Амазонки) потому, что последние смыты сильными придонными течениями. Сам факт развития подводных обнажений и обвалных эдафогенных отложений, а также железомарганцевых корок внутри трансформных долин (т. е. отсутствия их

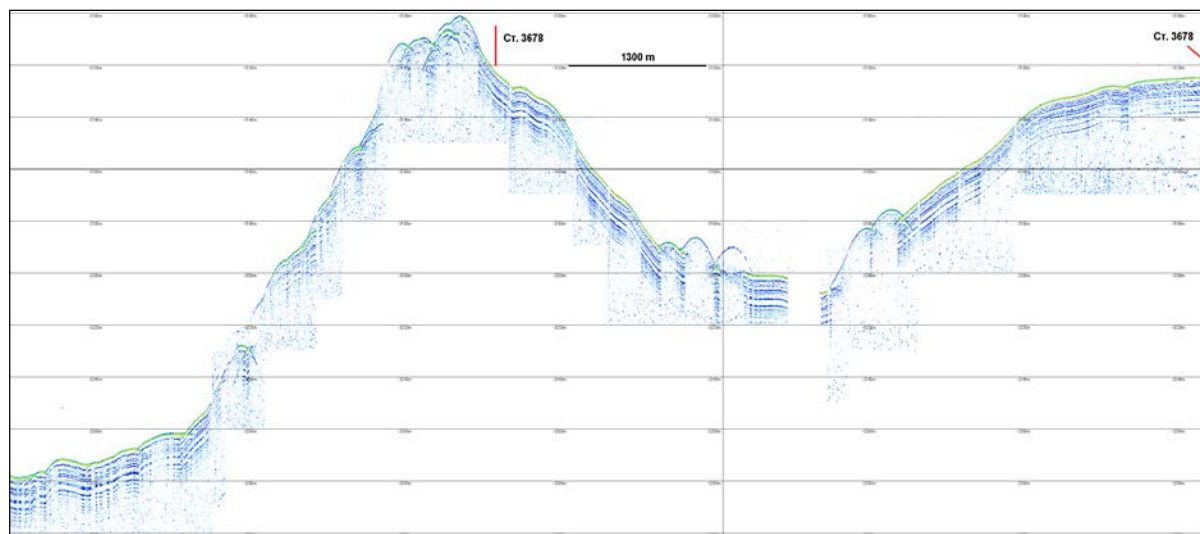
Рисунок 2. Обломки пород, поднятые дночерпателем на ст. АИ-3674

заполнения осадками) свидетельствует о стабильных сильных течениях.

Предварительно выявлены циклы усиления и ослабления поступления терригенного материала на хребет Сеара за счет вариаций стока Амазонки.

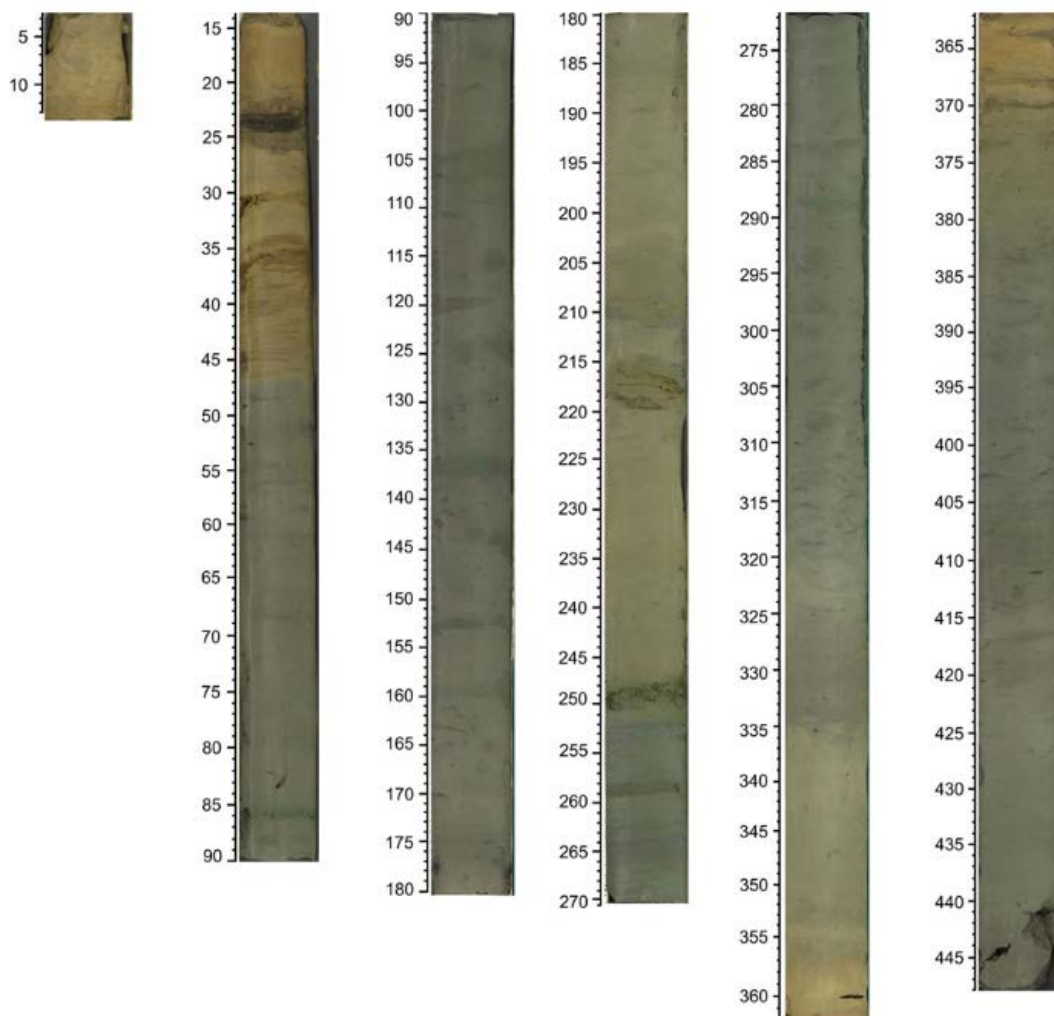
В колонках преимущественно терригенных осадков с полигона Сан-Паулу отмечены признаки контуритов и многочисленных перерывов в осадконакоплении (рис. 4), что доказывает значительное влияние придонных течений на формирование осадочного тела (предположительно дрефта) у подножия плато в четвертичное время.

На изученном в экспедиции участке террас континентального склона Патагонии, пересеченном несколькими каньонами (рис. 5), доказано преобладание перемытых контурными течениями песков, в том числе глауконитовых, над другими типами осадков. Получено два фациальных профиля с донной фауной через каньоны на контуритовой террасе



▲ Рисунок 3. Пример сейсмозаписи в юго-восточной части поднятия Сеара

▼ Рисунок 4. Фотография осадков колонки АИ-3681 с многочисленными перерывами в осадконакоплении, свидетельствующими об интенсивной придонной циркуляции у подножия плато Сан-Паулу.



Перито Морено. Со дна одного из каньонов поднят грубообломочный материал, вероятно, айсбергового разноса.

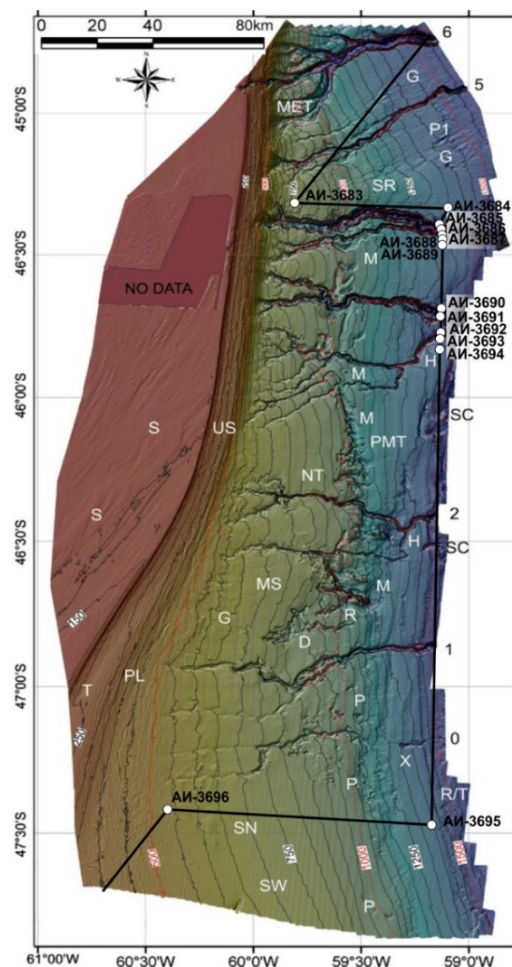
По предварительным данным, все дночерпательные пробы и колонки, отобранные на сейсмоакустических профилях высокого разрешения на четырех полигонах, вскрыли средне-позднечетвертичные отложения. Они будут использованы для интерпретации сейсмоакустических записей и прослеживания акустических рефлекторов. Полученные результаты вносят существенный вклад в исследование влияния вариаций придонной циркуляции на процессы осадконакопления в центральной и юго-западной частях Атлантического океана в средне-позднечетвертичное время.

Экспедиционные работы выполнялись и финансировались в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0016) при частичной поддержке РНФ (проект № 14-50-00095), Программы № 3 Президиума РАН (проект «Глубоководные контуритовые системы Атлантического океана») и РФФИ (проект № 16-35-60111 мол_а_дк). Судовое время проведения заборных работ оплачивалось за счет экспедиционной программы ФАНО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демидов А.Н., Добролюбов С.А., Морозов Е.Г., Тараканов Р.Ю. Перенос придонных вод через разлом Вима Срединно-Атлантического хребта // Доклады Академии наук. 2007. Т. 416, № 3. С. 395–399.
2. Muñoz A., Acosta J., Cristobo J., Druet M. et al. Geomorphology and shallow structure of a segment of the Atlantic Patagonian margin // Earth-Science Reviews. 2013. Vol. 121. P. 73–95. doi:10.1016/j.earscirev.2013.03.002

Рисунок 5. Батиметрическая карта района работ на полигоне Патагония [2] с указанием маршрута судна и расположения станций отбора донных осадков. NT – терраса Нагера, SN – южная часть террасы Нагера, PMT – терраса Перито-Морено, H – поднятие, M – вдольсклоновый эрозионный канал, P1 – локальная эллипсоидная депрессия, P – покмарки, PL – борозды, выработанные айсбергами, SR – осадочное поднятие, X – депрессия, S – шельф, US – верхний склон



НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СОСТОЯНИЯ ВОДНОЙ СРЕДЫ И БИОТЫ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ЧЕРНОГО МОРЯ В 2017 г., ПОЛУЧЕННЫЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНИС БПМ-74М «АШАМБА» (ЭКСПЕДИЦИЯ ИО РАН «ЧЕРНОЕ МОРЕ – 2017»)

А.Г. Зацепин*, С.Б. Куклев**

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

*e-mail: zatsepin@ocean.ru

**e-mail: kuklev@ocean.ru

ВВЕДЕНИЕ

Черное море является водоемом с весьма тонким деятельным слоем. Лишь в верхнем 100–150-метровом слое есть кислород и существуют благоприятные условия для жизнедеятельности организмов. Основная толща вод – от 150 м и до дна (приблизительно 2000 м) – представляет собой безжизненную сероводородную среду. Такие специфические условия определяются наличием резкого пикноклаина, блокирующего вертикальное перемешивание и транспорт кислорода в глубинный слой Черного моря [1–3].

Очевидно, что небольшая толщина деятельного слоя делает экосистему вод Черного моря чрезвычайно чувствительной к изменениям климатических условий, а также к антропогенному воздействию. Так, например, потепление регионального климата и связанное с ним ослабление интенсивности поля ветра и конвективного перемешивания в зимний сезон должно приводить к дальнейшему уменьшению толщины кислородного слоя и, соответственно, к подъему зоны сероводородного заражения. Все это может крайне негативно отразиться на функционировании черноморской экосистемы в целом, однако достоверно предсказать реакцию экосистемы на климатические изменения в настоящее время не представляется возможным. Поэтому систематическое изучение влияния изменяющихся климатических условий в регионе на экосистему Черного моря является важнейшей задачей современного комплексного (физического, химического, биологического и геолого-геофизического) научного исследования. Эта задача

в рамках комплексной прибрежной экспедиции ИО РАН решается путем проведения круглогодичного судового и автоматизированного мониторинга, продолжающегося уже многие годы [4].

С другой стороны, усиление антропогенного стресса, обусловленного в основном промышленно-хозяйственной активностью на берегу и в прибрежных районах моря, увеличивает загрязнение и эвтрофикацию вод шельфовой зоны [5] и также может приводить к изменениям на экосистемном уровне. Степень антропогенного воздействия на экосистему шельфовой зоны зависит от интенсивности речного (берегового) стока, поступающего в российский сектор Черного моря как из малых и средних рек российского побережья, так и из Азовского моря через Керченский пролив [6], и от процессов горизонтального обмена вод шельфа и глубоководной части бассейна. Так, большой речной сток, связанный с ним поток загрязняющих веществ и низкий уровень горизонтального обмена, способствующего вентиляции прибрежных вод и их очистке от загрязнений, будут усиливать негативное влияние антропогенного стресса на шельфе [7–9].

По существующим представлениям, горизонтальный водообмен в прибрежной зоне моря происходит в основном за счет субмезомасштабных вихревых структур [10]. Изучение субмезомасштабной вихревой динамики и ее влияния на процессы трансшельфового обмена в Черном море, а также процессов распространения, трансформации вод речного стока и связанных с ним загрязнений на морском шельфе [11] является важной научной и практической задачей, решаемой при проведении экспедиции.

Вселение в конце 80-х годов в Черное море гребневика *Mnemiopsis leidyi* привело к резкой деградации всей черноморской экосистемы как в пелагиали,

так и в бентали. В конце 90-х годов в Черное море вселился другой гребневик – *Beroe ovata*, – который является консументом гребневика *Mnemiopsis leidyi* [4]. В последующие годы получены данные о постепенном улучшении состояния черноморской экосистемы как глубоководной, так и прибрежной [12–14]. Поэтому получение новых данных о динамике популяции, распространении и продуктивности вселенца – гребневика *Beroe ovata* и о его влиянии на популяцию другого гребневика-вселенца *Mnemiopsis leidyi*, состояние черноморской пелагической биоты и промысловые популяции также является важной задачей фундаментальных и прикладных исследований.

Другая задача планируемых исследований – получение характеристик пространственно-временной изменчивости цветения кокколитофоридовых водорослей и выявление ее причин, а также совершенствование алгоритма расчета содержания хлорофилла и взвеси в приповерхностном слое по спутниковым данным [15].

Важным элементом программы исследований является поддержание кластера заякоренных автономных измерительных станций в шельфово-склоновой зоне на морском полигоне в районе г. Геленджик [16]. Гидрофизическая информация, получаемая на полигоне, позволяет: а) существенно поднять уровень исследования субмезомасштабной и короткопериодной изменчивости динамики вод шельфа, ее реакции на атмосферные воздействия и мезомасштабную изменчивость течений в глубоководной зоне моря; б) выполнить проверку адекватности использования спутниковых данных для расчета концентрации хлорофилла на основе их сопоставления с данными измерений на полигоне; в) отработать методики измерения и оперативной передачи данных; г) провести испытание новых измерительных и вспомогательных устройств [17], в т. ч., радиолокационных [18]; д) обеспечить рядами регулярных гидрофизических данных других участников экспедиции, в том числе участников мультидисциплинарного судового экомониторинга; е) выполнить верификацию численных моделей исследуемых процессов [19].

В 2017 г. были продолжены начатые в 2015–2016 гг. целевые исследования процессов распространения в Черном море азовоморских вод, поступающих через Керченский пролив, и влияния этих вод на гидрофизические условия и состояние экосистемы. Приток азовских вод оказывает значи-

тельное влияние и на шельфе, и в области свала глубин при взаимодействии с Основным Черноморским течением (ОЧТ). Степень и характер этого влияния, однако, недостаточно изучены и будут являться предметом дальнейших исследований. Можно добавить, что сток из Керченского пролива, испытывающего большую антропогенную нагрузку, является также потенциальным источником загрязнения водной среды Черного моря.

Перечисленные выше, а также некоторые другие задачи комплексного исследования состояния прибрежной черноморской экосистемы имеют большую актуальность. Очевидно, что Черное море имеет все возрастающее по важности народно-хозяйственное и рекреационное значение для России. Только ежегодный непрерывный мониторинг и комплексное исследование основных компонентов черноморской экосистемы может обеспечить получение оперативной информации о негативных тенденциях в изменении их состояния и принятие своевременных мер по борьбе с этими тенденциями и вызывающими их причинами.

ЭКСПЕДИЦИОННОЕ СУДНО

Судовые исследования и работы экспедиции «Черное море – 2017» проводились с борта малого научно-исследовательского судна (МНИС) БПМ-74М «Ашамба» (рис. 1). Основные характеристики экспедиционного судна приведены в табл. 1.

Рисунок 1. МНИС БПМ-74М «Ашамба». Водоизмещение – 27 тн, двухбарабанная лебедка, кормовая П-рама, стрела, два члена экипажа и шесть научных сотрудников



Таблица 1

**Основные характеристики
экспедиционного судна МНИС БПМ-74М
«Ашамба»**

Название	МНИС «Ашамба» (бот промысловый моторный – 74М)
Порт приписки	Геленджик, причал № 77 (ЮО ИО РАН)
Длина	14 м
Ширина	5 м
Осадка	2 м
Водоизмещение	27 тн
Экипаж	2 чел.
Научный состав	6 чел.
Район плавания	12-мильная зона территориальных вод Российской Федерации

Поскольку судно относится к маломерному флоту с ограниченной автономностью мореплавания, экспедиция проводится в виде этапов, направленных на выполнение отдельных специализированных исследований.

ЭТАПЫ ЭКСПЕДИЦИИ «ЧЕРНОЕ МОРЕ – 2017»

Этап № 1 (01 апреля – 15 декабря) – изучение мезо- и субмезомасштабных гидрофизических процессов на шельфе и континентальном склоне дистанционными и контактными методами (рук. А.Г. Зацепин, 20 сут.).

Этап № 2 (27 марта – 09 апреля; 27 июня – 06 июля) – мониторинг донных сообществ (рук. У.В. Симакова, 8 сут.).

Этап № 3 (09–16 апреля, 05–10 августа) – анализ загрязняющих веществ в водной толще и в донных осадках Геленджикской и Голубой бухт, исследования кислородного режима в придонном слое вод и реакции зообентоса на условия гипоксии/аноксии (рук. В.К. Часовников, зам. рук. М.В. Гулин, 4 сут.).

Этап № 4 (23–31 мая, 07–16 сентября) – исследование процессов распространения в Черном море вод Азовского моря и их влияния на гидрофизические условия и качество вод (рук. П.О. Завьялов, 8 сут.).

Этап № 5 (23 мая – 05 июня 2017) – исследование геоморфологии дна и геологического строения шельфа полуострова Крым (рук. Н.А. Римский-Корсаков, 10 сут., 7 участников, пгт. Приморский, Крым).

Этап № 6 (07–16 июня) – гидрооптика, изучение влияния цветения кокколитофорид на оптические характеристики вод (рук. этапа О.В. Копелевич, зам. рук. В.А. Артемьев, 4 сут.).

Этап № 7 (19–26 июня) – испытание новых автономных зондирующих аппаратов (рук. А.Г. Островский, 4 участника, 4 сут.).

Этап № 8 (06–17 июля) – геохимия, формы серы в воде верхней части анаэробной зоны, изотопный состав элементной серы в сероводородной зоне (рук. А.В. Дубинин, 4 сут.).

Этап № 9 (21–30 сентября) – сбор эмбрионально-личиночного материала гребневиков, стрекающих и кольчатых червей для изучения их гистологии и ультраструктуры (рук. Н.Н. Римская-Корсакова, 2 сут.).

Этап № 10 (06–26 июня; 11–20 октября) – мониторинг содержания метана в бухте и прибрежной акватории, изучение потоков веществ на границе вода – дно с помощью лендера (рук. А.В. Егоров, 2 сут.).

Этап № 11 (01 апреля – 15 декабря) – экологический мониторинг пелагических сообществ (рук. Е.Г. Арашкевич, зам. рук. Н.Е. Луппова, 14 сут., 12 участников).

Этап № 12 (01 апреля – 15 ноября) – исследование желтого макропланктона, включая гребневиков-вселенцев, и их влияния на прибрежную экосистему (рук. Т.А. Шиганова, зам. рук. В.А. Силкин, 10 сут.).

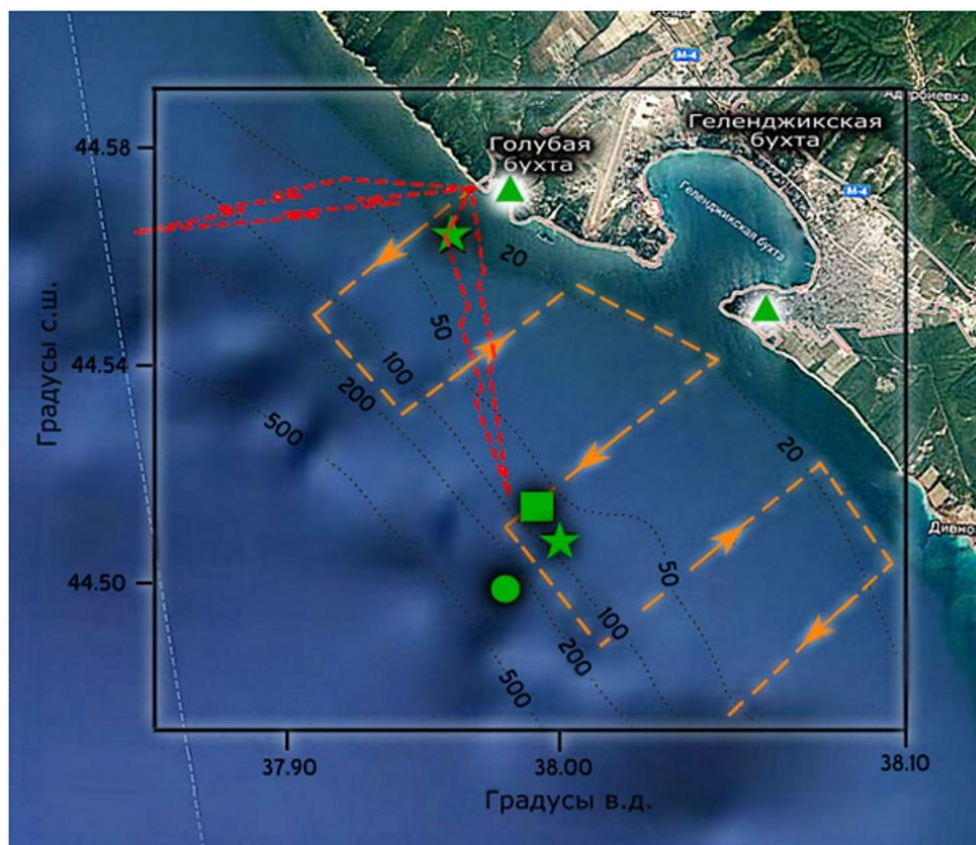
ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Поддержано функционирование и осуществлено дальнейшее развитие кластера автономных донных и заякоренных буйковых станций, установленных на морском полигоне ИО РАН в районе г. Геленджика (рис. 2).

2. Анализ данных автономных станций и буксировок за судном акустического доплеровского профилографа течений – ADCP (рис. 3) позволил уточнить статистику субмезомасштабных вихрей, их связь с течениями в глубоководной части моря.

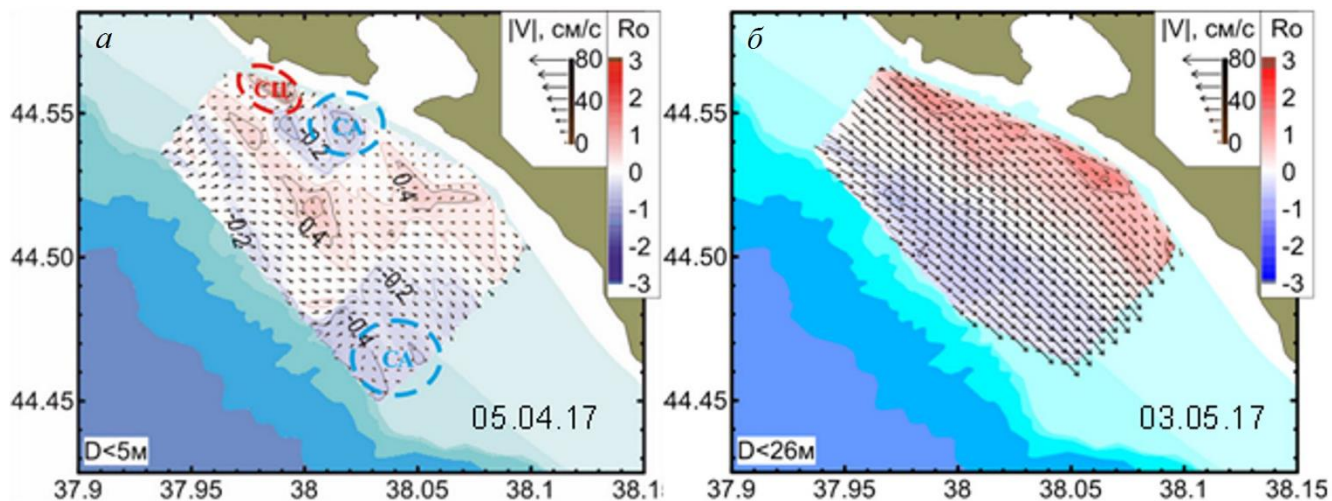
3. Осуществлен круглогодичный комплексный судоводительский мониторинг состояния водной среды и биоты на поперечном берегу разрезе (рис. 4). Установлено, что на фоне тренда потепления черноморской водной среды температура холодного промежуточного слоя (ХПС) впервые за три последних года, вследствие холодной зимы, оказалась ниже 8 °С (рис. 5).

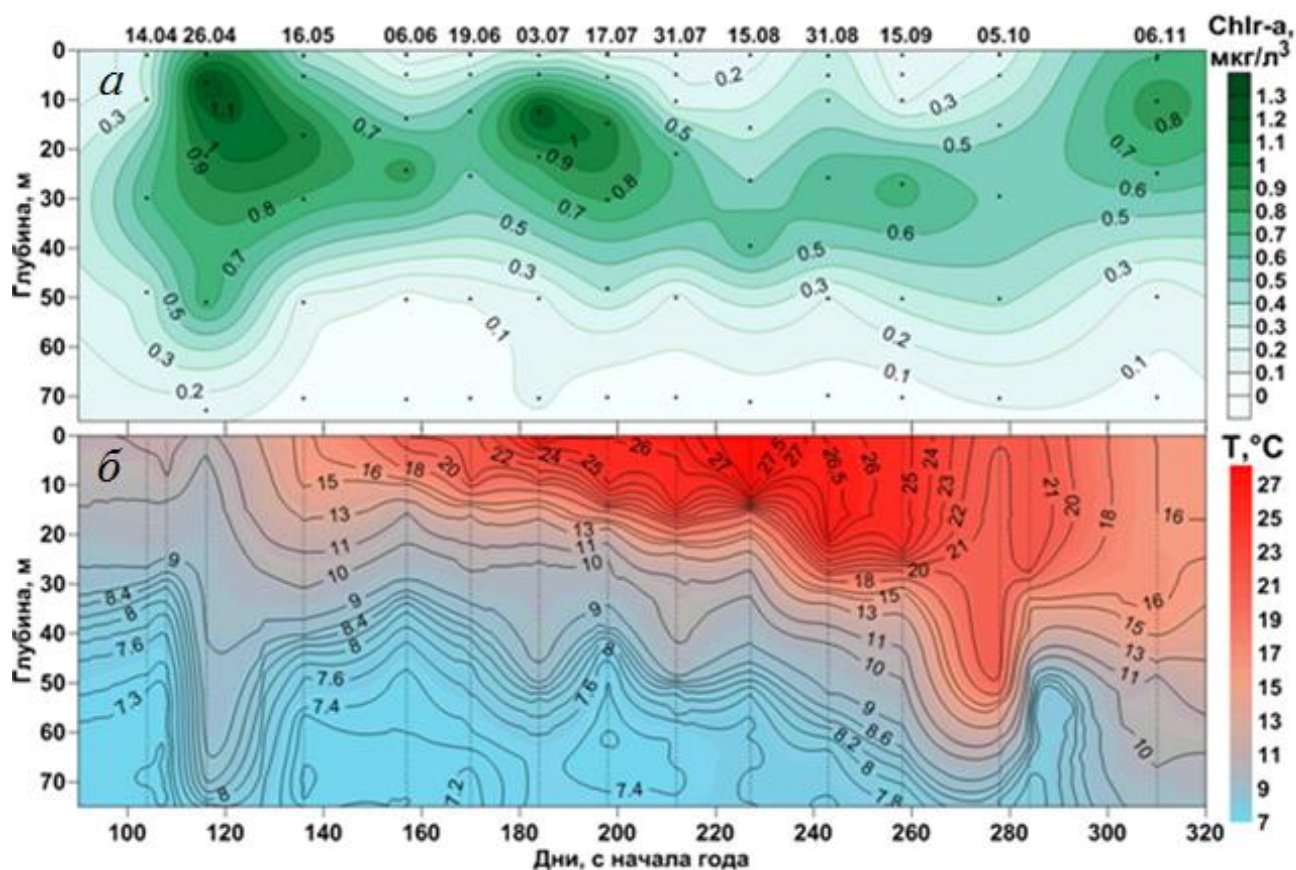
4. Вследствие интенсивной зимней конвекции и высокой концентрации биогенных элементов в эвфотическом слое, в 2017 г. наблюдалось аномально сильное цветение кокколитофорид (рис. 6), превысившее рекордное до этого цветение 2012 г.



▲ Рисунок 2. Схема морского полигона ИО РАН в прибрежной зоне Черного моря в районе г. Геленджик: зеленый треугольник – береговые метеостанции; зеленые звездочки – станции в составе донного ADCP и заякоренной термоксы; зеленый круг – зонд-профилограф «Аквалог» на заякоренной буйковой станции; зеленый ромб – навигационный буй с автоматической метеостанцией и онлайн передачей данных; красные молнии – доплеровский КВ-радар для измерения поверхностных течений на акватории полигона; желтая пунктирная линия со стрелками – галсы судна при проведении измерений скорости течения буксирным за судном ADCP; мелкий черный пунктир – изобаты с указанием глубины

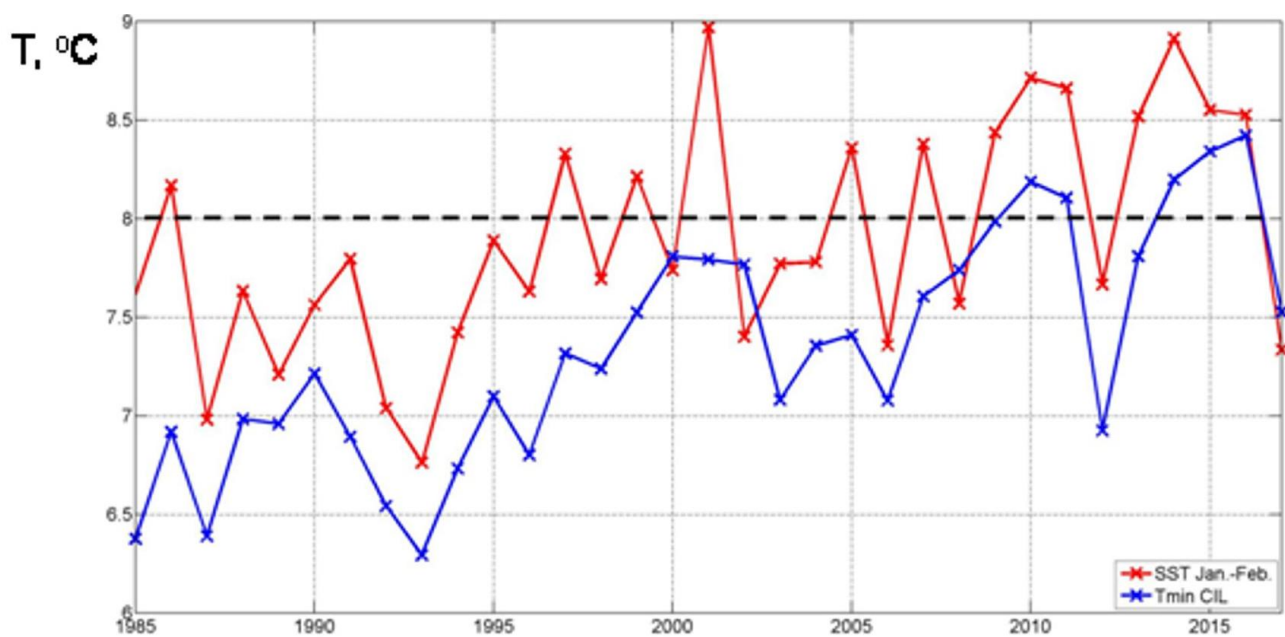
▼ Рисунок 3. Скорость течения в верхнем перемешанном слое и безразмерная завихренность течения (число Россби, $Ro = \omega/f$). СЦ и СА – субмезомасштабные вихри: циклон и антициклон. Данные буксировки ADCP за судном на акватории морского полигона ИО РАН в районе г. Геленджика: а – 5 апреля и б – 3 мая 2017 г.

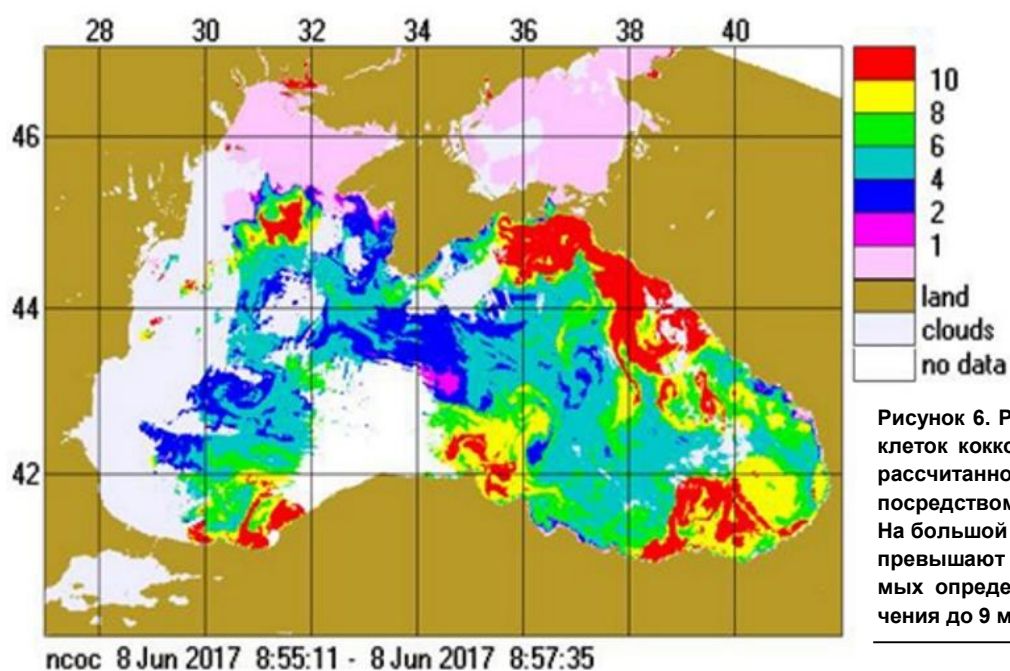




▲ Рисунок 4. Вертикальное распределение хлорофилла а (а) и температуры воды (б) в районе континентального склона в 2017 г. по данным комплексного судового мониторинга

▼ Рисунок 5. Средне-зимняя (январь – февраль) температура поверхности моря (SST, красная линия) и температура воды в ядре ХПС (июнь-июль) в период с 1985 по 2017 гг.





5. В 2017 г. сохранилась наблюдающаяся в последние пять лет тенденция к увеличению численности и биомассы медузы *Aurelia aurita*. В 2017 г. доля этого вида достигла 87 % общей среднегодовой биомассы желетелого макропланктона. Соответственно

доля гребневика вселенца *Mnemiopsis leidyi* сократилась до 10 % общей среднегодовой биомассы желетелого макропланктона (рис. 7). Влияние *Mnemiopsis leidyi* на состояние мезозoopланктонного сообщества не прослеживается.

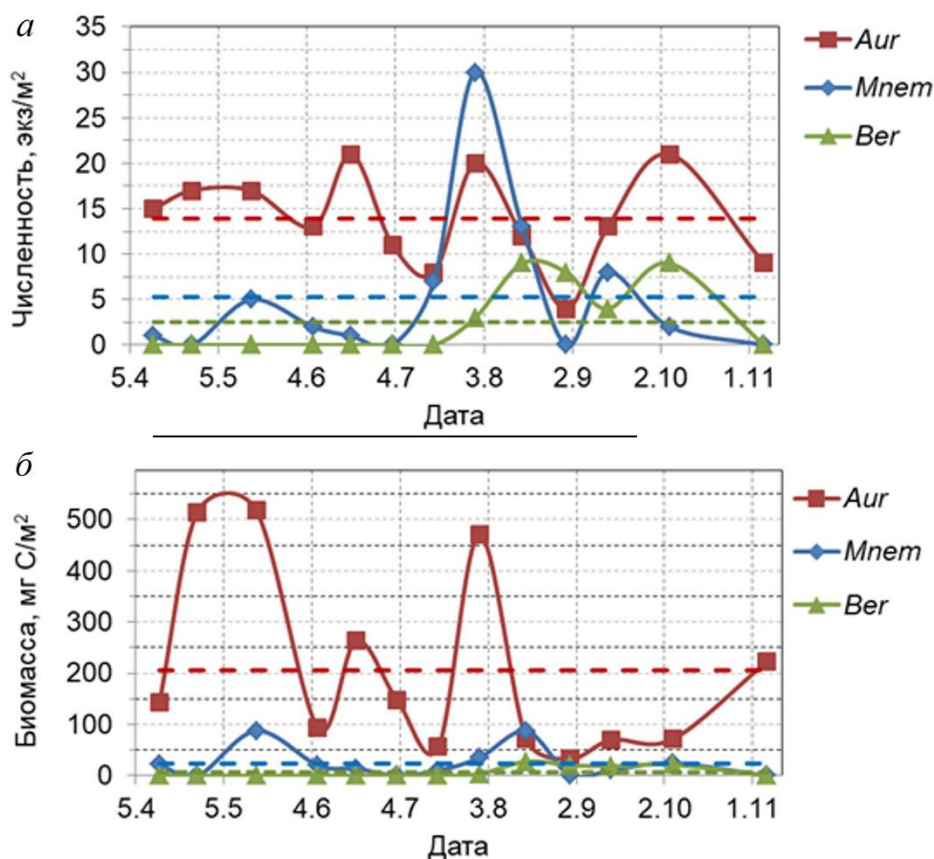


Рисунок 7. Сезонная динамика численности (а) и биомассы (б) желетелого макрозоопланктона в прибрежном районе северо-восточной части Черного моря в 2017 г. (Aur – медуза *Aurelia aurita*; Mnem – гребневик *Mnemiopsis leidyi*; Ber – гребневик *Beroe ovata*)

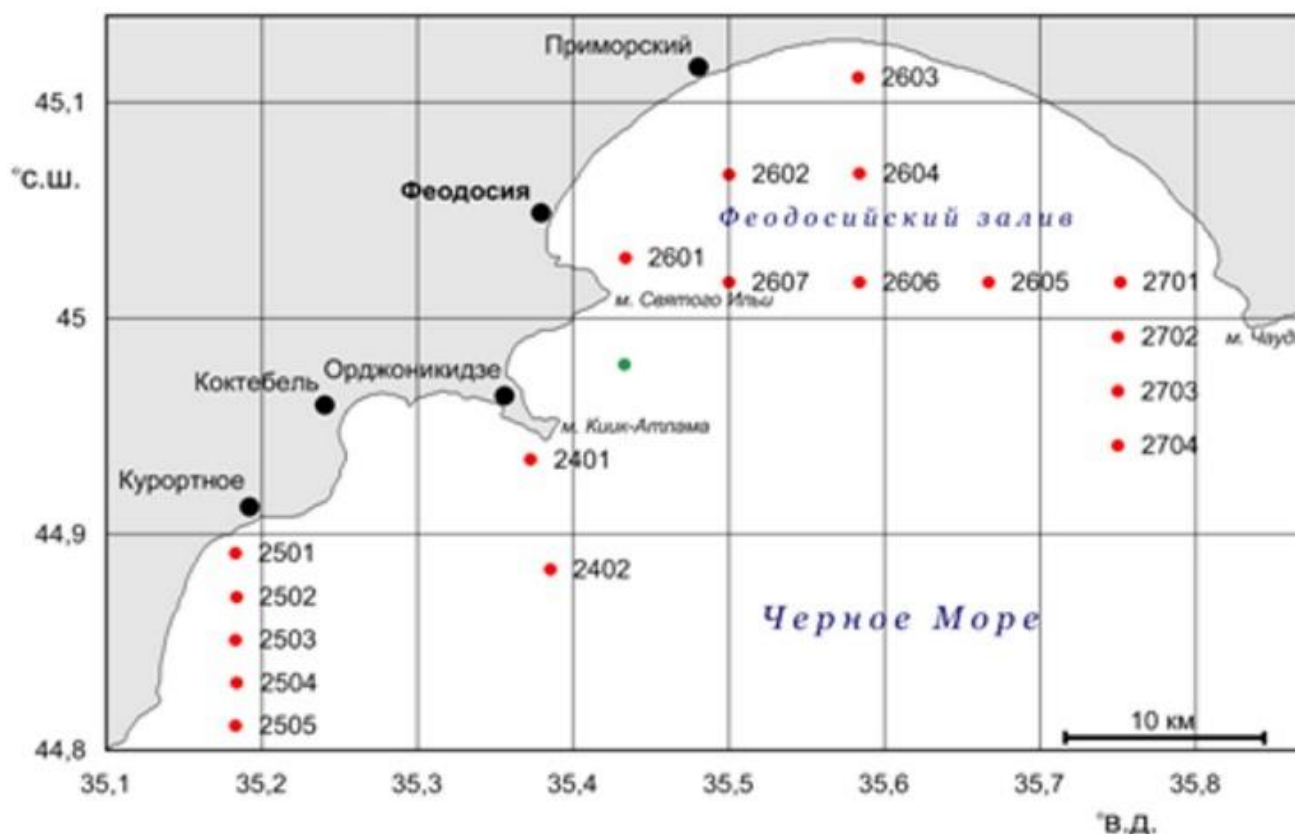


Рисунок 8. Схема расположения гидрологических (красные точки) и заякоренной (зеленая точка) станций в районе Феодосийского залива

6. Продолжено начатое в 2015 г. изучение процесса распространения в Черном море вод Азовского моря, поступающих через Керченский пролив, и их влияния на качество вод. Исследования подтвердили важную роль водообмена между морями в формировании гидродинамического режима и экологического состояния шельфа и континентального склона в северной части Черного моря в районе Феодосийского залива (рис. 8, 9).

7. Получен большой объем данных по пространственному распределению микро- и мезоформ современного рельефа дна и строению современной части толщи донных отложений шельфа полуострова Крым на участке Феодосия – Керчь. Комплекс аппаратуры включал шельфовый гидролокатор бокового обзора (ГБО) «Микросонд» с рабочей частотой 240 кГц и высокоразрешающий ГБО YellowFin фирмы Imagenex (рис. 10).

8. Исследования изотопного состава серы, тиосульфатов и сульфитов в сероводородной зоне склоновой зоны моря, выполненные с использованием новейших методик, показали, что содержания вос-

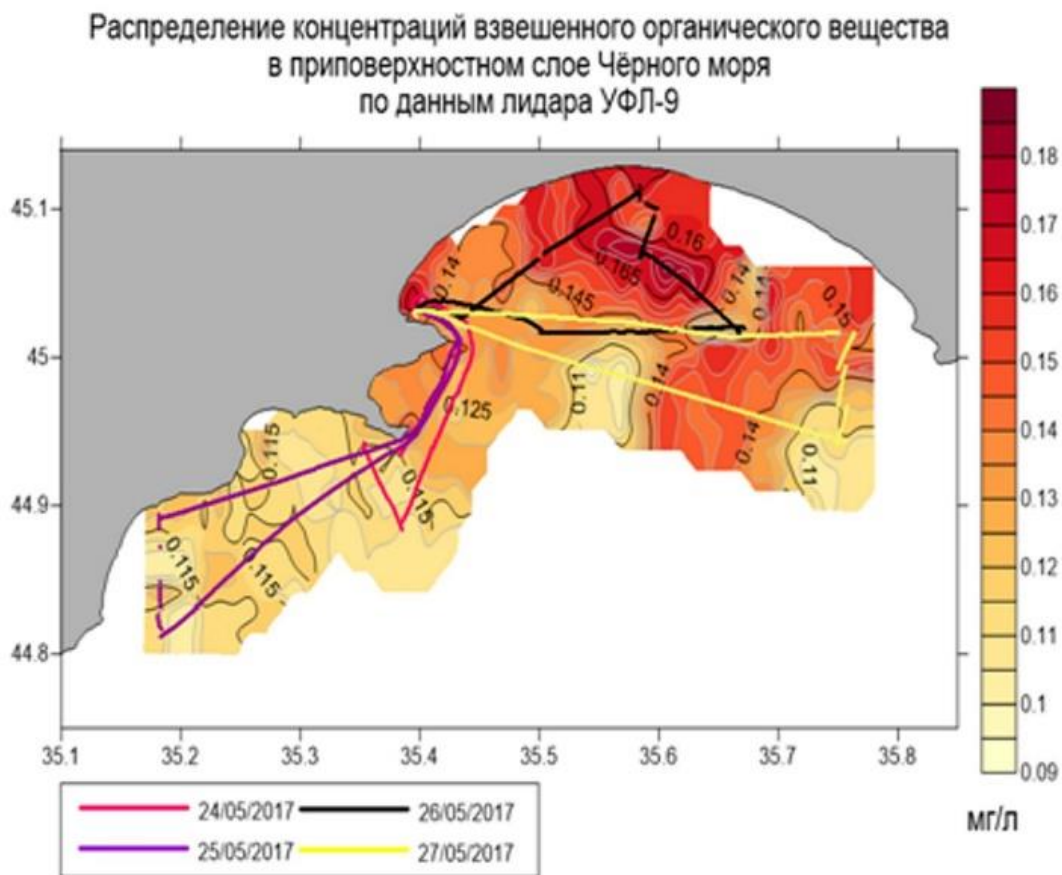
становленных форм серы (тиосульфат + сульфит) возрастают от 0,05 до 0,15 мкМ/кг с ростом содержания сероводорода. Впервые установлены концентрации растворенных молибдена, вольфрама и ванадия на границе окислительно-восстановительной зоны.

9. Мониторинг содержания метана в бухте и прибрежной акватории с помощью лендера показал, что на участках акваторий, подверженных выносу речных вод, наблюдаются аномально высокие поля концентраций метана.

10. Обнаружено местоположение глубинного скопления зообентоса в верхней части сероводородной зоны. Глубина наибольшей численности организмов – 244 м. Выяснение причин этого удивительного явления требует дальнейших исследований (рис. 11).

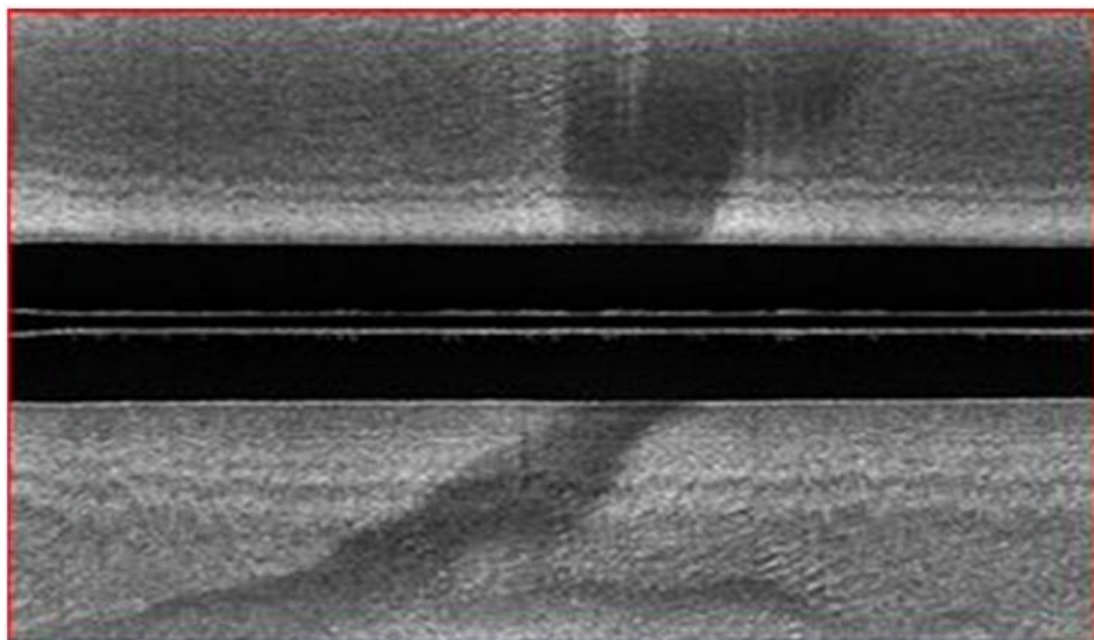
11. Мониторинг прибрежных донных сообществ позволил в 2016 г. обнаружить нового бентосного вселенца – тетраспорофита *Bonnemaisonia hamifera* (рис. 12). В 2017 г. этот вид-вселенец продолжил размножение и распространение вдоль черноморского побережья.

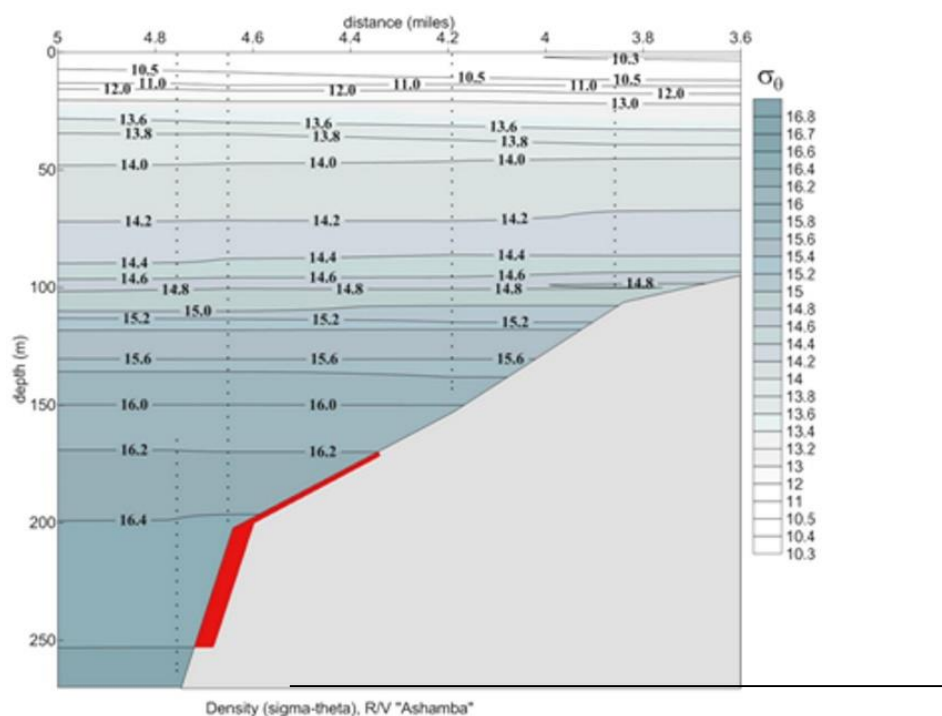
12. Осуществлена постановка заякоренного навигационного буя на глубине 85 м в 7 км от берега на траверзе Геленджикской бухты.



▲ Рисунок 9. Распределение концентрации взвешенного органического вещества в приповерхностном слое по данным лидара УФЛ-9 в районе Феодосийского залива

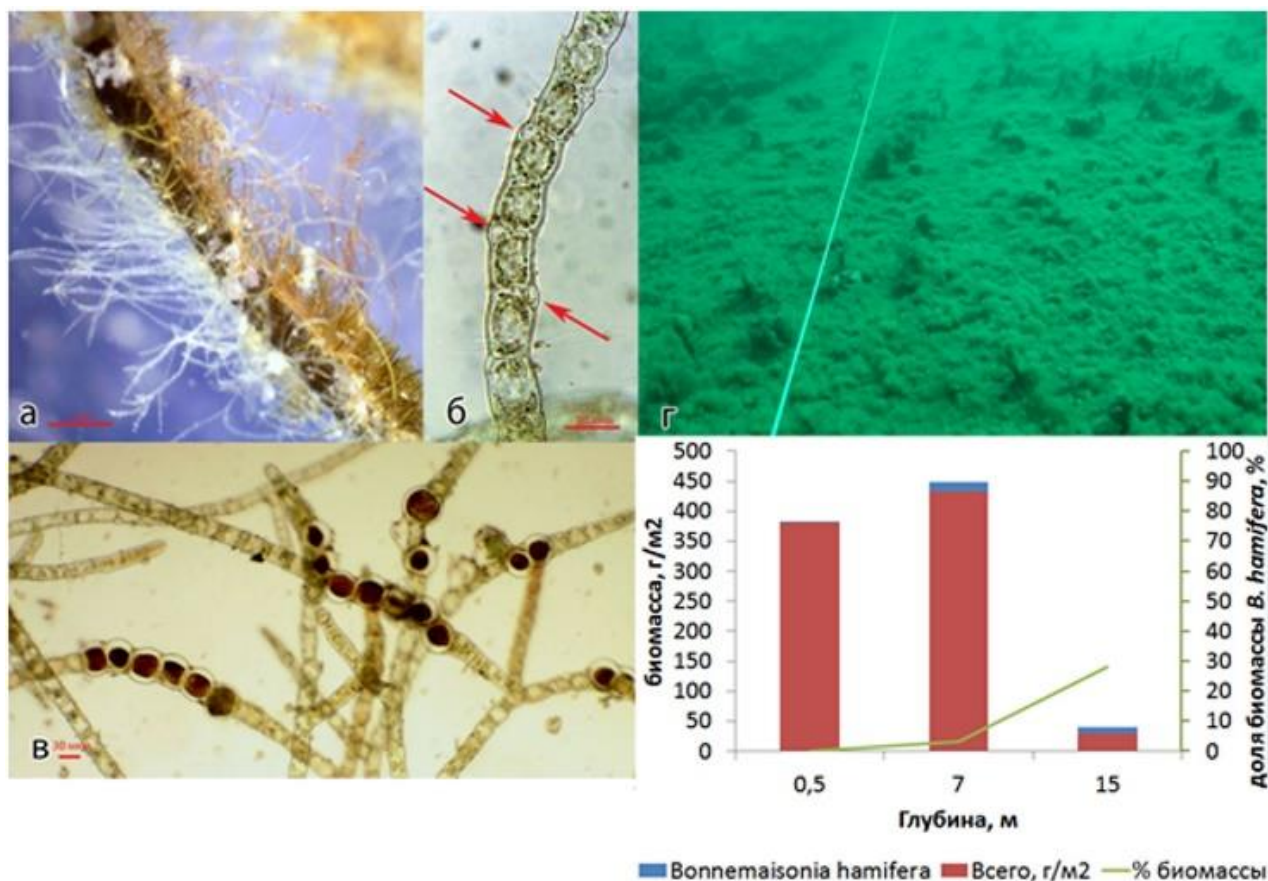
▼ Рисунок 10. Граница двух типов донных осадков (глубина места – 30 м). На песчаном дне (более светлый фон) видны рифели, свидетельствующие о наличии придонного течения. В области понижения рельефа видны скопления ила (более темный тон). ГБО YellowFin, ширина полосы обзора 200 м на каждый борт





▲ Рисунок 11. Местоположение глубинного скопления зообентоса на кромке шельфа в верхнем слое сероводородной зоны (выделено красным)

▼ Рисунок 12. Фотографии нового бентосного вселенца – тетраспорофита *Bonnemaisionia hamifera* в море, лаборатории, под микроскопом. Его биомасса (г/м^2) и доля биомассы (%) на различных глубинах по данным определений в районе Б. Утреша



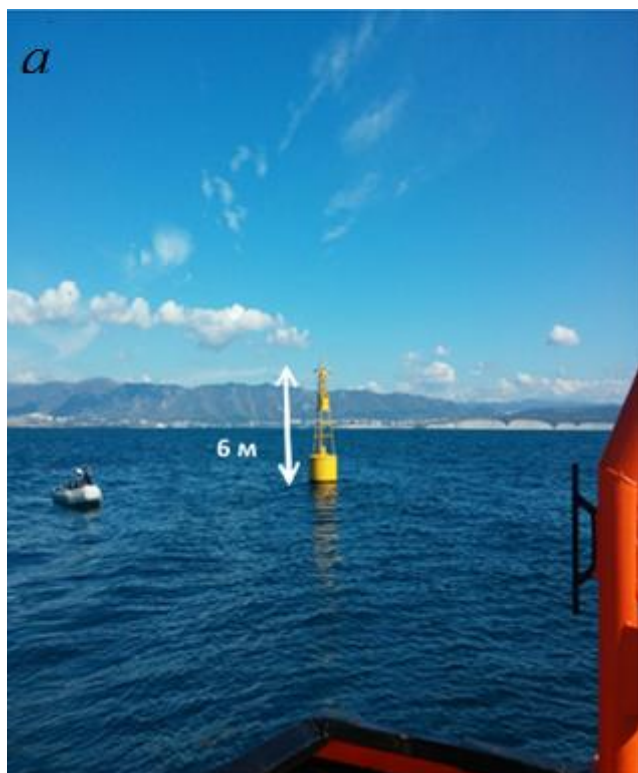


Рисунок 13. Фотографии: а – морского навигационного буя БМС-780-ПУ с автоматической метеостанцией, установленного на полигоне ИО РАН в прибрежной зоне Черного моря в районе г. Геленджика; б – моноблочной влагозащищенной метеостанции AIRMAR 200WX-IPX7 в комплекте с GPS/ГЛОНАСС-модемом и модулем связи

На буе размещена автоматическая метеостанция и система онлайн передачи данных (температура воздуха, скорость ветра, атмосферное давление) по радиоканалу в береговой центр приема, куда метеоданные поступают каждые 10 минут (рис. 13).

13. Лабораторные и морские испытания макета лебедочного зонда в целом показали соответствие его характеристик тем, что заложены в конструкции зонда и представлены в ТЗ. Испытания будут продолжены в 2018 г.

ВЫВОДЫ

На основании результатов выполненных исследований можно утверждать, что прибрежная черноморская экосистема находится в удовлетворительном состоянии. Она в значительной степени восстановилась после глубокого кризиса конца 80-х – начала 90-х годов, вызванного эвтрофикацией вод и массовым появлением гребневика-вселенца *Mnemiopsis*

leidyi, питающегося зоопланктоном и личинками рыб. В настоящее время эвтрофикация не является проблемой, а влияние *Mnemiopsis leidyi* на зоопланктонное сообщество не прослеживается. Основные риски связаны с эпизодическим химическим загрязнением в районах крупных портов и прибрежных городов с активной промышленно-хозяйственной деятельностью, а также с потеплением регионального климата и возможным появлением новых видов вселенцев, способных нарушить структуру сообществ и трофические взаимодействия в черноморской экосистеме. За этими и другими параметрами ее состояния необходимо следить, выполняя регулярные мониторинговые исследования и впредь.

В связи с тем, что МНИС БПМ-74М «Ашамба» осуществляет круглогодичную работу в прибрежной зоне практически всего российского сектора Черного моря, обращаемся с просьбой перевести его из класса «озерные, речные» в класс «океанические, морские» суда. Кроме того, необходимо в ближайшие 2–3 года обеспечить ЮО ИОРАН новым судном большего размера с неограниченным районом плавания. Это позволит в более полной степени изучить взаимодействие экосистем прибрежной и глубоководной зон Черного моря в различные сезоны года.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа над отчетной статьей производилась А.Г. Зацепиным в рамках государственного задания ФАНО России, тема № 0149-2018-0003 и при частичной поддержке РФН, проект № 14-50-00095, а С.Б. Куклевым – в рамках государственного задания ФАНО России, тема № 0149-2018-0013 и при частичной поддержке РФФИ, грант № 16-45-230781. Авторы благодарны всем руководителям этапов экспедиции, их заместителям, а также сотруднику ФГУБН МГИ РАН А.А. Кубрякову за предоставленные для подготовки отчета материалы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блатов А.С., Булгаков Н.П., Иванов В.А. и др. Изменчивость гидрофизических полей в Черном море. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 240 с.
2. Виноградов М.Е., Сапожников В.В., Шушкина Э.А. Экосистема Черного моря. М.: Наука, 1992. 112 с.
3. Иванов В.А., Белокопытов В.Н. Океанография Черного моря. Севастополь: МГИ, 2011 г. 209 с.
4. Комплексные исследования северо-восточной части Черного моря / Под ред. А.Г. Зацепина, М.В. Флинта. М.: Наука, 2002. С. 91–105.
5. Часовников В.К., Чжу В.П., Очередник О.А., Марьясова Е.С. Оценка уровня техногенных загрязнений в прибрежной зоне Черного моря в районе Геленджика // Океанология. 2016. Т. 56, № 1. С. 76–80. doi:10.7868/S0030157416010020
6. Ижицкий А.С., Завьялов П.О. Гидрофизическое состояние вод Феодосийского залива в мае 2015 г. // Океанология. 2017. Т. 57, № 4. С. 538–545. doi:10.7868/S0030157417040037
7. Гинзбург А.И. Процессы горизонтального обмена в приповерхностном слое Черного моря // Исследование Земли из космоса. 1994. № 2. С. 75–83.
8. Zatsepin A.G., Ginzburg A.I., Kostianoy A.G. et al. Variability of water dynamics in the NE Black Sea and its effect on water exchange between near-shore and off-shore parts of the basin // Oceanology. 2002. Vol. 42, Suppl. 1. P. S1–S15.
9. Zatsepin A.G., Ginzburg A.I., Kostianoy A.G. et al. Observations of Black Sea mesoscale eddies and associated horizontal mixing // J. Geophys. Res. 2003. Vol. 108, No. C8. P. 2-1–2-27. doi:10.1029/2002JC001390
10. Зацепин А.Г., Кондрашов А.А., Корж А.О. и др. Субмезомасштабные вихри на кавказском шельфе Черного моря и порождающие их механизмы // Океанология. 2011. Т. 51, № 4. С. 592–605.
11. Завьялов П.О., Маккавеев П.Н., Коновалов Б.В., Осадчиев А.А., Хлебопашев П.В., Пелевин В.В., Грабовский А.Б., Ижицкий А.С., Гончаренко И.В., Соловьев Д.М., Полухин А.А. Гидрофизические и гидрохимические характеристики морских акваторий у устьев малых рек российского побережья Черного моря // Океанология. 2014. Т. 54, № 3. С. 293–308. doi:10.7868/S0030157414030150
12. Арашкевич Е.Г., Луппова Н.Е., Никишина А.Б., Паутова Л.А., Часовников В.К., Дриц А.В., Подымов О.И., Романова Н.Д., Станичная Р.Р., Зацепин А.Г., Флинт М.В. Судовой экологический мониторинг в шельфовой зоне Черного моря: оценка современного состояния пелагической экосистемы (2005–2014гг.) // Океанология. 2015. Т. 55, № 6. С. 964–970. doi:10.7868/S0030157415060015
13. Mikaelyan A.S., Zatsepin A.G., Chasovnikov V.K. Long-term changes in nutrient supply of phytoplankton growth in the Black Sea // J. Mar. Systems. 2013. Vol. 117–118. P. 53–64. https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2013.02.012
14. Pakhomova S., Vinogradova E., Yakushev E., Zatsepin A., Shtereva G., Chasovnikov V., Podymov O. Interannual variability of the Black Sea Proper oxygen and nutrients regime: The role of climatic and anthropogenic forcing // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2014. Vol. 140. P. 134–145. doi:10.1016/j.ecss.2013.10.006
15. Микаэлян А.С., Силкин В.А., Паутова Л.А. Развитие популяции коколитовидов в Черном море: межгодовые и многолетние изменения // Океанология. 2011. Т. 51, № 1. С. 45–53.
16. Зацепин А.Г., Островский А.Г., Кременецкий В.В. и др. Подспутниковый полигон для изучения гидрофизических процессов в шельфово-склоновой зоне Черного моря // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2014. Т. 50, № 1. С. 16–29. doi:10.7868/S0002351513060163
17. Островский А.Г., Зацепин А.Г., Соловьев В.А. и др. Автономный мобильный аппаратно-программный комплекс вертикального зондирования морской среды на заякоренной буйковой станции // Океанология. 2013. Т. 53, № 2. С. 259–268. doi:10.7868/S0030157413020147
18. Горбачев В.В., Сабинин К.Д., Телегин В.А., Зацепин А.Г., Куклев С.Б. Применение доплеровского КВ-радиолокатора для исследования пространственной структуры течений в Черном море. МГЖ. 2017. № 3. С. 63–73. doi:10.22449/0233-7584-2017-3-63-73
19. Дивинский, Б.В., Куклев С.Б., Зацепин А.Г. Численное моделирование события полного апвеллинга в северо-восточной части Черного моря на гидрофизическом полигоне ИО РАН // Океанология. 2017. Т. 57, № 5. С. 683–689. doi:10.7868/S0030157417050021

МОРСКИЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА НИС «ДЕНЕБ» И НИС «ПРОФЕССОР ПАНОВ» В АЗОВСКОМ И ЧЁРНОМ МОРЯХ В 2017 г.

Г.Г. Матишов, С.В. Бердников, О.В. Степаньян*

Южный научный центр РАН

*e-mail: step@ssc-ras.ru

На протяжении 15 лет Южный научный центр РАН осуществляет научные исследования в южных морях России [1–3]. Основная цель исследований – оценка влияния природных и антропогенных факторов на динамику морских экосистем юга России. В оперативном управлении Южного научного центра РАН (ЮНЦ РАН) находится два научно-исследовательских судна – «Денеб» и «Профессор Панов».

Южный научный центр РАН провел в 2017 г. 8 морских экспедиций на НИС «Денеб» и 7 морских экспедиций на НИС «Профессор Панов» общей продолжительностью 90 судосудок по каждому судну (рисунк). Морские экспедиции НИС «Денеб» охватывали акваторию Азовского и Черного морей в пределах территориального моря и исключительной экономической зоны Российской Федерации. Экспедиции на НИС «Профессор Панов» были проведены в восточной части Таганрогского залива и в реке Дон на участке от устья до Кочетовского гидроузла (свыше 100 км от устья Дона).

Комплексные исследования включали: метеорологические наблюдения, изучение гидролого-гидрохимических параметров, донных осадков, особенностей пространственного распределения планктона, бентоса и ихтиофауны. При отборе проб воды использовали глубоководный пробоотборный комплекс карусельного типа, состоящий из 12 батометров и гидрологического зонда SBE 19plus V2 (пр-во США). Для обработки гидрохимических проб применяли проточный измеритель биогенных элементов San++ (пр-во Нидерланды).

Исследования охватывали основные гидрологические сезоны: весна, лето, осень.

Морские исследования были направлены на решение фундаментальных задач в области морской биологии, океанологии, палеогеографии:

- оценка видового разнообразия морской биоты различных групп (микроводоросли, планктонные и донные беспозвоночные, морские, проходные и полупроходные рыбы, водные и околоводные птицы, морские млекопитающие), особое внимание – роли инвазийных (чужеродных) организмов в пелагических и донных экосистемах Азовского и Черного морей;

- исследование особенностей функционирования и динамики морских систем в условиях изменчивости климата и антропогенной деятельности.

В ходе морских работ был решен ряд прикладных задач, связанных с оценкой пространственного распределения и динамикой ихтиосообществ в юго-восточной части Черного моря (в рамках имеющихся квот на вылов биоресурсов) и северо-восточной части Азовского моря, отчетные материалы переданы в Федеральное агентство по рыболовству. Материалы океанологических наблюдений за состоянием водной среды в Азовском и Черном морях переданы в Гидрографическую службу Черноморского флота РФ (г. Севастополь), Мировой центр данных Росгидромета (г. Обнинск), Северо-Кавказское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (г. Ростов-на-Дону).

В апреле – мае проведены комплексные исследования восточной части Таганрогского залива. Целью являлось комплексное изучение экосистемы водоема в условиях участвовавших сгонов – нагонов. В ходе этого рейса установлено, что соленость восточной части залива выше среднееголетних значений, характерных для данного района в этот период года. Данный факт указывает на то, что цикл осолонения вод Азовского моря продолжается. Основной причиной



Карта-схема морских экспедиций ЮНЦ РАН в 2017 г.

является маловодный период стока реки Дон, наблюдающийся последние восемь лет. В ходе морской экспедиции продолжили наблюдения за вселенцем полихетой *Marenzelleria neglecta* – новым обитателем донных сообществ Таганрогского залива, впервые обнаруженным в экспедициях ЮНЦ РАН в 2016 г. В восточной части Таганрогского залива и в реке Дон (станция Багаевская) выявлен новый инвазионный вид – двустворчатый моллюск *Corbicula fluminea*, представляющий существенную опасность местным гидробионтам и внесенный в список опасных инвазий пресных вод Евросоюза. Историю проникновения вида-вселенца установят с помощью методов молекулярно-генетического анализа.

В июне – июле проведены комплексные исследования Азовского моря и прикерченского района. Экологический мониторинг осуществляется с целью получения достаточного объема исходных данных для оценки современного экологического состояния акватории Азовского моря и предотвращения негативного воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду.

В сентябре проведены комплексные исследования на акватории Черного и Азовского морей. Выполнено более 50 комплексных станций, в том числе в северо-западной части Азовского моря на акватории, прилегающей к Украине. Выявлено, что тенденция к увеличению солёности сохраняется и для Азовского моря. Максимальные значения солёности достигают 14,0 ‰. Отмечен интенсивный заток вод (в придонном горизонте) из Черного моря и распространение линз черноморской воды на значительные расстояния вплоть до устьевой области реки Дон.

В ноябре – декабре проведены исследования экологических, океанографических, гидрометеорологических и гидробиологических условий мелководных районов Черного и Азовского морей. Осуществлены ихтиологические работы в юго-восточной части Черного моря, которые выявили значительные скопления шпрота в этой части моря.

В морских рейсах проведена калибровка научного оборудования ЮНЦ РАН, разработанного и модернизированного в 2016–2017 гг.: проточного флуориметра, спектрофотометра, гидроакустического комплекса для исследования ихтиофауны.

В каждом морском рейсе принимало участие от двух до шести студентов и магистров вузов Юга России (Южный федеральный университет, Донской государственный технический университет, Астраханский государственный технический университет). В морских экспедициях 2017 г. участвовало 32 студента.

Морские исследования ЮНЦ РАН были подробно освещены в СМИ. По федеральным каналам (ОТР, «Россия 24», «Радио России») прошло шесть новостных сюжетов, опубликовано семь статей («Поиск», «Российская газета», ТАСС, «Правда.ру», РИА «Новости»). В региональных СМИ показано девять видеосюжетов («Дон ТР», «Дон 24», «Импульс Азов») и опубликовано восемь статей (печатные издания и сайты: «Комсомольская правда на Дону», «Аргументы и факты на Дону», «Академия», «Вечерний Ростов», «Молот», «Наше Время», «Приазовье»).

ЛИТЕРАТУРА

1. Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Степаньян О.В. Морские экспедиционные исследования Южного научного центра РАН и Института аридных зон на научно-исследовательском судне «Денеб» в 2008–2011 гг. // *Океанология*. 2013. Т. 53, № 2. С. 276–278. doi:10.7868/S0030157413020123
2. Матишов Г.Г., Степаньян О.В., Григоренко К.С., Харьковский В.М., Поважный В.В., Польшин В.В., Соьер В.Г. Морские экспедиционные исследования на научно-исследовательских судах «Денеб» и «Профессор Панов» в 2013 г. // *Океанология*. 2015. Т. 55, № 5. С. 861–865. doi:10.7868/S0030157415050135
3. Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Бердников С.В., Яицкая Н.А. Природные катастрофы в Азово-Черноморском бассейне в начале XXI века. Ростов н/Д. : Изд-во ЮНЦ РАН, 2017. 160 с. ISBN 978-5-4358-0149-1.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СУЛЬФИДОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ 101-го РЕЙСА НИС «ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ»

Орехова Н.А.*, Коновалов С.К.

Морской гидрофизический институт РАН

*e-mail: natalia.orekhova@mhi-ras.ru

В ходе 101-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» с 14 по 28 декабря 2017 г. совместно с ИО РАН были отобраны колонки донных отложений в глубоководной восточной части (рис. 1). Отбор проб выполнялся мультикорером Mini-MUC, что позволило сохранить в колонках отобранных проб тонкую структуру верхнего слоя донных отложений и придонного слоя вод. Для получения вертикальных профилей кислорода и сероводорода в поровых водах, позволяющих изучать пространственное распределение этих компонентов, использовался полярнографический метод анализа со стеклянным Au-Hg микроэлектродом [1, 2]. Анализ поровых вод, выполненный непосредственно на борту судна сразу после подъема колонок осадков,

показал, что в наиболее удаленной от берега юго-восточной части (ст. 18) концентрация сульфидов достигала 1300 мкмоль/л на максимальной глубине профилирования (слой 250 мм), при этом среднее значение концентрации для слоя 0–250 мм равно 867 мкмоль/л, на поверхности (0 мм) – 825 мкмоль/л. Если учесть, что концентрация сероводорода в придонном слое вод (2000 м) составляла 383 мкмоль/л, то можно предположить, что донные отложения данного района являются источником сульфидов для придонного слоя вод.

Используя данные предыдущих исследований, установлено, что донные отложения Черного моря отличаются неоднородностью по вертикальному профилю. На эту вертикальную неоднородность накладывается и пространственное разнообразие состава донных отложений в зависимости от удаленности от берегов, что является следствием дифференциации осаждающихся на ложе моря взвешенных частиц,

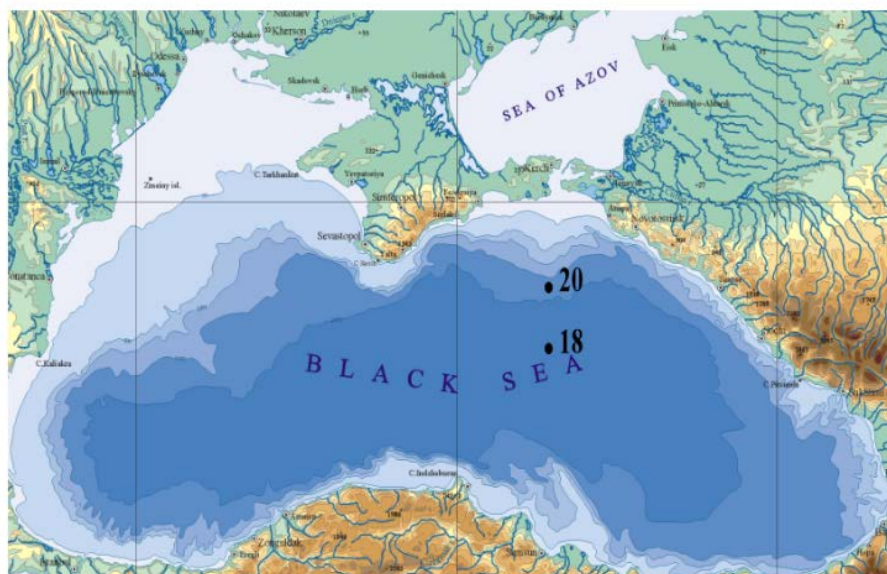


Рисунок 1. Схема станций отбора проб донных отложений Черного моря мультикорером в 101-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий»

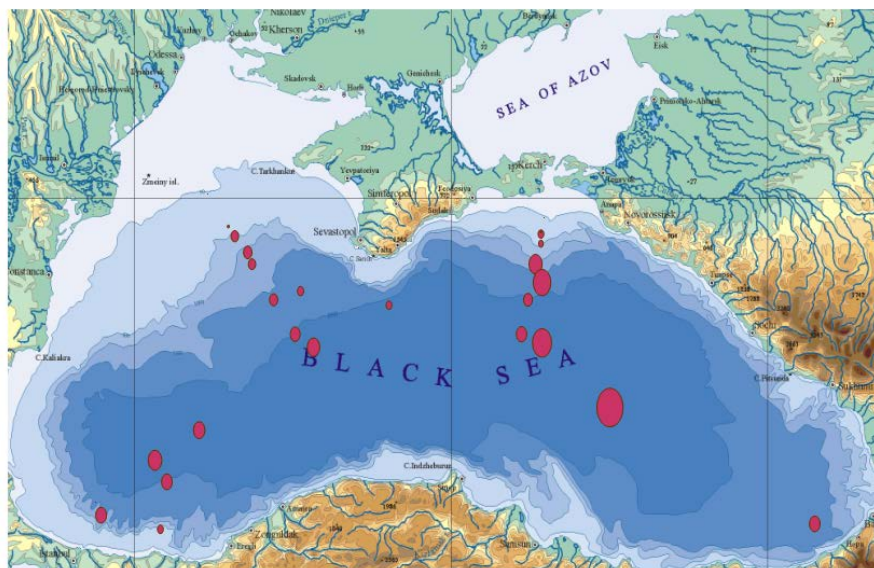


Рисунок 2. Средние концентрации сульфидов в поровых водах донных отложений (0–100 мм): размер значка прямо пропорционален концентрации сульфидов, ммоль/л

действия глубинных течений, физико-химического состава придонного слоя вод и влияния мутьевых потоков [3].

Пространственное распределение сульфидов в осадках характеризуется увеличением их концентрации от западной к восточной части моря (рис. 2). Максимальные концентрации сульфидов в донных отложениях отмечены в глубоководной части моря. В анаэробных отложениях материкового склона содержание сероводорода зависит от потока органического вещества из водной толщи: чем дальше от кромки шельфа, тем меньше содержание сероводорода в донных отложениях. Высокие концентрации сульфидов в северо-восточной части Черного моря, вероятно, обусловлены влиянием вод Азовского моря, являющихся источником свежего органического вещества, что способствует активному потреблению кислорода в шельфовой части и интенсификации процессов сульфатредукции на материковом склоне.

В южной части Черного моря отмечены минимальные концентрации сульфидов в донных отложениях, что обусловлено влиянием мутьевых потоков:

в юго-западной части Черного моря наличие мощных мутьевых потоков, обогащенных оксидами марганца и железа, приводит к тому, что они связывают свободный сероводород, способствуя снижению концентрации сульфидов в поровых водах донных отложений.

Работа выполнена в рамках гос. задания ФГБУН МГИ № 0827-2018-0003 «Океанологические процессы», экспедиционные исследования – № 0827-2014-0010 «Фундаментальная океанология».

ЛИТЕРАТУРА

1. Brendel P.J., Luther, G.W. Development of a Gold Amalgam voltammetric microelectrode for the determination of dissolved Fe, Mn, O₂, and S (-II) in porewaters of marine and freshwater sediments // *Envir. Sci. Technol.* 1995. Vol. 29, Iss. 3. P. 751–761. doi:10.1021/es00003a024
2. Luther, G.W., Brendel P.J., Lewis B.L., Sundby B., Lefrançois L., Silverberg N., Nuzzio D.B. Simultaneous measurement of O₂, Mn, Fe, I-, and S (-II) in marine pore waters with a solid-state voltammetric microelectrode // *Limnol. Oceanogr.* 1998. Vol. 43, Iss. 2. P. 325–333. <https://doi.org/10.4319/lo.1998.43.2.0325>
3. Konovalov S.K., Luther, G.W., Yucel M. Porewater redox species and processes in the Black Sea sediments // *Chem. Geol.* 2007. Vol. 245, Iss. 3–4. P. 254–274. doi:10.1016/j.chemgeo.2007.08.010

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНТАКТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И СОЛЕННОСТИ В ЗАДАЧАХ ДИАГНОЗА И ПРОГНОЗА ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ЧЕРНОГО МОРЯ

С.Г. Демышев, Н.А. Евстигнеева*, О.А. Дымова,
Н.В. Маркова, С.С. Нечаев
Морской гидрофизический институт РАН
*e-mail: naevstigneeva@yandex.ru

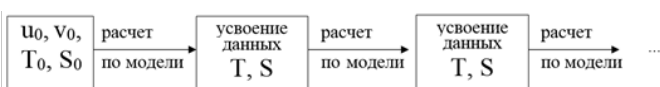
В прибрежной зоне Черного моря регулярно выполняются экспедиционные наблюдения, на основе которых проводится гидрологический анализ полученных данных измерений. В нашем исследовании предлагается программный комплекс, состоящий из гидродинамической модели и процедуры ассимиляции, который позволяет использовать полученные данные более эффективно. Важность такой обработки данных заключается в возможности реконструировать непрерывные по пространству и времени поля течений, температуры и солёности с высоким пространственным разрешением в области съёмки, рассчитывать не измеряемые непосредственно гидрофизические характеристики (например, вертикальную скорость), тем самым восстанавливать близкое к реальности состояние морской среды. На данный момент обработано несколько гидрологических съёмок за предыдущие годы, которые были наиболее всего обеспечены данными

по температуре и солёности. Это районы северо-западного шельфа Черного моря и прибрежная зона Южного берега Крыма (рис. 1).

Мы использовали данные контактных измерений температуры и солёности при решении следующих задач:

1. Задача инициализации полей температуры, уровня, солёности, течений посредством ассимиляции данных измерений температуры и солёности в гидродинамической модели Морского гидрофизического института (МГИ) (построение начальных полей).

2. Задача диагноза трехмерных полей течений, уровня, температуры и солёности в прибрежной зоне Черного моря на основе ассимиляции данных наблюдений гидрологических съёмок в гидродинамической модели МГИ (используются результаты задачи инициализации гидрофизических полей, данные контактных измерений температуры и солёности усваиваются в модели в режиме реального времени).



3. Задача прогноза трехмерных полей течений, уровня, температуры и солёности в прибрежной зоне

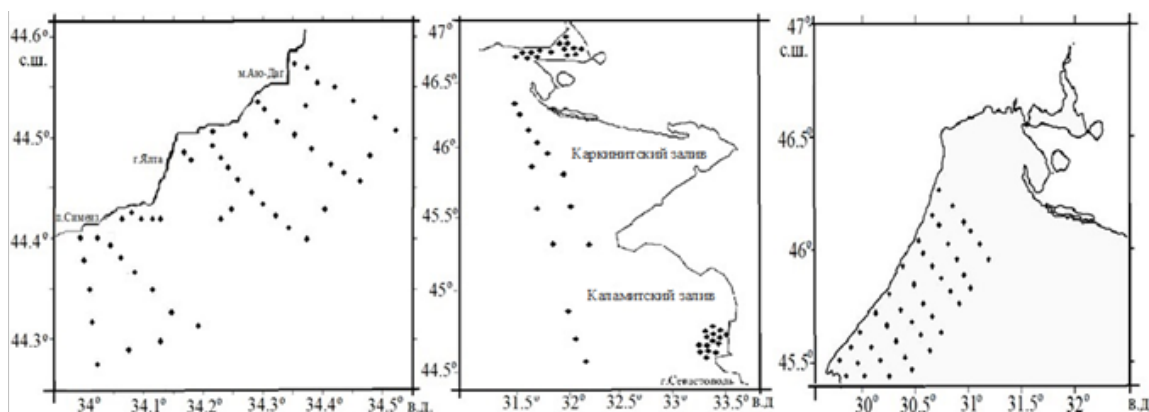
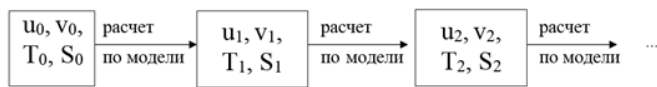


Рисунок 1. Схемы станций, выполненных в прибрежной зоне Южного берега Крыма, на западном побережье Крыма и северо-западном шельфе

Черного моря (используются результаты задачи инициализации гидрофизических полей, осуществляется прогноз).



Основным инструментом исследования была выбрана гидродинамическая модель Черного моря, разработанная в МГИ и успешно применяемая для решения задач теоретического и прикладного характера [1, 2]. Для реализации процедуры усвоения данных наблюдений использовалась методика последовательной оптимальной интерполяции.

В качестве примера решения задачи инициализации полей температуры, уровня, солёности, течений приведено построение полей на шельфе в осенний период (рис. 2).

Учет данных наблюдений температуры и солёности позволил более точно описать слой скачка в профилях температуры и солёности и распространение опресненных речных вод вдоль берега. В поле температуры в верхнем слое сформировались зоны с более

холодной водой, в поле солёности – более пресные воды. Получены качественные отличия в структуре полей (большие градиенты в слое ниже 15 м).

Пример решения задачи диагноза трехмерных полей течений, уровня, температуры и солёности представлен на рис. 3. Исследовано зарождение и развитие апвеллинга (с выходом на поверхность вод вдоль побережья с температурой ниже 20 °С в ночь на 15 июля), наблюдавшегося по спутниковым снимкам.

После действия штормового ветра в ночь с 14 на 15 июля у западной части ЮБК наблюдалась зона апвеллинга с выходом на поверхность вод с температурой ниже 20 °С, что подтвердилось результатами численного расчета. По модельным полям температуры (рис. 3) прослеживалось распространение холодных вод вдоль побережья, минимальное значение поверхностной температуры (13 °С) достигалось 15 июля в 04:00. Апвеллинг имел ветровой характер, обусловленный сгоном дрейфовых течений от берега в сторону открытого моря и выходом глубинных вод на поверхность.

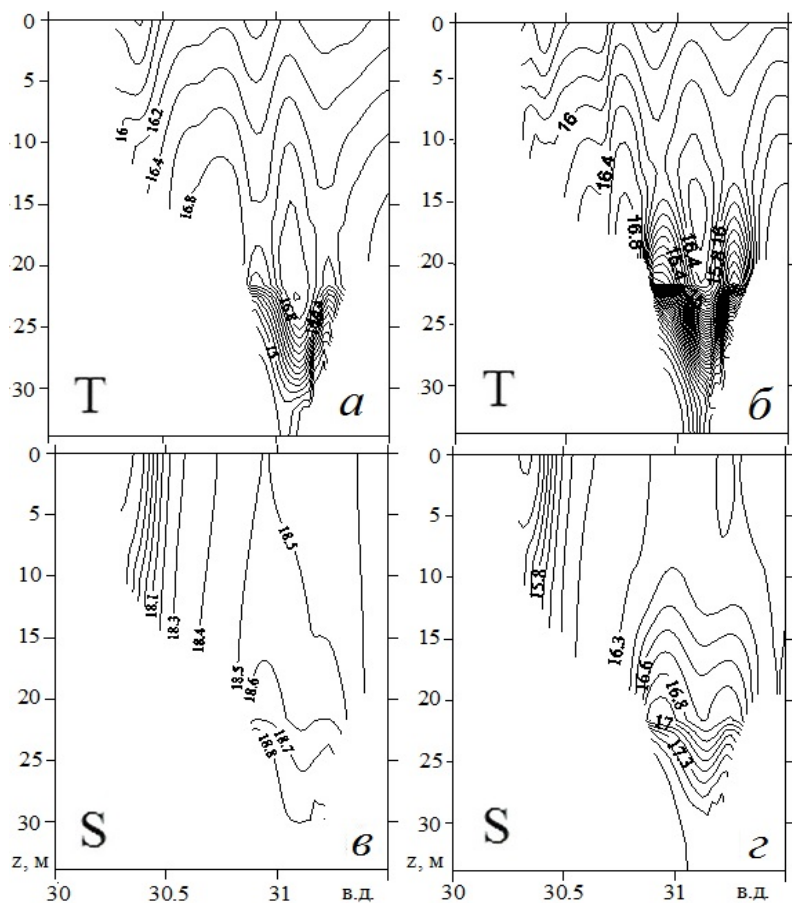
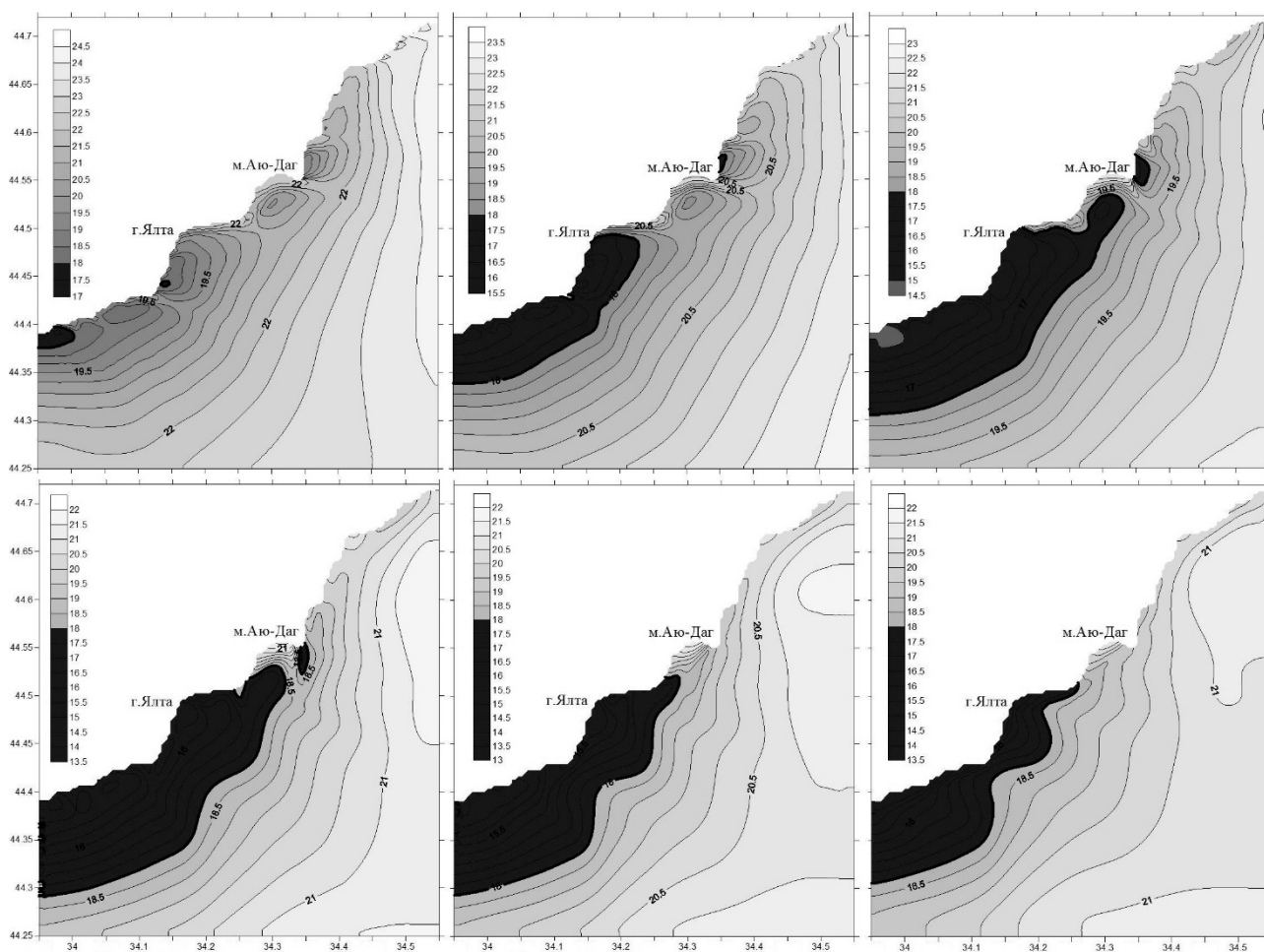
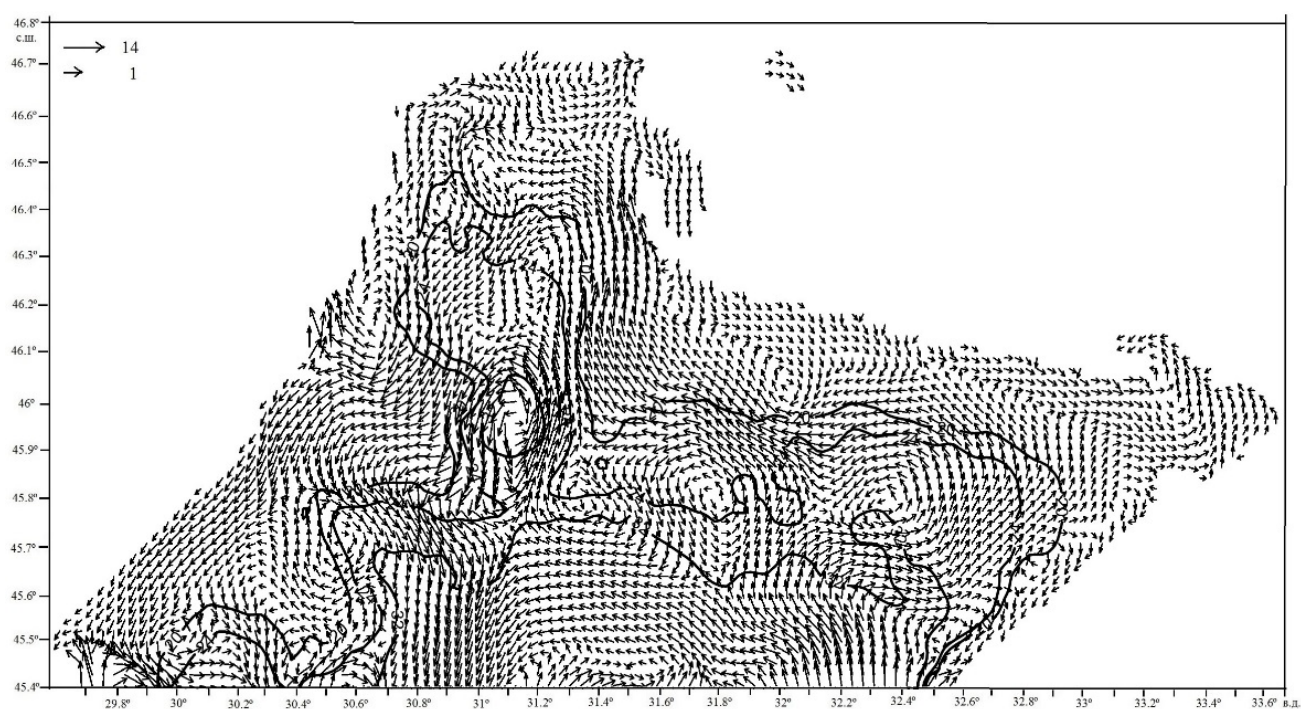


Рисунок 2. Вертикальные разрезы вдоль 46° с. ш.: а – в поле температуры в эксперименте без ассимиляции данных наблюдений; б – в поле температуры с ассимиляцией данных наблюдений; в – в поле солёности в эксперименте без ассимиляции данных наблюдений; г – в поле солёности с ассимиляцией данных наблюдений



▲ Рисунок 3. Поля поверхностной температуры (°C), сформировавшиеся 14 июля в 16:00, 14 июля в 19:00, 14 июля в 22:00, 15 июля в 01:00, 15 июля в 04:00 и 15 июля в 07:00

▼ Рисунок 4. Поле течений (см/с) на горизонте 5 м, отмечены изобаты 20, 24 и 32 м



Пример решения задачи прогноза трехмерных полей течений, уровня, температуры и солёности представлен на рис. 4. Поле течений на шельфе, восстановленное в прогностическом эксперименте с пространственным разрешением 500 м, имело сложную мезомасштабную и субмезомасштабную структуру, характеризующуюся вихревыми образованиями и струйными течениями. Отмечена существенная роль рельефа дна в формировании данных особенностей циркуляции.

В настоящее время выполняется подготовка и анализ полученных в 2016–2017 гг. данных гидрологических измерений для их использования в гидро-

динамической модели, настройка параметров модели, усовершенствование алгоритма усвоения данных наблюдений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демышев С.Г., Кортаев Г.К. Численная энергосбалансированная модель бароклинных течений океана на сетке C // Численные модели и результаты калибровочных расчетов течений в Атлантическом океане : Атмосфера-океан-космос – прогр. «Разрезы»: Сб. науч. ст. / Под ред. А.С. Саркисяна, Ю.Л. Демина. М.: ИВМ РАН, 1992. С. 163–231.
2. Демышев С.Г. Численная модель оперативного прогноза течений в Черном море // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2012. Т. 48, № 1. С. 137–149.

ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МОРСКИХ СИСТЕМ ЧЕРНОГО МОРЯ

С.К. Коновалов, Ю.В. Артамонов, А.В. Гармашов*
Морской гидрофизический институт РАН

*e-mail: garmashov@mhi-ras.ru

В 2017 г. Федеральным государственным бюджетным учреждением науки «Морской гидрофизический институт РАН» (ФГБУН МГИ) было проведено четыре комплексных экспедиции на НИС «Профессор Водяницкий» (94, 95, 98 и 101-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 им. А.О. Ковалевского РАН (ФГБУН ИМБИ), Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН).

Сроки проведения экспедиций:

94-й рейс: 22 апреля – 6 мая 2017 г.;

95-й рейс: 14 июня – 4 июля 2017 г.;

98-й рейс: 14 ноября – 28 ноября 2017 г.;

101-й рейс: 14 декабря – 28 декабря 2017 г.

Общая продолжительность четырех рейсов – 66 сут.

В экспедициях проведен комплексный мониторинг состояния гидрологических, гидрохимических, метеорологических, гидрооптических и биологических характеристик вод Черного моря, а также исследование седиментационных процессов.

Общий объем выполненных работ в 2017 г.:

- **389** комплексных океанологических станций;
- **440** зондирований CTD-зондом Sea-Bird's SBE 911plus;
- **387** зондирований измерителем течений Workhorse Monitor 300 kHz ADCP;

– **7444** химических анализа проб воды (в том числе на растворенный кислород, сероводород, pH, щелочность, TCO₂, биогенные элементы (нитраты, нитриты, аммоний, силикаты, фосфаты), взвешенное вещество, содержание ⁷Be);

– **134** зондирования комплексом «Сигма-1» (измерение пульсационных характеристик температуры, плотности, скорости течения, электропроводности);

– **389** измерений метеопараметров;

– **373** измерения вертикального распределения показателя ослабления света;

– поднято **2** притопленных буйковых станции (ПБС) с седиментационными ловушками, собрано **60** дифференциальных и **22** интегральных пробы осадочного вещества,

– поставлена **1** новая ПБС;

– **958** анализов биологических характеристик (концентрация хлорофилла а, взвешенное вещество, пикопланктон, микрозоопланктон, фитопланктон, микромицеты).

Предварительные результаты

Гидрологические исследования. Во все сезоны Основное Черноморское течение (ОЧТ) следовало вдоль свала глубин, при этом сильно меандрировало, и на его прибрежной периферии формировались антициклонические вихри. В зонах антициклонических вихрей, как правило, наблюдается повышение температуры и понижение солёности поверхностного слоя, отмечается увеличение глубины нижней границы верхнего квазиоднородного слоя и глубины залегания ядра холодного промежуточного слоя.

Наибольшее распреснение поверхностного слоя, вызванное адвекцией ОЧТ азово-керченских вод, наблюдалось в периоды весенней и летней съёмок.

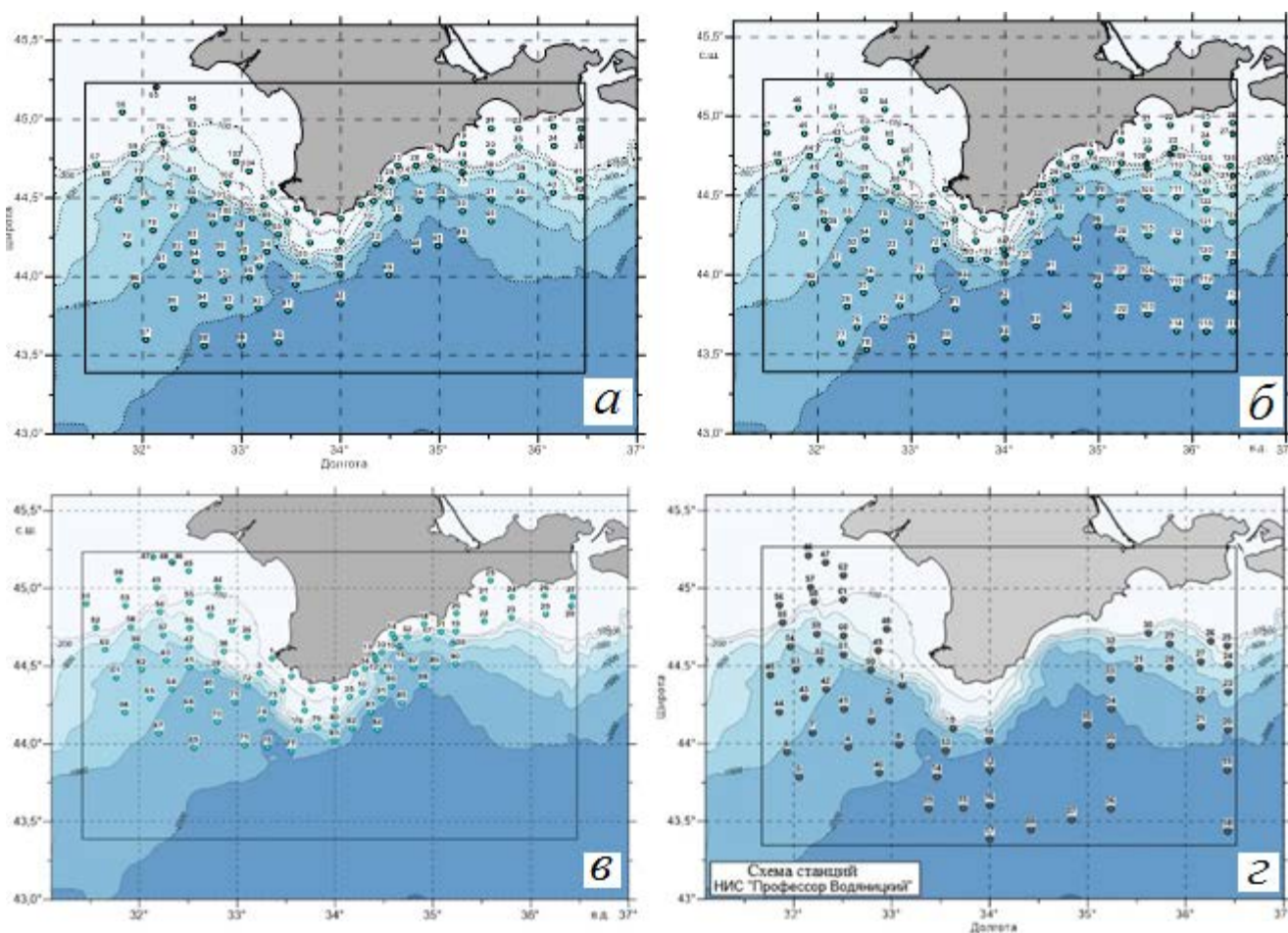


Рисунок 1. Станции, выполненные в 94-м (а), 95-м (б), 98-м (в) и 101-м (г) рейсах НИС «Профессор Водяницкий» в 2017 г.

Показано, что азово-керченские воды в результате синоптического меандрирования ОЧТ распространяются в виде отдельных пятен пониженной солености вдоль Крымского побережья далеко за запад. Следы этого распреснения можно обнаружить на траверзе Гераклейского полуострова. В периоды весенней и летней съемок наблюдалось интенсивное распреснение в северо-западной части полигона, обусловленное стоком Дуная.

Сезонные изменения отмечены также в характеристиках холодного промежуточного слоя и в глубине залегания изопикны 16,2 усл. ед. Температура в ядре холодного промежуточного слоя (ХПС) и глубина его залегания изменялись соответственно в диапазонах: 7,1–8,3 °C и 30–85 м в апреле – начале мая, 6,9–8,1 °C и 35–90 м в июне – начале июля, 7,35–8,1 °C и 40–100 м в ноябре

и 7,6–8,3 °C и 35–85 м в декабре. Глубина изопикны 16,2 усл. ед. в периоды съемок изменялась в диапазонах 100–200 м, 95–180 м, 120–180 м и 85–165 м соответственно.

В целом распределения гидрологических характеристик в период съемок 94, 95, 98 и 101-го рейсов НИС «Профессор Водяницкий» не выходят за пределы климатических параметров, характерных для района исследований. Полученные данные свидетельствуют о том, что динамические процессы, как и гидрологическая ситуация во время съемок, находились в пределах естественной изменчивости для данной акватории.

Гидрохимические исследования. В ходе реализации экспедиционных исследований были получены новые данные о распределении гидролого-гидрохимических и биогеохимических характеристик морских вод в различные гидрологические сезоны 2017 г. для изучения особенностей вертикального распределения

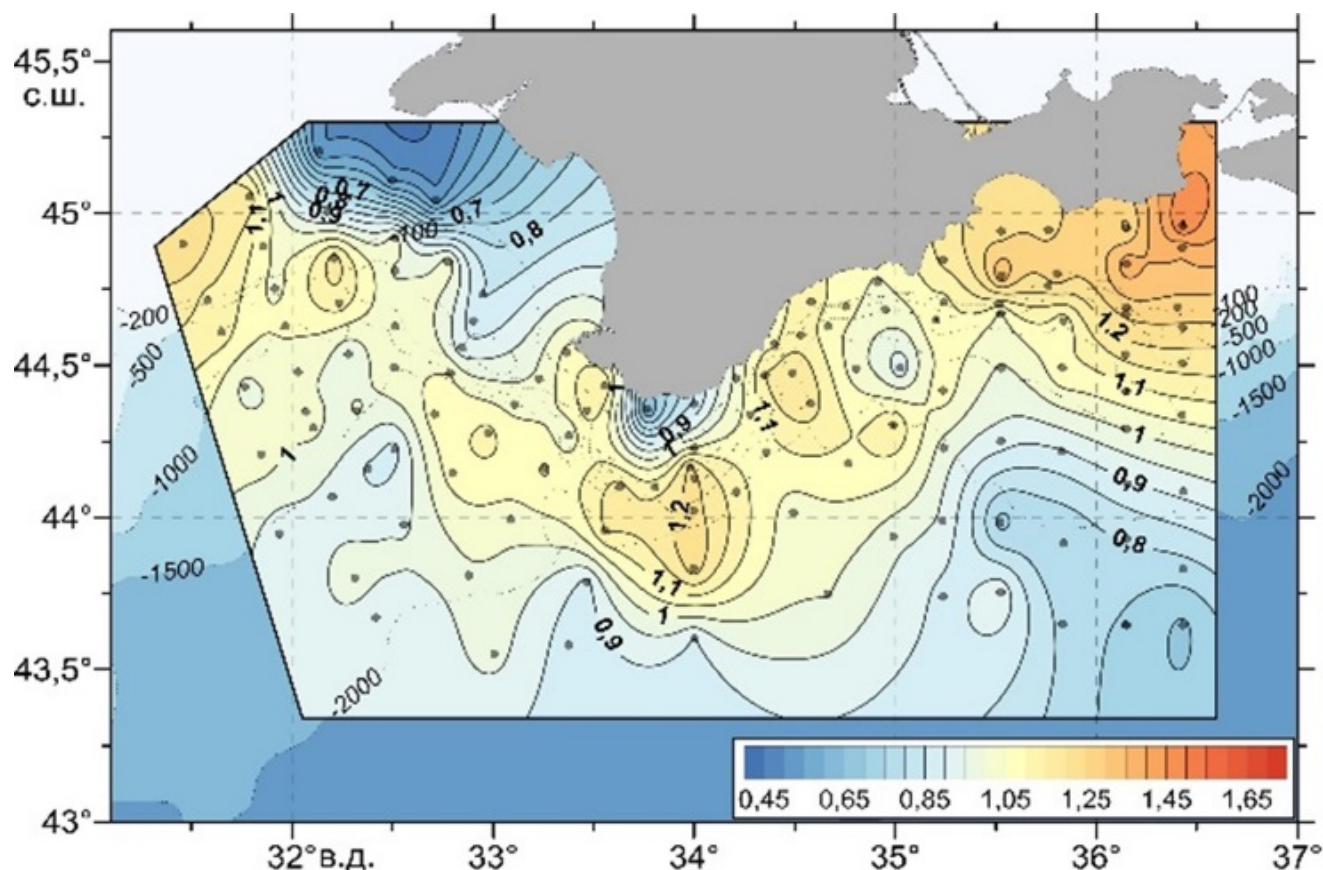
кислорода и сероводорода с высоким вертикальным разрешением, пространственно-временного распределения биогенных элементов, вертикальной структуры распределения величины общей щелочности (Alk) и показателя pH, структуры полей парциального давления диоксида углерода в атмосфере и поверхностном полуметровом слое вод в центральной глубоководной части Черного моря в различные гидрологические сезоны 2017 г. Получены данные о вертикальном профиле сероводорода в поровых водах донных отложений в северо-восточной части Черного моря. Изучены особенности пространственного распределения поля концентрации 7Be , ^{210}Pb в водах Черного моря.

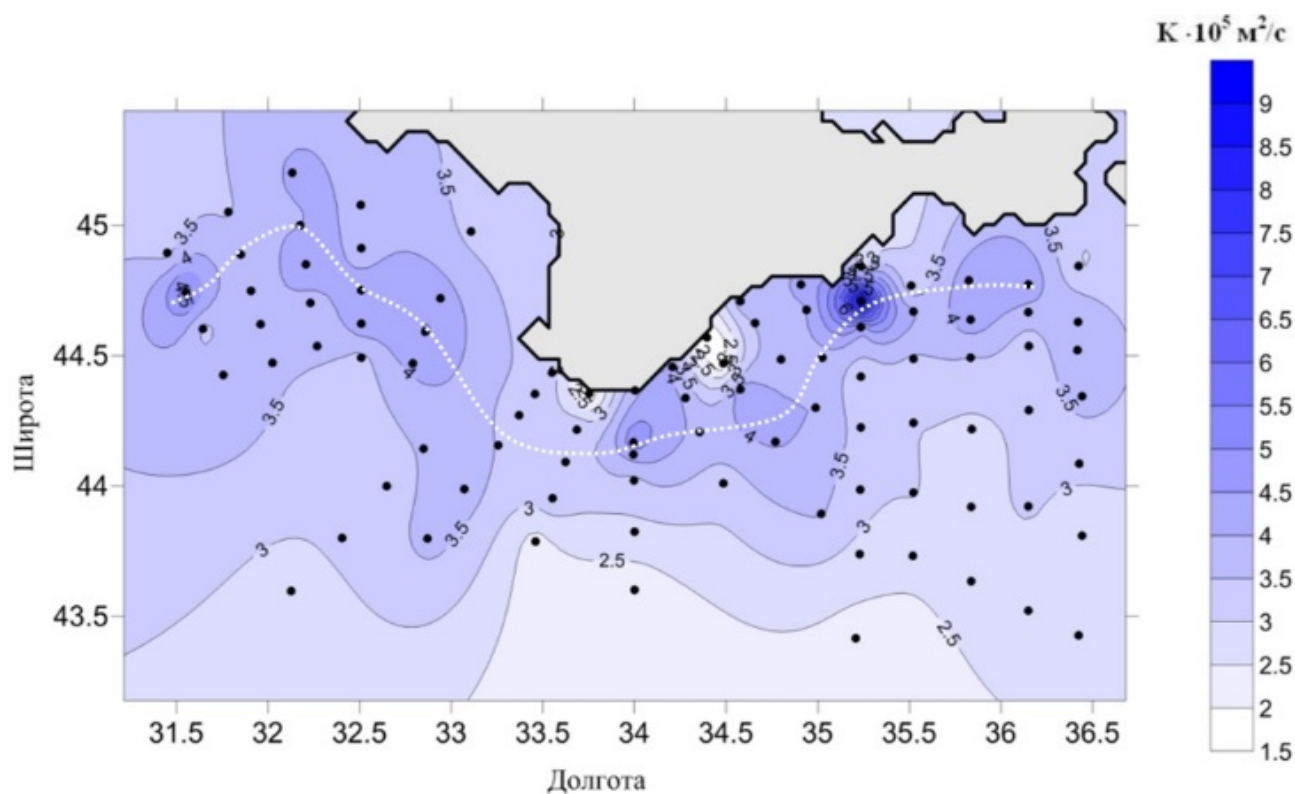
Гидрооптические исследования. В летний период 2017 г. на большей части акватории выявлены низкие, по сравнению с предшествующими годами, значения прозрачности вод с высоким содержанием взвешенных частиц. Минимальная прозрачность вод была отмечена в областях пониженной солёности керченско-феодосийских вод. Диапазон изменчивости концентрации общего взвешенного вещества в поверхностном слое колебался в пределах 0,4–1,5 мг/л

(рис. 2). Основная масса микроводорослей концентрировалась в пределах верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) с максимумом в сезонном термоклине. В целом аномально низкая прозрачность вод летом 2017 г. обусловлена вспышкой цветения фитопланктона, состоящего из микроводорослей – кокколитофорид. Подобные события аномального цветения наблюдались в Черном море в летний период 2008 и 2012 гг. Однако согласно спутниковым данным летом 2017 г. цветение было наиболее интенсивным.

Исследования турбулентности морских вод. По результатам экспедиционных наблюдений с использованием высокоразрешающего зондирующего комплекса «Сигма-1» изучалось пространственное распределение коэффициента вертикальной турбулентной диффузии (рис. 3) в двух стратифицированных областях Черного моря в районе Крымского полуострова: деятельном слое бассейна, а также верхнем и нижнем слоях основного пикноклина выше

Рисунок 2. Концентрации общего взвешенного вещества в поверхностном слое в 95-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий»





и ниже максимума градиента плотности. Построены модели зависимости коэффициента диффузии от частоты плавучести, имеющие практическое значение для определения вертикальных потоков тепла, соли, биогенных и химических элементов и других растворенных веществ, установлено особое влияние топографии на интенсивность турбулентного обмена в зоне сопряжения шельфа и континентального склона Черного моря (и других естественных стратифицированных бассейнов).

Рисунок 3. Пространственное распределение коэффициентов вертикального турбулентного обмена

Работа выполнена в рамках тем государственного задания № 0827-2018-0001, 0827-2018-0002, 0827-2018-0003, 0827-2018-0004.

ИЗУЧЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ, РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО БАССЕЙНА НА НИС «ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ»

А.Б. Боровков*, Н.В. Бурдиян, С.Б. Гулин
Институт морских биологических исследований
имени А.О. Ковалевского РАН
*e-mail: borovkov@imbr-ras.ru

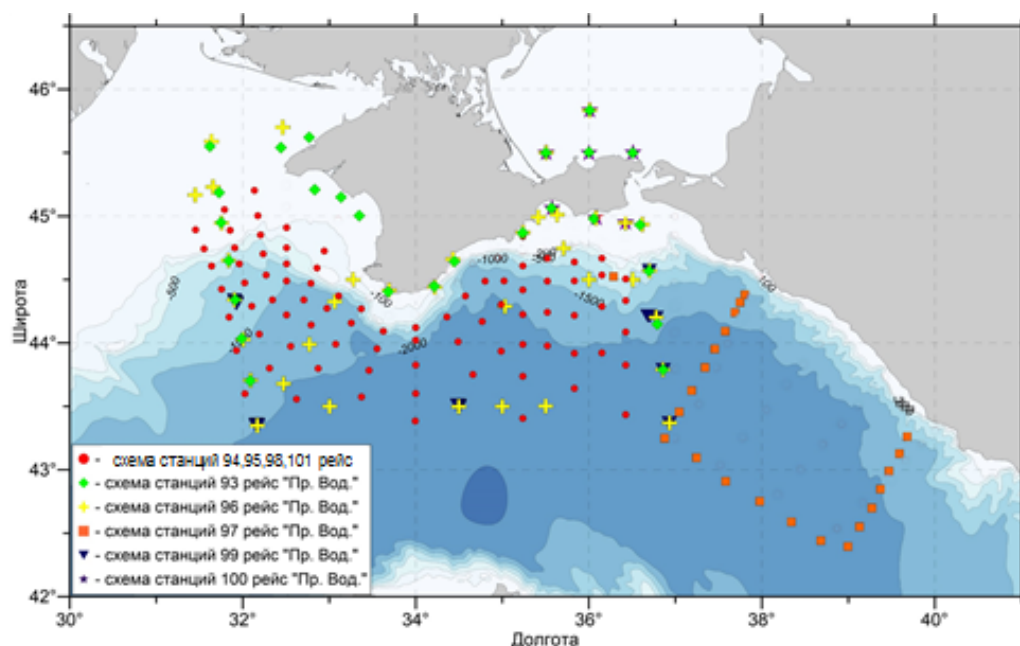
Сотрудниками ФГБУН ИМБИ в 2017 г. было выполнено 9 экспедиций на научно-исследовательском судне «Профессор Водяницкий» в территориальных водах и экономической зоне Российской Федерации Азово-Черноморского региона. Общая продолжительность этих экспедиций составила 134 суток.

Основной задачей экспедиционной деятельности ФГБУН ИМБИ в рамках государственного задания на 2017 г. было проведение фундаментальных и прикладных исследований биологического разнообразия, ресурсного потенциала и экологического состояния Азово-Черноморского бассейна. Экспедициями были охвачены все сезоны, станции располагались вдоль побережья Крыма, включая его черноморскую и азовоморскую часть. Пройдено более 12000 морских



▲ Рисунок 1. Научный состав 100-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» (декабрь 2017 г.)

▼ Рисунок 2. Карта станций 93-101-го рейсов НИС «Профессор Водяницкий»



милей. Всего выполнено более 500 станций в диапазоне глубин 10–1212 м.

Состояние среды. Установлено, что продолжается вторичное поступление чернобыльского ^{90}Sr в Черное и Азовское моря. Концентрация ^{90}Sr в воде Черного моря в среднем в 2,4 раза ниже, чем в Азовском море (это связано с поступлением ^{90}Sr с суши с весенними паводковыми водами, мелководностью Азовского моря, разбавлением радионуклида в толще воды Черного моря). Распределение ^{90}Sr вдоль разреза западная халистаза – восточная халистаза свидетельствует о поступлении этого радионуклида с Северо-Западного шельфа в глубоководные районы Черного моря. Распределение концентрации ^{90}Sr в толще воды Черного моря (в поверхностном слое в целом выше в 6,1–8,5 раз, чем в нижележащих слоях) также свидетельствует о вторичном поступлении этого радионуклида в водоем.

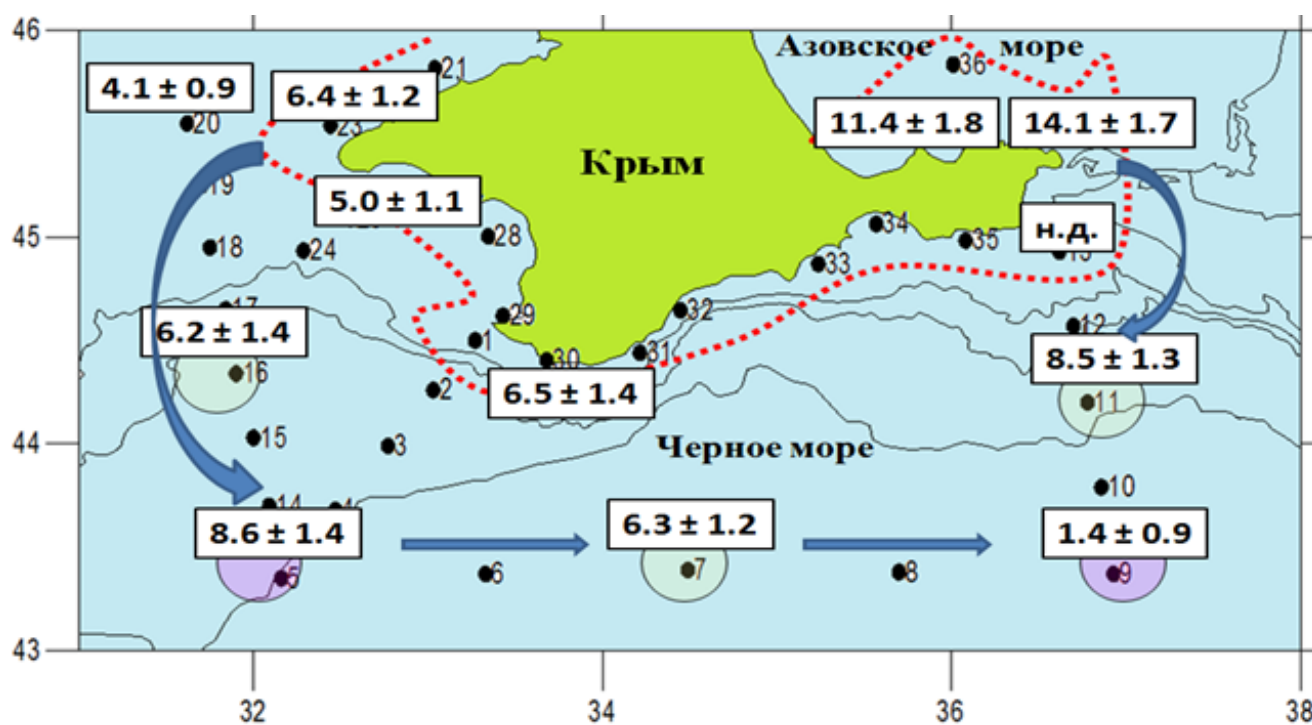
Концентрация другого радионуклида ^{137}Cs в поверхностной воде Черного моря характеризуется равномерным пространственным распределением. В районе южного берега Крыма концентрация ^{137}Cs оказалась ниже средней в Черном море, что обусловлено более слабым влиянием вторичного поступления ^{137}Cs со стоком рек. В Азовском море обнаружено увеличение концентрации ^{137}Cs с запада на восток, т. е. ее увеличение связано с поступлением вод из Черного моря. В среднем в Азовском море концентрация ^{137}Cs

примерно в два раза ниже, чем в поверхностной воде Черного моря. Причиной этого служит меньшее вторичное поступление радионуклидов со стоком рек из зоны аварии на ЧАЭС.

Определены сезонные изменения содержания $\Sigma\text{ПХББ}$ и $\Sigma\text{ДДТ}$ в открытых районах Черного моря. Факт увеличения средней концентрации хлорорганических соединений (ХОС) в западном районе Черного моря весной 2017 г. обусловлен сезонным повышением речных и склоновых стоков, а также атмосферных выпадений. Таким образом, распределение ХОС определяется действием гидрологических и синоптических факторов. Концентрации ХОС в открытых районах моря не превысили норм, установленных в РФ для рыбохозяйственных водоемов. Содержание ХОС в мезопланктоне зависело от загрязненности района отбора, сезона отбора и от жирности мезопланктона.

Концентрация суммарной (растворенной и взвешенной форм) ртути весной и летом 2017 г. в поверхностной воде Черного моря, в основном, в 1,03–2,6 раза превышала ПДК (100 нг/л). Наибольшие концентрации отмечены в северо-западном и глубоководном районах моря. Источники – поступление с суши с весенним паводком, распределение ртути обеспечено гидрологическими процессами.

Рисунок 3. Концентрация ^{90}Sr (Бк/м³) в воде Черного и Азовского морей



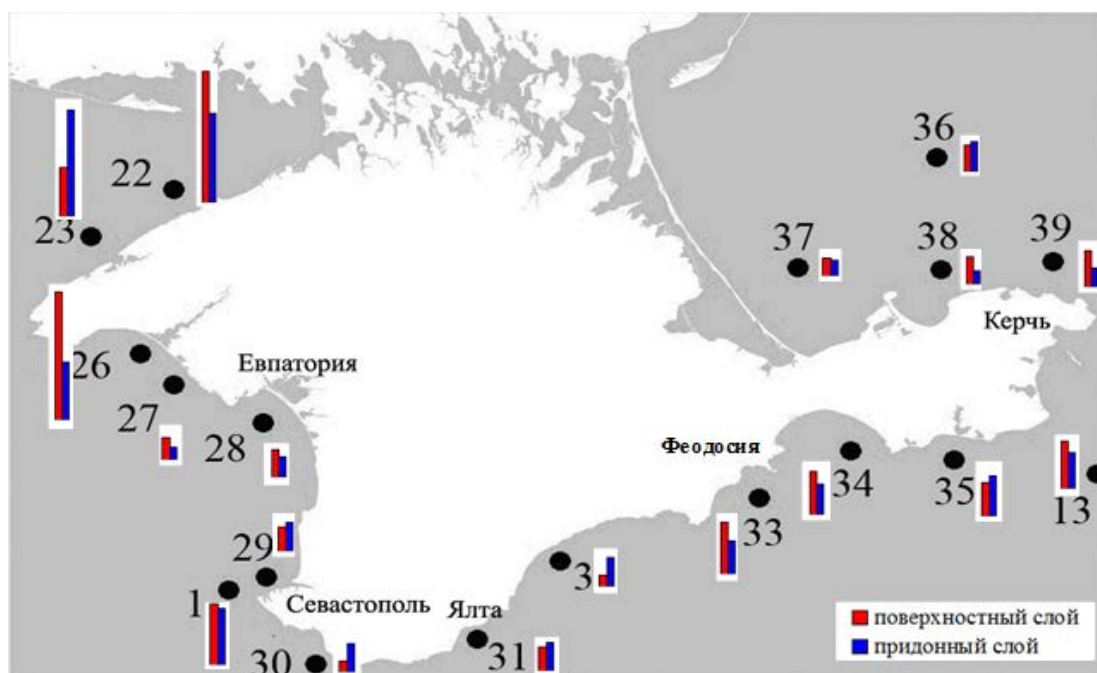


Рисунок 4. Содержание нефтяных углеводородов, мг/л

Концентрация мышьяка в воде и мягких тканях моллюсков не превышала установленных ПДК. Превышение концентрации мышьяка зафиксировано в донных отложениях в районах юго-западного Крыма (бухта Ласпи, у мыса Сарыч, г. Ялта, Алушта, пос. Кабель).

Наблюдается превышение ПДК нефтяных углеводородов весной у западного побережья Крыма, что связано со стоком европейских рек. В летний сезон наблюдаются повышенные концентрации нефтяных углеводородов в Керченском предпроливье, а также в районе Ялтинского канализационного коллектора. Концентрация нефтяных углеводородов в поверхностном слое превышает таковую в придонном.

Биолюминесценция. Распределение поля биолюминесценции показало однозначное соответствие его амплитудных показателей биомассе фитопланктона и его светящейся фракции, а также сопряжённость с гидрологической ситуацией. Выявлено в периоды максимального развития поля биолюминесценции существование по вертикали тонких слоёв повышенной светимости, визуализирующих слои повышенной концентрации организмов. Число и глубина таких слоёв зависит от динамической активности водной массы, которая обуславливает распределение биогенных элементов по вертикали и, следовательно, уровень биологической продуктивности. Отмечена существенная модификация видовой структуры фитопланктон-

ного сообщества Азовского моря за последние 75 лет, вероятнее всего обусловленная влиянием климатических трендов и антропогенного пресса.

Биооптические исследования. Впервые выполнена оценка вариабельности показателей поглощения света пигментами фитопланктона, взвешенным веществом и окрашенным растворенным органическим веществом в прибрежных водах Черного моря с использованием в качестве полигона района Крыма. Проведена параметризация поглощения света всеми оптически активными компонентами среды, показаны ее сезонные изменения в связи с годовой динамикой гидрологических и гидрофизических факторов среды. Новые данные о параметризации поглощения света всеми компонентами среды являются основой для уточнения и развития региональных алгоритмов оценки качества и продуктивности прибрежных вод по спутниковым данным, что в перспективе позволит создать систему оперативного контроля состояния прибрежных экосистем.

Биота. Установлено, что наибольшие значения количественных характеристик фитопланктона в Азовском море в 2016–2017 гг. зафиксированы в центральной его части.

Наибольший вклад в суммарный фитопланктон в этом районе вносили диатомовые: крупноклеточная водоросль *Pseudosolenia calcaravis* (до 66 % от суммарной биомассы) и мелкоклеточная *Skeletonema*

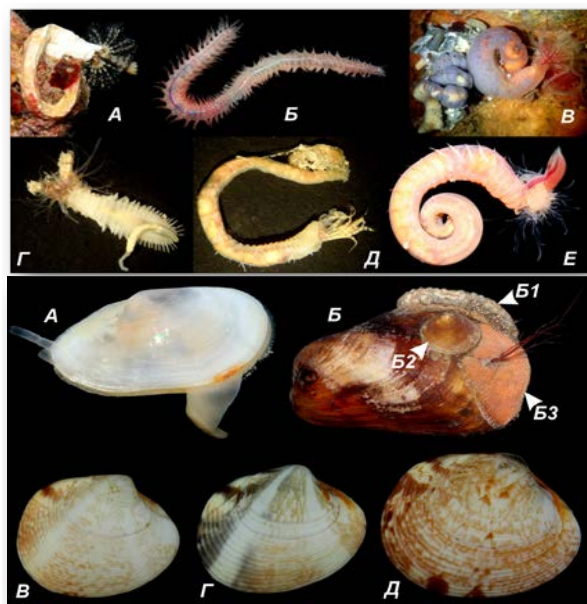


Рисунок 5. Многообразие бентосных организмов

costatum (до 75 % от численности и до 50 % от биомассы суммарного фитопланктона).

Характер пространственного распределения обилия бактериопланктона в черноморских водах вокруг Крыма определялся трофностью акваторий – наибольшей у западного побережья полуострова, умеренной в юго-восточном прибрежье и наименьшей в водах ЮБК. Таким образом, количественные показатели развития бактериопланктона являются хорошими информативными критериями в оценке экологического состояния водной среды.

Наблюдающееся в последнее десятилетие уменьшение пресса со стороны гребневика мнемипсиса привело к улучшению кормовой базы планктонных рыб и способствовало увеличению численности и расширению таксономического богатства ихтиопланктона на крымском шельфе, что подтверждается исследованиями ихтиопланктона в рейсах НИС «Профессор Водяницкий».

Отмечен тренд увеличения биомассы зообентоса в Азовском море – от прикерченского района в направлении Арабатской стрелки. Абсолютным лидером в общей биомассе зообентоса (88–99 %) является недавний вселенец в Азово-Черноморский бассейн – двустворчатый моллюск *Anadara kagoshimensis*.

На полигоне юго-западной части Азовского моря в летний период 2017 г. наиболее многочисленной группой оказалась ранее мало исследованная группа

мягкораквинных фораминифер. По результатам исследования сублиторальной зоны западного побережья Крымского полуострова зарегистрировано 57 видов макрофитов. Впервые за 70 лет в Каркинитском заливе обнаружен редкий вид альгофоры Чёрного моря – харовая водоросль *Tolypella nidifica*. В Азовском море собран обширный материал для последующего молекулярно-генетического анализа.

В апреле 2017 г., в период весенней гомотермии вод, были проведены исследования структурных и функциональных показателей пикопланктона в открытых районах моря – на разрезе через глубоководную и неритическую зоны. В частности, получены профили вертикального распределения численности гетеротрофного бактериопланктона, среднего размера бактериальных клеток и их физиологической активности, которые дают представление о характере вертикального распределения и локализации микробной активности в водном столбе, включая анаэробную зону и её бактериальное население.

Исследованы связи структурных и функциональных показателей бактериопланктона с плотностной стратификацией водных масс Чёрного моря и вертикальной структурой полей биогенных элементов и иных гидрохимических показателей. Характер распределения этих показателей в верхнем 100-метровом слое был неоднородным. В неритической зоне (северо-западный шельф) численность бактерий была низкой, сообщество было представлено крупными клетками с низкой физиологической активностью. HNA-бактерии с высоким содержанием нуклеиновых кислот были локализованы на глубинах более 60 м, их доля возрастала с ростом глубины (и условной плотности) на всех станциях.

Научные организации, принявшие участие в морских экспедициях на НИС «Профессор Водяницкий» в 2017 г.:

- Морской гидрофизический институт РАН,
- Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН,
- Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
- Лимнологический институт СО РАН,
- Институт природно-технических систем РАН.

Работа выполнена в рамках тем государственного задания № 1001-2014-0013, 1001-2014-0014, 1001-2014-0016, 1001-2014-0017.

ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ, ГЕОДИНАМИКА, ПОДЗЕМНАЯ ГИДРОСФЕРА И ЭКЗОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПРЕДЕЛАХ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ СИСТЕМЫ И НА ЮГЕ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

**Д.П. Гладкочуб*, С.В. Алексеев, Е.А. Козырева,
О.В. Лунина, Е.В. Скляров**
Институт земной коры СО РАН

*e-mail: gladkochub@mail.ru

В 2017 г. сотрудниками ИЗК СО РАН на акватории озера Байкал с использованием НИС «Геолог» были проведены работы в рамках четырех тематических экспедиций: геологической, гидрогеохимической, структурно-геологической и инженерно-геологической. Большинство участков проведения полевых работ расположены в районах, где нет автомобильных дорог, поэтому НИС «Геолог» – единственное эффективное средство ИЗК СО РАН, используемое для транспортировки участников экспедиции к местам проведения работ на акватории озера Байкал.

Геологическая экспедиция решала следующие задачи:

- изучение состава и строения Ольхонского геодинамического полигона (Приольхонье, о. Ольхон, острова в Малом море);
- детальное картирование опорных участков, подготовка материалов для включения объектов в перечень геологического наследия ЮНЕСКО для создания геопарка;
- отбор проб для петрохимических, геохимических, минералогических и геохронологических исследований;
- подготовка геологической карты региона нового поколения.

В результате работ геологической экспедиции было выполнено детальное геологическое картирование опорных участков, располагающихся в центральной части озера Байкал (западное побережье), изучены и задокументированы геологические

объекты – памятники природы, которые будут включены в перечень геосайтов для разрабатываемого проекта создания на Байкале геопарка ЮНЕСКО.

Структурно-геологическая экспедиция решала следующие задачи:

- выявить на базе геолого-структурных и георадиолокационных данных главные закономерности строения зоны Северобайкальского активного разлома;
- выявить и изучить сейсмогенные деформации и другие опасные природные процессы на северо-западном побережье озера Байкал.

На сегменте между мысами Шартлай и Котельниковский были пройдены георадиолокационные профили на суше и воде для выявления особенностей строения сейсмогенных зон разрывов в подповерхностной части земной коры.

На этом же сегменте были изучены точки геолого-структурных и геоморфологических наблюдений для оценки кинематики активных разрывов и особенностей напряженного состояния земной коры в позднекайнозойское время.

Кроме того, были отобраны образцы по коренному сейсмогенному уступу в зоне Среднекедровой сейсмодислокации на возможное датирование методом космогенных нуклидов возрастов смещений по сейсмогенному разрыву. Маршрутными исследованиями заверялись выделенные на космических снимках сейсмогенные разрывы. В доступных местах на суше разбивались топографические профили, вдоль которых проводилось исследование георадаром.

Всего в ходе экспедиции было пройдено 14 профилей на воде, 5 профилей на суше, изучено 18 точек геолого-структурных и 17 точек геоморфологических наблюдений, отобрано 18 проб на датирование методом космогенных нуклидов с коренного уступа

в точке наблюдения S28 и 7 проб – с точки наблюдения S52.

Заверены на местности все ранее откартированные по космоснимкам (перед полевыми работами) сейсмогенные разрывы и сопутствующие деформации в районе Среднекедровой и Хибеленской палеосейсмодислокаций.

Установлено, что общая протяженность видимых на поверхности разрывов Среднекедровой палеосейсмодислокации составляет не менее 29,5 км. Наибольшая ширина зоны разрывов – 1,9 км. Длина отдельных трещин, расположенных на расстоянии от первых десятков метров до первых километров, изменяется от 5 м до 2,7 км.

Получены радарограммы, которые требуют специализированной обработки. Предварительный их просмотр показывает наличие смещений георадарных комплексов в зонах сейсмогенных разрывов.

Образцы катаклазитов на датирование возраста смещений по космогенным нуклидам подготовлены и отправлены в Институт коровой динамики Сейсмологического бюро Китая, где, согласно научному соглашению между ИЗК СО РАН и упомянутой организацией, должны подвергнуться геохронологическим исследованиям.

Гидрогеохимическая экспедиция решала следующие задачи:

- мониторинговое опробование воды Байкала;
- мониторинговое опробование притоков Северного Байкала;
- мониторинговое опробование уникального холодного кислого источника в северной части озера Байкал;
- выявление закономерностей эволюции гидросферы на примере опорных гидрологических систем в бассейне озера Байкал, развивающихся в различных геодинамических условиях;
- комплексное обследование и гидрохимическое опробование поверхностных и подземных вод на объектах режимной сети западного побережья озера Байкал.

В ходе работ проводился отбор проб воды Байкала с глубин 50, 300 и 700 м. В пробах воды определялось количество биогенного кислорода и других нестойких характеристик. Притоки Байкала опробовались как на западном, так и на восточном побережье. Эти работы проводятся ежегодно с 2007 г. В 2017 г. было опробовано 60 прито-

ков, включая такие крупные притоки, как реки Селенга, Баргузин и др. Для некоторых притоков с неустойчивыми геохимическими характеристиками мониторинговое опробование позволило проследить динамику изменения состава вод.

В ходе проведения работ отобраны пробы воды из устьевых частей рек Ледяная, Елохин, Малая Черемшана, Большая Черемшана. Установлено, что pH воды не превышает 7,2, все пробы имеют нейтральную реакцию. По химическому составу вода в реках Елохин, Малая Черемшана, Большая Черемшана – сульфатная кальциевая. Исключение составляет р. Ледяная, состав пробы воды – гидрокарбонатный кальциевый. Величина минерализации воды не превышает 100 мг/дм³. Специфика состава поверхностных вод обусловлена общими геолого-структурными особенностями территории, литологическим составом подстилающих горных пород и взаимодействием в системе вода – порода. Результаты этих исследований частично опубликованы в статье (Sklyarova O.A., Sklyarov E.V., Och L., Pastukhov M.V., Zagorulko N.A. Rare earth elements in tributaries of Lake Baikal (Siberia, Russia) // *Applied Geochemistry*. 2017. Vol. 82. P. 164–176).

Геоэкологическая экспедиция решала следующие основные задачи:

- изучение эволюции геологической среды в различных природно-технических системах юга Сибирского региона;
- выявление количественных показателей состояния геологической среды в природных и природно-техногенных условиях (экзогеодинамические и эколого-геохимические исследования).

Участники экспедиции выполняли детальные обследования ключевых участков мониторинговой сети, включающие в себя:

- 1) профилирование надводного и подводного склона берега по закрепленным на местности реперам;
- 2) тахеометрическую съемку участка наблюдений (положение бровки склона, подножья и уровня воды), построение локальных ситуационных схем участка исследований;
- 3) измерение количественных показателей: отступления бровки берега, разрушения горных пород, мощности торфяных залежей и др.;
- 4) отбор образцов грунтов с уреза воды и абразионного уступа.

В рамках экспедиции были изучены процессы формирования береговых склонов крупных внутриконтинентальных водоемов, получены фактические данные по динамике развития основных групп экзогенных геологических процессов берегов: абразионно-аккумулятивных, оползневых, обвально-осыпных – в пределах ключевых участков Байкало-Ангарской гидротехнической системы (озеро Байкал – Иркутское водохранилище). Кроме этого, были проведены эколого-геохимические исследования в зонах интенсивного рекреационного использования береговых зон. Также были проведены работы по изучению температурного режима грунтов криолитозоны в области влияния крупных внутриконтинентальных водоемов в изменяющихся природно-техногенных условиях.

В результате проведенных работ были определены участки и оборудованы площадки для мониторинга развития экзогенных геологических процессов в береговой зоне озера Байкал. Организованы стационарные наблюдения за динамикой береговых процессов, закреплены реперы, точки наблюдений, профили на местности. Всего в систему наблюдений вошли 17 участков. Для одного из участков берега Байкала (абразионно-оползневой склон) совместно с сотрудниками ИДСТУ СО РАН разрабатывается специализированная прогнозная модель, учитывающая энергетические факторы волн в переработке склона и особенности литологического строения массива (стадия разработки). Разработан единый алгоритм для составления базы данных мониторинга береговых процессов, пополнен банк данных по состоянию береговых склонов озера Байкал. Составленная база данных находится на

стадии подготовки к оформлению и регистрации интеллектуальной собственности.

Кроме этого, была выполнена эколого-геохимическая съемка ключевых участков острова Ольхон (Байкал). В каждом выделенном водосборном бассейне была заложена сеть точек опробования, в которых были отобраны пробы: а) почв; б) растений (корни и ветви сосны); в) воды – вне сетки опробования, по ходу маршрутов, а также из колодцев и скважин. Всего отобрано 798 проб. Пробы почв переданы на определение концентраций тяжелых металлов (Hg, As, Cd, Pb, Cr, Co, Ni, Cu, Zn) методами РФА и ААС в центр коллективного пользования «Геодинамика и геохронология» ИЗК СО РАН и в лабораторию геохимии благородных и редких элементов и экогеохимии ИГМ СО РАН.

Также в 2017 г. был изучен температурный режим грунтов зоны влияния водных объектов. В пределах участка работ проводились специализированные инженерно-геологические работы – бурение скважины с заложением обсадной колонны под мониторинг температур грунтов, с детальным опробованием (поинтервальный отбор образцов грунтов), описанием литологического строения вскрытых горных пород. Пробы отбирались для определения физико-механических свойств грунтов.

Задачи экспедиций ИЗК СО РАН в 2017 г. были выполнены в полном объеме.

На 2018 г. запланировано продолжение ранее начатых работ в рамках сложившихся коллективов, объединенных в Геологическую, Структурно-геологическую, Гидрогеохимическую и Геоэкологическую экспедиции. Ожидаемая общая продолжительность экспедиций в 2018 г. составит 90 дней.

КОМПЛЕКСНЫЕ ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ВОДНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ОБИ В 2017 г.

А.В. Пузанов*, Д.М. Безматерных, А.Т. Зиновьев,
В.В. Кириллов**

**Институт водных и экологических проблем СО
РАН**

*e-mail: puzanov@iwep.ru

**e-mail: bezmater@iwep.ru

В 2017 г. Институтом водных и экологических проблем СО РАН при поддержке Федерального агентства научных организаций проведены комплексные экспедиционные водно-экологические исследования в бассейне реки Оби.

Основные цели исследований: исследование морфометрических и гидравлических характеристик русла и поймы р. Оби на участке от истока до Новосибирского водохранилища для решения задач водопользования и охраны водных ресурсов (включая прогнозирование экстремальных гидрологических событий – распространения волн паводков и половодий); изучение формирования и динамики экосистем, факторов неоднородности пространственного распределения состава, структуры и функциональных характеристик биоценозов р. Оби и Новосибирского водохранилища; ежегодный мониторинг гидрофизических, гидрохимических, биогеохимических и гидробиологических характеристик Телецкого озера в период открытой воды.

Экспедиционные исследования в бассейне Оби выполнялись в рамках четырех проектов государственного задания Института (табл. 1).

Объекты исследования

Обь является одной из крупнейших рек в мире, она занимает первое место в России по водосборной площади и третье – по стоку. Поверхность Обь-

Иртышского бассейна дренируется многими тысячами рек, общая длина которых превышает 250 тыс. км. Истоком Оби принято считать место слияния рек Бии и Катунь, берущих начало в горах Алтая.

Иртыш – самый крупный из притоков – берет начало в Монголии и далее пересекает территории трех государств: Китая, Казахстана, России. Протяженность реки в пределах России составляет 48 % от общей длины [1, 2].

В качестве модельного водохранилища бассейна было исследовано Новосибирское водохранилище – крупнейшее в Западной Сибири. Его близкое расположение к горной части водосборного бассейна определяет значительные амплитуды сезонных и межгодовых колебаний притока, что в совокупности с его малой полезной емкостью снижает возможность управления его водным режимом.

Телецкое озеро – уникальный глубокий водоем в верховьях Оби (исток р. Бии). Площадь поверхности – 227 км², максимальная глубина – 323 м, объем – 41 км³, максимальная прозрачность воды по диску Секки – 15,5 м. Из 50 глубочайших озер мира оно занимает 39-е место [3, 4].

Материалы и методы

В 2017 г. проведены исследования участка реки Оби протяженностью более 1,5 тыс. км. – от истока до устья р. Васюгана (рис. 1). На этом протяжении реки Оби было отработано 22 основных створа с полной программой отбора проб и 11 дополнительных – с сокращенной программой, а также обследованы устья 24 притоков. На Новосибирском водохранилище отработано 8 створов. В акватории Телецкого озера были отобраны пробы в 46 точках, а также обследованы устья его основных притоков.

Таблица 1

Использование данных, полученных в ходе экспедиционных исследований

Проекты	Основные результаты
Биогеохимические особенности наземных экосистем в бассейнах рек Сибири и их влияние на качество природных вод	Телецкое озеро: 1) показатели состояния поверхностных вод, выполняемые на месте отбора проб (рН, Eh); 2) отбор проб воды, донных отложений, почв (20 проб воды, 10 – почв, 10 – донных отложений) для анализа на содержание микро- (Cu, Zn, Pb, Cd, Co, Fe, Mn, Ni, Hg, As) и макроэлементов (N, P, S, Ca, Mg), радионуклидов (²³⁸U, ²³²Th, ⁴⁰K), компонентов ракетных топлив; 3) оценка качества воды по биогеохимическим показателям.
Изучение гидрологических и гидрофизических процессов в водных объектах и на водосборах Сибири и их математическое моделирование для стратегии водопользования и охраны водных ресурсов	Река Обь и Новосибирское водохранилище: 1) измерения расходов и уровней воды по набору створов, расположенных на характерных и важных в практическом отношении участках основного русла (район городских водозаборов) и в пойменных протоках (протока Бобровская) в основные фазы гидрологического сезона; 2) русловые съемки на участках района работ, для которых информация отсутствует или устарела; 3) оценка современных гидрологических и русловых процессов на изученном участке р. Оби. Телецкое озеро: 1) показатели уровня режима озера (анализ данных по трем автоматическим комплексам, установленным в южной (Кыгинский залив), центральной (пос. Яйлю) и северной (кордон Байгазан) частях озера; 2) гидрофизические характеристики озера: температура воды, прозрачность на различных участках акватории и разных горизонтах толщи воды.
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 Исследования современного экологического состояния реки Оби	Река Обь и Новосибирское водохранилище: 1) гидрологические параметры: скорость течения, расход воды; 2) физико-химические показатели воды: температура, прозрачность по белому диску, цвет, в том числе измеряемые погружным зондом температура, электропроводность, общее количество взвешенных веществ, солёность, растворенный кислород, рН, окислительно-восстановительный потенциал, мутность, хлорофилл; 3) физико-химические показатели речных наносов и донных отложений: характер наносов и донных отложений, гранулометрический состав; 4) гидрохимические показатели: минеральный состав, сумма ионов, биогенные вещества, растворенный кислород, БПК₅, ПО, ХПК, содержание органического углерода; 5) планктон, фотосинтетические пигменты фитопланктона, первичная продукция фитопланктона; 6) перифитон; 7) макрофиты; 8) бентос, фито- и зообентос; 9) характеристики основных показателей экологического состояния р. Оби. Телецкое озеро: 1) гидрохимические характеристики: содержание растворенного в воде кислорода, рН, концентрации биогенных элементов (нитратного и аммонийного азота, фосфатов, кремния), макро- и микроэлементов, изотопного состава (по кислороду и дейтерию) в воде; 2) характеристики состава и количества планктона, перифитона и бентоса озера; 3) оценка качества воды по гидрохимическим и гидробиологическим показателям.

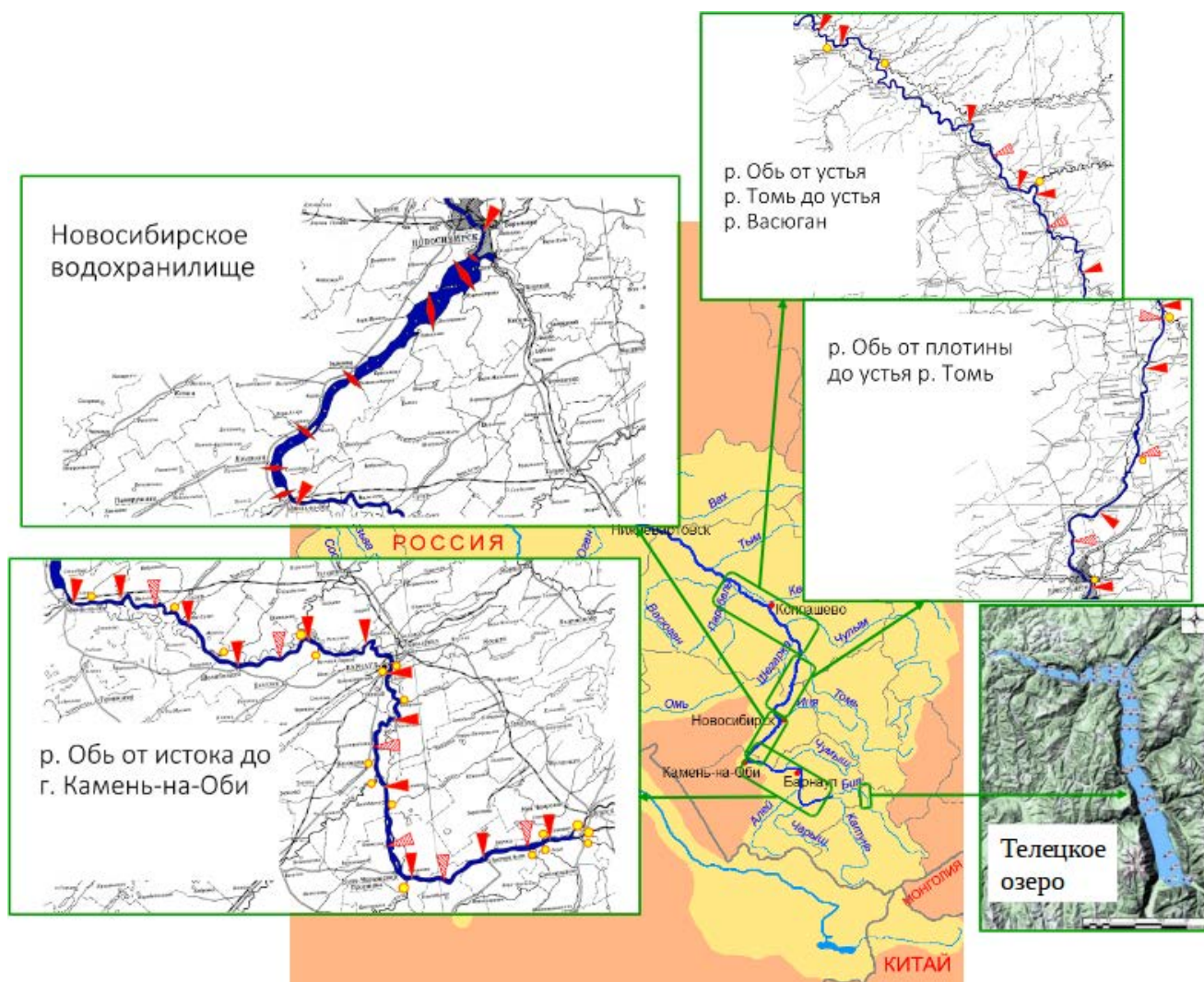


Рисунок 1. Исследованные участки бассейна р. Оби
и пункты отбора проб

В акватории р. Оби и Новосибирского водохранилища был задействован теплоход типа «Ярославец», который базируется в г. Новосибирске на Новосибирском водохранилище. На р. Оби и Новосибирском водохранилище в 2017 г. силами двух экспедиционных отрядов было проведено шесть экспедиций общей продолжительностью 94 дня, в ходе которых проведены измерения расходов и уровней воды, сделаны русловые съемки, а также выполнен отбор проб воды, донных отложений и водных сообществ (планктон, бентос, перифитон и макрофиты).

На Телецком озере использовали аналогичное судно, которое базируется на этом же озере. Всего на озере в 2017 г. силами двух экспедиционных отрядов проведено пять экспедиций общей продолжительностью 35 дней. Был осуществлен отбор проб воды, донных отложений и водных сообществ (табл. 2). Гидрологические и гидрохимические измерения проводили современными автоматическими комплексами (SonTek RiverSurveyor M9, Lowrance LMS-480, CTD-зонд SBE 25plus, YSI 6600 V2-4). Пробы отбирали и обрабатывали по стандартным гидрохимическим и гидробиологическим методикам.

Результаты исследований

Гидрологические данные. С целью усовершенствования моделей, которые используются для прогнозирования опасных гидрологических явлений и русловых процессов, выполнены детальные натурные измерения трехмерного поля скоростей речного потока (величина и направление вектора скорости на различных глубинах) на участках русла р. Оби со сложной геометрией русла (крутой изгиб русла, наличие крупных русловых форм, резкие изменения рельефа дна) в различных гидрологических условиях. На рис. 2 представлена визуализация полученных 23 мая 2017 г. данных по усредненной по глубине скорости течения р. Оби в районе г. Барнаула, а на рис. 3 – визуализация полученных данных по расчетному расходу влекомых наносов на том же участке и в это же время.

Подготовлены актуальные и согласованные данные о гидравлических характеристиках речного потока р. Оби (морфометрия русла, скорости течения, расходы воды, продольные уклоны водной поверхности, пропускная способность русловых разветвлений и пойменных проток) в условиях половодья.

Таблица 2

График работы научного флота ИВЭП СО РАН в 2017 г.

Период	Отряд (численность, чел.)	Цель
14–20 июня, 14–20 августа	Биогеохимический (10)	Сбор данных для анализа биогеохимической обстановки бассейнов рек Телецкого озера и оценка ее влияния на качество поверхностных вод
25–30 июня, 1–7 августа, 3–9 октября	Эколого-гидрологический (10)	Сбор натурных данных о состоянии экосистемы Телецкого озера, в том числе для выявления факторов формирования и развития биоценозов в озере
12–23 мая, 1–25 июня, 1–20 июля, 10–20 сентября	Гидрологический (5)	Получение современных данных о гидравлических характеристиках речного потока р. Оби в основные фазы гидрологического цикла для совершенствования методов прогнозирования опасных гидрологических явлений и последствий антропогенных воздействий на пойменно-русловой комплекс
17–30 июля, 14 августа – 2 сентября	Гидробиологический (16)	Изучение пространственной неоднородности гидрологических, гидрохимических и гидробиологических характеристик в верхнем течении крупной речной системы в период летней межени. Оценка современного экологического состояния р. Оби

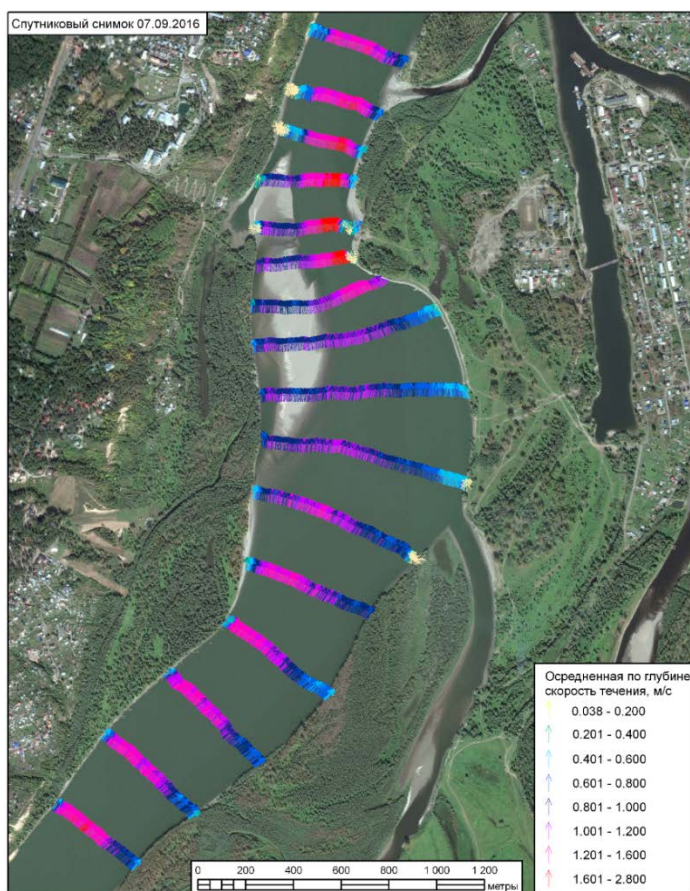


Рисунок 2. Усредненная по глубине скорость течения, м/с, р. Оби в районе г. Барнаула 23 мая 2017 г.

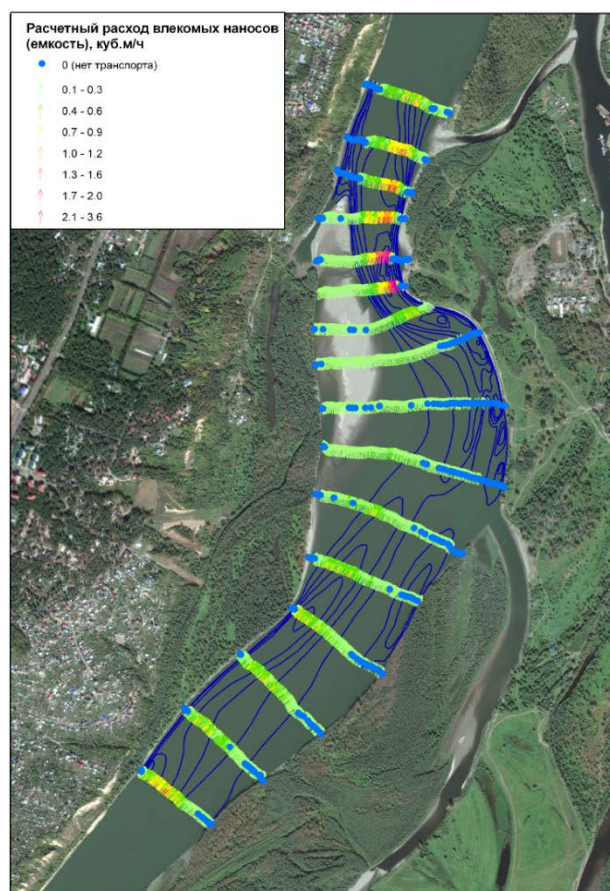


Рисунок 3. Расчетный нанос влекомых наносов, м³/ч, р. Оби в районе г. Барнаула 23 мая 2017 г.

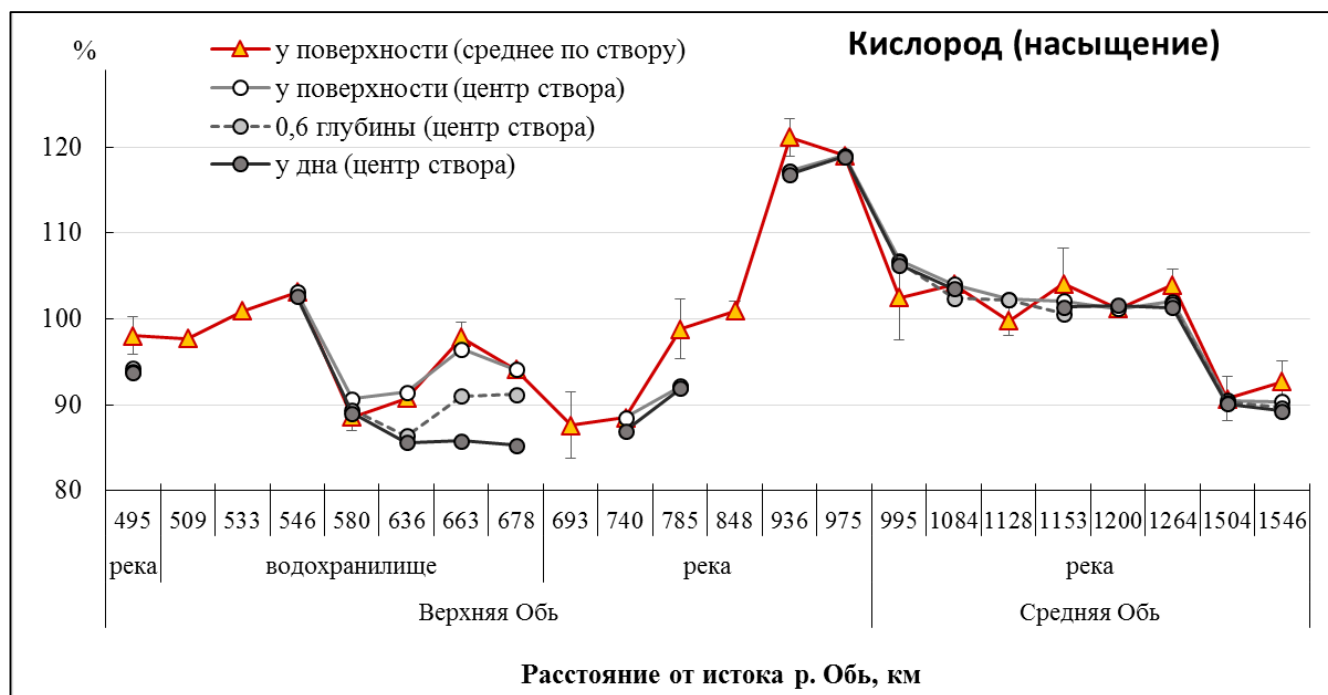
Для описания процесса замерзания Телецкого озера впервые разработаны компьютерные модели термогидродинамики (трехмерная модель) и ледотермики (плановая модель), откалиброванные с использованием натурных данных за 2010–2017 гг. В 3D-расчетах впервые выявлено наличие значительной рециркуляционной зоны в районе подводного хребта им. Софьи Лепнёвой на глубинах более 100 м. В результате вычислений установлено, что именно значительная пространственная неоднородность метеоусловий (температура воздуха и скорость ветра) существенно определяет динамику ледяного покрова.

В 2017 г. на Телецком озере были проведены натурные исследования для подтверждения гипотезы существования в нем (в районе кордона Челюш) вихревых течений. Получены предварительные данные исследований на этом участке озера. Некоторые признаки наличия вихревого течения отмечены, но требуется продолжение исследований.

Гидрохимические данные. Среди прочих гидрохимических показателей исследован кислородный режим водоемов и водотоков. На рис. 4 представлены данные по насыщению воды реки Оби кислородом вдоль по течению на протяжении более 1000 км. По данному показателю воды исследованного участка реки являются «чистыми» и «очень чистыми» — 1–2 класс качества (по шкале Росгидромета). На некоторых участках вода на всех горизонтах была перенасыщена кислородом в результате интенсивного фотосинтеза водорослей и перемешивания водных масс.

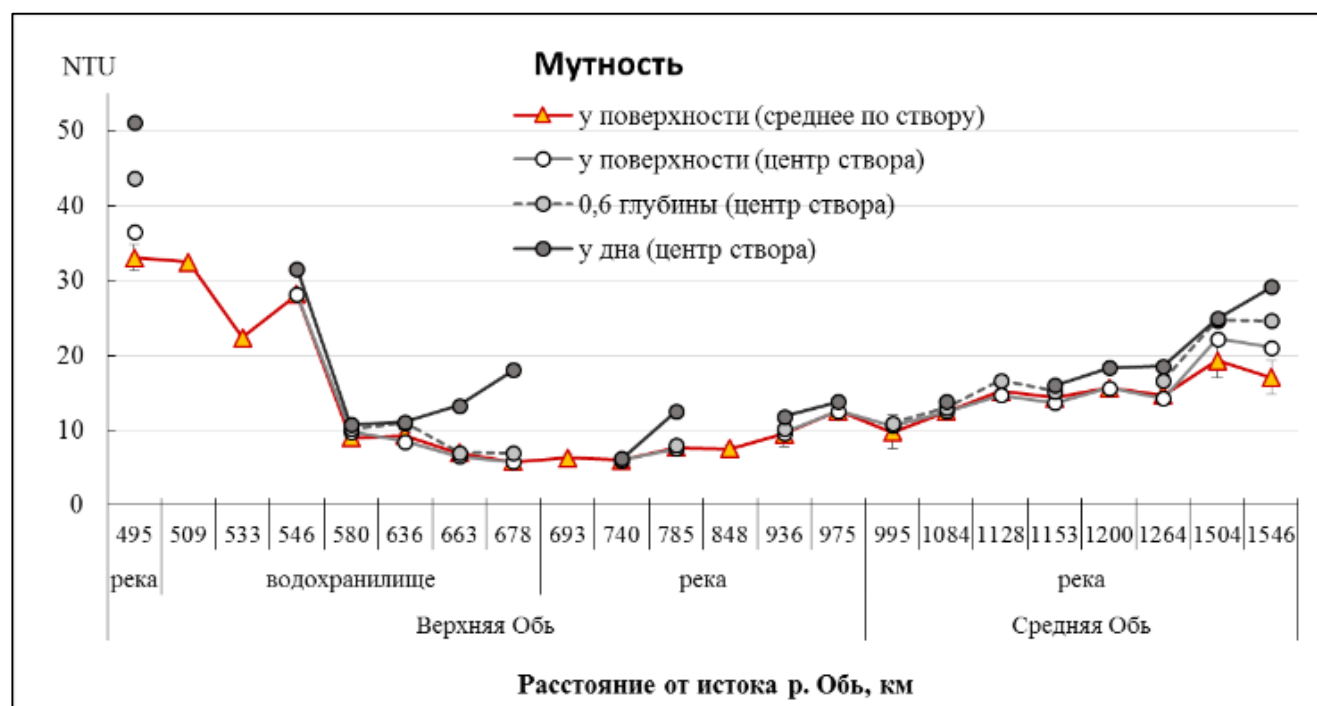
Также получены данные по мутности вод реки Оби на этом же участке. На рис. 5 хорошо заметно водоочистительное влияние Новосибирского водохранилища.

Проведен анализ качества воды левобережных и правобережных притоков Телецкого озера по основным гидрохимическим показателям, например по величине минерализации вод. Анализ химического состава воды и взвешенных веществ притоков озера



▲ Рисунок 4. Насыщение воды р. Оби кислородом летом 2017 г., %

▼ Рисунок 5. Мутность воды р. Оби летом 2017 г., NTU



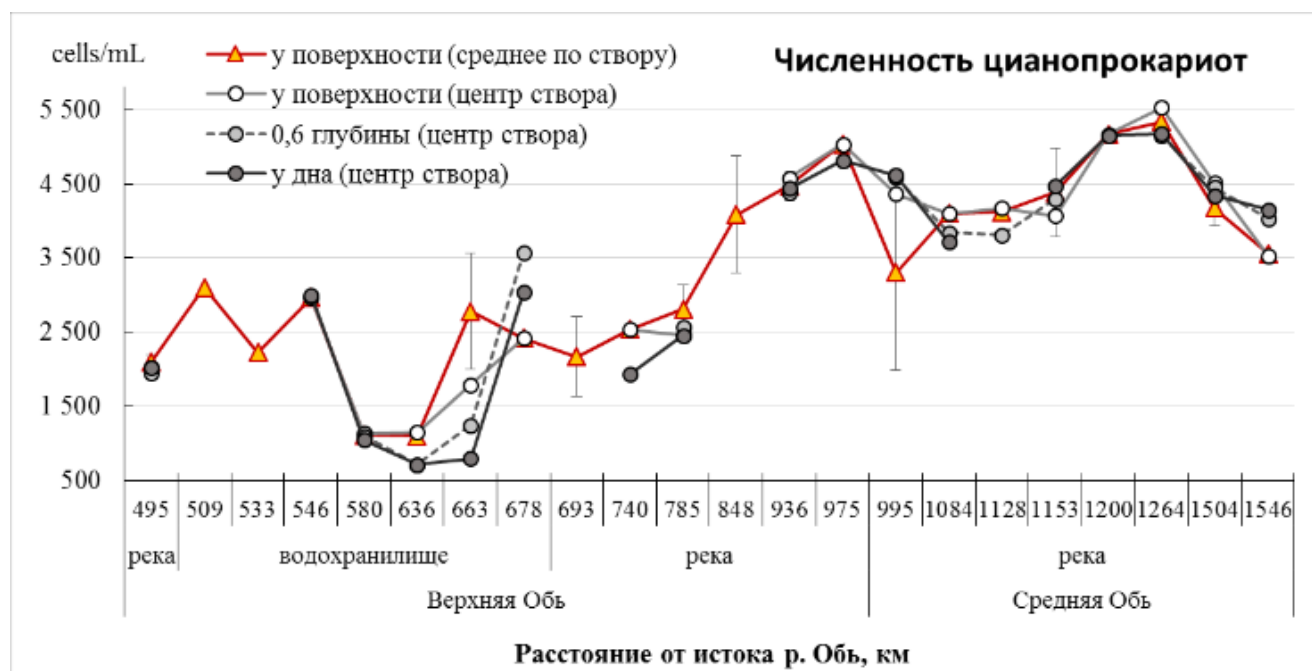


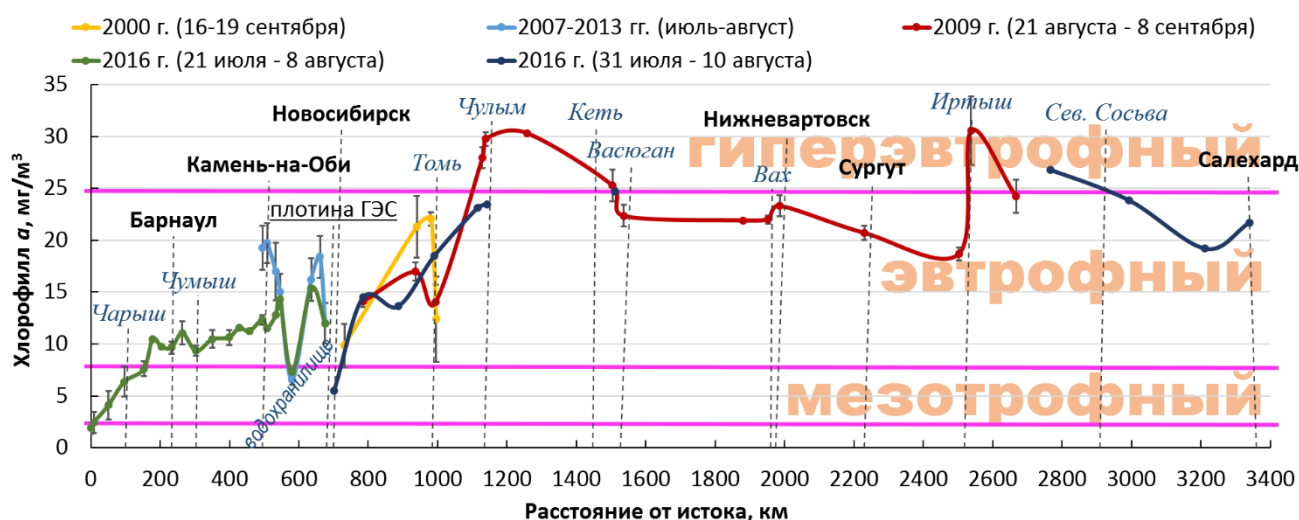
Рисунок 6. Численность цианопрокариот в р. Оби летом 2017 г., клеток/мл

в 2017 г. свидетельствует о высокой степени чистоты этих водотоков. Гидрохимические показатели этих притоков соответствуют особенностям геохимических условий в их водосборных бассейнах, для которых характерна высокая степень сохранности естественных ландшафтов. Содержание радионуклидов в почвах бассейнов притоков Телецкого озера и в донных отложениях соответствует фоновому уровню.

Рисунок 7. Содержание хлорофилла *a* в р. Оби от истоков до устья, мг/м³

Гидробиологические данные. Среди прочих водных сообществ изучен фитопланктон р. Оби, Новосибирского водохранилища и Телецкого озера. В частности, на рис. 6 представлена численность сине-зеленых водорослей (цианопрокариот) – чувствительных индикаторов содержания в воде органических загрязняющих веществ – вдоль по течению исследованного участка р. Оби.

Обобщение данных изучения гидробиологического режима р. Оби показало, что максимумы содержания хлорофилла *a* (индикатора развития фитопланктона) обусловлены загрязнением на участках ниже поступления стоков г. Новосибирска и ниже впадения р. Томи, а также впадением крупнейших притоков – Чулыма и Иртыша (рис. 7). Минимумы наблюдаются в средней части



зарегулированного участка реки, а также под влиянием притоков с заболоченными водосборами (Кеть, Ва-сюган). В целом в реке Оби практически на всем протяжении поддерживается высокий уровень развития фитопланктона, что указывает на высокий трофический статус и самоочищающую способность реки [5, 6].

На 2018 г. запланировано расширение исследований в Обском бассейне по теме «Комплексные гидроэкологические исследования в бассейне реки Оби». В частности, планируется более подробно исследовать пойменные водоемы на участках Верхней, Средней и Нижней Оби (до пос. Карымкары). Будет продолжено комплексное изучение экосистемы Телецкого озера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пузанов А.В., Безматерных Д.М., Винокуров Ю.И., Кириллов В.В., Зиновьев А.Т., Рождественская Т.А., Котовщиков А.В., Дьяченко А.В. Оценка современного экологического состояния реки Оби // Экологический риск: Матер. IV Всерос. науч. конф. с междунар. участ. (г. Иркутск, 18–21 апреля 2017 г.). Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2017. С. 49–51.
2. Пузанов А.В., Безматерных Д.М., Винокуров Ю.И., Зиновьев А.Т., Кириллов В.В., Котовщиков А.В., Красноярова Б.А., Рыбкина И.Д., Дьяченко А.В. Современное состояние водных ресурсов и водохозяйственного комплекса Обь-Иртышского бассейна // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: тр. III Всерос. науч. конф. с междунар. участ. (28 августа – 1 сентября 2017 г., Барнаул): в 4 т. Барнаул, 2017. Т. 1. С. 3–16.
3. Пузанов А.В., Безматерных Д.М., Кириллов В.В. Программа научных исследований по оценке и прогнозу состояния экосистемы Телецкого озера (Республика Алтай) // Байкал как участок Всемирного природного наследия: 20 лет спустя: Матер. междунар. науч.-практ. конф. (Улан-Удэ, 26–30 июля 2017 г.). Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2017. С. 205–208.
4. Пузанов А.В., Безматерных Д.М., Винокуров Ю.И., Кириллов В.В., Зиновьев А.Т. Современное состояние, экологические проблемы и перспективы изучения Телецкого озера (Республика Алтай) // Озера Евразии: проблемы и пути их решения. Матер. 1-й Междунар. конф. (11–15 сентября 2017 г.). Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2017. С. 137–144.
5. Пузанов А.В., Безматерных Д.М., Винокуров Ю.И., Зиновьев А.Т., Кириллов В.В., Котовщиков А.В., Красноярова Б.А., Рыбкина И.Д. Современное экологическое состояние Обь-Иртышского бассейна // Водные ресурсы: новые вызовы и пути решения: сб. науч. тр. Всерос. науч. конф. с междунар. участ. (Сочи, 2–7 октября 2017 г.). Новочеркасск: Лик, 2017. С. 105–110.
6. Пузанов А.В., Безматерных Д.М., Винокуров Ю.И., Зиновьев А.Т., Кириллов В.В., Красноярова Б.А., Рыбкина И.Д., Котовщиков А.В., Дьяченко А.В. Современное состояние и экологические проблемы Обь-Иртышского бассейна // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2017. № 6. С. 106–118.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В 2017 г.

**В.А. Селезнев*, В.В. Жариков, А.В. Рахуба,
Ю.М. Ротарь, Н.Г. Тарасова, О.В. Мухортова,
М.В. Уманская, Н.Г. Шерешева, Т.Н. Буркова,
Л.Г. Тихонова, Е.С. Кривина, А.В. Селезнева,
К.В. Беспалова, А.А. Кириллов, Н.Ю. Кириллова,
Е.В. Шемонаев, Е.В. Кириленко**

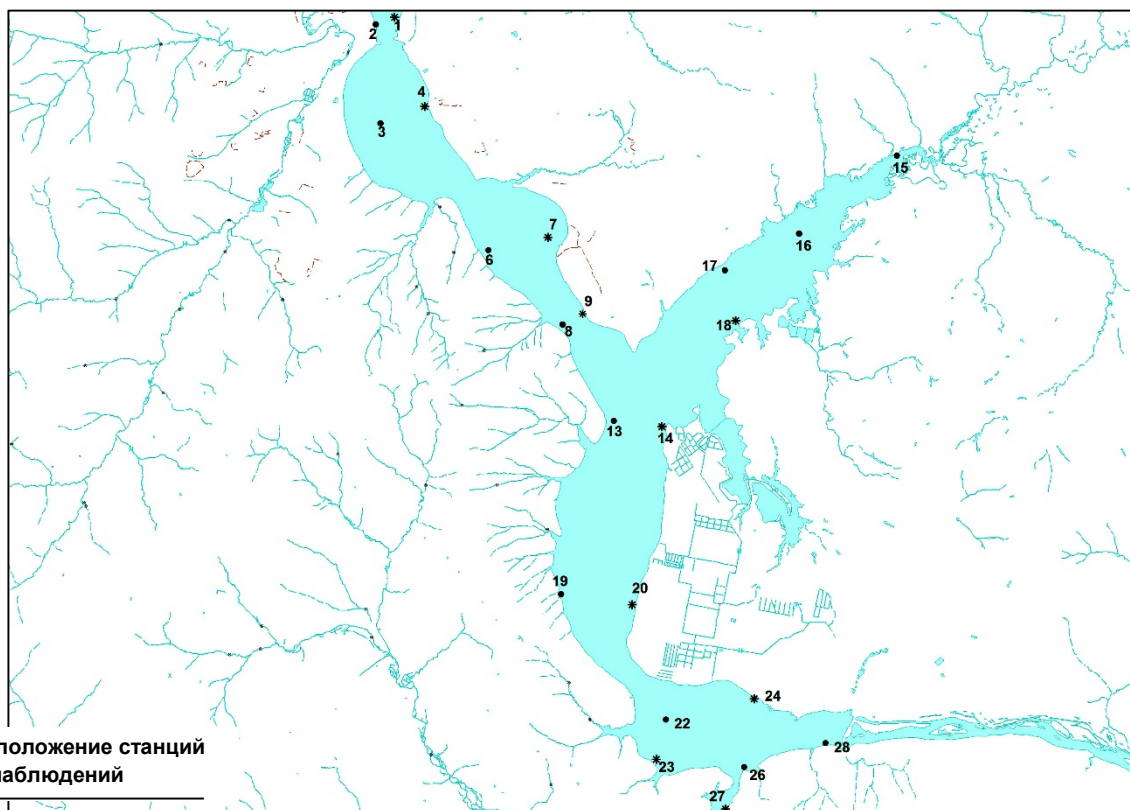
Институт экологии Волжского бассейна РАН

*e-mail: seleznev53@mail.ru

В 2017 г. на научно-исследовательском судне «Биолог» проведено две экспедиции по Куйбышевскому водохранилищу. Первая экспедиция продолжалась с 21 по 30 июня, вторая – с 25 июля по 3 августа.

Работы выполнялись на 28 станциях (рис. 1). Одновременно осуществлялись береговые наблюдения на притоках Саратовского водохранилища. Основная цель водной экспедиции – сравнительная оценка экологического состояния и качества воды Куйбышевского водохранилища до и после массового развития сине-зеленых водорослей.

Исследования проводились в соответствии с программой ФНИ государственных академий наук на 2013–2020 гг. по направлению 137 «Эволюция окружающей среды и климата под воздействием природных и антропогенных факторов, научные основы рационального природопользования и устойчивого развития; территориальная организация хозяйства и общества».



**Рисунок 1. Расположение станций
комплексных наблюдений**

В экспедиционных работах принимали участие четыре лаборатории ИЗВБ РАН (мониторинга водных объектов, экологии простейших и микроорганизмов, популяционной экологии и экологии малых рек). Собранный материал находится в стадии обработки, поэтому здесь приводятся фрагментарные результаты исследований.

В 2017 г. на водохранилище сложились необычные гидрологические условия, когда в июле **средний** месячный расход воды составил $14144 \text{ м}^3/\text{с}$ при норме $6473 \text{ м}^3/\text{с}$. Столь значительные расходы воды нехарактерны для июля и обусловили повышенные скорости течения в русловой части водохранилища.

Поверхностная температура воды изменялась в июне в пределах $16,4\text{--}21,0^\circ\text{C}$, а в июле – $21,8\text{--}27,8^\circ\text{C}$. Наиболее прогретыми участками были мелководная пойма, заливы и устья боковых притоков. Пространственно-временная изменчивость температуры и течения воды оказали влияние на развитие процесса

цветения воды. В качестве иллюстрации на рис. 2 показано распределение биомассы фитопланктона (по хлорофиллу) в июне и июле. Площадь цветения воды в июле существенно расширилась, а максимальная концентрация хлорофилла *a* в Черемшанском заливе составила $17\text{--}134 \text{ мкг}/\text{дм}^3$.

В формировании фитопланктона основную роль играли отделы зеленых, диатомовых и сине-зеленых водорослей. В июле численность и биомасса фитопланктона были значительно меньше, чем в июне. Возросла роль сине-зеленых водорослей. При этом на пойме вклад сине-зеленых водорослей в формирование этого показателя значительно выше, чем на русле. Основная роль в формировании показателей количественного развития водорослей принадлежала сине-зеленым водорослям, с заметным участием на отдельных участках диатомовых и зеленых.

В пик цветения воды (июль) особую тревогу вызывает органическое загрязнение водохранилища (рис. 3).

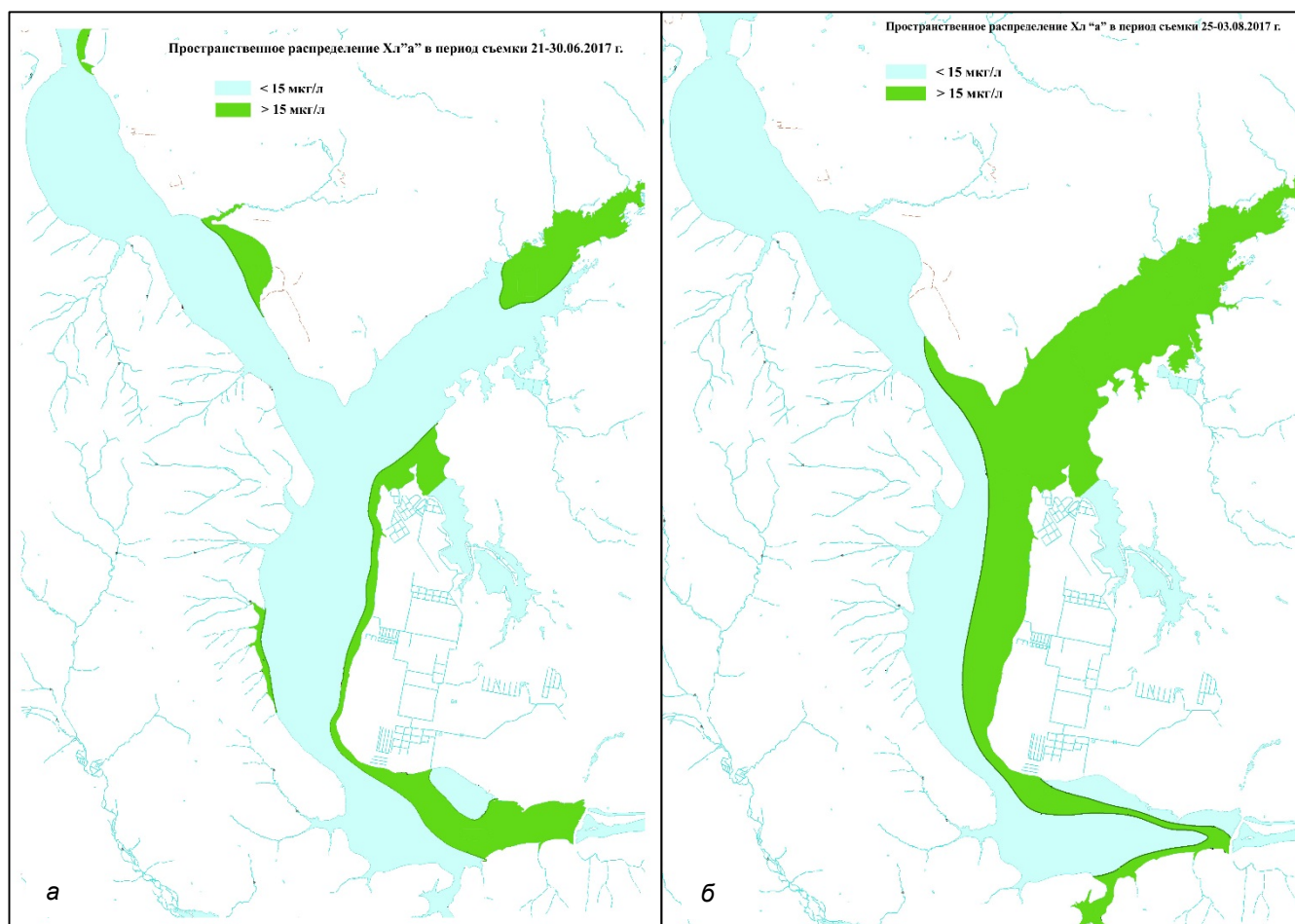


Рисунок 2. Концентрация хлорофилла в июне (а), в июле (б) 2017 г.

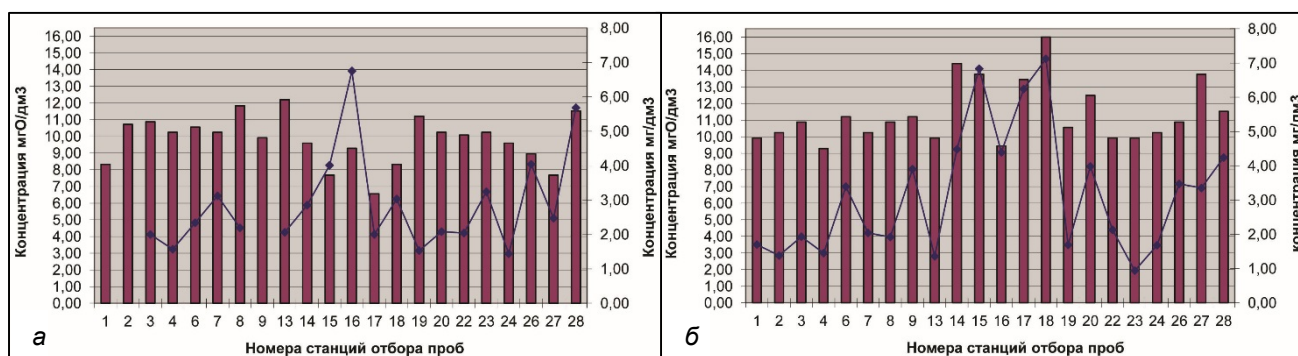


Рисунок 3. Концентрация БПК и ПО в июне (а) и июле (б) 2017 г.

Чрезмерные концентрации перманганатной окисляемости (ПО) и БПК обусловлены увеличением количества автохтонного органического вещества в результате интенсивного развития фитопланктона.

В Куйбышевском водохранилище выявлено 33 вида зоопланктона, из них Rotifera – 11 видов, Cladocera – 14, Calanoida – 2. Кроме того, регулярно встречались велигеры моллюска *Dreissena*. По видовому составу зоопланктона в русле и пойме водохранилища преобладали ракообразные (Cladocera – 42 % и Copepoda – 24 %), затем коловратки (Rotifera – 33 %). В целом русло, пойма и устье рек водохранилища характеризовались высокой численностью и биомассой зоопланктона.

Общая численность бактерий в июне – июле изменялась от 0,78 до 9,56 млн кл/мл. Максимальное количество бактерий в оба месяца было зафиксировано на станциях Черемшанского залива. Численность бактерий была несколько ниже на русловых станциях, чем на пойменных. Значимых сезонных различий в уровне развития бактериопланктона в июне и июле не обнаружено.

Общая численность бактериобентоса в наилках в зависимости от типа донных отложений составляла $(0,6–13,8) \cdot 10^9$ кл/мл ила, на поверхности грунта – $(3,7–17,6) \cdot 10^9$ кл/мл ила. В пространственном распределении бактериобентоса в наилке и на поверхности донных отложений выявлены общие тенденции: увеличение численности бактерий вдоль продольного профиля от Ульяновского плеса к Приплотинному плесу и численное превосходство бактериобентоса в твердой фазе отложений по сравнению с наилком.

В качественном составе сообщества инфузорий в июне и июле наблюдается полное отсутствие

гистофагов рода *Coleps*, которые в тот же период 1989–1990 гг. присутствовали в 70 % всех станций. Доминирующим видом в сообществе инфузорий в июне является бактерио-детритофаг *Epistylis procumbens*. При этом количественное развитие этого вида достигает в среднем 390 тыс.экз./м³ (максимум 1360 тыс. экз./м³). За всю историю наблюдений (1972–2016 гг.) такая степень количественного развития и доминирования одного вида никогда не встречалась в столь массовом количестве проб. Июль также отличается аномальными явлениями – отсутствием инфузорий на русловых участках всех плесов и их низкой средней численностью в пойменных участках. Такая численность инфузорий уступает даже их численности в октябре в 1989–1990 гг (47 и 36 тыс. экз./м³ соответственно).

Проведены наблюдения за динамикой заражения озерных лягушек в протоке Студенка Саратовского водохранилища (Мордовинская пойма, Самарская Лука) в мае – октябре 2016 и 2017 гг. в зависимости от гидрологического режима водоема. Установлено, что резкие изменения гидрологического режима водоема оказали существенное влияние на инвазию озерных лягушек нематодой *S. ornata* и численность паразита в исследуемом водоеме.

Проведено комплексное обследование р. Подстепновки. Ширина русла составляет 5–75 м, преобладающие глубины – 2–3 м. На момент обследования (12:00 18.07.2017 г.) температура воды в поверхностном горизонте – 24,7 °С. Речная вода имеет запах сероводорода. Цветность воды составляет 82 градуса. Содержание растворенного кислорода в поверхностном горизонте составляет 5,2 мгО/дм³, а в придонном горизонте – 1,3 мгО/дм³. Впервые установлен по уловам мальковой волокушей следующий состав рыбного населения: ротан-головешка, щука и красноперка, – что характеризует бедность ихтиофауны.

ИТОГИ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭКОСИСТЕМ КАСКАДА ВОЛЖСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ В 2017 г.

**Ю.В. Герасимов*, М.И. Малин, Ю.И. Соломатин,
Д.Б. Косолапов, В.И. Лазарева, Р.З. Сабитова,
Е.А. Соколова, С.Н. Перова, К.Г. Пряничникова,
А.С. Соколова, И.И. Томилина, Р.А. Ложкина,
А.И. Цветков, Л.Г. Корнева**
Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН

*e-mail: gu@ibiw.yaroslavl.ru

В 2017 г. обследованы водохранилища Волги (Иваньковское, Угличское, Рыбинское, Шекснинское, Горьковское, Чебоксарское, Куйбышевское, Саратовское, Волгоградское) и незарегулированный участок Нижней Волги. В экспедиции участвовали сотрудники семи лабораторий ИБВВ РАН: гидрологии и гидрохимии, микробиологии, альгологии, экологии водных беспозвоночных, физиологии и токсикологии, экологической паразитологии и экологии рыб. Проведено комплексное исследование состояния экосистем девяти водохранилищ бассейна Волги. Выполнен сбор гидрофизической, гидрохимической и биологической информации. Собран значительный объем проб, часть которых еще находится в стадии обработки. Ниже приводятся предварительные результаты исследований.

В течение последних 40 лет на Волге отмечается увеличение стока в зимний период года. Основная причина – климатические изменения, которые оказывают значительное влияние на внутригодовое распределение стока. Причиной роста водности рек зимой является как увеличение количества осадков, так и рост повторяемости зимних оттепелей. По показателям притока 2017 г. стал самым многоводным за весь период наблюдения вследствие зимних и летних обильных осадков (рис. 1).

Исследования термической структуры и кислородного режима 11 водохранилищ Волго-Камского каскада летом 2015–2016 гг. показали, что прогрев поверхности воды чаще всего превышал среднегодовое значения на 1,5–6 °С. Несколько выше температура воды была во всех водохранилищах летом 2016 г. Еще выше температура воды оказалась в августе 2017 г. (рис. 2).

В 2015–2016 гг. недостаток кислорода регистрировали только на границе вода – грунт на единичных участках Горьковского и Куйбышевского водохранилищ. Опасно низкое для животных содержание O_2 (< 5 мг/л) зарегистрировано в августе 2015 г. в Иваньковском и Угличском водохранилищах, а в августе 2016 г. – в пяти водохранилищах: Иваньковском, Угличском, Рыбинском, Камском и Воткинском (табл. 1). При высоком прогреве вод (август 2016 г.) выявлено формирование анаэробных условий в гипolimнии самых глубоких участков водохранилищ вблизи плотин ГЭС, а в верховье некоторых водоемов (Иваньковском и Угличском) низкое содержание O_2 наблюдалось во всем столбе воды, при этом протяженность таких участков составляла от 35 до более 200 км русла Волги. Однако в 2017 г. при значительно более высоком прогреве воды (рис. 2) отмечено заметное (в 2–4 раза) уменьшение участков с дефицитом O_2 (табл. 2). Основной причиной этого, по-видимому, стала более высокая проточность, наблюдаемая в водохранилищах Волжского каскада в 2017 г. (см. рис. 1).

В конце лета 2017 г. в шести водохранилищах Волги и на незарегулированном участке в ее низовьях радиоуглеродным методом определяли первичную продукцию фитопланктона (P_{PHY}) и продукцию гетеротрофного бактериопланктона (P_{BAC}).

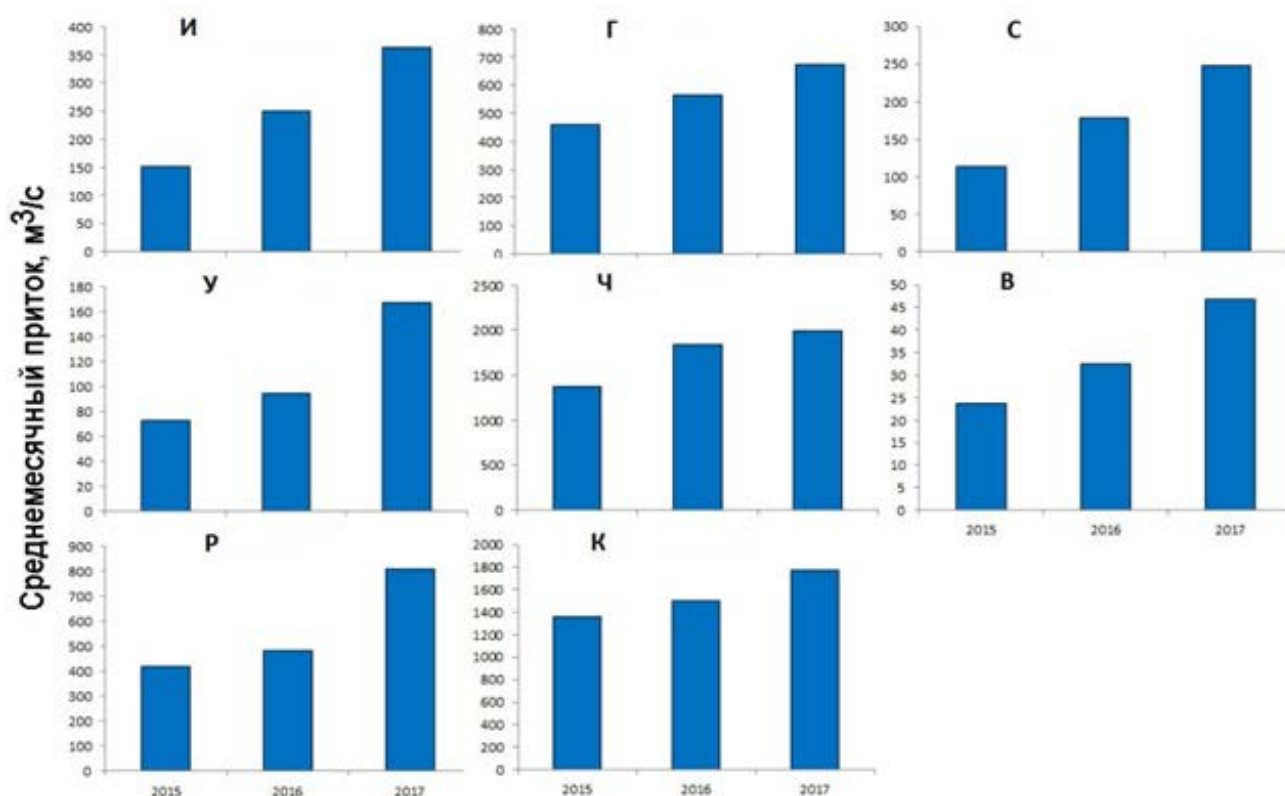
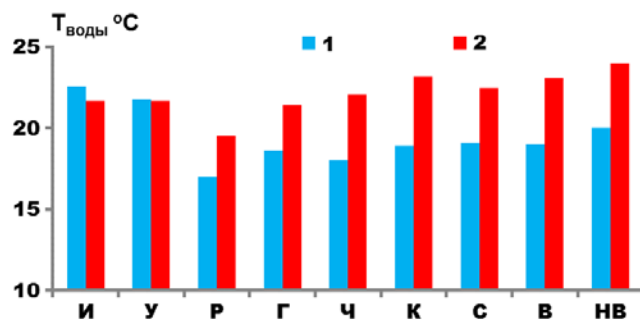


Рисунок 1. Изменения среднемесячного общего притока в водохранилища Волжского каскада 2015–2017 гг. (м³/с) по данным Центра регистра и кадастра Росгидромета (URL: <http://gis.vodinfo.ru>).

Водохранилища: И – Иваньковское, У – Угличское, Р – Рыбинское, Г – Горьковское, Ч – Чебоксарское, К – Куйбышевское, С – Саратовское, В – Волгоградское

Рисунок 2. Температура воды в волжских водохранилищах в августе 2015 (1) и 2017 (2) гг.

Водохранилища: И – Иваньковское, У – Угличское, Р – Рыбинское, Г – Горьковское, Ч – Чебоксарское, К – Куйбышевское, С – Саратовское, В – Волгоградское, НВ – незарегулированная Волга



В исследуемый период отношение продукции бактериопланктона к продукции фитопланктона было высоким и в среднем составляло 92 %. В Куйбышевском и Саратовском водохранилищах и низовьях Волги бактериальная продукция в среднем даже превышала продукцию фитопланктона (рис. 3). Это свидетельствует о том, что бактерии активно перерабатывают органические вещества, образовавшиеся в период летнего максимума в развитии фитопланктона и поступившие из других источников, прежде всего с водосборной площади, что также указывает на влияние более высокой проточности, наблюдаемой в водохранилищах Волжского каскада в 2017 г.

При проведении этих исследований было идентифицировано 60 видов и форм жгутиконосцев из 10 крупных таксонов и группы неопределенного систематического положения. Наибольшее число видов зарегистрировано в Куйбышевском и Чебоксарском водохранилищах (36 и 33 вида соответственно), наименьшее – в Саратовском и Волгоградском (по 18 видов).

Доминирующими группами по числу видов флагеллят были Chrysomonadida, Choanoflagellida (по 11 видов) и Cercomonadida (10 видов).

Таблица 1

**Встречаемость и мощность слоя над дном с дефицитом O₂ в водохранилищах Волги
в августе 2015–2016 гг.**

Показатель	Водохранилища Волги (сверху вниз*)								
	И	У	Р	Г	Ч	К	С	В	НВ
O ₂ < 5 мг/л, % станций	90	90	30	15	0	< 5	0	0	0
O ₂ < 2 мг/л, % станций	55	70	10	10	0	< 5	0	0	0
Слой над дном O ₂ < 5 мг/л, м	2–9	5–9	1–8	1–16	нет	~1	нет	нет	нет
Слой над дном O ₂ < 2 мг/л, м	1–8	1–3	4–5	~1	нет	~1	нет	нет	нет

* Водохранилища: И – Ивановское, У – Угличское, Р – Рыбинское, Г – Горьковское, Ч – Чебоксарское, К – Куйбышевское, С – Саратовское, В – Волгоградское, НВ – незарегулированная Волга

Таблица 2

**Встречаемость и мощность слоя над дном с дефицитом O₂ в водохранилищах Волги
в августе 2017 г.**

Показатель	Водохранилища Волги (сверху вниз*)								
	И	У	Р	Г	Ч	К	С	В	НВ
O ₂ < 5 мг/л, % станций	20	22	7	0	0	0	0	0	0
O ₂ < 2 мг/л, % станций	0	22	0	0	0	0	0	0	0
Слой над дном O ₂ < 5 мг/л, м	1	2-3	2	нет	нет	нет	нет	нет	Нет
Слой над дном O ₂ < 2 мг/л, м	нет	1	нет	нет	нет	нет	нет	нет	Нет

*Обозначения аналогично табл. 1.

Кластерный анализ биоценотического сходства (эвклидово расстояние) показал, что все исследованные водоемы по видовому составу флоры объединились в две группы, имеющие сходный набор видов. В первую входят Саратовское и Волгоградское водохранилища, а также незарегулированный участок, расположенные в регионе Нижней Волги; во вторую – расположенные севернее Горьковское, Чебоксарское и Куйбышевское водохранилища. Эти два кластера значительно различаются между собой.

Проведенная в 2015–2016 гг. комплексная оценка эколого-токсикологического состояния воды и донных отложений волжских водохранилищ с использованием методов биотестирования и химического анализа по-

казала, что загрязнение воды и донных отложений носит локальный характер. Уменьшение содержания общих форм металлов в донных отложениях свидетельствует о постепенном очищении реки Волги за последние 20–30 лет. Несмотря на это, токсическая нагрузка на экосистемы водохранилищ Волги в целом сохраняется. Результаты исследований показали, что токсичность донных отложений для всех водохранилищ выше, чем для природной воды. Это же подтвердилось и в 2017 г. (табл. 3).

Результаты биотестирования указывают на повышенное загрязнение воды Ивановского, Угличского и Горьковского водохранилищ и цельного грунта Ивановского, Рыбинского, Горьковского, Саратовского

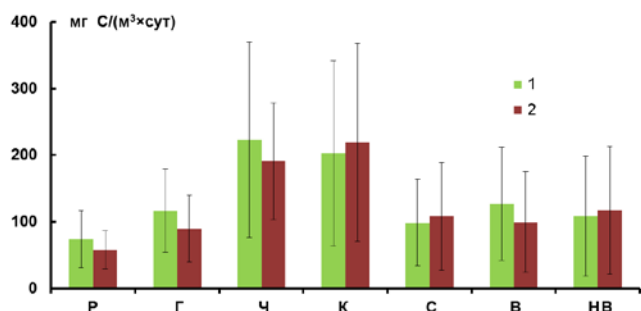


Рисунок 3. Первичная продукция фитопланктона (1) и продукция гетеротрофного бактериопланктона (2) в водохранилищах Волги в августе 2017 г. Обозначения аналогично рис. 2

и Волгоградского водохранилища. Доля станций, на которых зарегистрирована хроническая токсичность, превысила 50 %.

По результатам исследований 2017 г. отмечено повышение доли станций, на которых зарегистрирована хроническая токсичность воды, и некоторое снижение доли станций, на которых зарегистрирована хроническая токсичность донных отложений (табл. 3). Причиной этого может служить более высокая водность и, соответственно, проточность, наблюдаемая в водохранилищах Волжского каскада в 2017 г. В результате её влияния в воду водохранилищ с большей интенсивностью поступают загрязняющие вещества с водосбора, а также в результате вторичного загрязнения при размыве донных отложений.

В составе фитопланктона водохранилищ Волги в летний период 2017 г. обнаружено 360 видов, разновидностей и форм, 287 и 263 соответственно.

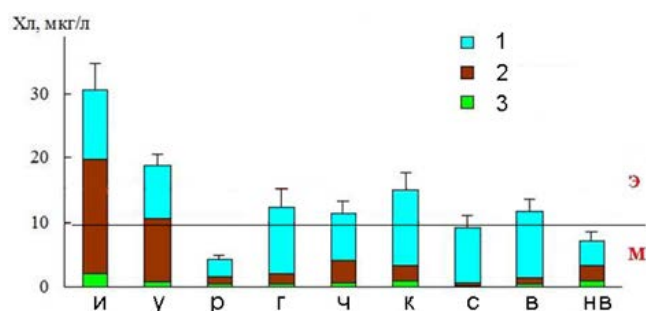


Рисунок 4. Содержание пигментов в воде водохранилищ Волги в августе 2017 г.: 1 – сине-зеленые, 2 – диатомовые, 3 – зеленые. Обозначения водохранилищ аналогично рис. 2

Наибольшим видовым богатством отличались зеленые водоросли, что свойственно водоемам умеренной зоны.

Биомасса фитопланктона достигала значений, характерных олиго-мезотрофным водам. В конце весны – начале лета (июнь) доминировали, как обычно, диатомовые, в разгар лета (август) – цианобактерии. Летом 2017 г. содержание основного фотосинтетического пигмента хлорофилла *a* в воде водохранилищ Волжского каскада было невысоким и в основном достигало значений, характерных для мезотрофных – слабоэвтрофных вод (рис. 4). Максимальная концентрация хлорофилла обнаружена в Ивановском и Угличском водохранилищах, что свойственно наиболее продуктивным эвтрофным водам. Средняя для водохранилищ концентрация хлорофилла *a* с феопигментами в донных отложениях уменьшалась вниз по течению Волги (рис. 5), что соответствует данным исследований 2015–2016 гг.

Таблица 3

Доля станций (%) с хронической токсичностью при биотестировании воды и донных отложений в 2015–2017 гг.

Водохранилища	Доля станций, %					
	вода			донные отложения		
	2015	2016	2017	2015	2016	2017
Ивановское	36,4	100	54,5	72,7	90,9	66,7
Угличское	11,1	11,1	55,5	100	100	30,0
Рыбинское	85,7	47,4	-	92,9	84,2	90,0
Горьковское	40	38,5	58,3	73,3	15,4	66,7
Чебоксарское	18,2	20,0	40	63,6	100	44,4
Куйбышевское	57,1	20,0	40	100	87,5	46,2
Саратовское	36,4	0	50	83,3	66,7	66,7
Волгоградское	-	36,4	36,4	-	62,5	72,7
Незарегулированная Волга	-	42,9	60	-	78,5	63,6
Среднее	33	34	49	84	76	61

Летом 2017 г. впервые в фитопланктоне Горьковского, Чебоксарского, Куйбышевского водохранилищ, реке Оке и на незарегулированной части нижней Волги обнаружен представитель рафидофитовых водорослей *Gonyostomum semen* (Ehr.) Diesing. (рис. 6), который ранее обнаруживался только в водохранилищах р. Камы.

Этот вид, обладающий смешанным типом питания (автотрофия и фаготрофия), – обитатель водоемов с высокой концентрацией аллохтонного органического вещества и бактериопланктона. Высокая концентрация аллохтонного органического вещества, поступившего с водосборной площади, и повышенная биомасса бактериопланктона в воде водохранилищ в 2017 г. (рис. 3) стали причиной расширения ареала обитания данного организма в водохранилищах Волги.

Зоопланктон водохранилищ представлен в основном мелкими (0,1–2,5 мм) животными, которые относятся к двум трофическим уровням: фильтраторы и хвататели – потребители фитопланктона, бактерий и детрита, и факультативные и облигатные хищники – потребители мелких организмов зоопланктона.

Количество зоопланктона в августе 2017 г. было максимально в водохранилищах Верхней Волги (как и ранее). Отмечен большой биосток из Верхней Волги в Среднюю, вызванный повышенным стоком, наблюдаемым в 2017 г.

В 2017 г. изменилась структура сообщества в Средней Волге. Это вызвано большим биостоком из водоемов Верхней Волги, состоящим из организмов планктона. С этим связано увеличение доли кладоцер в 1,5–3 раза в Чебоксарском и Куйбышевском водохранилищах, по сравнению с данными 2015 г. (рис. 7).

По результатам экспедиции ИБВВ РАН в 2015–2016 гг. были обнаружены новые местообитания пяти



Рисунок 6. Представитель рафидофитовых водорослей *Gonyostomum semen* (Ehr.) Diesing

видов зоопланктона (*Calanipeda aquaedulcis*, *Eurytemora caspica*, *Latona setifera*, *Cornigerius maeoticus* и *Cercopagis pengoi*), наибольшее их количество выявлено в Куйбышевском водохранилище. Было отмечено значительное расширение на север ареала Понто-Каспийских кладоцер *Cornigerius maeoticus* и *Cercopagis pengoi*. Впервые выявлено массовое развитие средиземноморской копеподы *Calanipeda aquaedulcis* в Куйбышевском водохранилище и зарегистрирована высокая ее встречаемость в Саратовском. Обнаружено присутствие в волжских водохранилищах *Eurytemora caspica* – нового вида, описанного из дельты Волги и Каспия.

В 2017 г. в Средней Волге найдено в 1,5 раза меньше, по сравнению с 2015–2016 гг., каспийских вселенцев, полностью отсутствовали хищные кладоцеры (рис. 8). Хотя сравнительно высокая температура воды в 2017 г. способствовала их развитию. Северная граница их распространения в 2017 г. находилась ниже устья Камы, хотя ранее (2015–2016 гг.) они поднимались по Волге почти до Казани, по Каме – до Набережных Челнов. Причина уменьшения района их распространения – снос планктонных организмов увеличившимся стоком сверху по Волге и Каме в 2017 г.

Рисунок 5. Содержание пигментов в донных отложениях водохранилищ Волги в августе 2017 г. Обозначения аналогично рис. 2

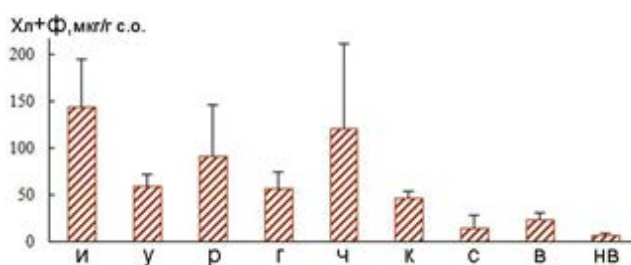


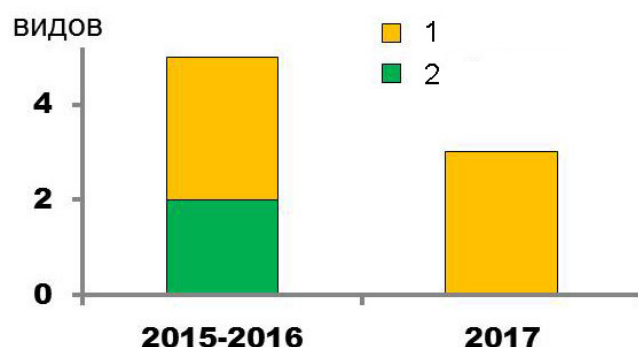
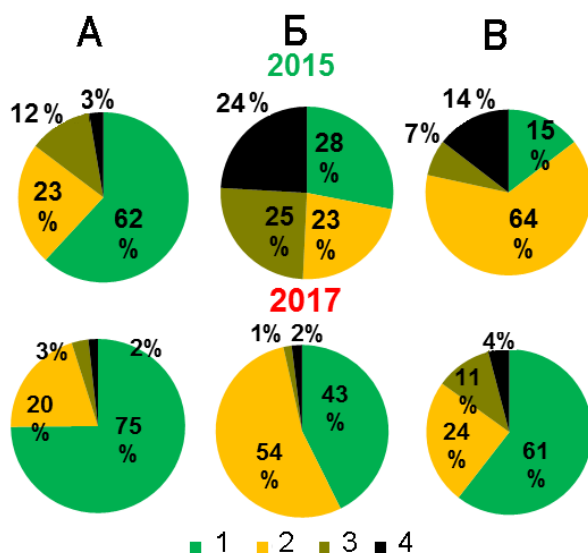
Рисунок 8. Распространение в Средней Волге планктонных видов-вселенцев из Каспия в 2017 г.: 1 – копеподы, 2 – кладоцеры

Наибольшие значения числа видов, численности и биомассы макрозообентоса зафиксированы в Рыбинском водохранилище. Отмечена тенденция снижения этих показателей вверх и вниз по каскаду, минимум выявлен в Саратовском водохранилище (рис. 9).

В бентосе водохранилищ Верхней Волги доминируют олигохеты и личинки хирономид, в Средней Волге растет роль моллюсков, полихет и ракообразных, в Нижней Волге основную долю бентоса составляли рачки гаммариды.

В Угличском и Ивановском водохранилищах отмечен рост численности полиморфной дрейссены без изменений встречаемости дрейссенид в макробентосе (рис. 10). Значительную часть составляли сеголетки и молодые моллюски. Зарегистрирован рост численности бугской дрейссены в Волжском и Главном плесах Рыбинского водохранилища. Отмечено стабильное обилие и встречаемость дрейссенид в Горьковском и Куйбышевском водохранилищах. В 2017 г. произошло резкое снижение численности бугской дрейссены в Чебоксарском и Саратовском водохранилищах. Возможно, это связано с улучшением кислородного режима в придонном слое воды, обусловленным повышенным водообменом по русловым участкам водохранилищ.

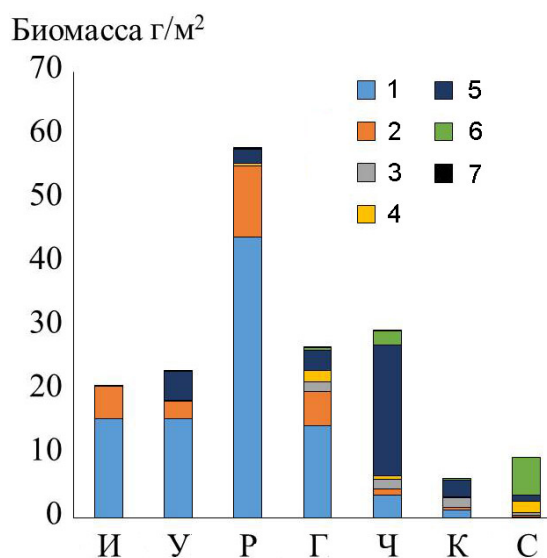
Рисунок 7. Структура зоопланктона водохранилищ Волги в 2015 и 2017 гг.: 1 – кладоцеры, 2 – копеподы, 4 – колесовики, 5 – велиеры дрейссенид. Водохранилища: А – Рыбинское, Б – Горьковское, В – Чебоксарское



В 2017 г. были исследованы иммуно-биохимические показатели дрейссенид: содержание иммунных комплексов, малонового диальдегида и общая антиоксидантная активность. Высокое содержание иммунных комплексов (ИК) свидетельствует о нарушении в организме механизма элиминации патогенов. Повышенное содержание малонового диальдегида (МДА) указывает на усиление процессов перекисного окисления липидов (компенсаторная реакция на стресс). Высокий уровень общей антиоксидантной активности (ОАА) свидетельствует о низком содержании антиоксидантов.

У *D. bugensis* эти показатели выше (плохое состояние), чем у *D. polymorpha*, особенно в Рыбинском, Чебоксарском водохранилищах и незарегулированной Волге. Высокие показатели ИК, МДА и ОАА зафиксированы в Горьковском водохранилище (плохое состояние). По данным проведенных исследований,

Рисунок 9. Макрозообентос водохранилищ Волги в 2015 и 2017 гг. Обозначения водохранилищ аналогично рис. 2: 1 – хирономиды, 2 – олигохеты, 3 – полихеты, 4 – пиявки, 5 – моллюски, 6 – ракообразные, 7 – прочие



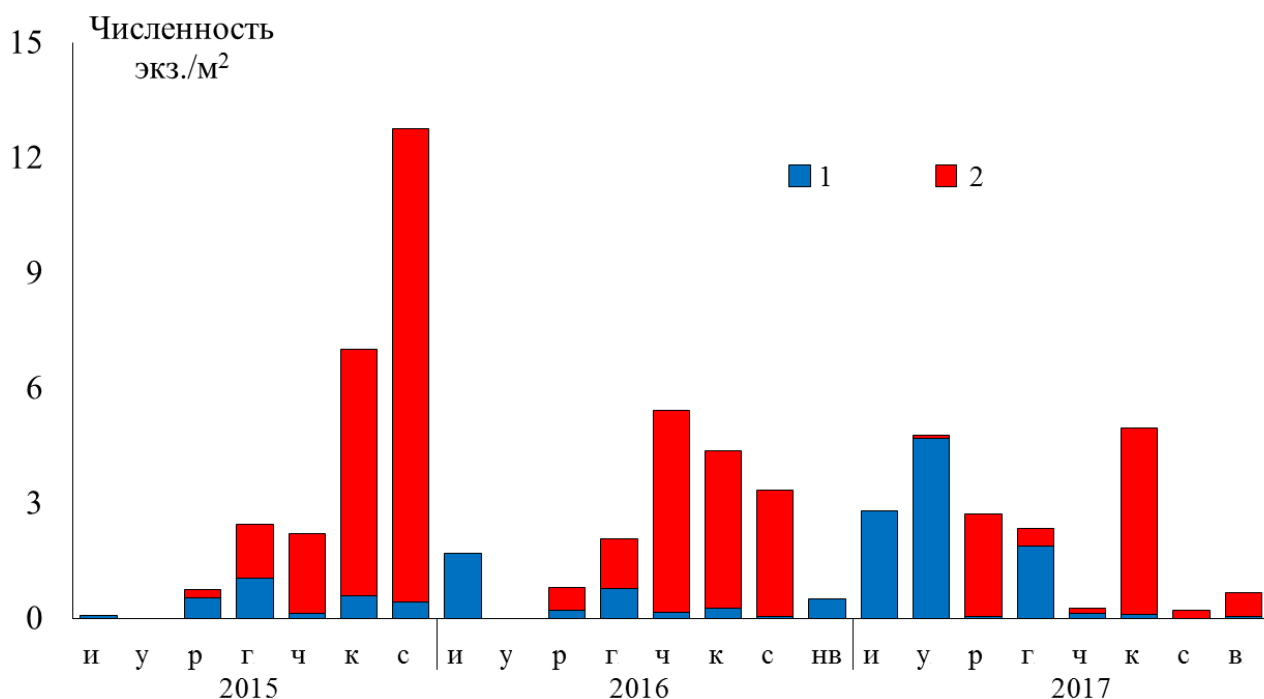


Рисунок 10. Численность двух видов дрейссенид: *Dreissena polymorpha* (1) и *D. bugensis* (2) в водохранилищах Волги в 2015–2017 гг. Обозначения аналогично рис. 2

уровень ИК, МДА и ОАА в 2017 г., по сравнению с 2015 г., во всех водохранилищах повысился (рис. 11), что свидетельствует о формировании неблагоприятных условий обитания для указанных моллюсков.

Основная причина этого заключается в большом

количестве взвеси в воде и высокой концентрации органического вещества в результате смыва с водосбора и вторичного загрязнения вследствие увеличения стока по руслу Волги в 2017 г.

По результатам исследований был проведен сравнительный анализ промысловых уловов, научных уловов и данных гидроакустических исследований в 1980-е и 2010-е гг. Для этих целей использовались

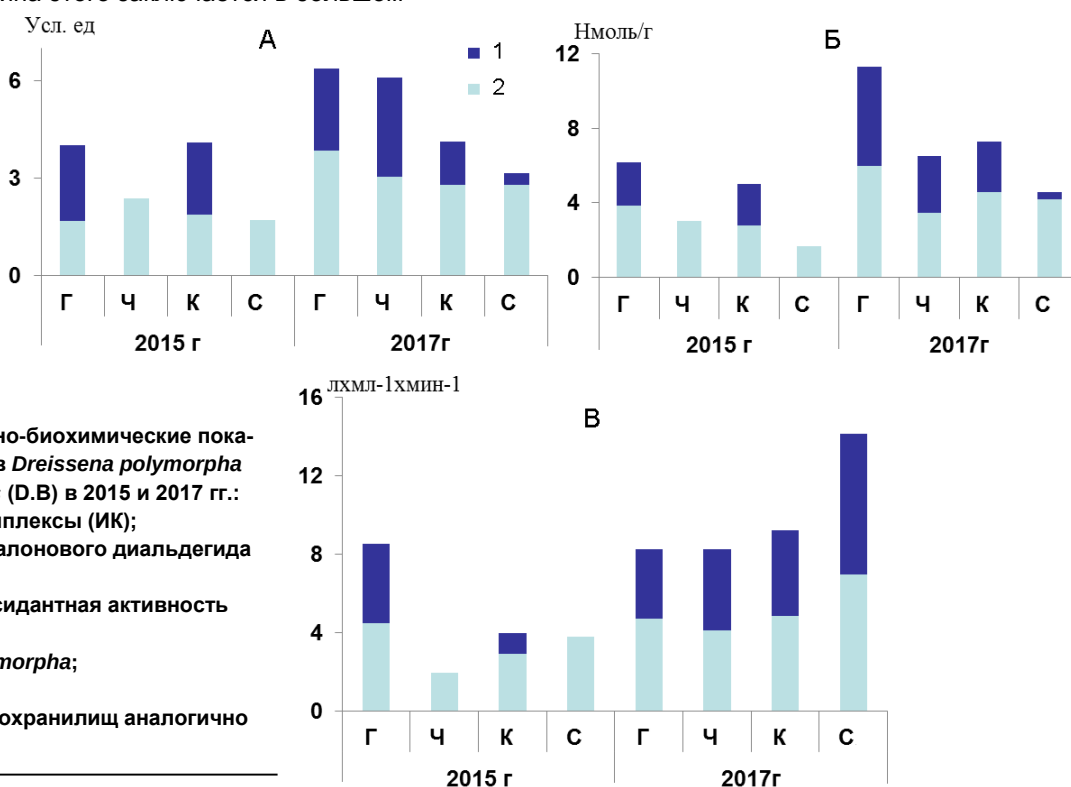


Рисунок 11. Иммуно-биохимические показатели моллюсков *Dreissena polymorpha* (D.P) и *D. bugensis* (D.B) в 2015 и 2017 гг.: А – иммунные комплексы (ИК); Б – содержание малонового диальдегида (МДА); В – общая антиоксидантная активность (ОАА); 1 – *Dreissena polymorpha*; 2 – *D. bugensis* (2). Обозначения водохранилищ аналогично рис. 2

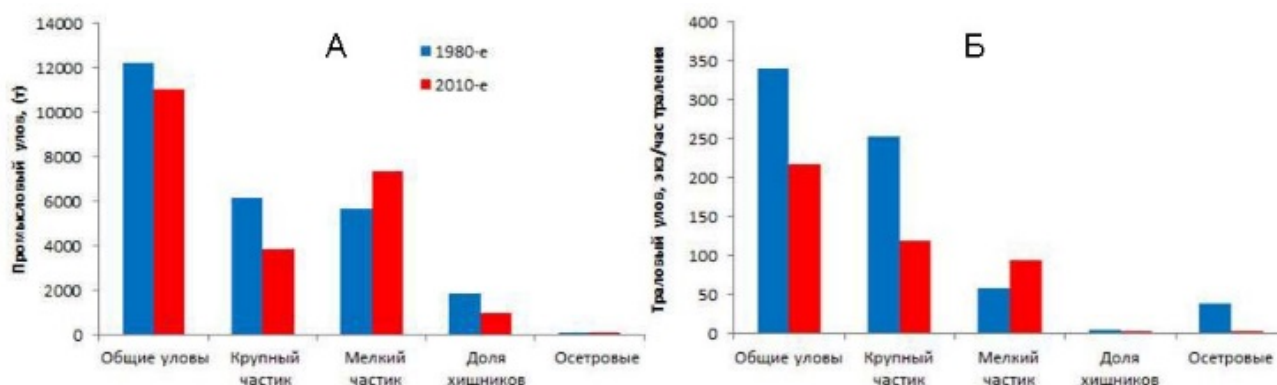


Рисунок 12. Качественный и количественный состав годового промыслового вылова (А) и траловых научно-исследовательских уловов (Б) по всем волжским водохранилищам (т) в 1980-е и 2010-е гг.

доступные нам данные промысловой статистики за эти периоды, а также материалы исследований по оценке численности рыбного населения водохранилищ Волги, проведенных в 1982 и 1985 гг. (архив лаборатории экологии рыб ИБВВ РАН) и повторенных в 2015–2017 гг.

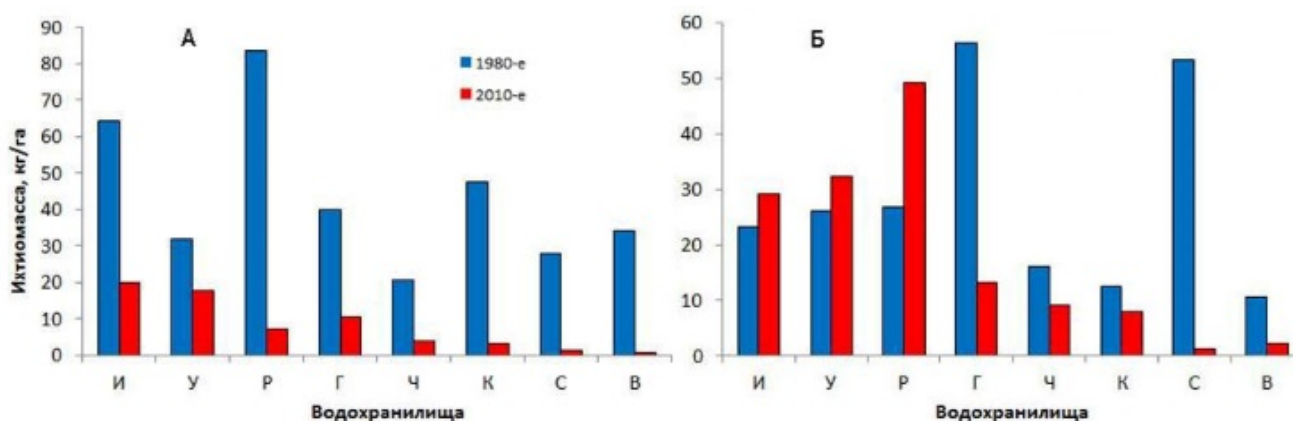
Общей для волжских водохранилищ тенденцией в рыбном промысле является снижение общих уловов за счет снижения уловов осетровых, крупного частика и уловов хищников, входящих в эту категорию (рис. 11А). Но при этом возрастают уловы мелкого частика. Там, где уловы мелкого частика компенсируют снижение уловов крупного частика, наблюдается увеличение или относительное постоянство общих уловов, в остальных случаях они имеют тенденцию к снижению. Эти изменения определяют снижение и качественных с коммерческой точки зрения показателей промысловых уловов, что обусловлено исчезновением из уловов осетровых и замещением в уловах

более ценных видов из категории крупного частика видами мелкого частика. Исключение составляют Угличское и Ивановское водохранилища, где (с 2007 и 2014 гг. соответственно) промышленный лов закрыт и в настоящее время ведется только любительский лов.

Сходные тенденции наблюдаются и в структуре научно-исследовательских траловых уловов (рис. 12Б). Совпадение данных промысловой статистики и научно-исследовательских траловых уловов указывает на объективность полученных данных.

Было проведено сравнение видового состава научно-исследовательских уловов пелагического трала на волжских водохранилищах в 1980-е и 2010-е гг. Большинство видов рыб пелагического комплекса представлено молодью и (или) неполовозрелыми особями того же набора видов, что и в уловах донного трала. Взрослые особи встречаются лишь в популяциях мелких пелагических видов (тюлька, европейская ряпушка, корюшка и уклейка).

Рисунок 13. Ихтиомасса в пелагиали (А) и батиали (Б) водохранилищ Волги по данным гидроакустических съемок в 1980-е и 2010-е гг.



Исследования показали, что возрастание уловов в пелагиали произошло только за счет вселения в волжские водохранилища черноморско-каспийской тюльки, ставшей доминантом в пелагических скоплениях рыб, на долю которой 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 2010-е гг. значительно снизилась. Основной причиной этого является высокая конкурентная способность тюльки, позволяющая ей лимитировать численность других видов, представленных в основном молодью карповых и окуневых рыб, и не связанная со снижением естественного воспроизводства популяций этих видов.

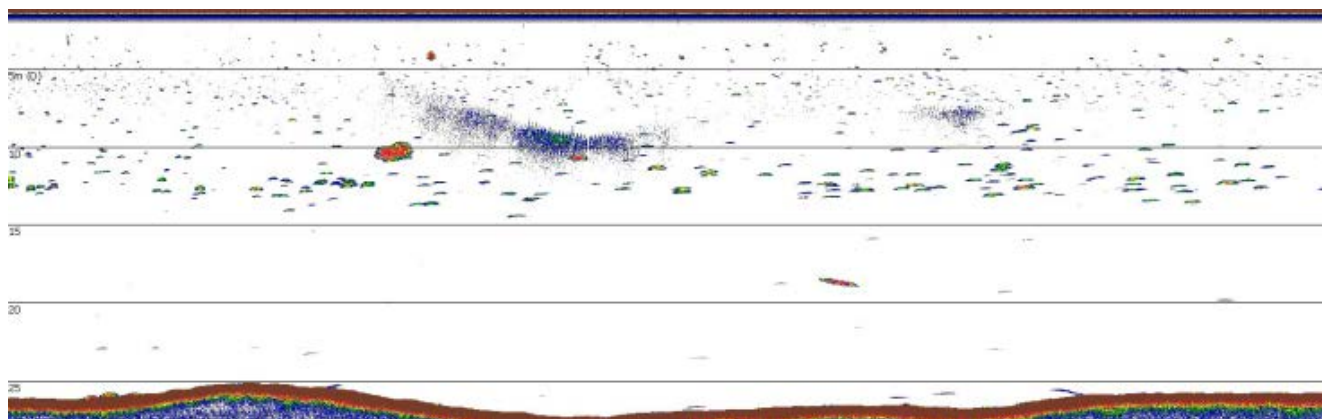


Рисунок 14. Термоклин на глубине 15 м в приплотинном участке Саратовского водохранилища. Глубже 15 м рыба почти отсутствует

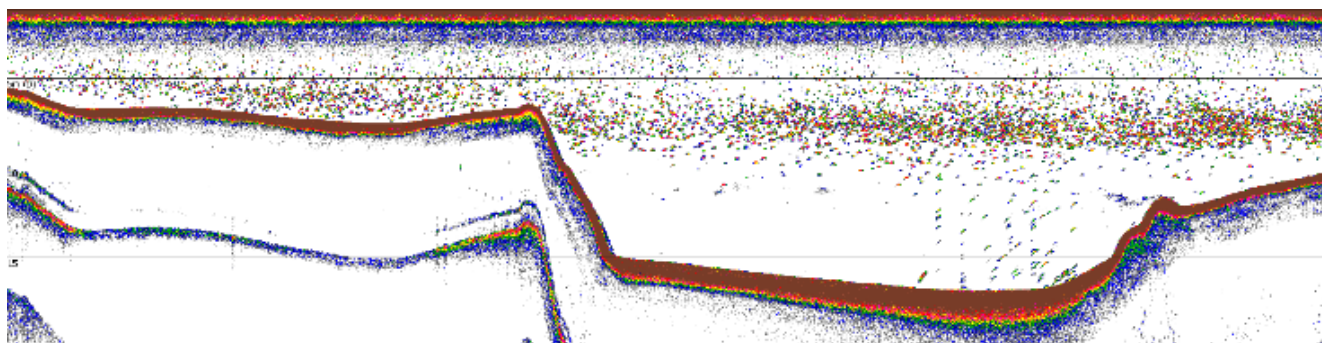


Рисунок 15. Бескислородная зона глубже 10 м в приплотинном участке Иваньковского водохранилища в августе 2016 г. Глубже 10 м рыба отсутствует. Эхоотметки, расположенные глубже 10 м под углом к поверхности, – всплывающие пузыри газа (CO_2), выделяющиеся из донного грунта

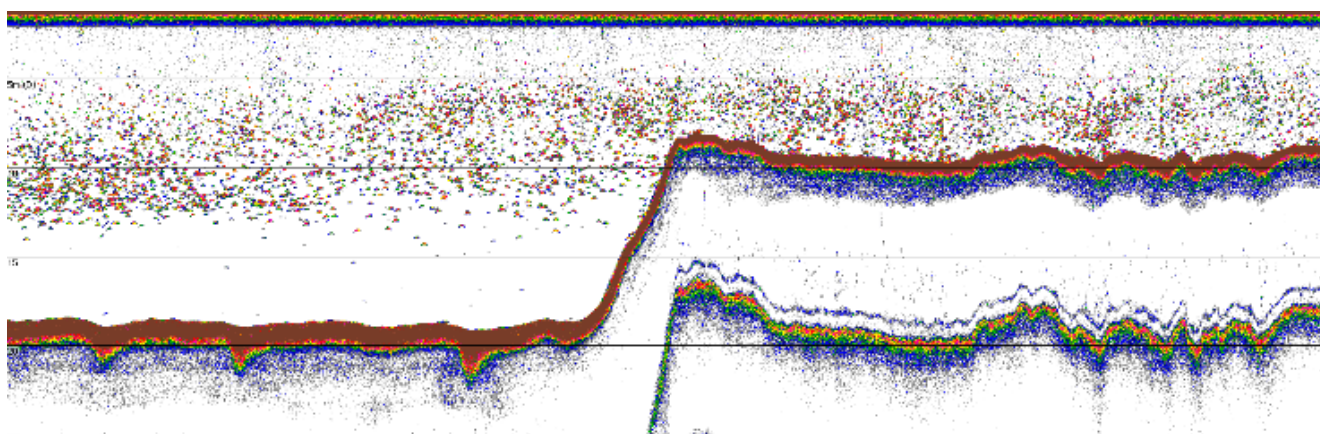


Рисунок 16. Бескислородная зона глубже 15 м в приплотинном участке Горьковского водохранилища в августе 2016 г. Глубже 15 м рыба отсутствует

Гидроакустические исследования показали, что ихтиомасса в пелагиали всех волжских водохранилищ в 2010-е гг. снизилась многократно (рис. 13А). Различия с данными съемки пелагическим тралом обусловлены тем, что тралом облавливаются определенный горизонт, где наблюдаются повышенные концентрации рыбы, тогда как эхолот регистрирует рыбу во всей толще. На основании сказанного можно сделать вывод, что в 2010-е гг. увеличилась плотность пелагических скоплений в поверхностных слоях, избираемых пелагическими рыбами для нагула, тогда как средние показатели ихтиомассы в расчете на всю водную толщу снизились в несколько раз.

Гидроакустические исследования в слое распространения бати-пелагических рыб показали сходство с данными уловов научно-исследовательским донным тралом (рис. 13Б). Только в Угличском и Иваньковском водохранилищах, где в 2000-е гг. был запрещен рыбный промысел, наблюдается повышение численности придонных рыб. В Рыбинском водохранилище это происходит за счет многократного увеличения численности синца – вида мелкого частика, предпочитающего, в отличие от других видов этой категории, русловые участки водохранилища. Это подтверждается составом уловов научно-исследовательского донного трала в Рыбинском водохранилище, в которых доля синца увеличилась в шесть раз. В открытых плесах остальных водохранилищ ихтиомасса бати-пелагических рыб снизилась многократно.

На фоне снижения общей ихтиомассы в период 1980-х и 2010-х гг. произошли изменения в пространственном распределении рыб. В настоящее время на всех волжских водохранилищах минимальные ихтиомассы наблюдаются в приплотинных участках и верховьях речных участков, где условия для озерных и озерно-речных теплолюбивых видов рыб, составляющих основу рыбного населения волжских водохранилищ, менее благоприятные. Верховья речных участков водохранилищ отличаются относительно высокими скоростями стоковых течений, низкопродуктивным донным субстратом (песок) и относительно узкой литоралью, а приплотинные участки – большими глубинами с развивающейся в летние месяцы температурной стратификацией (рис. 14) и активной гидродинамикой, обусловленной работой ГЭС и ветрами.

Кроме того, в 2000–2010 гг. на глубоких участках водохранилищ в результате процессов, происходящих в водоемах из-за потепления климата, стали наблюдаться летне-осенние заморные явления (рис. 15, 16), что особенно характерно для верхневолжских водохранилищ.

Учитывая, что водохранилища в основном населены озерными или озерно-речными тепловодными видами рыб, условия обитания на указанных участках по ряду параметров являются для них неблагоприятными. В 1980-е гг. при высоких ихтиомассах часть рыб из-за конкурентных отношений вынуждена была осваивать и эти участки. В 2010-е гг., в результате многократного снижения ихтиомассы, емкость участков в средней части водохранилищ с более благоприятными условиями позволит основной массе рыб концентрироваться на них.

Положительные тенденции, наблюдаемые в Иваньковском и Угличском водохранилищах, которые заключаются в увеличении численности и ихтиомассы рыбного населения, указывают на то, что снижение этих показателей в остальных волжских водохранилищах обусловлено чрезмерным промысловым изъятием рыбы в 1990–2000-е гг., прежде всего наиболее ценных в коммерческом отношении видов. Что, в свою очередь, стало следствием менее эффективного регулирования и контроля за промыслом в 2010-е гг. по сравнению с 1980-ми.

Естественные причины, основной из которых в исследуемый период стало потепление климата, оказали менее значимое воздействие на состояние рыбного населения волжских водохранилищ. Негативное воздействие 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 и быстрому расселению в 1990-е и 2000-е гг. в водохранилищах Средней и Верхней Волги черноморско-каспийской тюльки, её вселение и последующее доминирование способствовало существенному изменению структуры и трофических связей в пелагических скоплениях рыб волжских водохранилищ.

КОМПЛЕКСНЫЕ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА И ЕГО ОКРАИННЫХ МОРЕЙ В СВЯЗИ С СОВРЕМЕННЫМИ ПРИРОДНЫМИ И ТЕХНОГЕННЫМИ РИСКАМИ В 53-м РЕЙСЕ НИС «АКАДЕМИК ОПАРИН»

В.Н. Карнаух*, А.Ф. Сергеев, В.Б. Лобанов
Тихоокеанский океанологический институт
им. В.И. Ильичева ДВО РАН РАН
*e-mail: karnaukh@poi.dvo.ru

1. ВВЕДЕНИЕ

Со 2 августа по 14 сентября 2017 г. была проведена комплексная экспедиция на НИС «Академик Опарин» (рейс № 53), целью которой являлись исследования структуры и динамики вод, их связи с биохимическими процессами и особенностями строения дна в ключевых районах Японского и Охотского морей и северо-западной части Тихого океана, известных в связи с проявлением устойчивых гидрохимических, геологических и геодинамических аномалий, таких как присклоновые области минимума кислорода в северной части Японского моря, аномалии на нефтегазовых участках сахалинского шельфа и впадины ТИНРО в Охотском море, центральной части Курильских островов, в областях интенсивных вихрей синоптического масштаба к востоку от Курильских островов и Камчатки.

Экспедиция выполнялась на основании Плана морских научных исследований во внутренних морских водах, в территориальном море, в исключительной экономической зоне и на континентальном шельфе Российской Федерации на 2017 г., утвержденного приказом Минобрнауки России от 20 декабря 2016 г. № 1617, пункт 40, и разрешением Минобрнауки России на проведение морских научных исследований № 46 от 6 июня 2017 г.

Экспедиция организована для выполнения Государственного задания ТОИ ДВО РАН по Программе фундаментальных научных исследований Государственных академий наук на 2013–2020 годы, раздел 70

«Физические поля, внутреннее строение Земли и глубинные геодинамические процессы»,

НИР № 0271-2016-0003, № гос.рег. АААА-А17-117030110032-3, название: «Пространственно-временные изменения геофизических полей, их связь со структурой, геодинамикой и сейсмотектоническими процессами в литосфере дальневосточных морей России и их обрамления»;

раздел 75 «Мировой океан – физические, химические и биологические процессы, геология, геодинамика и минеральные ресурсы океанской литосферы и континентальных окраин; роль океана в формировании климата Земли, современные климатические и антропогенные изменения океанских природных систем»,

а) НИР № 0271-2016-0005, № гос. рег. АААА-А17-117030110042-2, название: «Исследование основных процессов, определяющих состояние и изменчивость океанологических характеристик дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана»;

б) НИР № 0271-2016-0006, № гос. рег. АААА-А17-117030110038-5, название: «Влияние природных и антропогенных факторов на биохимические процессы и состояние биоты в морских экосистемах»;

в) НИР № 0271-2016-0007, № гос. рег. АААА-А17-117030110033-0, название: «Палеоокеанология окраинных морей Востока России и примыкающих районов Тихого океана, особенности и этапность кайнозойского осадконакопления, магматизма и рудогенеза»;

и заданий Программы фундаментальных исследований ДВО РАН «Дальний Восток» на 2015–2017 гг. грант № 15-И-1-002.

Основными задачами экспедиции являлись:

- выполнение гидролого-гидрохимической съемки на полигонах;
- отбор проб донных осадков;

- детальные исследования рельефа морского дна с использованием многолучевого эхолота SB 3050;

- высокоразрешающие сейсмоакустические исследования строения верхней части осадочного чехла;

- измерения магнитного поля;

- изучение планктонного сообщества на акватории Японского и Охотского морей и СЗ части Тихого океана в летний период.

- реализация программы «Плавучий университет» по обучению и стажировке студентов.

Виды работ:

- геофизическая съемка морского дна (многолучевое эхолотирование, непрерывное сейсмопрофилирование и измерения магнитного поля);

- гидрологические и гидрохимические исследования водной толщи, включая комплексные океанографические станции (в дрейфе судна), с использованием CTD-зондов, забор проб воды для гидрохимических анализов;

- отбор проб донных осадков для выполнения гранулометрического, минералогического и химического анализов;

- отбор проб планктона;

- метеонаблюдения.

Приборы и инструменты.

Для приведения исследований в рейсе использовалось следующее научное оборудование:

- многолучевой эхолот SB 3050 (мобильная система для заборной установки);

- комплект оборудования для непрерывного профилирования с сейсмической косой и электроискровым излучателем;

- буксируемый морской протонный магнитометр MPMG-4 «Импеданс»;

- установка для измерения парциального давления углекислого газа в приводном слое атмосферы на ходу судна Licor-840;

- гидрологические CTD-зонды SBE 19, SBE 911 с датчиками для высокоточных измерений температуры, солености, давления, содержания кислорода, мутности, флуоресценции хлорофилла *a*;

- пробоотборные системы SBE 32 для отбора проб воды батометрами объемом 5–10 л на заданных горизонтах;

- лабораторные установки для измерения концентрации кислорода, биогенных элементов, pH, щелочности, солености;

- фильтровальная установка для подготовки проб на пигменты фитопланктона;

- флуориметр 10 AU 020 Turner Designs Incorporated;

- планктонные сети Джеди и Бонго для отбора проб планктона до глубин 200 м;

- дночерпатели Ван Вина, мультикорер, боксикорер для забора проб донного грунта, прямоточные трубки для отбора колонок осадков, драги для отбора проб скальных пород;

- портативный рентген-флуоресцентный анализатор Olympus Innov-X для определения химических элементов и содержаний в горных породах;

- каппаметр KM-7 для измерений магнитной восприимчивости горных пород;

- навигационный приемоиндикатор GPS 120 GARMIN для определения местонахождения судна.

Работы с многолучевым эхолотом, магнитометром и НСП выполнялись по системе галсов при скорости судна 4–7 узлов. Гидрологические станции выполнялись в дрейфе судна. Геологическое драгирование выполнялось на скорости 1-2 узла.

Общая численность научного состава экспедиции 26 человек, все являлись гражданами РФ, из них: 20 человек – сотрудники ТОИ ДВО РАН, 4 – студенты Дальневосточного федерального университета (г. Владивосток), 1 – студент Московского государственного университета (г. Москва), 1 – студент Санкт-Петербургского государственного университета (г. Санкт-Петербург).

Начальник экспедиции: к.г.-м.н. Виктор Николаевич Карнаух, заведующий лабораторией сейсмических исследований ТОИ ДВО РАН.

Экспедиция была начата и завершена в п. Владивосток. Общая продолжительность составила 44 сут.

Рейс выполнялся в режиме каботажного плавания. Все работы проводились в пределах территориальных вод, континентального шельфа и исключительной экономической зоны РФ (рис. 1).

2. РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ

За время экспедиции выполнено 2700 км магнитной съемки, 530 км сейсмоакустических профилей, 2850 км профилей с многолучевым эхолотом SeaBeam 3050. Профиль скорости звука в водной толще измерен на 20 станциях. Выполнено 106 станций гидрологических станций с CTD-зондированием и определением температуры, солености, содержания

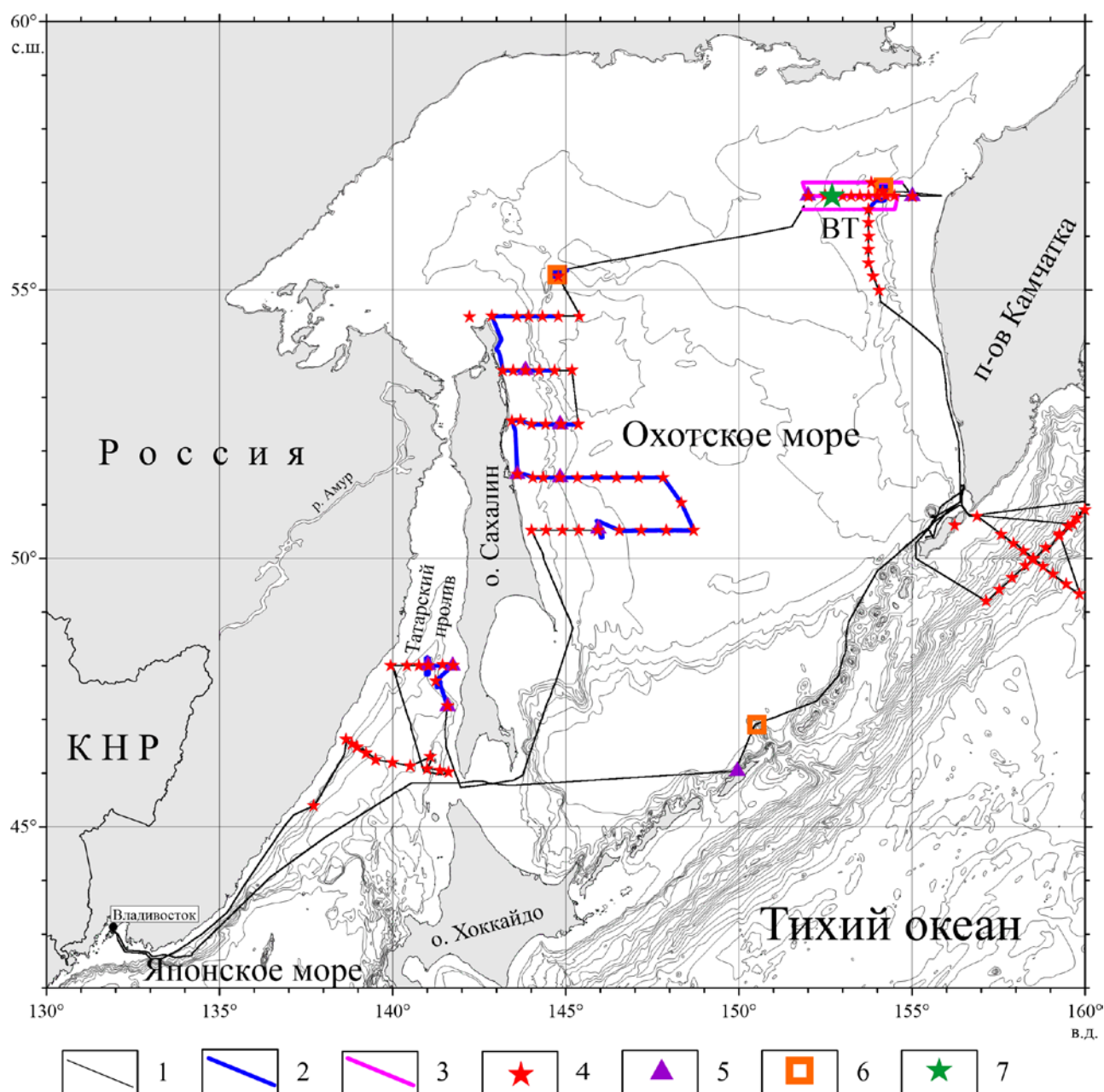


Рисунок 1. Карта районов морских научных исследований и маршрут движения между ними в рейсе № 53 НИС «Академик Опарин»:

ВТ – впадина ТИНРО;

1 – маршрут движения судна;

2 – профили многолучевой съемки с эхолотом SB 3050;

3 – профили непрерывного сейсмоакустического профилирования и магнитной съемки;

4 – местоположение гидрологических станций;

5 – местоположение станций отбора проб донных осадков боксорером и дночерпателем;

6 – местоположение драгировок коренных пород;

7 – местоположением газового «факела» в водной толще впадины ТИНРО, обнаруженного в экспедиции

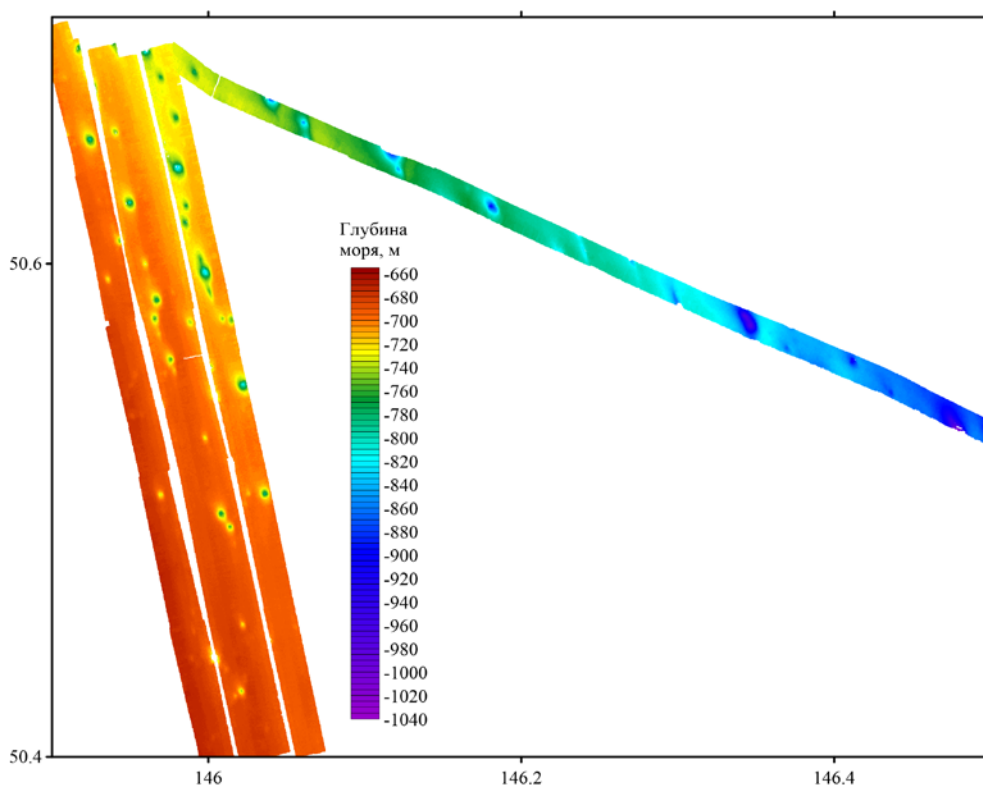


Рисунок 2. Рельеф части материкового склона восточного Сахалина, иллюстрирующий строение газовых кратеров (покмарков)

кислорода, хлорофилла *a* и мутности. На 61 станции, кроме регистрации параметров водной толщи СТД-зондами, производился отбор проб воды с различных горизонтов для гидрохимического анализа и определения в них содержания кислорода, pH, щелочности, биогенных элементов. Отобраны пробы донных осадков боксскорером и дночерпателем на 12 станциях, и драгами подняты образцы коренных пород на 2 станциях. Отбор проб зоопланктона произведен на 23 станциях. Профильные наблюдения приводного слоя атмосферного воздуха (определение содержания ртути и гидрометеорологические измерения) – 12000 км.

Потери времени в связи со штормовой погодой составили 6 сут.

2.1. Результаты геофизических работ

По результатам съемки с многолучевым эхолотом SeaBeam 3050 составлены детальные карты рельефа морского дна отдельных участков Охотского моря. В Охотском море на материковом склоне о. Сахалин выполнено исследование части поля покмарков (газовых кратеров), обнаруженных ранее в 73-м рейсе

НИС «Профессор Гагаринский» (2017 г.). Установлено, что покмарки здесь характеризуются разнообразной формой и размерами (рис. 2). Форма покмарков изменяется от изометричной до эллипсовидной. Имеются случаи, когда несколько покмарков группируются вместе. Размер кратеров может достигать 500 м, а глубина воронки – до 120 м. Покмарки выделяются в интервале глубин от 650 м до 1000 м.

Для качественного выполнения геологического драгирования на банке Кашеварова выполнена съемка ее юго-западной части (рис. 3). В центральной части банки был обнаружен небольшой узкий хребет, ориентированный ортогонально к простираению южного склона банки. Один из склонов данного хребта был использован для отбора проб коренных пород. В восточной части района работ, рядом со склонами банки, выделяется дрефт (тело осадочных отложений, образование которых контролируется придонными течениями). Между дрефтом и банкой выделяется промоина с относительной глубиной около 50 м.

Исследование северо-восточной части впадины ТИНРО показало, что дно материкового склона Камчатки здесь осложнено многочисленными узкими эрозийными долинами, ориентированными диагонально к простираению склона (рис. 4) В направлении от дна впадины вверх по склону долины делятся на несколько более мелких. На грядках между долинами

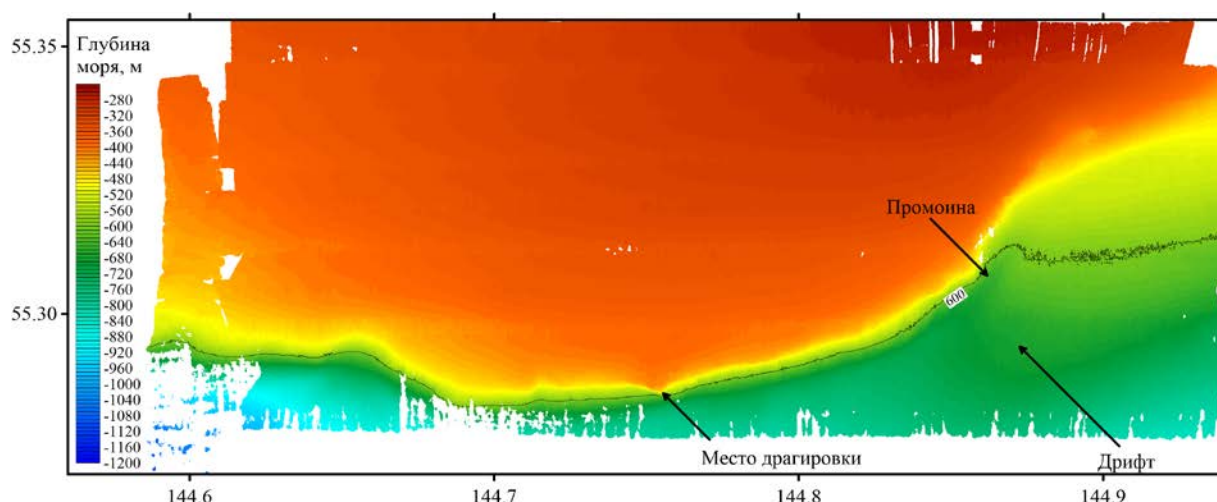
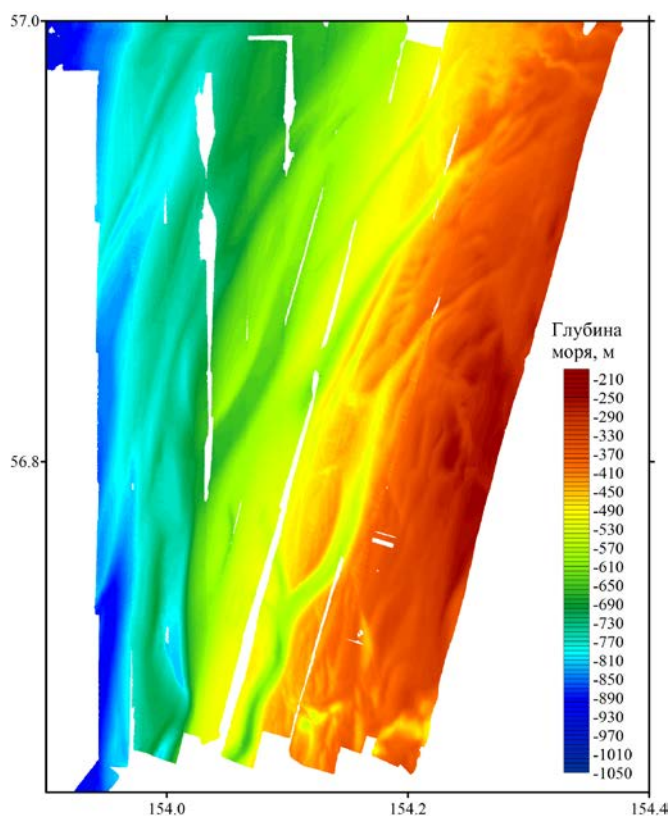


Рисунок 3. Рельеф дна юго-западной части банки Кашева-рова

имеются локальные замкнутые отрезки палеодолин. Это может указывать на достаточно быстрый процесс развития и отмирания отдельных долин, что может объясняться достаточно быстро изменяющимися гидрологическими условиями.

Рисунок 4. Рельеф дна северо-восточной части впадины ТИНРО, иллюстрирующий влияние придонных течений на глубоководное осадконакопление и формирование современного рельефа дна



Во впадине ТИНРО отработано три профиля НСП. На юго-западном борту впадины осадочные отложения представлены переслаиванием стратифицированных и прозрачных осадков (рис. 5). Во впадине распространены слабо стратифицированные, прозрачные и хаотические образования. Примечательной чертой строения впадины является повсеместная деформация и смятие в складки слоев осадочного чехла. В результате здесь сформировался особый рельеф, представленный многочисленными холмами и грядами, возвышающимися на высоту 20–80 м. Важно отметить, что вниз по разрезу степень деформации, как правило, резко уменьшается, и на глубине около 0,25 с распространены менее деформированные осадки. Причина появления деформированных осадков в верхней части разреза впадины ТИНРО может быть связана с особенностями эрозионной активности каналов, примыкающих к котловине, по которым происходит вынос осадочного материала с северной и северо-восточной части Охотского моря в плейстоцене-голоцене, с подмывом и обрушением осадочных толщ на ее бортах.

Важным результатом экспедиции является обнаружение во впадине ТИНРО многочисленных акустических аномалий, связанных с присутствием газа в осадочных отложениях. Во-первых, в ходе работ в этой части Охотского моря был впервые обнаружен газовый «факел» в водной толще (рис. 1). Глубина дна в районе «факела» составляет около 600 м, а его высота достигает 400 м. Кроме того, в этом районе широко распространены внедрения газа в осадочные отложения, которые выражены в виде аномалий типа акустическая «мутность» (рис. 5), а также присутствием многочисленных покмарков (газовых кратеров), газовых

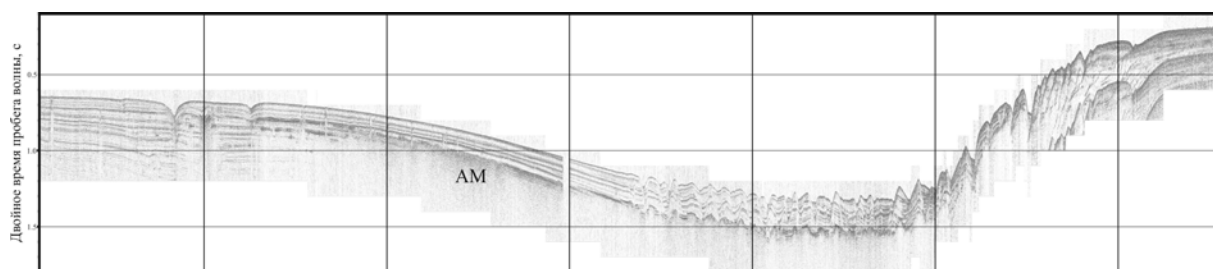


Рисунок 5. Пример сейсмоакустического профиля, иллюстрирующий наличие эрозионных промоин во впадине ТИНРО (Охотское море) и на материковом склоне Камчатки. AM – акустическая мутность

каналов и холмов над ними (рис. 6).

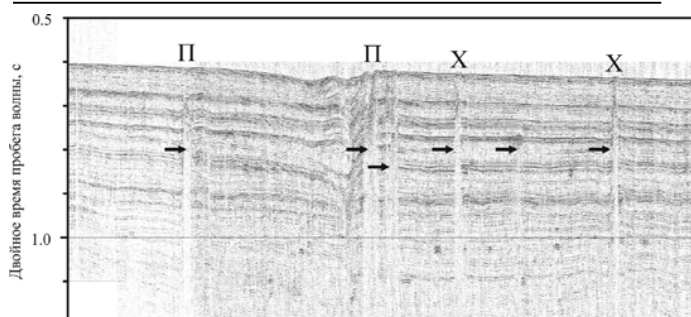
2.2. Результаты гидрологических работ

В результате проведения гидрологических исследований пространственно-временной структуры океанологических полей некоторых прибрежных районов Японского и Охотского морей: в Татарском проливе, в шельфово-склоновой области восточного Сахалина, во впадине ТИНРО, а также в северо-западной части Тихого океана к юго-востоку от Камчатки установлены малоизученные особенности в распределении океанографических параметров и в структуре вод, необходимые для создания более совершенных представлений о процессах и явлениях в морской среде экономической зоны РФ.

Наиболее важные из полученных результатов следующие.

1. В южной части Татарского пролива обнаружено отсутствие характерной структурной особенности толщи вод – слоя глубинного кислородного максимума, наблюдаемого ранее в этом районе в летний период, что может свидетельствовать об ослаблении вентиляции глубинных вод северной части Японского моря в настоящее время. Данный вывод, основанный на исследованиях в новых районах моря, является дополнительным доказательством и совпадает с современным представлением о состоянии среды Японского моря.

Рисунок 6. Пример сейсмоакустического профиля, иллюстрирующий внутреннее строение очагов внедрения газа в осадках впадины ТИНРО (Охотское море): П – покмарки. Х – холмы. Стрелками обозначены газовые каналы



На западном склоне Татарского пролива на разрезе по 46° с.ш. выявлена придонная область с наименьшей на разрезе концентрацией кислорода 202,8 мкмоль/кг, находящаяся на том же месте и имеющая тот же уровень содержания кислорода, что и в экспедициях ТОИ ДВО РАН в 1999–2009 гг., которая совпадает также с расположением придонной аномалии мутности с максимумом 0,28 *FTU на 1104 м. Особенностью распределения мутности у дна на разрезе по 46° с.ш. является более высокий уровень мутности на западном склоне пролива (примерно в три раза выше), чем на восточном. На наиболее глубоких станциях мутность ниже, чем на склонах.

Севернее, на разрезе по 48° с.ш., в отличие от распределения на разрезе по 46° с.ш., максимальная мутность у дна выше (до 1–2,4 FTU) и наблюдается на максимальных глубинах в осевой области подводной долины, которая, вероятно, является местом накопления взвешенного вещества (рис. 7). Здесь же зарегистрированы минимальные у дна концентрации кислорода 198–200 мкмоль/кг.

Обнаружена существенная замутненность всей водной толщи на разрезе по 48° с.ш. по сравнению с разрезом по 46° с.ш. в Татарском проливе от Приморья до о. Сахалин. При этом минимальные значения мутности здесь (0,04 FTU) почти в два раза превосходят минимальные значения на разрезе по 46° с.ш. (0,018 FTU).

В западной части Татарского пролива в полях океанографических параметров всей толщи вод установлено проявление апвеллинга, наиболее выраженного у западного склона пролива.

2. В шельфово-склоновой области восточного Сахалина установлено проявление сопряженных процессов – летнего каскадинга с образованием интрузий в промежуточных слоях и глубинного и шельфового

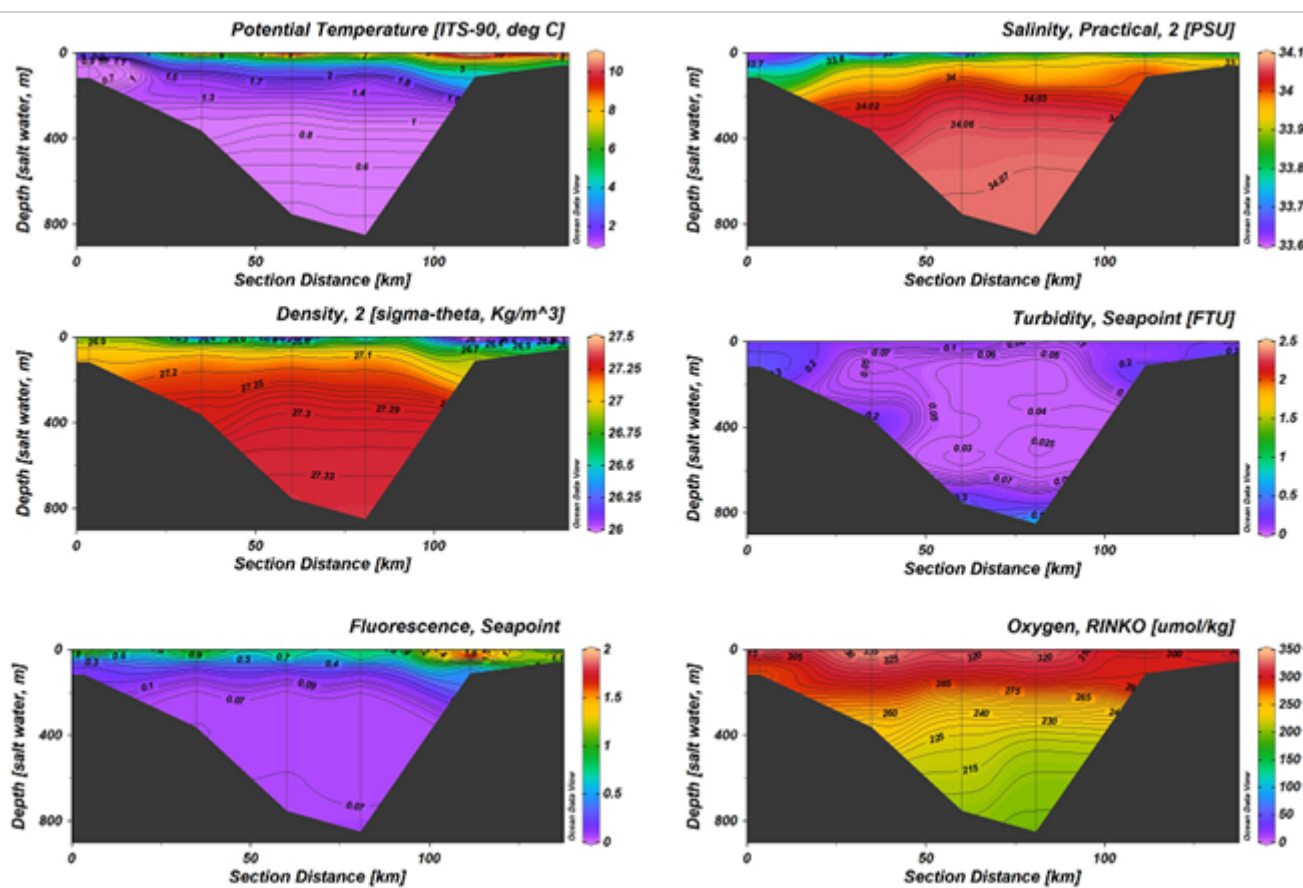


Рисунок 7. Распределение океанографических параметров на разрезе по 48° с.ш. в Татарском проливе Японского моря. Местоположение разреза см. на рис. 1

апвеллингов с выходом трансформированных вод зимнего происхождения на поверхность в средней части побережья (рис. 8). Особенность оротографии подводной и надводной области острова в районе 52° с.ш., вероятно, в первую очередь, ответственна за характер апвеллинга, наблюдаемый в теплый период года у берегов Сахалина.

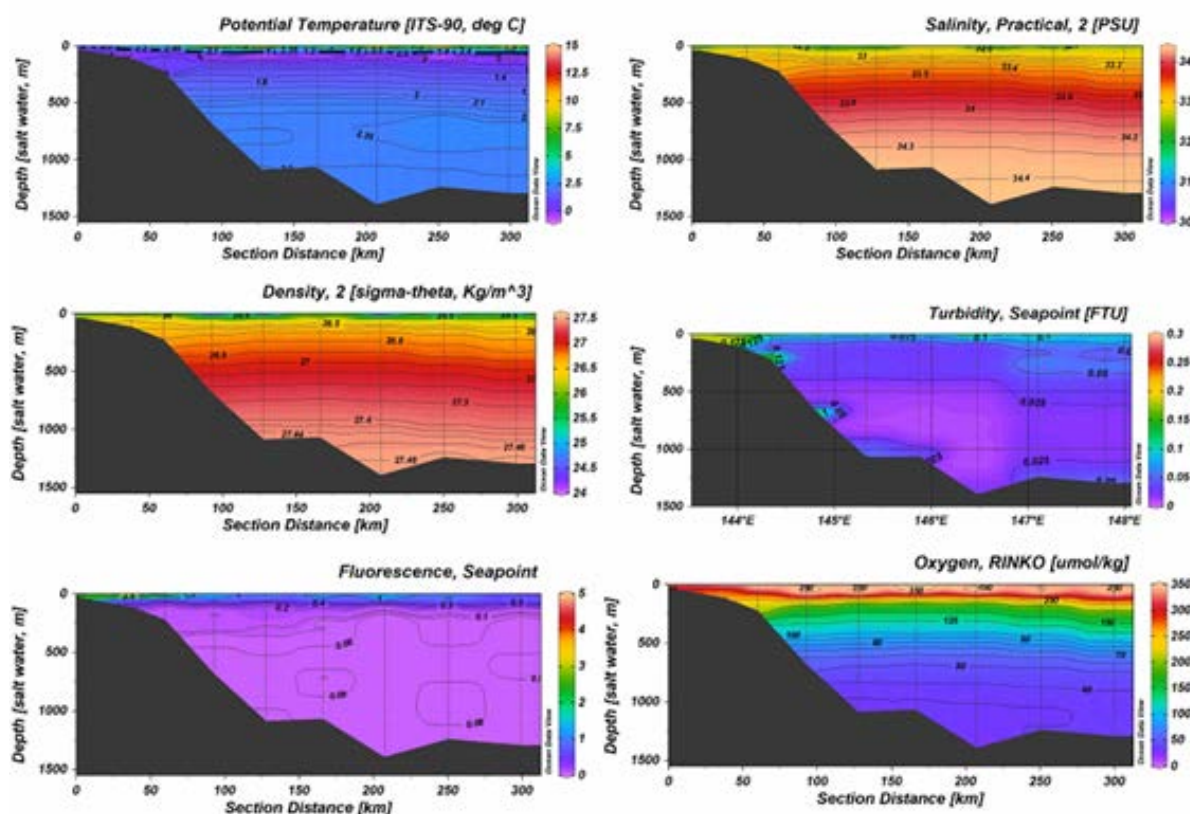
Получены новые данные о структуре океанографических полей в шельфово-склоновой области восточного Сахалина, необходимые для совершенствования физической модели явлений в акватории с высоким сырьевым потенциалом – высокой биопродуктивностью вод и нефтегазоносностью осадочного слоя.

3. Во впадине ТИНРО в северо-восточной части Охотского моря выявлена циклоническая циркуляция, в результате чего внутри этой области в придонном слое оказываются захваченными зимние воды. При этом в течение теплого сезона в области захваченных вод происходит накопление гидрохимических изменений,

обусловленных локальными продукционно-деструктивными процессами (рис. 9). С наступлением зимы воды с химическими аномалиями поступают в открытую акваторию моря.

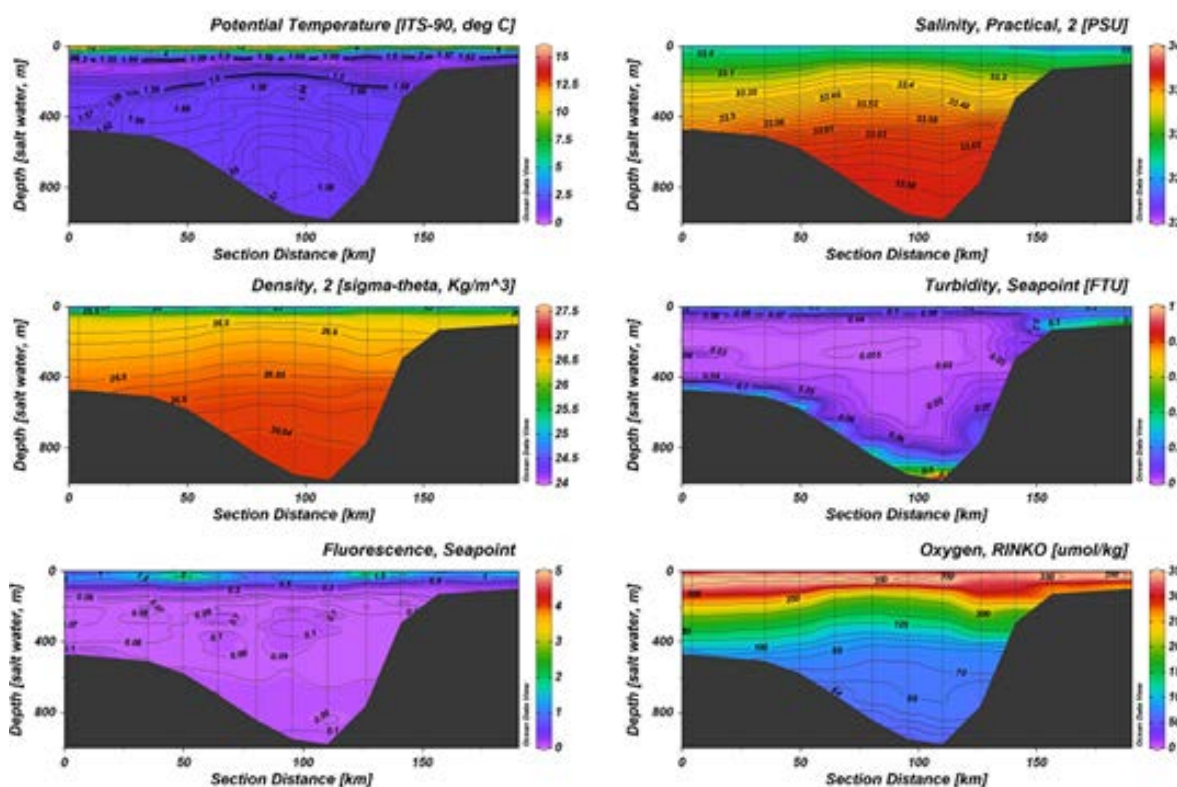
Важной особенностью океанографических полей впадины ТИНРО являются придонные слои повышенной мутности на западном и южном склонах впадины. Примечательно, что средняя величина мутности на склонах впадины равна 0,45 FTU, что выше средней величины мутности на склонах Татарского пролива на разрезе по 48° с.ш. (0,27 FTU) и на разрезе по 46° с.ш. (0,15 FTU), а также на склонах о. Сахалин (0,15 FTU). Различие объясняется, прежде всего, относительной близостью источников взвешенного вещества, формой и размерами изучаемой области моря, а также ее открытостью к прилегающей акватории.

4. Установлены характеристики долгоживущего антициклонического вихря Камчатского течения. Предварительно положение вихря и особенности его динамики были определены на основе анализа спутниковой альтиметрической информации (рис. 10) и расчета лагранжевых характеристик движения вод,



▲ Рисунок 8. Распределение океанографических параметров на широтном разрезе по 51°30' с.ш. в шельфово-склоновой области к востоку от о. Сахалин в Охотском море. Местоположение разреза см. на рис. 1

▼ Рисунок 9. Распределения океанографических параметров на широтном разрезе (по 56°45' с.ш.) через впадину ТИНРО в северо-восточной части Охотского моря. Местоположение разреза см. на рис. 1



2017–08–10

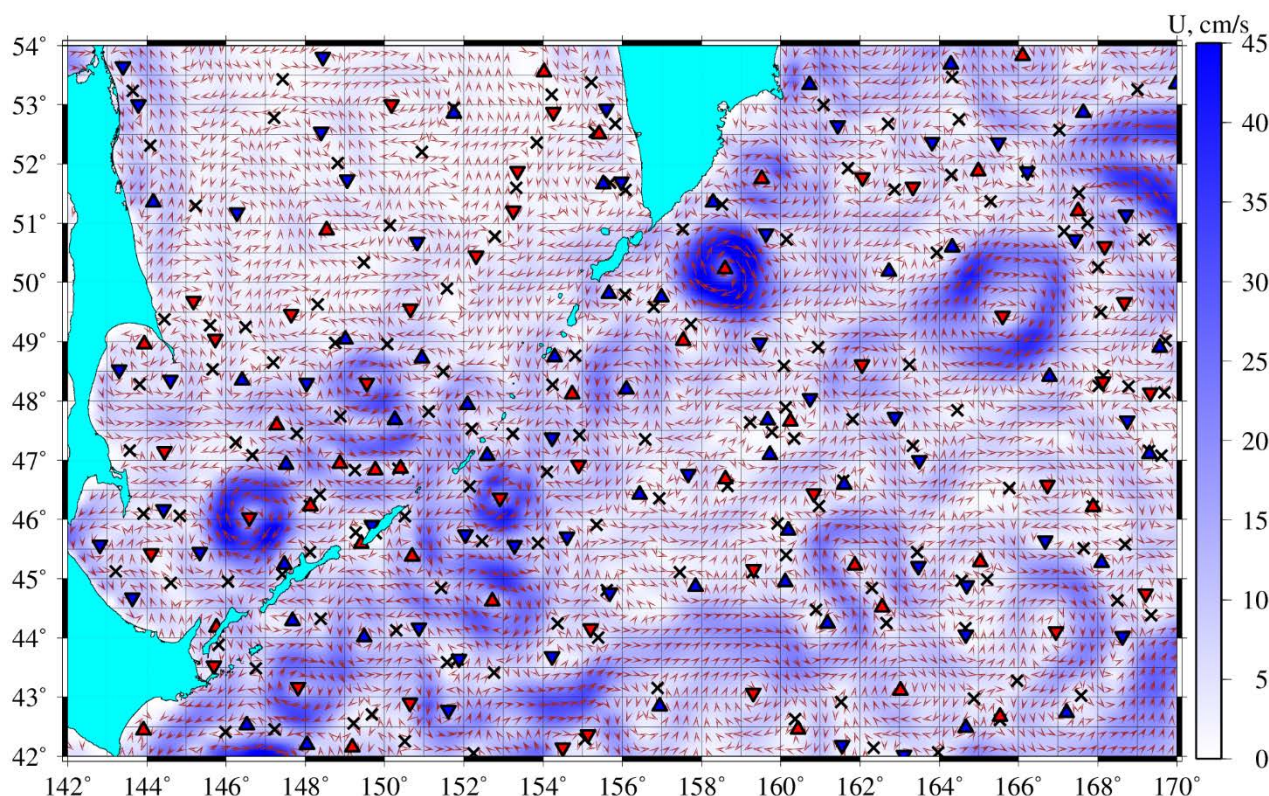


Рисунок 10. Антициклонический вихрь к югу от Камчатки в поле течений на основе спутниковой альтиметрии за 10.08.2017 г. (Будянский М.) – наиболее мощное и устойчивое образование в районе исследований в августе 2017 г.

выполненных в лаборатории нелинейных динамических систем ТОИ ДВО РАН (рук. д.ф.-м.н. С.В. Пранц). Эта информация, а также оперативные спутниковые изображения в ИК-диапазоне использовались для точного наведения судна на центр вихря (рис. 11).

По результатам судовой СТД-съемки, вихрь имел эллиптическую форму ядра с двухъячеистой структурой (рис. 11). Характеристики ядра не изменились после прохождения тайфуна, но произошли изменения в поверхностном слое примерно до 20–30 м: температура понизилась с 12 до 6–8 °С, соленость увеличилась с 32,4 епс до более 32,6 епс.

Впервые в долгоживущем синоптическом вихре Камчатского течения под его ядром установлена изолированная область наиболее чистых вод с крайне низким содержанием взвешенного вещества по сравнению с окружающими водами. Пониженная мутность указывает на относительную изолированность вод под вихрем.

Под основным холодным ядром вихря в слое 200–700 м залегает теплая прослойка вод с температурой до 3,75 °С с характерной ядерной структурой. Ранее в литературе такая особенность в структуре подъядерных теплых промежуточных тихоокеанских вод не отмечалась. Такая же неоднородность структуры наблюдается и в слое с пониженным содержанием кислорода, располагающемся ниже между горизонтами 400 и 1000 м.

5. Установлена связь между повышением мутности и понижением содержания кислорода в придонном слое в Татарском проливе и на широтном разрезе во впадине ТИНРО в Охотском море. Такая же зависимость была выявлена и в заливе Петра Великого (69-й рейс НИС «Профессор Гагаринский», март 2016 г.). Минимум кислорода может наблюдаться на дне как на склоне, так и в районах, являющихся накопителями взвешенного вещества – в осевых областях подводной долины на 48° с.ш. в Татарском проливе и во впадине ТИНРО в Охотском море. На восточном склоне о. Сахалин и на меридиональном разрезе во впадине ТИНРО обратная зависимость между кислородом

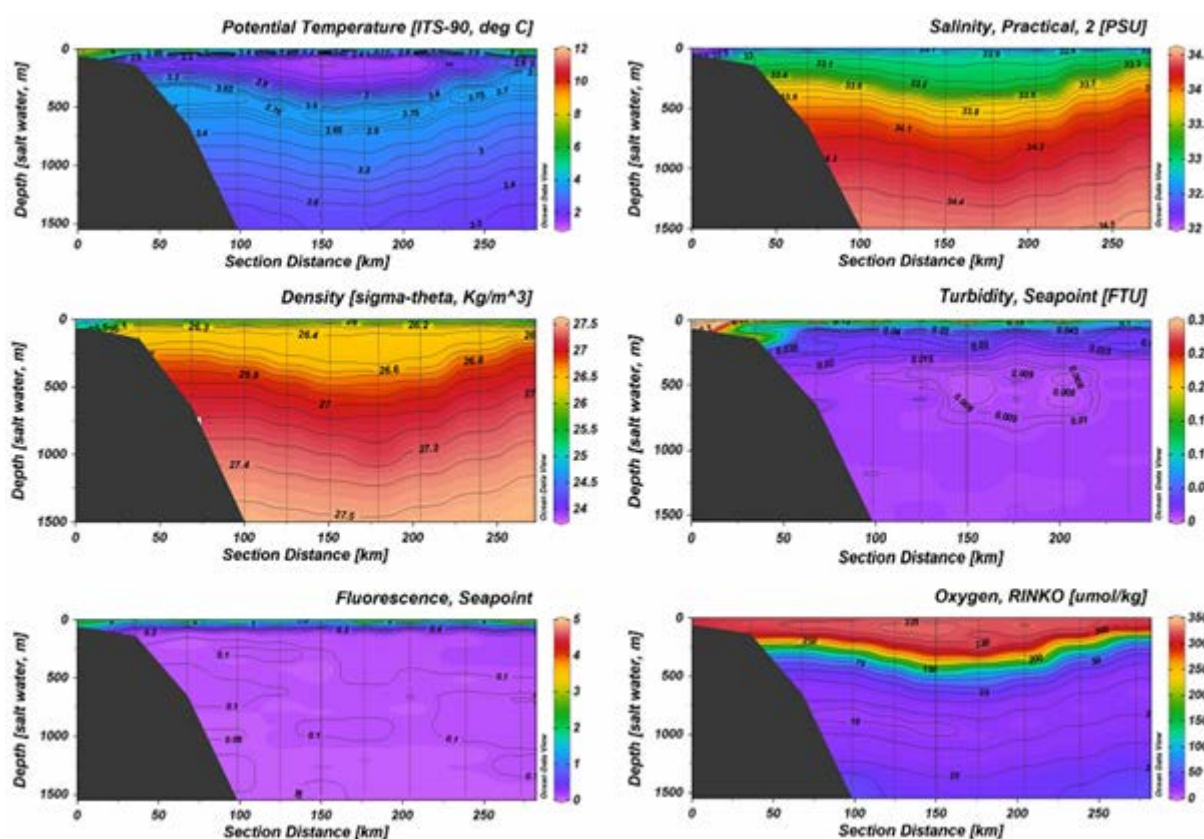


Рисунок 11. Распределения океанографических параметров на разрезе через вихрь Камчатского течения поперек оси Курило-Камчатского желоба. Местоположение разреза см. на рис. 1

и мутностью нарушается. Это связано с адвекцией тихоокеанских вод в область склона о. Сахалин и во впадину ТИНРО через желоб Лебеда. Анализ экспедиционного материала свидетельствуют о значительно меньшем влиянии дна и придонного слоя на понижение содержания кислорода в морских водах по сравнению с процессами в толще вод.

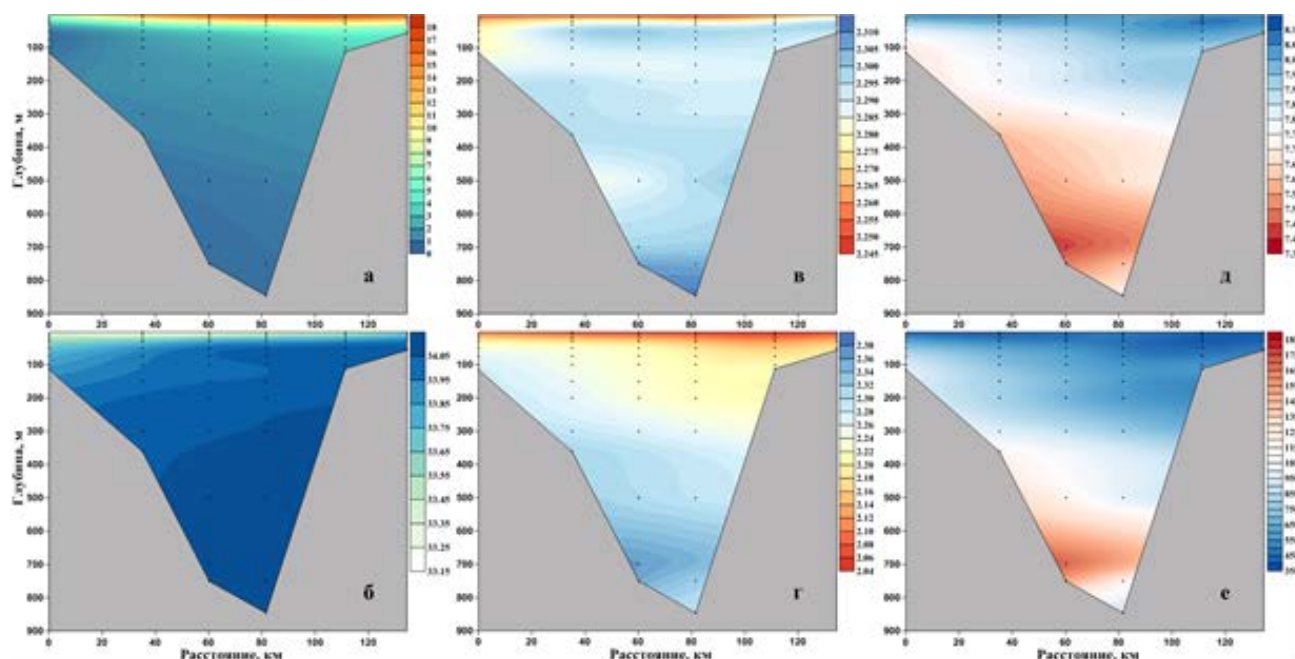
2.3. Результаты гидрохимических работ

Проведены комплексные гидрохимические исследования в Татарском проливе, на восточном шельфе о. Сахалин, во впадине ТИНРО и в вихревой структуре, расположенной к востоку от северных Курильских островов.

Результаты работ, выполненных в южной части Татарского пролива, хорошо согласуются с результатами работ 1999 г. В толще вод зарегистрированы высокие значения парциального давления углекислого газа в условиях достаточно высоких концентраций кислорода (рис. 12, 13).

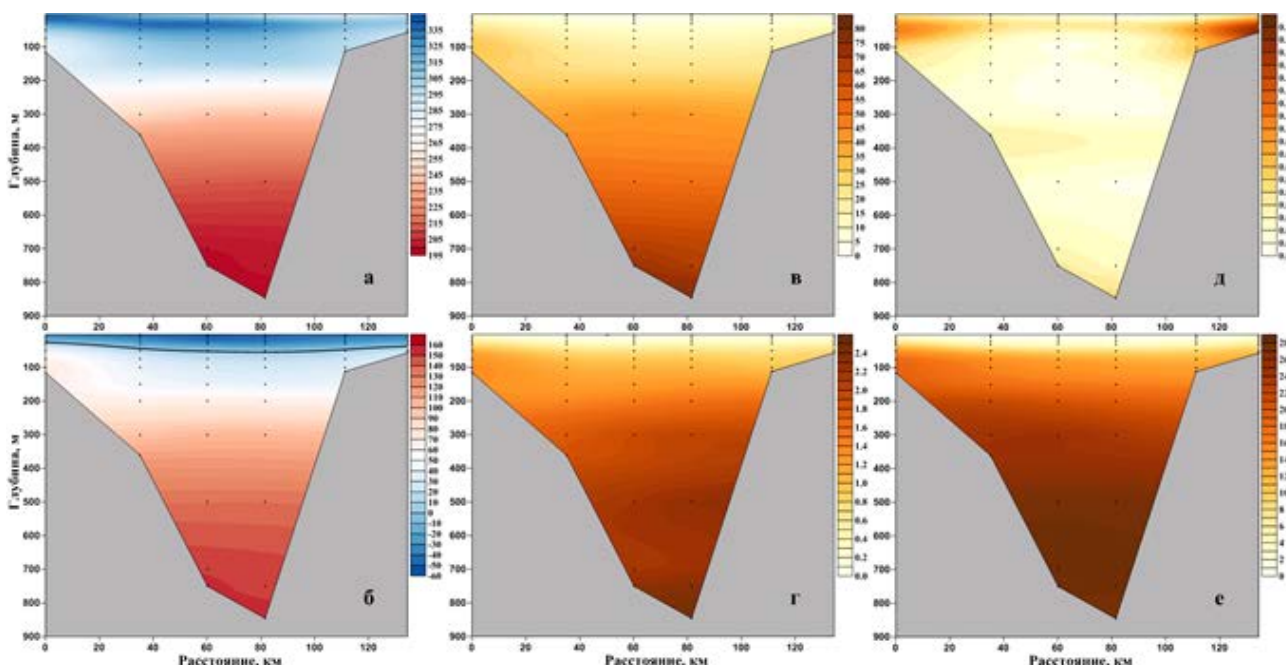
Формирование поля гидрохимических параметров в водах восточного шельфа о. Сахалин происходит в условиях адвекции холодных океанических вод на шельф. В районе шельфа центральной части полигона в поверхностном слое существует ядро холодных вод. В придонном слое наблюдается монотонное увеличение температуры и солености с ростом глубины. Пространственное распределение щелочности и DIC повторяет ход солености. Адвекция холодных вод формирует локальный максимум кислорода и соответствующую ему область высоких значений pH и минимума pCO_2 . При достаточной насыщенности этих вод биогенными элементами здесь происходит интенсивный рост фитопланктона, концентрация которого достигает 8 мкг/л. Низкое содержание гумусовых веществ указывает на то, что, по всей вероятности, воды проникли на шельф вследствие адвекции из открытой части Охотского моря (рис. 14).

Распределение практически всех гидрохимических параметров, за исключением нитритов, в районе впадины ТИНРО подчинено строгой вертикальной стратификации. С увеличением глубины растут соленость, общая щелочность, DIC, pCO_2 , силикаты, фосфаты, нитраты, уменьшаются температура и растворенный кислород.



▲ Рисунок 12. Распределение температуры, °C (а), солености, psu (б), общей щелочности, ммоль/кг (в), общего неорганического углерода, ммоль/кг (г), pH_{in situ} (д) и pCO₂, мктм (е) на разрезе по 48° с.ш. в Татарском проливе Японского моря. Местоположение разреза см. на рис. 1

▼ Рисунок 13. Распределение растворенного кислорода, мкмоль/кг (а), кажущегося потребления кислорода, мкмоль/кг (б), силикатов, мкмоль/л (в), фосфатов, мкмоль/л (г), нитритов, мкмоль/л (д) и нитратов, мкмоль/л (е) на разрезе по 48° с.ш. в Татарском проливе Японского моря. Сплошная линия соответствует значению AOU = 0. Местоположение разреза см. на рис. 1



Фотический слой, в котором продукция органического вещества преобладает над его разложением, составляет 30 м. Нижняя граница кислородосодержащего слоя залегает на глубинах 450–500 м. В слое 50–75 м (под нижней границей слоя фотосинтеза) существует максимум содержания нитритов, концентрация которых

достигает 0,42 мкмоль/л. Формирование слоя максимума нитритов может возникнуть при восстановлении нитратов денитрифицирующими бактериями либо окислении аммония нитрифицирующими бактериями (рис. 15, 16).

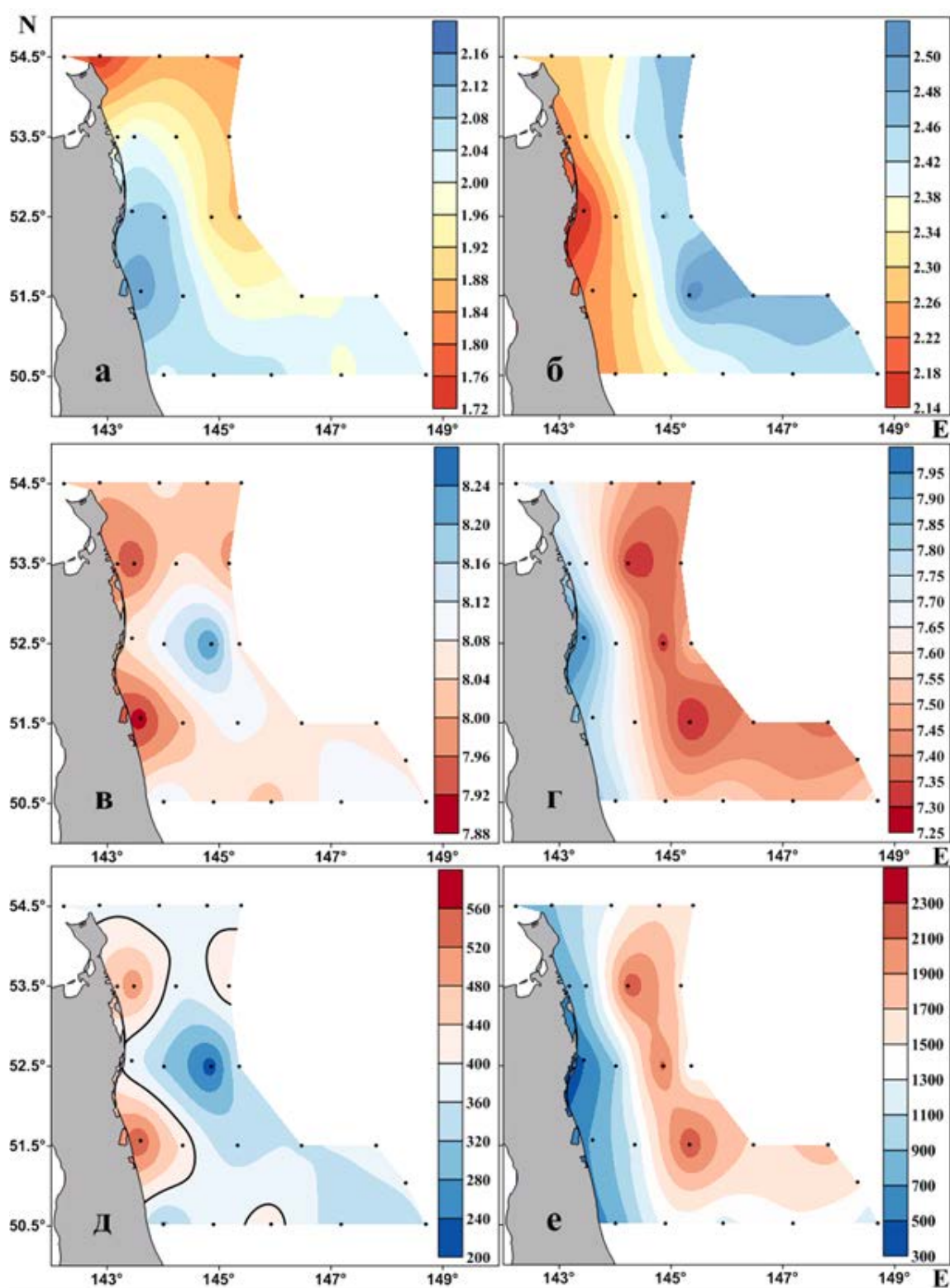
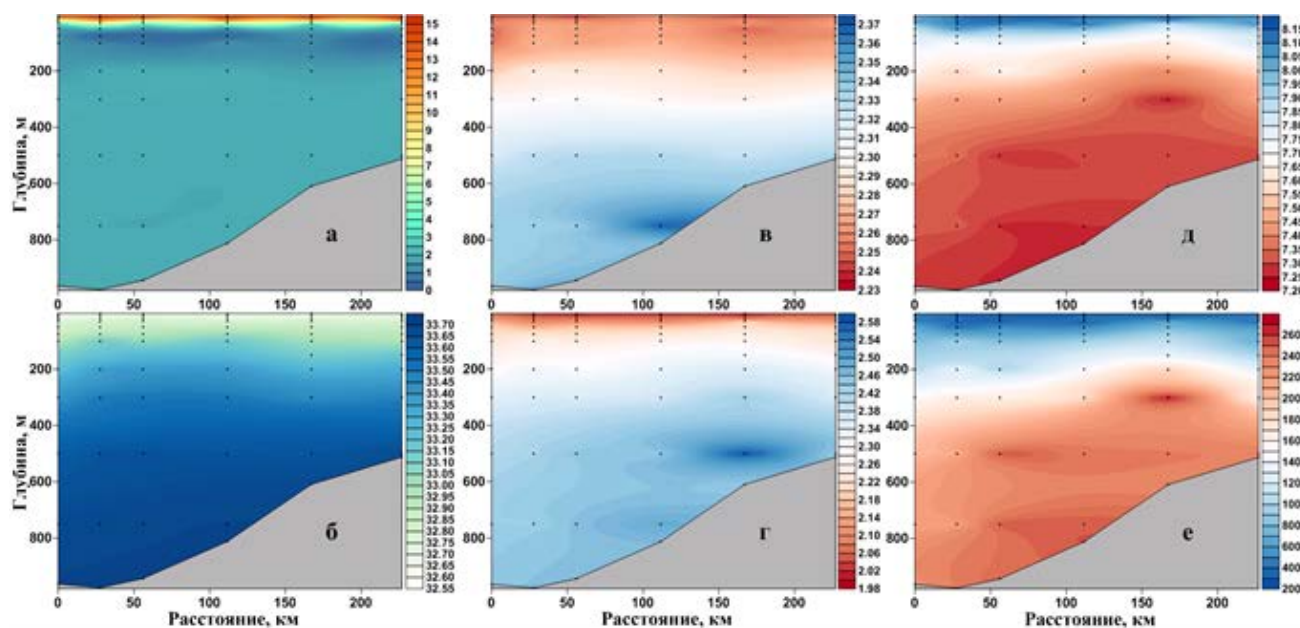
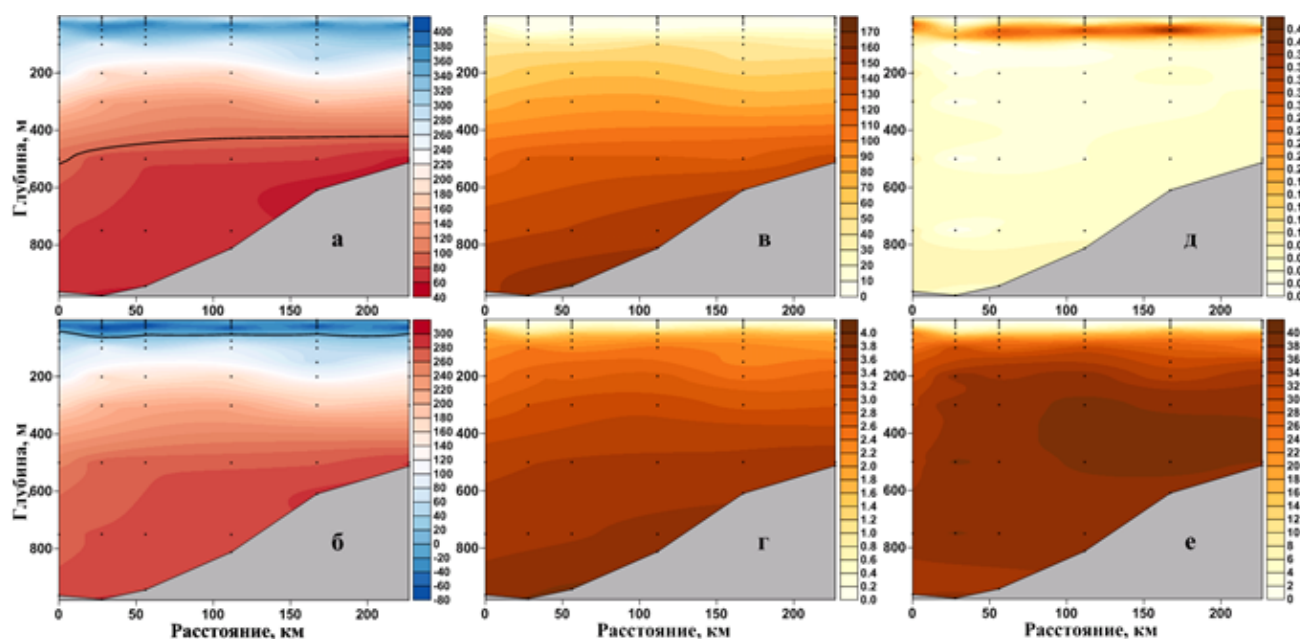


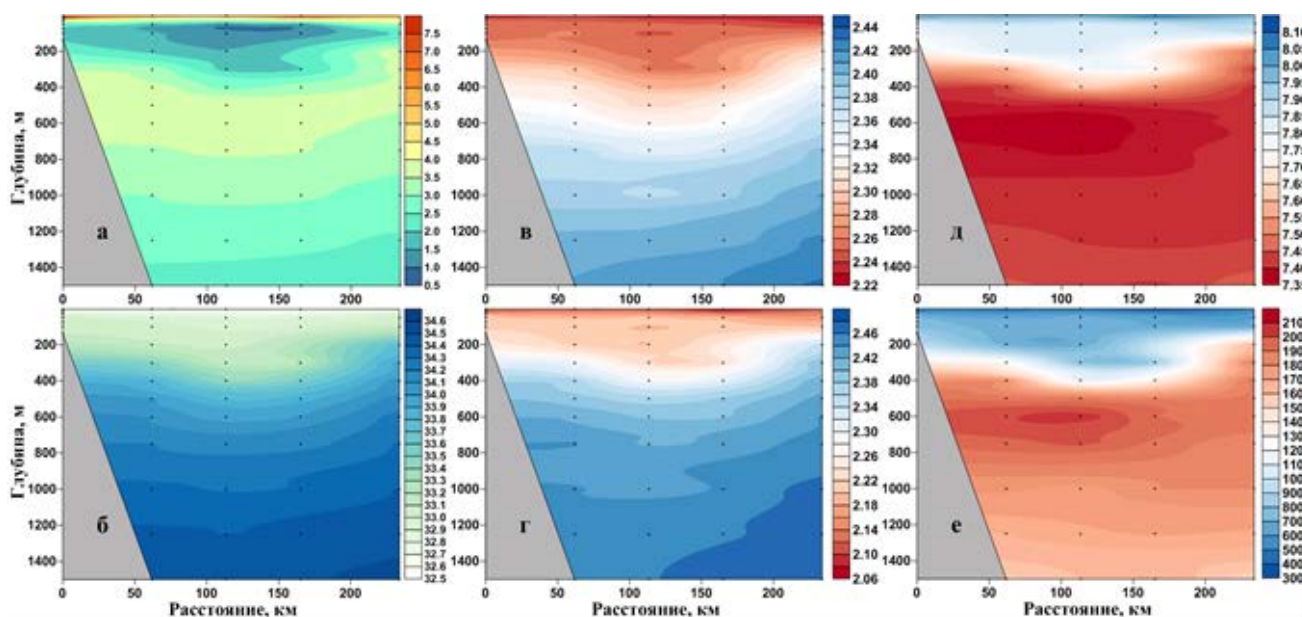
Рисунок 14. Пространственное распределение общего неорганического углерода, ммоль/кг (а, б), pH_{in situ} (в, г) и парциального давления углекислого газа, мкатм (д, е) на восточном склоне о. Сахалин в поверхностном (а, в) и придонном (б, г) горизонтах. Сплошная линия соответствует атмосферной концентрации углекислого газа (pCO₂(атм) = 400 мкатм)



▲ Рисунок 15. Распределение температуры, °C (а), солености, psu (б), общей щелочности, ммоль/кг (в), общего неорганического углерода, ммоль/кг (г), $pH_{in situ}$ (в), pCO_2 , мклат (г) на вертикальном разрезе во впадине ТИНРО

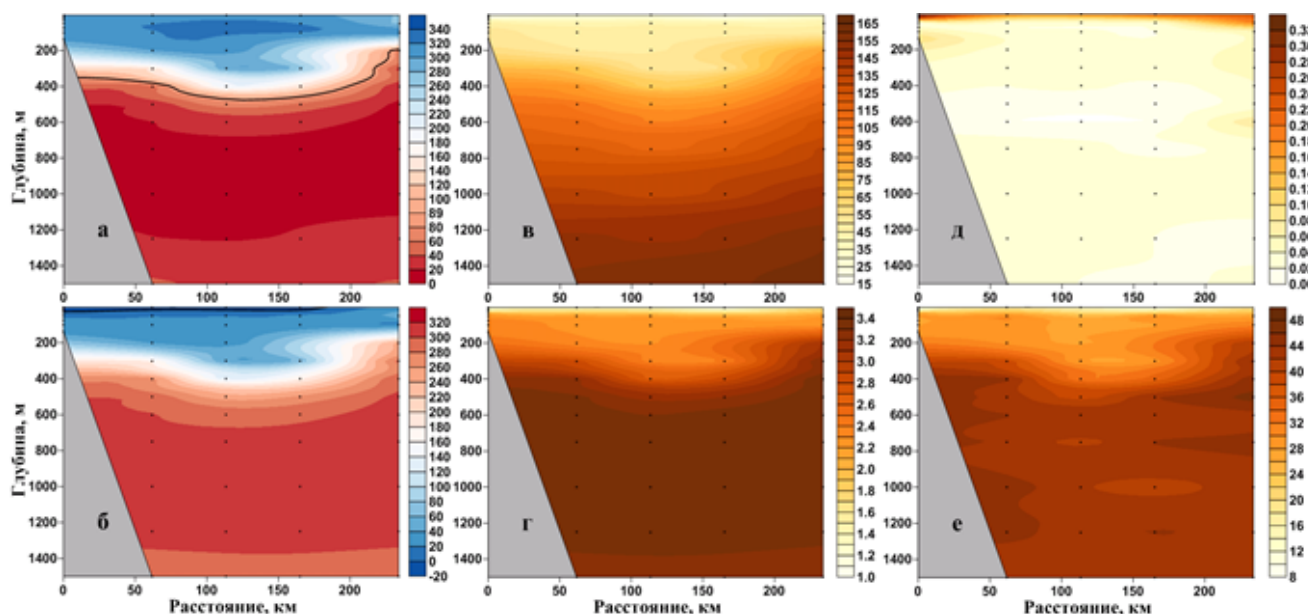
▼ Рисунок 16. Распределение растворенного кислорода, мкмоль/кг (а), кажущегося потребления кислорода, мкмоль/кг (б), силикатов, мкмоль/л (в), фосфатов, мкмоль/л (г), нитритов, мкмоль/л (д) и нитратов, мкмоль/л (е) на вертикальном разрезе во впадине ТИНРО. Сплошная линия соответствует концентрации кислорода, равной 89 мкмоль/кг, (а) и значению AOU = 0 (б)





▲ Рисунок 17. Распределение температуры, °C (а), солености, psu (б), общей щелочности, ммоль/кг (в), общего неорганического углерода, ммоль/кг (г), $pH_{in situ}$ (а) и pCO_2 , мкاتم (б), на разрезе поперек Курило-Камчатского желоба в Тихом океане. Местоположение разреза см. на рис. 1

▼ Рисунок 18. Распределение растворенного кислорода, мкмоль/кг (а), кажущегося потребления кислорода, мкмоль/кг (б), растворенных силикатов, мкмоль/л (в), фосфатов, мкмоль/л (г), нитритов, мкмоль/л (д) и нитратов, мкмоль/л (е) на разрезе поперек Курило-Камчатского желоба в Тихом океане. Сплошная линия соответствует концентрации кислорода, равной 89 мкмоль/кг (а) и значению AOU = 0 (б). Местоположение разреза см. на рис. 1



При исследовании антициклонического вихря в Тихом океане обнаружено, что в центре вихря существует ядро холодных вод, соленость которых на 0,4 psu ниже окружающих вод. В вихре сформированы области пониженных значений щелочности, DIC, $p\text{CO}_2$ и биогенных веществ. При этом существует подток кислорода от поверхности на глубину, вследствие чего толщина кислородосодержащих вод возрастает с 200 до 470–500 м. Увеличения продукционных характеристик на границах вихря не происходит: содержание хлорофилла *a* в районе исследований не превышает 1 мкг/л. (рис. 17, 18).

2.4. Результаты геологических работ

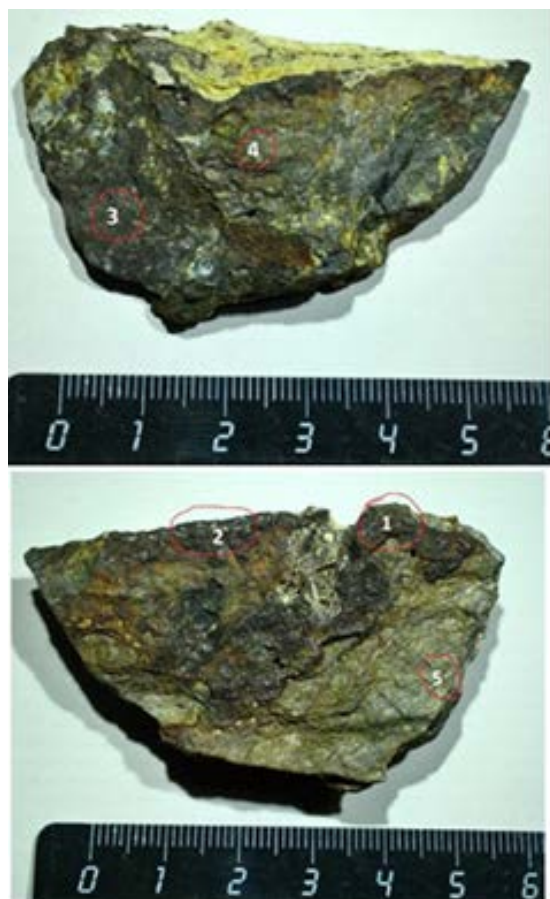
На юго-западной части банки Кашеварова (рис. 1, 3) и на вулканической постройке массива Черные Братья (Курильская гряда) в Охотском море выполнено геологическое драгирование. Для определения химического состава поднятых горных пород полученные образцы были изучены с использованием портативного рентген-флуоресцентного анализатора Olympus Innov-X. На банке Кашеварова были подняты образцы сланцев (рис. 19), на одном из которых обнаружена тонкая, 1–2 мм, железомарганцевая корочка

с высоким (более 0,1 %) содержанием никеля. Кроме того, в образцах обнаружено высокое содержание железа (до 12,2 %) и марганца (до 6,7 %). На вулкане массива Черные Братья (Курильская гряда) подняты железомарганцевые конкреции и пемза, содержащие рудные минералы. По результатам химанализа среднее содержание марганца в образцах составило 5 %, а железа – 10 %. Также некоторые образцы обогащены молибденом (до 150 мг/кг).

2.5. Реализация программы Тихоокеанского плавучего университета

В ходе выполнения экспедиции была реализована научно-образовательная программа Тихоокеанского плавучего университета по обучению и стажировке студентов Дальневосточного федерального университета (г. Владивосток), Московского государственного университета (г. Москва) и Санкт-Петербургского государственного университета (г. Санкт-Петербург).

Рисунок 19. Образец сланца с железомарганцевой корочкой, поднятый на банке Кашеварова. Номера столбцов в таблице соответствуют номерам точек на образцах



Элемент	№1	№2	№3	№4	№5
Fe %	9,5	12,2	3,7	6,7	6,0
Mn %	4,0	6,7	2,3	0,086	0,089
P %	0,575	0,649	0,090	0,253	0,135
Al %	3,2	1,8	8,5	7,3	10,4
Si %	12	7	15	25	23
Cl* %	0,352	0,532	0,488	0,062	0,046
K %	0,8	0,5	1,7	4,4	4,3
Ti %	0,158	0,163	0,351	0,444	0,444
S %	0,136	0,223	0,384	0,428	0,138
Ca %	0,60	0,70	0,7	—**	—**
Ni мг/кг	539	1115	400	24	25
V* мг/кг	288	521	139	165	148
Zn мг/кг	300	428	191	102	86
Cu мг/кг	33	51	81	36	18
Mo мг/кг	11	61	-	-	-
As* мг/кг	71	116	14	27	23
Pb мг/кг	19	71	24	21	13
Zr мг/кг	89	105	100	146	173
Rb мг/кг	41	46	80	160	127
Sr мг/кг	189	254	127	141	154
Y мг/кг	12	26	6	10	18
Nb* мг/кг	6	8	7	12	13
Bi мг/кг	28	35	-	14	13

* – режим «Почва»

** – ниже предела обнаружения

В экспедиции были организованы занятия и чтение лекций, касающихся вопросов океанологии, гидрохимии, геологии, геофизики, технических средств освоения Мирового океана, методики проведения морских работ, конструктивных особенностей и научных технических средств НИС «Академик Опарин», техники безопасности и охраны труда, общих вопросах быта и досуга. В ходе рейса студенты готовили отчеты и эссе по наиболее важным моментам экспедиции. В целом экспедиция прошла в теплой и дружелюбной обстановке (рис. 20).

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, результаты комплексных геофизических, гидрологических, гидрохимических и литологических исследований, выполненных в 53-м рейсе НИС «Академик Опарин» в Японском и Охотском морях и северо-западной части Тихого океана позволили

выявить новые особенности, касающиеся геологического строения, динамики и циркуляции вод как в системе шельф – котловина, так и в условиях глубокого моря. В дальнейшем интерпретация полученных данных поможет оценить изменения гидрологического режима в дальневосточном регионе, происходящие вследствие глобального изменения климата, уточнить влияние антропогенной нагрузки и определить перспективность дна ДВ морей для обнаружения месторождений полезных ископаемых.

Мы выражаем благодарность сотрудникам ФАНО и Минобрнауки за своевременную подготовку необходимых документов и разрешения, что позволило быстро и оперативно провести запланированные работы.

Благодарим капитана НИС «Академик Опарин» О.М. Цуканова, штурманов, механиков и экипаж за помощь в проведении работ.



Рисунок 20. Участники экспедиции 53-го рейса НИС «Академик Опарин» на фоне вулкана Алаид (о. Атласова, северные Курильские острова) 5 сентября 2017 г.

КОМПЛЕКСНЫЕ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КЛЮЧЕВЫХ РАЙОНОВ ЯПОНСКОГО И ОХОТСКОГО МОРЕЙ В СВЯЗИ С СОВРЕМЕННЫМИ ПРИРОДНЫМИ И ТЕХНОГЕННЫМИ РИСКАМИ В 73-м РЕЙСЕ НИС «ПРОФЕССОР ГАГАРИНСКИЙ»

В.Н. Карнаух*, А.Ф. Сергеев, В.Б. Лобанов
Тихоокеанский океанологический институт
им. В.И. Ильичева ДВО РАН

*e-mail: karnaukh@poi.dvo.ru

1. Введение

С 7 июня по 3 июля 2017 г. была проведена экспедиция на НИС «Профессор Гагаринский» (рейс № 73), целью которой являлись комплексные исследования состояния и динамики вод, динамических и циркуляционных особенностей их распространения, межгодовой и долгопериодной изменчивости их характеристик, получение новых данных о состоянии и изменчивости термohалинной структуры вод северной части Японского моря и нефтегазоносных участков сахалинского шельфа Охотского моря, изучение биогеохимических процессов в областях обнаружения устойчивых гидрохимических аномалий, геологических и геодинамических условий их формирования в связи с изменениями климата и растущей антропогенной нагрузкой.

Экспедиция выполнялась на основании Плана морских научных исследований во внутренних морских водах, в территориальном море, в исключительной экономической зоне и на континентальном шельфе Российской Федерации на 2017 г., утвержденного приказом Минобрнауки России от 20 декабря 2016 г. № 1617, пункт 40, и разрешением Минобрнауки России на проведение морских научных исследований № 46 от 6 июня 2017 г.

Экспедиция проводилась для выполнения Государственного задания ТОИ ДВО РАН по Программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы, раздел 70

«Физические поля, внутреннее строение Земли и глубинные геодинамические процессы»,

НИР № 0271-2016-0003, № гос. рег. АААА-А17-117030110032-3, название: «Пространственно-временные изменения геофизических полей, их связь со структурой, геодинамикой и сейсмотектоническими процессами в литосфере дальневосточных морей России и их обрамления»;

раздел 75 «Мировой океан – физические, химические и биологические процессы, геология, геодинамика и минеральные ресурсы океанской литосферы и континентальных окраин; роль океана в формировании климата Земли, современные климатические и антропогенные изменения океанских природных систем»,

а) НИР № 0271-2016-0005, № гос. рег. АААА-А17-117030110042-2, название: «Исследование основных процессов, определяющих состояние и изменчивость океанологических характеристик дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана»;

б) НИР № 0271-2016-0006, № гос. рег. АААА-А17-117030110038-5, название: «Влияние природных и антропогенных факторов на биохимические процессы и состояние биоты в морских экосистемах»;

в) НИР № 0271-2016-0007, № гос. рег. АААА-А17-117030110033-0, название: «Палеоокеанология окраинных морей Востока России и примыкающих районов Тихого океана, особенности и этапность кайнозойского осадконакопления, магматизма и рудогенеза»; а также для выполнения заданий Программы фундаментальных исследований ДВО РАН «Дальний Восток» на 2015–2017 гг. грант № 15-1-1-002.

Основными задачами экспедиции являлись:

– подъем установленных в 2016 г. трех океанографических донных автономных буйковых станций (АБС) на материковом склоне залива Петра Великого (Японское море);

- выполнение гидрологической съемки на полигоне на северо-восточном шельфе о. Сахалин в районе Южно-Кириного газоконденсатного месторождения;

- подъем установленных в 2016 г. двух АБС на северо-восточном шельфе о. Сахалин, замена блоков питания, считывание информации и установка их обратно;

- отбор проб донных осадков для литодинамических исследований на участке северо-восточного шельфа о. Сахалин;

- исследование строения осадочного чехла Японского и Охотского морей;

- измерения магнитного поля;

- изучение планктонного сообщества на акватории открытой части Охотского моря в весенне-летний период;

- гидрометеорологические измерения;

- изучение содержания ртути в приводном воздухе.

Для проведения исследований в рейсе использовалось следующее научное оборудование:

- высокочастотный профилограф GeoPulse Sub-bottom Profiler;

- комплект оборудования для непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСП) с сейсмической косой и электроискровым излучателем;

- буксируемый морской протонный магнитометр MPMG-4 «Импеданс»;

- установка для измерения парциального давления углекислого газа в приводном слое атмосферы на ходу судна Licor-840;

- прибор для измерения содержания ртути в приводном слое атмосферы RA-915+;

- гидрологические CTD-зонды SBE 19, SBE 911 с датчиками для высокоточных измерений температуры, солености, давления, содержания кислорода, мутности, флуоресценции хлорофилла *a*;

- дночерпатели Ван Вина и прямоточные трубки;

- RINKO-Profilier, RBR XR620 для автономных измерений гидрологических параметров в составе АБС;

- навигационный приемник GPS 120 Garmin для определения местонахождения судна.

Общая численность научного состава экспедиции – 16 человек, все являлись гражданами РФ и сотрудниками ТОИ ДВО РАН.

Начальник экспедиции: к.г.-м.н. Виктор Николаевич Карнаух, заведующий лабораторией сейсмических исследований ТОИ ДВО РАН.

Экспедиция была начата и завершена в п. Владивосток и проводилась в два этапа. Первый этап: 7–26 июня 2017 г. (геофизические и гидрологические исследования в Японском и Охотском морях), 27–28 июня 2017 г. (стоянка в порту Владивосток). Второй этап: 29 июня – 3 июля 2017 г. (продолжение геофизических исследований в Японском море). Продолжительность экспедиции составила 25 сут.

Экспедиционный рейс выполнялся в режиме каботажного плавания. Все работы проводились в пределах территориальных вод, континентального шельфа и исключительной экономической зоны РФ (рис. 1).

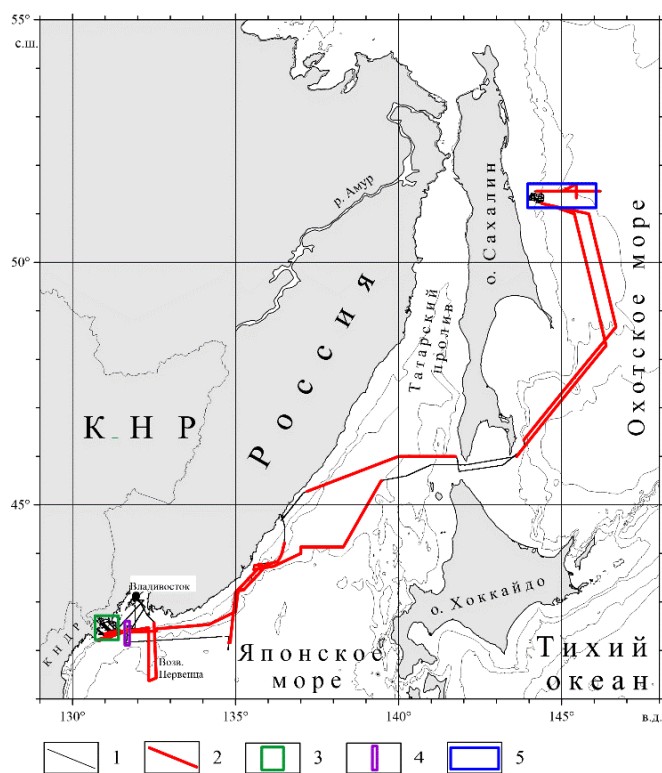


Рисунок 1. Карта районов морских научных исследований и маршрут движения между ними в 73-м рейсе НИС «Профессор Гагаринский»:

1 – маршрут движения судна;

2 – профили геофизической съемки (непрерывное сейсмоакустическое профилирование, магнитометрия) и измерений содержания ртути в приводном слое атмосферы;

3 – полигон высокоразрешающих сейсмоакустических исследований с высокочастотным профилографом GeoPulse Subbottom Profiler;

4 – полигон, на котором был произведен подъем трех АБС;

5 – полигон отбора проб донных осадков, СТД-зондирования и профилактических работ на двух АБС на северо-восточном шельфе о. Сахалин

2. Результаты работ

За время экспедиции пройдено 2800 миль. Получено 2230 миль магнитной съемки, 280 миль высоко-разрешающих сейсмоакустических профилей с высокочастотным профилографом, 1950 миль профилей НСП, 2600 миль ртутнометрической съемки. Выполнено 36 гидрологических станций с СТД-зондированием. Отобраны пробы донных осадков дночерпателем на 28 станциях и три колонки грунта малой гравитационной трубкой. Отбор проб планктона выполнен на 9 станциях. Подняты три донные станции на склоне залива Петра Великого. На северо-восточном шельфе о. Сахалин для замены блоков питания, съема информации и профилактики оборудования были подняты две долговременных АБС и поставлены обратно для дальнейших измерений.

2.1. Результаты гидрологических исследований

В экспедиции были продолжены работы по изучению вентиляции глубинных вод Японского моря. Результаты этих работ впервые показали существование продолжительной (!) глубокой склоновой конвекции в зимнем сезоне 2016–2017 гг. Впервые на долговременных записях АБС зарегистрированы частые эпизоды вертикальной зимней склоновой конвекции (каскадинга), вентилирующей глубинные воды Японского моря (рис. 2). Установлено, что в период со второй половины февраля по первую половину марта склоновая конвекция проникала до глубины 1166 м, а ее влияние, по-видимому, распространялось до придонных вод у подножия склона. Более того, сигналы от воздействий на океанографические параметры придонных вод у кромки шельфа залива распространяются по всей толще воды в окрестностях зоны конвекции до глубины 2940 м в течение всего зимне-весеннего периода. Таким образом, впервые у континентального склона северо-западной части Японского моря зарегистрированы вертикальные движения, распространяющиеся от кромки шельфа (94 м) до подножья склона (2940 м) в течение всего зимне-весеннего периода наблюдений.

По результатам гидрологических измерений в Охотском море получены новые данные о состоянии и изменчивости термохалинной структуры исследуемой акватории, а также процессов водообмена прибрежной зоны и глубокого моря и его влияния на

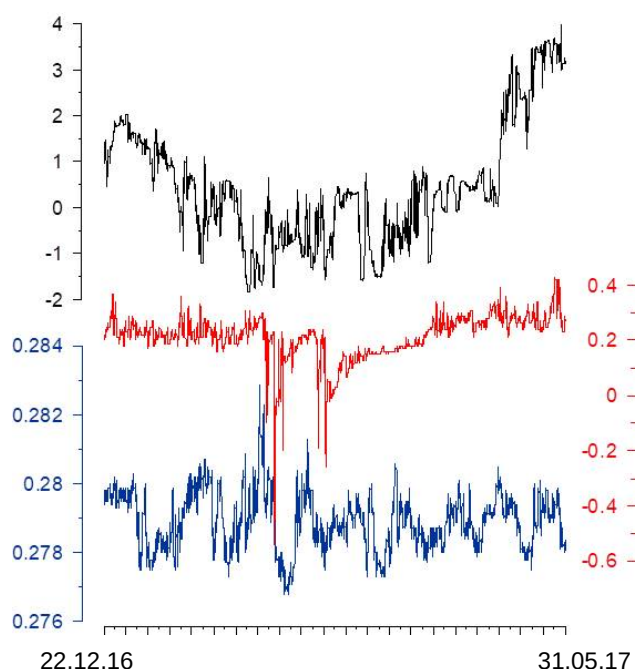


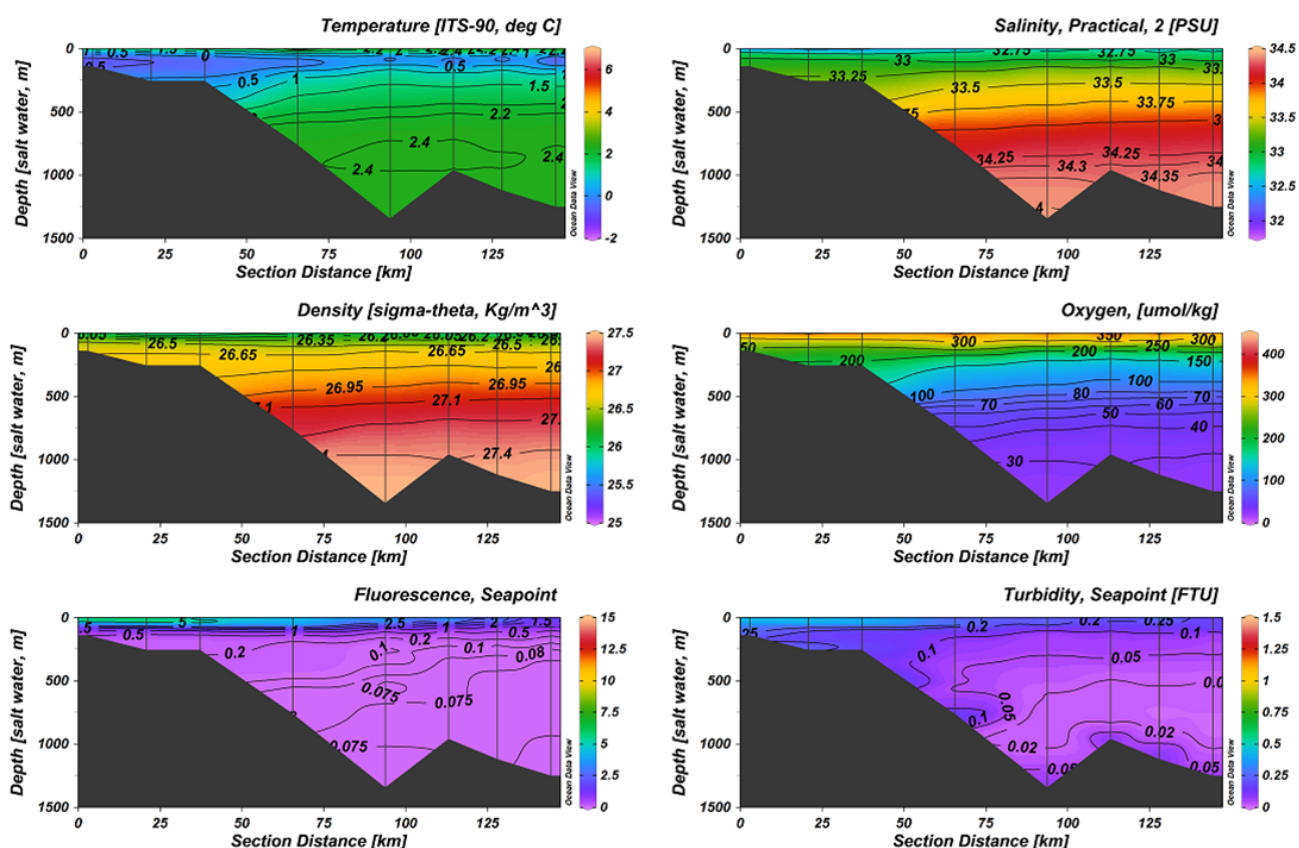
Рисунок 2. Эпизоды каскадинга, зарегистрированные на склоне залива Петра Великого в Японском море в феврале – марте 2017 г. Показан временной интервал от 22 декабря 2016 г. до 31 мая 2017 г. Вертикальная шкала – температура воды у дна: на АБС-3, расположенной у подножия склона (глубина 2940 м, синий цвет), на АБС-4, расположенной на склоне (глубина 1166 м, красный цвет) и на АБС-5, расположенной у кромки шельфа (94 м, черный цвет)

продуктивность прибрежной зоны (рис. 3). На гидрологических разрезах выделяется ядерная структура поля температуры у склона, гипоксия на склоне у дна, взмученность на подводной возвышенности в котловине, наличие вод с отрицательной температурой на шельфе и повышенная продуктивность на шельфе.

В последующем анализ экспедиционных материалов позволит дать оценку современного состояния и изменчивости морской среды в шельфовых зонах морей в связи с изменениями климата и растущей антропогенной нагрузкой.

2.2. Результаты литологических и биологических исследований

На шельфе восточного Сахалина в рамках проекта «Обустройство Южно-Киринского месторождения» в месте размещения платформ для бурения геологоразведочных скважин произведен отбор проб донных осадков. Полученные образцы будут использованы



для оценки современного состояния литодинамической обстановки в данном районе и выяснения тенденции ее изменения.

Для уточнения видового состава зоопланктона в районе Южно-Киринского газоконденсатного месторождения на шельфе северо-восточного Сахалина в Охотском море в весенне-летний период выполнены гидробиологические работы. Актуальность данных исследований объясняется резким усилением геолого-разведочных изысканий и добычей нефти и газа на шельфе о. Сахалин. Но, несмотря на то что эта акватория является объектом интенсивных океанографических и гидробиологических исследований, сведения о местных планктонных сообществах немногочисленны. Как известно, живые организмы тесно связаны со средой обитания и могут служить надежными индикаторами ее состояния. Планктонные, нектонные и бентосные морские сообщества наиболее восприимчивы к антропогенному воздействию. Планктон служит основой кормовой базы значительной части нектона, в том числе промысловых рыб и кальмаров, поэтому исследование планктона является одним из основных направлений мониторинга окружающей среды на морских акваториях. В экспедиции проводилось изучение

Рисунок 3. Распределение океанографических параметров на широтном разрезе по 51°28' с.ш. к востоку от о. Сахалин в Охотском море

экологической обстановки на основе анализа качественных и количественных показателей распределения фито- и зоопланктона, а также по содержанию тяжелых металлов (ТМ) в зоопланктоне. Предварительные результаты показывают, что большой видовой состав различных таксономических групп, а также высокие показатели численности и биомассы фито- и зоопланктона свидетельствуют об устойчивом состоянии сообществ в настоящее время, что также подтверждается составом тяжелых металлов в зоопланктонных пробах. Данные наблюдения будут служить основой для оценки изменений популяции планктона в будущем в ходе освоения и промышленной эксплуатации Южно-Киринского газоконденсатного месторождения.

2.3. Результаты геофизических исследований

В результате сейсмоакустических исследований по профилю вдоль 51°28' с.ш. к востоку от о. Сахалин в Охотском море обнаружено наличие здесь современного оползня, смещение которого сопровождается

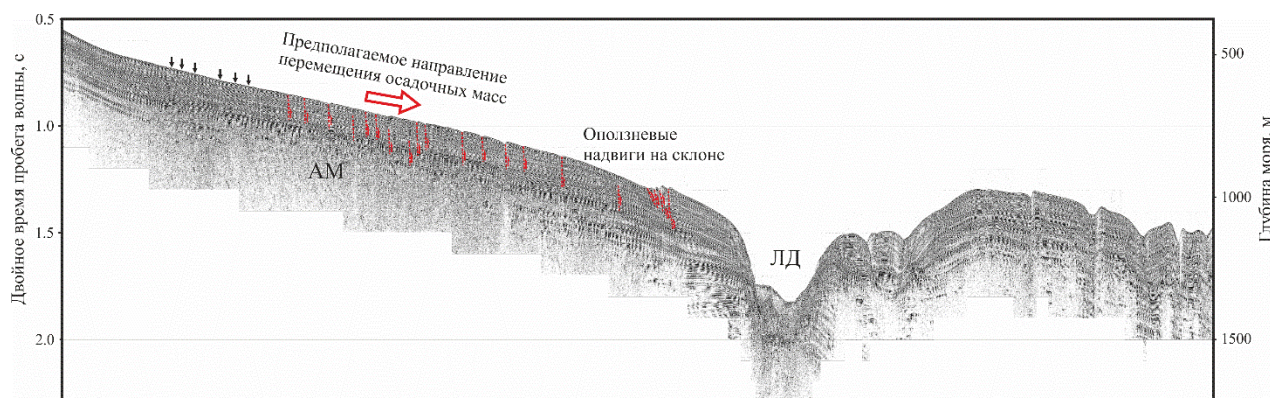


Рисунок 4. Пример профиля НСП на широтном разрезе по 51°28' с.ш. к востоку от о. Сахалин в Охотском море, иллюстрирующий наличие здесь современного оползня и присутствие внедрений газа в осадочные отложения. ЛД – локальная депрессия. АМ – акустическая мутность. Вертикальными стрелками обозначены газовые каналы

поступлением газа из недр и его переносом по газовым каналам в водную толщу (рис. 4).

Кроме того, на склоне восточного Сахалина обнаружено обширное поле внедрений газа (газовые каналы) в осадочные отложения, и в структуре морского дна установлены многочисленные покмарки (газовые кратеры). Часто покмарки венчают газовые каналы и не заполнены осадками (рис. 5). Данные наблюдения дают основания предположить, что в настоящее время в этой части Охотского моря происходят массовые поступления газа из недр осадочных отложений с последующим его выбросом в водную толщу.

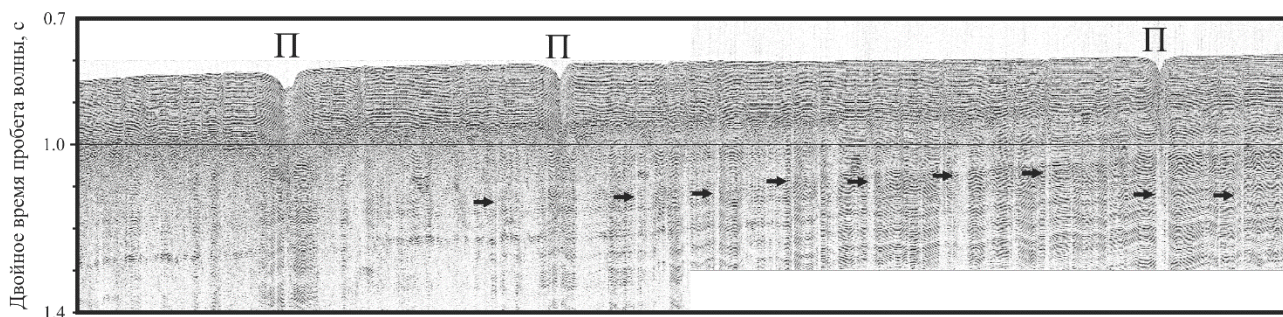
В Японском море выполнены геофизические исследования строения материкового склона и подводной возвышенности Первенца. По результатам магнитной съемки уточнено расположение магнитных аномалий, что необходимо для выяснения характера структурно-вещественных неоднородностей пород фундамента и понимания его геологического строения. Результаты сейсмоакустических исследований позволили существенно уточнить строение исследованных объектов. Установлено, что материковый

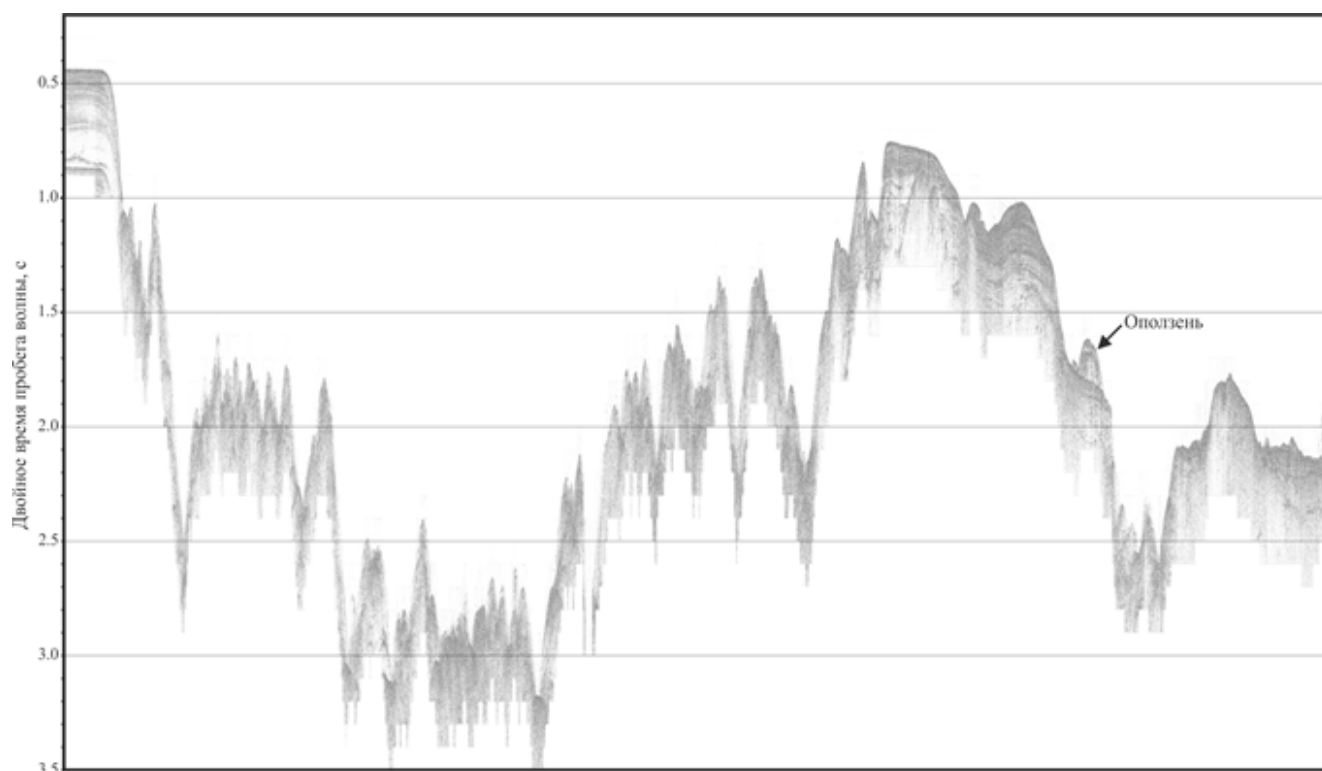
склон северной части Японского моря осложнен многочисленными узкими подводными долинами с глубиной вреза до 700 м, повсеместно лишенными осадочных отложений (рис. 6).

Высказано предположение, что их образование может быть связано с эрозионным воздействием скатывающихся вниз по склону в результате действия процесса каскадинга охлажденных зимних вод, как это показано на рис. 2.

В юго-западной части залива Петра Великого (Японское море) в структуре осадочных отложений встречаются аномалии акустической записи типа «мутность», «покров» и «колонны» (рис. 7), появление которых связано с присутствием газа в поверхностных осадках. По результатам работ выделены три изолированные друг от друга области, где имеются приповерхностные скопления газа. Полученные результаты создают основу для дальнейшего изучения газовых внедрений в заливе, их детализации, контроля текущего состояния и мониторинга их изменений в будущем.

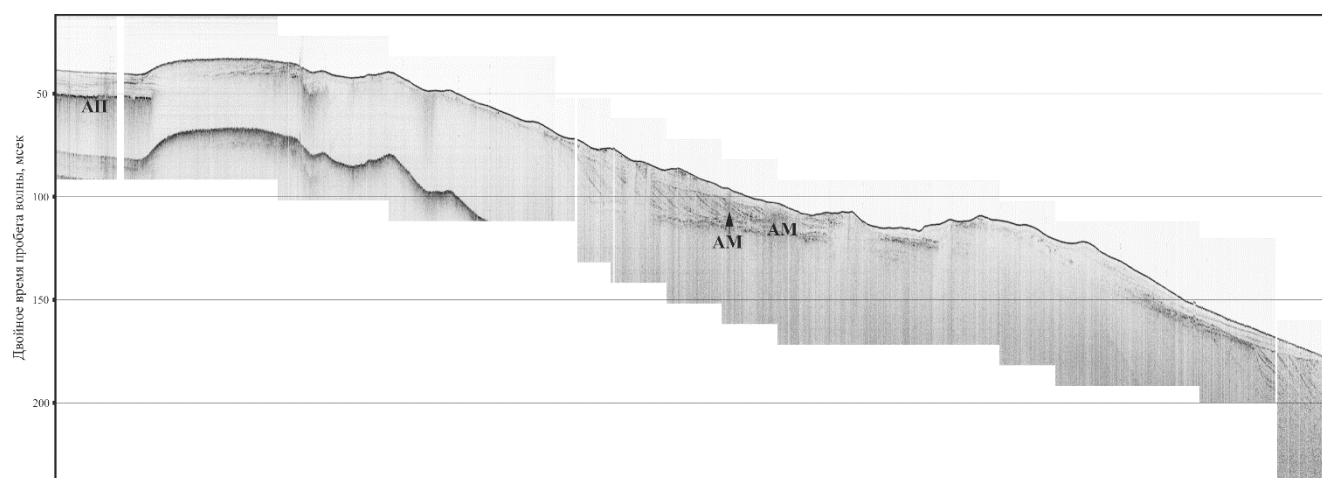
Рисунок 5. Пример профиля НСП на склоне к востоку от о. Сахалин в Охотском море, иллюстрирующий существование здесь многочисленных газовых каналов (обозначены горизонтальными стрелками) и наличие над некоторыми из них гигантских покмарков (П), что указывает на современные обширные поступления газа из недр осадочных отложений дна моря и его выбросы в водную толщу





▲ Рисунок 6. Пример профиля НСП, иллюстрирующий наличие многочисленных эрозионных долин на материковом склоне Южного Приморья, образованных, предположительно, в результате действия склоновой конвекции, как показано на рис. 2

▼ Рисунок 7. Высокоразрешающий сейсмоакустический профиль, иллюстрирующий наличие акустических аномалий, связанных с наличием приповерхностных скоплений газа в осадочных отложениях, которые представлены акустическими аномалиями типа «акустическая мутность» (АМ) и «акустический покров» (АП) в западной части залива Петра Великого (Японское море)



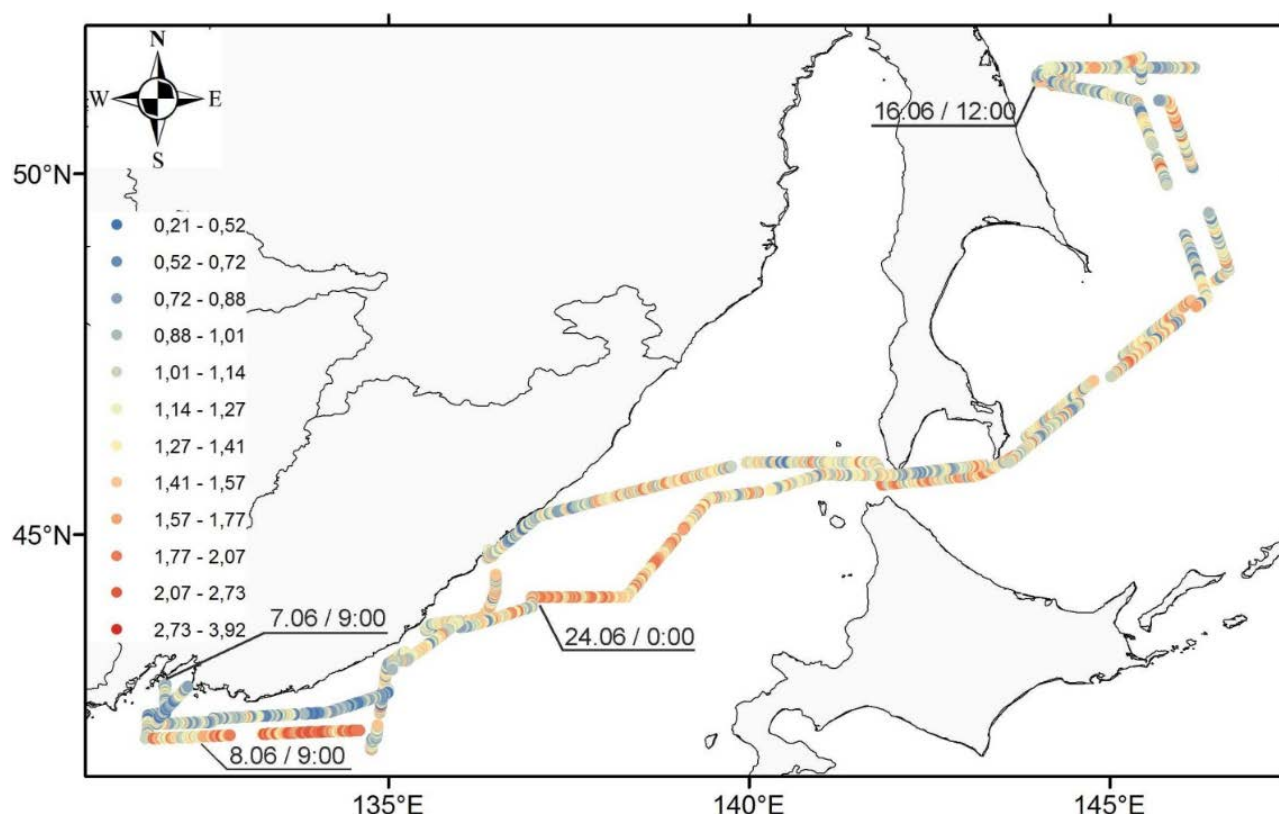


Рисунок 8. Пространственное распределение Hg^0 в приземном слое атмосферы на высоте 2 м от поверхности моря в Японском и Охотском морях в июне 2017 г.

2.4. Результаты изучения содержания ртути в приводном воздухе

По ходу движения судна производилось измерение содержания ртути в приводном воздухе. Это необходимо для оценки ее трансграничного атмосферного переноса и эмиссии с водной поверхности и определения объектов, представляющих опасность как поставщики токсичных веществ в океан и атмосферу. По результатам измерений сделана оценка пространственного распределения ртути в июне 2017 г. в исследованных частях Японского и Охотского морей (рис. 8). Полученные данные, в совокупности с результатами предыдущих измерений в экспедициях ТОИ ДВО РАН, послужат основой для картирования геологических объектов на дне моря, являющихся источником ртути.

3. Заключение

Таким образом, результаты комплексных геофизических, гидрологических, биологических и литологических исследований, выполненных в 73-м рейсе НИС «Профессор Гагаринский», позволили установить новые особенности динамики и циркуляции вод в системе шельф – котловина, уточнить геологическое строение северной части Японского моря и западной части Охотского моря и выявить новые участки дна, содержащие внедрения газа. В дальнейшем интерпретация полученных данных поможет оценить направленность изменения климата в дальневосточном регионе и уточнить влияние антропогенной нагрузки.

Мы выражаем благодарность сотрудникам ФАНО и Минобрнауки за своевременную подготовку необходимых документов и разрешения на выполнение работ, что позволило быстро и оперативно провести запланированные работы.

Благодарим капитана НИС «Профессор Гагаринский» Э.А. Гавайлера, штурманов, механиков и экипаж за помощь в проведении работ.

КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ В 75-м РЕЙСЕ НИС «ПРОФЕССОР ГАГАРИНСКИЙ»

В.Н. Карнаух

**Тихоокеанский океанологический институт
им. В.И. Ильичева ДВО РАН**

*e-mail: karnaukh@poi.dvo.ru

1. Введение

С 16 по 27 октября 2017 г. была проведена комплексная экспедиция на НИС «Профессор Гагаринский» (рейс № 75), целью которой являлись комплексные геофизические исследования окраины азиатского материка, прилегающей части глубоководной котловины, участков вулканизма на подводных возвышенностях в северо-западной части Японского моря для восстановления условий формирования этих структур, изучения этапности кайнозойского осадконакопления и оценки современных природных рисков.

Экспедиция выполнялась на основании Плана морских научных исследований во внутренних морских водах, в территориальном море, в исключительной экономической зоне и на континентальном шельфе Российской Федерации на 2017 г., утвержденного приказом Минобрнауки России от 20 декабря 2016 г. № 1617, пункт 41, разрешением Министерства образования и науки России на проведение морских научных исследований (МНИ) № 14–57 от 20 сентября 2017 г. и письмом Департамента науки и технологии Минобрнауки РФ № 14–1623 от 20.09.2017 г. о возможности использования НИС «Профессор Гагаринский» для проведения морских научных исследований, предусмотренных настоящим разрешением.

Экспедиция проводилась для выполнения Государственного задания ТОИ ДВО РАН по Программе фундаментальных научных исследований Государственных академий наук на 2013–2020 годы, раздел 70

«Физические поля, внутреннее строение Земли и глобальные геодинамические процессы»,

НИР № 0271-2016-0003, № гос. рег. АААА-А17-117030110032-3, название: «Пространственно-временные изменения геофизических полей, их связь со структурой, геодинамикой и сеймотектоническими процессами в литосфере дальневосточных морей России и их обрамления»;

раздел 75 «Мировой океан – физические, химические и биологические процессы, геология, геодинамика и минеральные ресурсы океанской литосферы и континентальных окраин; роль океана в формировании климата Земли, современные климатические и антропогенные изменения океанских природных систем»,

НИР № 0271-2016-0007, № гос. рег. АААА-А17-117030110033-0, название: «Палеоокеанология окраинных морей Востока России и примыкающих районов Тихого океана, особенности и этапность кайнозойского осадконакопления, магматизма и рудогенеза»;

и заданий Программы фундаментальных исследований ДВО РАН «Дальний Восток» на 2015–2017 гг. грант № 15-И-1-002.

Основными задачами экспедиции являлись:

- высокоразрешающие сейсмоакустические исследования строения верхней части осадочного чехла, выявление оползней на материковом склоне Приморья и на подводных возвышенностях;

- исследование строения вулканических построек на подводных возвышенностях и поиск новых вулканов;

- определение мест приповерхностных скоплений газа на шельфе Южного Приморья;

- измерения магнитного поля.

Для проведения исследований в рейсе использовалось следующее научное оборудование:

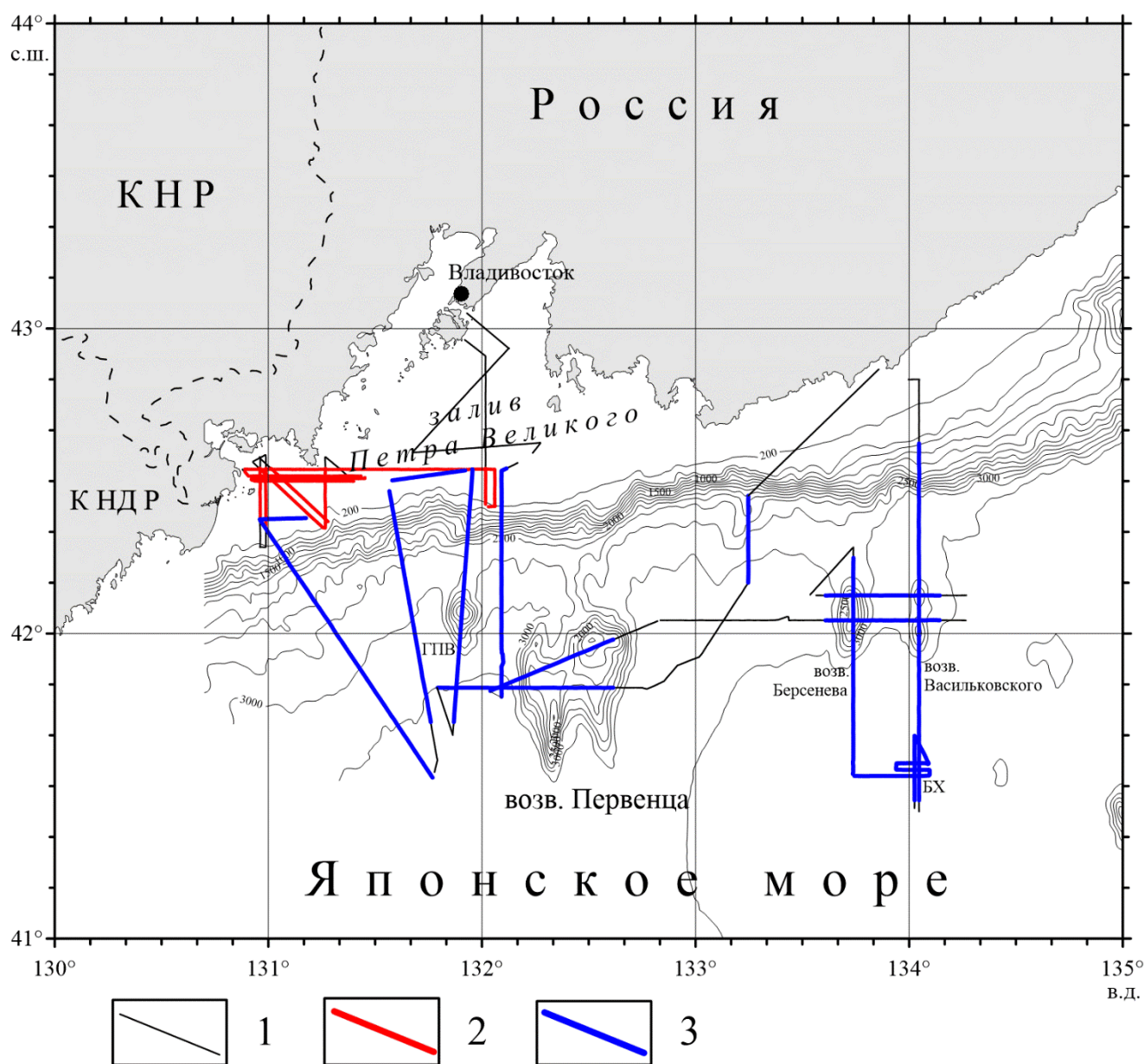


Рисунок 1. Карта районов морских научных исследований и маршрут движения между ними в рейсе № 73 НИС «Профессор Гагаринский» в Японском море:

БХ – безымянный холм; ГПВ – гора Петра Великого.;

1 – маршрут движения судна;

2 – профили высокоразрешающих сейсмоакустических исследований с высокочастотным профилографом GeoPulse Subbottom Profiler и магнитной съемки;

3 – профили непрерывного сейсмоакустического профилирования и магнитной съемки

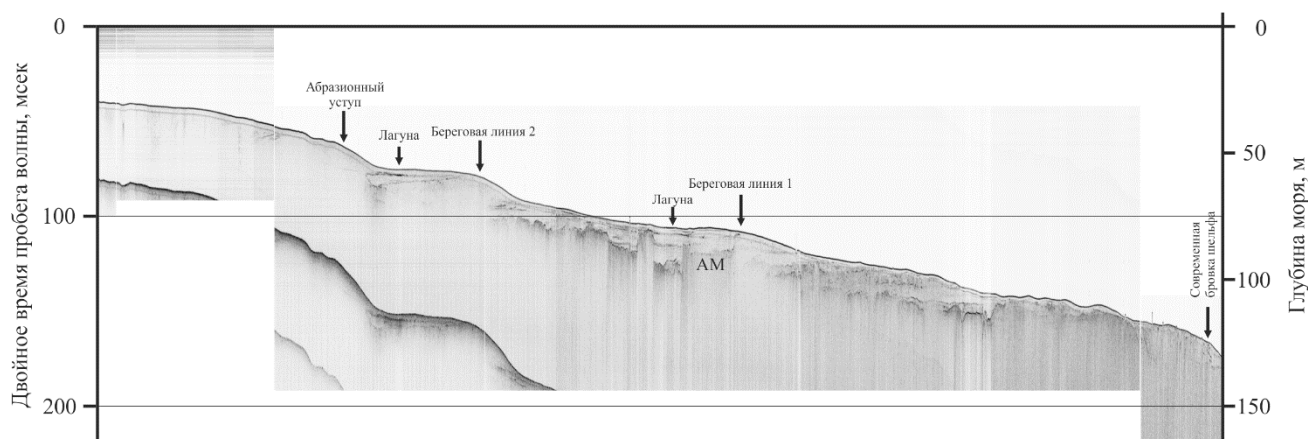


Рисунок 2. Высокоразрешающий сейсмоакустический профиль, иллюстрирующий строение верхней части осадочных отложений юго-западной части залива Петра Великого (Японское море), положение затопленных в процессе подъема уровня моря в голоцене береговых линий, лагун и абразионных уступов, а также строение приповерхностных скоплений газа, представленных акустическими аномалиями типа акустическая «мутность» (АМ)

- высокочастотный профилограф GeoPulse Subbottom Profiler;
- комплект оборудования для непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСП) с сейсмической косой и электроискровым излучателем;
- буксируемый морской протонный магнитометр MPMG-4 «Импеданс»;
- навигационный приемоиндикатор GPS 120 GARMIN для определения местонахождения судна.

Общая численность научного состава экспедиции – шесть человек, все являлись гражданами РФ и сотрудниками ТОИ ДВО РАН.

Начальник экспедиции: к.г.-м.н. Виктор Николаевич Карнаух, заведующий лабораторией сейсмических исследований ТОИ ДВО РАН.

Экспедиция была начата и завершена в п. Владивосток. Продолжительность экспедиции 12 сут. Потери времени со штормовой погодой составили 3 сут.

Экспедиционный рейс выполнялся в режиме каботажного плавания. Все работы выполнялись в пределах территориальных вод, континентального шельфа и исключительной экономической зоны РФ (рис. 1).

2. Результаты работ

Выполнено 1305 мили магнитной съемки, 385 км высокоразрешающих сейсмоакустических профилей с профилографом и 920 км профилей НСП.

На шельфе юго-западной части залива Петра Великого было продолжено изучение строения газовых включений в верхней части осадочных отложений. Акустический облик осадков верхней части чехла сильно различается в пределах полигона. Как правило, осадки здесь представлены акустически прозрачными образованиями, замещающимися вниз по разрезу хаотическими отражениями переменной интенсивности. В прозрачной части разреза иногда наблюдаются одиночные отражающие горизонты переменной интенсивности длиной первые сотни метров.

В основании осадочного разреза, на глубине 10–20 м, иногда распознается изрезанная поверхность, имеющая, по-видимому, эрозионную природу. В рельефе последней распознаются русла и террасы. Образование этих форм рельефа могло произойти во время осушения шельфа, произошедшего вследствие нескольких гляциоэвстатических колебаний уровня моря в позднем плейстоцене. Падение уровня моря на шельфе залива Петра Великого в этот период достигало 100–120 м. В результате площадь временно осушенного шельфа была частично денудирована водотоками, следы деятельности которых мы наблюдаем на записях профилографа. Подъем уровня моря в голоцене происходил в несколько этапов, на что указывает наличие на различных батиметрических уровнях затопленных береговых линий и сопряженных с ними лагун и абразионных уступов (рис. 2, 3).

В юго-западной части залива Петра Великого в структуре осадочных отложений встречаются аномалии акустической записи типа «мутность» и «колонны», связанные с присутствием газа. Аномалии типа акустическая «мутность» (АМ) характеризуются присутствием интервала беспорядочных, хаотических отражений различной степени интенсивности. Характерной чертой аномалии данного типа является

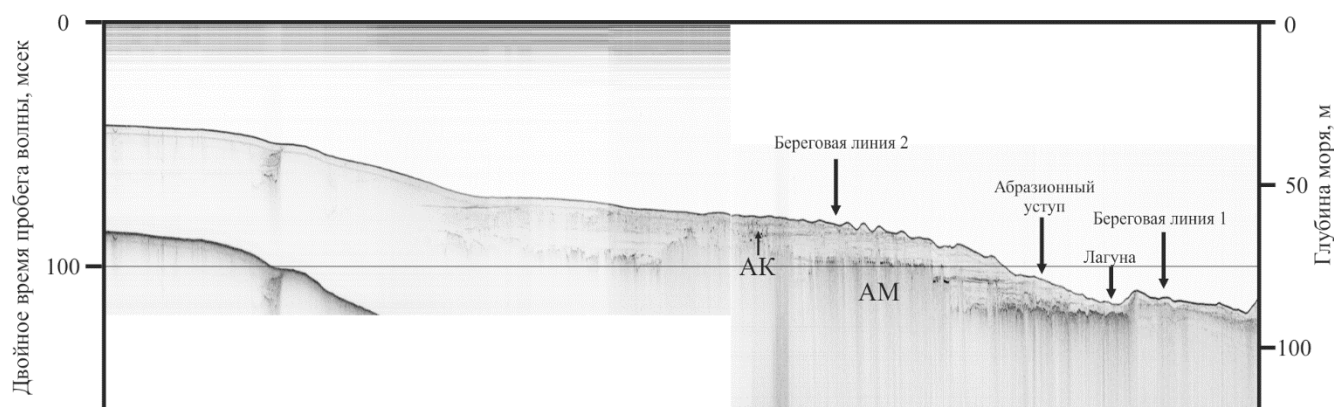


Рисунок 3. Высокоразрешающий сейсмоакустический профиль, иллюстрирующий строение верхней части осадочных отложений юго-западной части залива Петра Великого (Японское море) и строение приповерхностных скоплений газа, представленных акустическими аномалиями типа акустические «мутность» (АМ) и колонна (АК)

неровная, часто пилообразная, верхняя кромка, контуры которой, как правило, нечеткие. Акустическая «мутность» проявляется на глубинах 2–8 м ниже дна, а в поперечнике она может достигать нескольких километров.

Акустические «колонны» (АК) выглядят как узкие, шириной первые десятки метров, прозрачные и полупрозрачные вертикальные зоны, нарушающие структуру записи. Верхняя кромка аномалии, как правило, представлена высокоинтенсивным отражением. Часто «колонны» группируются вместе по несколько аномалий. В группах кровли отдельных аномалий могут находиться как на одном уровне, так и быть разнесенными на разные горизонты. Данный тип аномалии распространен в средней и нижней частях осадочного разреза, на глубинах 5–15 м ниже дна.

По результатам работ детализировано строение трёх областей, где в верхней части осадочных отложений имеются акустические аномалии, связанные с присутствием газа [1]. Наибольшим набором различных типов акустических аномалий газовой природы характеризуется область, занимающая прибрежную часть шельфа к юго-западу от о. Фуругельма. Здесь вместе с аномалиями типа АМ часто встречаются акустические колонны (АК). В мелководных частях шельфа преобладают аномалии типа акустических колонн, кровли которых располагаются на глубине 2–4 м ниже дна. Полученные результаты создают основу для дальнейшего изучения газовых внедрений в заливе, их детализации, контроля текущего состояния и мониторинга их изменений в будущем.

Целью исследований методом НСП являлось получение новых данных о детальной структуре верхней части осадочного чехла и строении акустического фундамента, выявления признаков геологической активности в местах развития разломов, вулканов и оползней. В ходе выполнения работ были изучены материковый склон, подводные вулканические возвышенности Первенца, Берсенева, Васильковского, гора Петра Великого (ГПВ) и Японская глубоководная котловина.

Материковый склон Южного Приморья изучен от меридиана 131° до 134° в.д. Строение склона резко различается на различных батиметрических уровнях. В интервале глубин моря до 1000 м склон покрыт осадками различного акустического облика (рис. 4, 5). Как правило, осадочные отложения представлены акустически стратифицированными отложениями. Иногда встречаются осадки, представленные переслаиванием акустически стратифицированных и полупрозрачных слоев. Часто осадки представлены отложениями с хаотическим рисунком отражений. В структуре осадочных отложений иногда распознаются холмы, в строении которых участвуют мигрирующие вверх по разрезу осадочные слои. Холмы разделены промоинами. Данные признаки предполагают, что данные холмы имеют дрейфовую природу и образованы в результате переотложения осадков под действием течений. В строении материкового склона большое значение имеют различные эрозионные долины или каньоны с глубиной вреза 200–500 м. Ширина долин достигает нескольких километров. Рельеф дна в долинах резко расчленен. Осадочные отложения здесь редки, и представлены акустически слабо стратифицированными или хаотическими образованиями толщиной до 0,1 с.

В экспедиции выполнено исследование подводных вулканических возвышенностей – Первенца, Берсенева, Васильковского и горы Петра Великого.

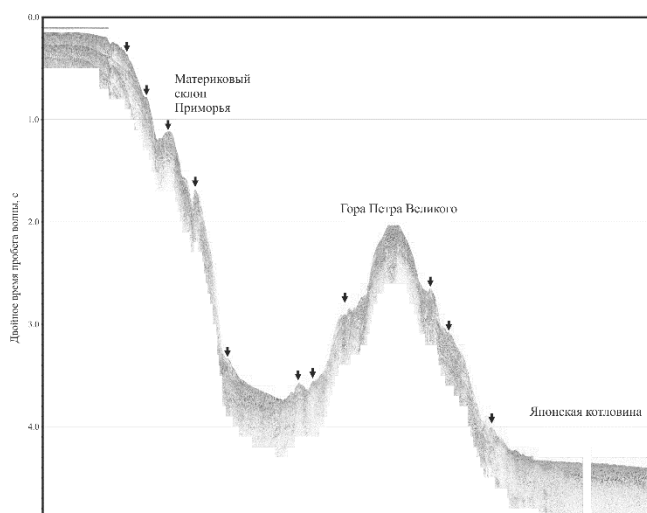


Рисунок 4. Пример профиля НСП, иллюстрирующий строение центрального материкового склона залива Петра Великого, горы Петра Великого и Японской котловины. Здесь и на рис. 5, 6 вертикальными толстыми стрелками обозначены оползни

Гора Петра Великого (рис. 4) вытянута в меридиональном направлении (длина 37 км, ширина 15 км) и возвышается над окружающей котловиной на высоту около 1700 м. Вершина горы располагается на глубине 1520 м. Гора соединяется с подножием материкового склона пологим подводным поднятием, возвышающимся над окружающим дном на 100–200 м. Склоны ГПВ покрыты осадками мощностью до 0,5 с, над её вершинной частью осадки представлены хорошо стратифицированными отложениями мощностью около 0,3 с. На склонах горы выделяются осадочные тела мощностью до 0,5 с, представленные умеренно стратифицированными осадками.

Возвышенности Берсенева и Васильковского характеризуются резко расчлененным рельефом их вершинной поверхности, на которой распознаются многочисленные вулканические горы (рис. 5, 6). Осадочные отложения редки, представлены хаотическими, редко, слабо стратифицированными образованиями мощностью до 0,2 с.

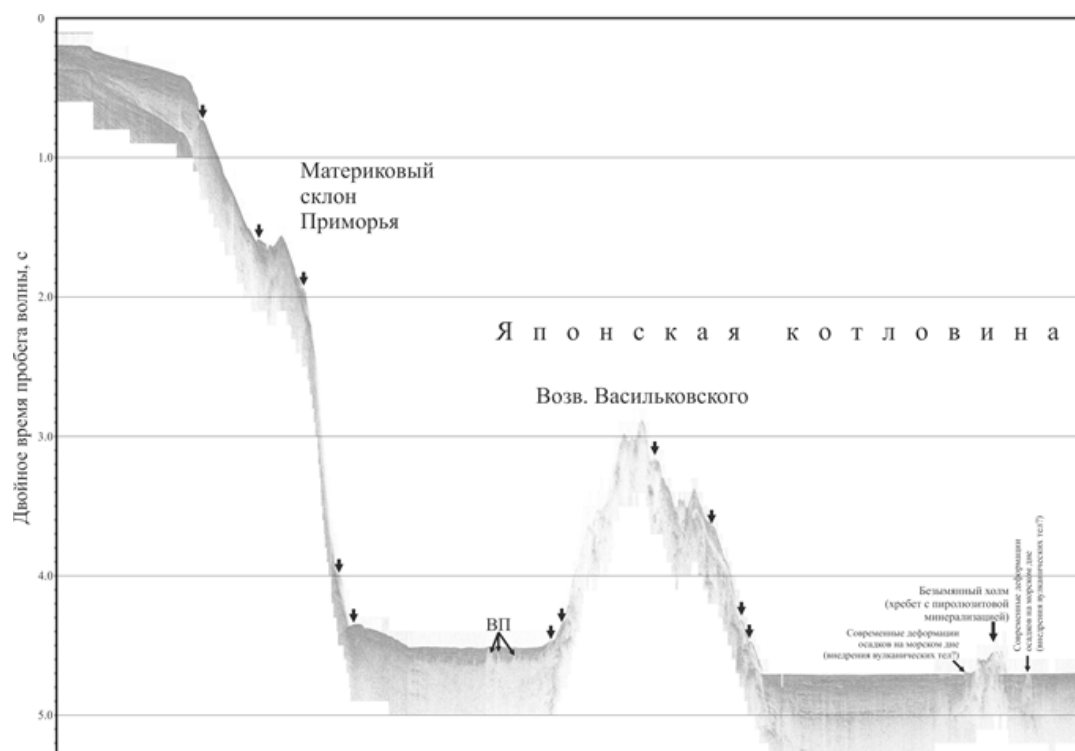
Возвышенность Первенца расположена к югу от залива Петра Великого (рис. 7). На вершинной части возвышенности распространены осадочные отложения переменного акустического облика от умеренно стратифицированного до хаотического. Осадочные слои часто смяты в складки и содержат следы многочисленных оползней. Примечательной особенностью

строения возвышенности является наличие небольших конусообразных поднятий, протыкающих осадочный чехол, возвышающихся над окружающим дном на высоту нескольких сотен метров и лишенных осадочных отложений. Диаметр поднятий достигает 1–2 км. Вероятно, данные поднятия являются молодыми (поздненеогеновыми) вулканическими постройками. Так как осадочные отложения рядом с ними нарушены оползнями, то можно предположить здесь слабые поствулканические процессы.

На сейсмоакустических разрезах часто распознаются различные по размерам оползневые тела (рис. 4–6). Оползни выделяются как на материковом склоне, так и на материковом подножии на удалении до 20 км от основания склона и на подводных возвышенностях. Образование оползней на склоне и подножии может быть связано с неустойчивостью осадочных тел вследствие быстрой седиментации после подъема уровня моря в голоцене. На подводных возвышенностях оползни часто располагаются в районах, где наблюдаются внедрения вулканических тел. Последние характеризуются конусообразной формой, возвышаются над окружающими частями дна на высоту несколько сотен метров и лишены осадочных отложений. На разрезах часто наблюдается деформация осадочных отложений рядом с вулканическими постройками, в том числе затрагивающая и самые верхние слои осадков. Это указывает на относительно недавний эпизод вулканической активности на подводных возвышенностях в этой части Японского моря.

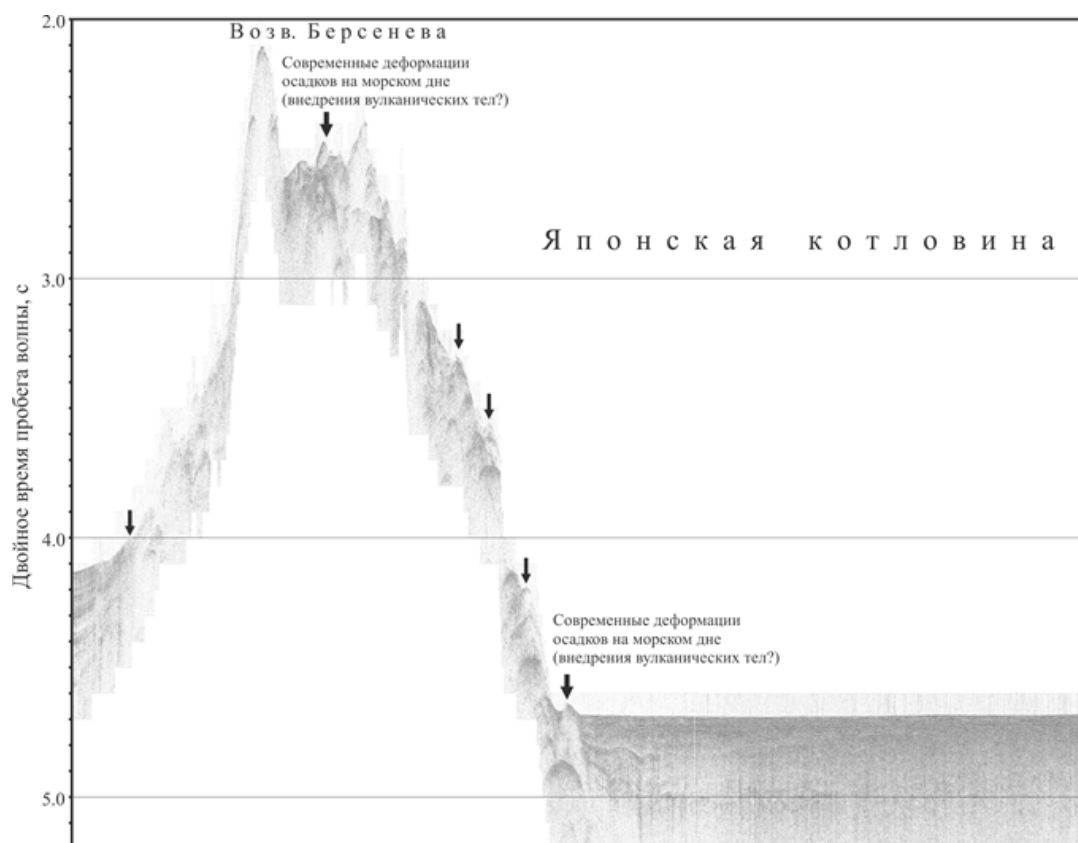
Кроме того, признаки внедрения вулканических тел в осадочные отложения обнаружены в части Японской котловины, располагающейся между материковым склоном Приморья и возвышенностью Васильковского (рис. 5). Здесь данные внедрения выражены в виде узких вертикальных зон, нарушающих первичную слоистость осадочных отложений и представленных акустически прозрачными образованиями. Иногда над этими телами наблюдаются локальные деформации осадочных отложений и небольшие возвышения на морском дне.

В целом оползневые тела относительно равномерно распределены на изученной части материкового склона Приморья и распространены вниз до основания склона и далее на материковом подножии. В частях Японской котловины, прилегающей к материковому склону Приморья, оползневые тела участвуют



▲ Рисунок 5. Пример профиля НСП, иллюстрирующий строение материкового склона Южного Приморья, возв. Васильковского и безымянного холма, сложенного породами с пирролизитовой (марганцевой) минерализацией. ВП – вулканическая постройка

▼ Рисунок 6. Пример профиля НСП, иллюстрирующий строение возв. Берсенева



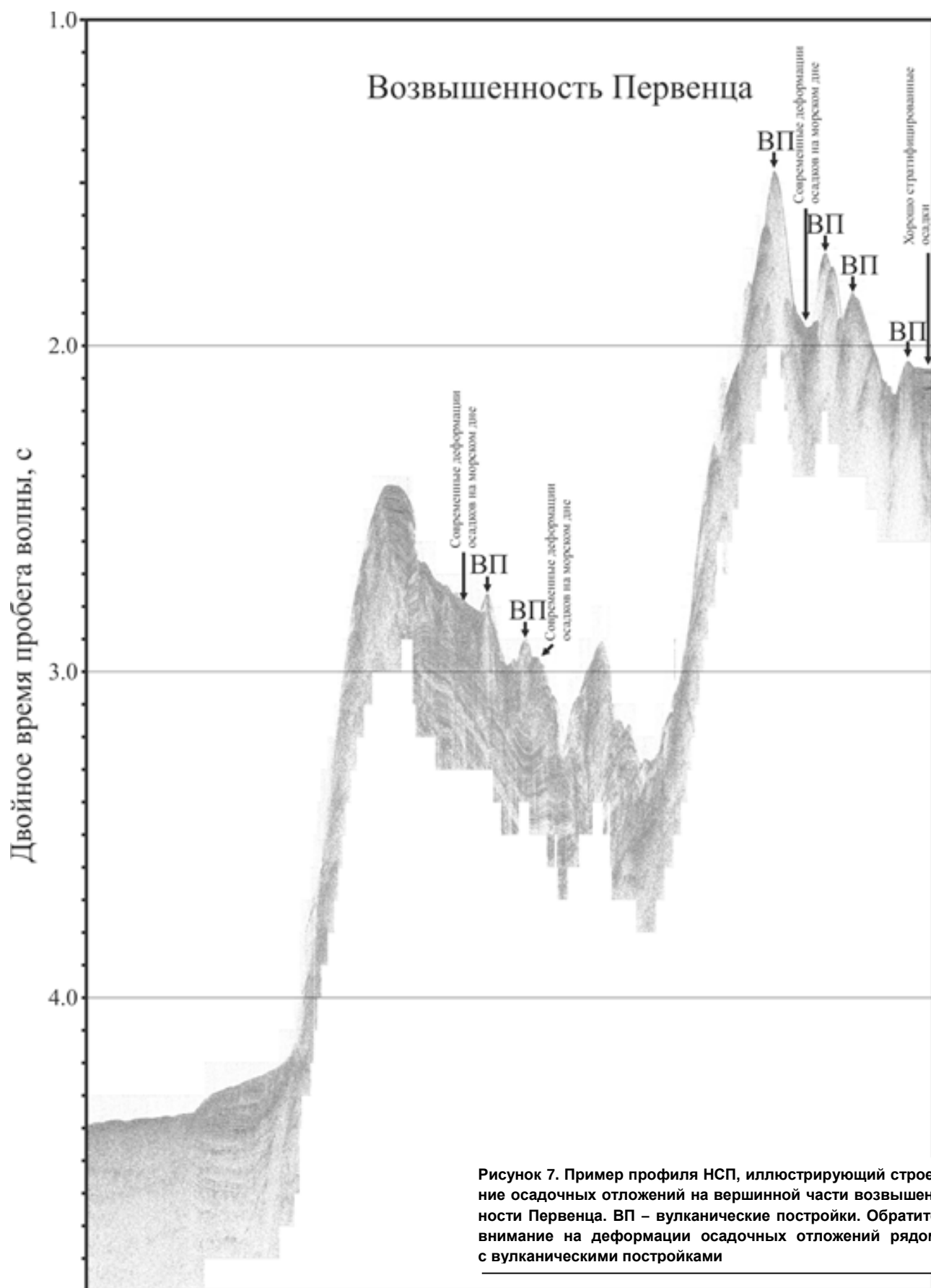
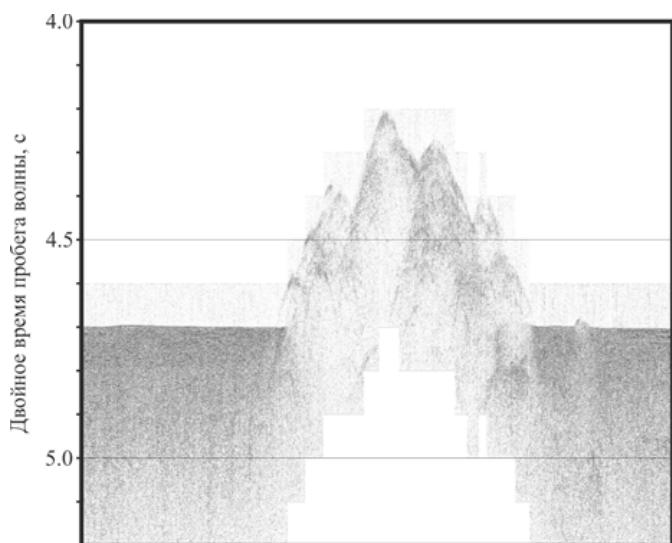


Рисунок 7. Пример профиля НСП, иллюстрирующий строение осадочных отложений на вершинной части возвышенности Первенца. ВП – вулканические постройки. Обратите внимание на деформации осадочных отложений рядом с вулканическими постройками



в строении ее осадочного чехла, и они ясно распознаются в рельефе морского дна. Присутствие оползневых тел в осадках котловины может свидетельствовать как о высокой степени седиментации здесь, так и о современной тектонической активности. Возможное влияние на формирование современного облика осадочного чехла этой части моря могут также оказывать разнообразные течения, в результате активности которых может происходить подмыв осадочных отложений, их обрушение и переотложение осадочного материала.

Примечательной морфоструктурой, располагающейся в абиссальной части Японской котловины, является бесымянный холм, возвышающийся приблизительно на 300 м над окружающими частями котловины (рис. 8). Холм вытянут примерно на 10 км строго в меридиональном направлении и хорошо обособляется

Рисунок 8. Пример профиля НСП, иллюстрирующий строение бесымянного холма, сложенного породами с пиролюзитовой (марганцевой) минерализацией

по изобате 3500 м. Ширина по подножью в северной части – порядка 2,2, в южной – около 1,2 км. По результатам геологического драгирования склона холма установлено, что породы холма содержат рудную минерализацию [2]. В результате сейсмоакустических исследований установлено, что в осадочном чехле частей котловины рядом с холмом выделяются внедрения конусообразных тел, предположительно небольших вулканов. На разрезах часто наблюдается деформация осадочных отложений рядом с вулканами, в том числе затрагивающая и самые верхние слои осадков плейстоцен-голоценового возраста. Последнее обстоятельство указывает на то, что в этой части Японской котловины могут продолжаться пострифтовые вулканические процессы.

Получены новые геомагнитные данные, позволяющие существенно уточнить характер распределения магнитного поля в северо-западной части Японского моря в области перехода от шельфа к глубоководной котловине и на одиночных вулканических постройках. По результатам магнитной съемки установлено, что возвышенность Первенца, гора Петра Великого и возвышенность Васильковского характеризуются положительными магнитными аномалиями различной интенсивности, тогда как хребет Берсенева и холм в центральной части моря (с пиролюзитовой минерализацией) характеризуются относительно спокойным знакопеременным магнитным полем (рис. 9).

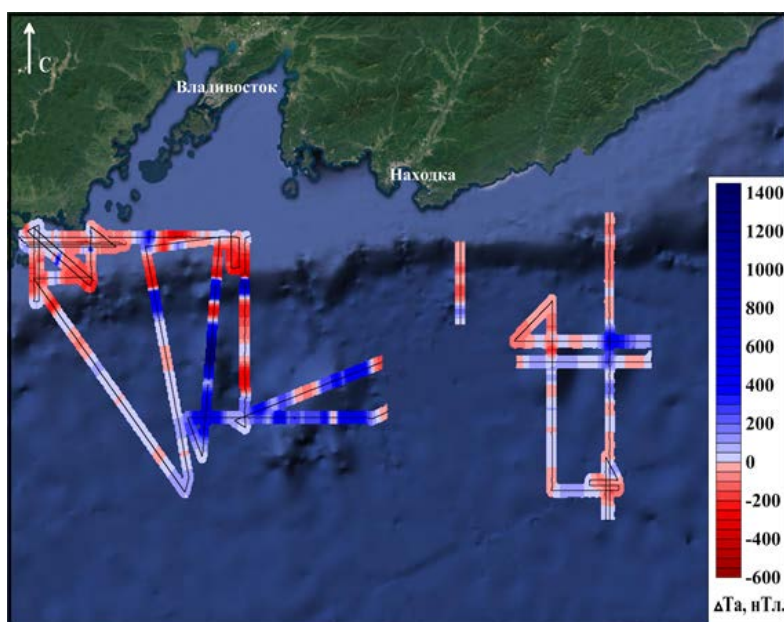


Рисунок 9. Схема профилей и карта аномального магнитного поля в районе работ

3. Заключение

Таким образом, результаты комплексных геофизических исследований, выполненных в 75-м рейсе НИС «Профессор Гагаринский», позволили установить новые особенности геологического строения северной части Японского моря. В дальнейшем интерпретация полученных данных поможет восстановить условия формирования этих структур, будет использована для изучения процессов осадконакопления и оценки современных природных рисков.

Мы выражаем благодарность сотрудникам ФАНО и Минобрнауки за своевременную подготовку необходимых документов и разрешения на выполнение

работ, что позволило быстро и оперативно провести запланированные работы.

Багодарим капитана НИС «Профессор Гагаринский» Э.А. Гавайлера, штурманов, механиков и экипаж за помощь в проведении работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карнаух В.Н., Суховеев Е.Н. Структура газовых включений в осадках юго-западной части залива Петра Великого (Японское море) // Девятый всероссийский симпозиум «Физика Геосфер», 21-24 сентября 2015 г.: Материалы докладов. Владивосток: Дальнаука, 2015. С. 313–316.
2. Астахова Н. В., Съедин В. Т., Можеровский А. В., Лопатников Е. А. Первая находка массивного пиролюзита в глубоководной котловине Японского моря // Доклады Академии наук. 2015. Т. 462. № 1. С. 68–72.

ИССЛЕДОВАНИЯ ИХТИОФАУНЫ СЕВЕРА ЯПОНСКОГО МОРЯ И ДОННЫХ СООБЩЕСТВ В ЗАЛИВЕ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

А.А. Баланов, В.Н. Лысенко*

Национальный научный центр морской биологии
ДВО РАН

*e-mail: lysenkoval@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ИХТИОФАУНЫ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ

Целью экспедиционных исследований на НИС «Профессор Гагаринский» в период с 20 июля по 23 августа 2017 г. являлся сбор материала для уточнения таксономического состава и разработки систематики рыб семейств Gasterosteidae, Cottidae, Stichaeidae, Zoarcidae, а также выявление родственных взаимоотношений различных таксонов этих групп при помощи молекулярно-генетических методик и филогенетического анализа. Кроме того, в число задач экспедиции входило комплексное изучение современного состояния пресноводной, эстуарной и литоральной ихтиофауны как материкового, так и островного побережья северной части Японского моря. В число приоритетных задач входило исследование летнего ихтиопланктона этого региона.

Планируемые работы предусмотрены плановой темой ННЦМБ ДВО РАН по программам фундаментальных исследований Российской академии наук. Госбюджетная тема: «Биоразнообразие Мирового океана: состав и распределение биоты». № государственной регистрации 115081110047.

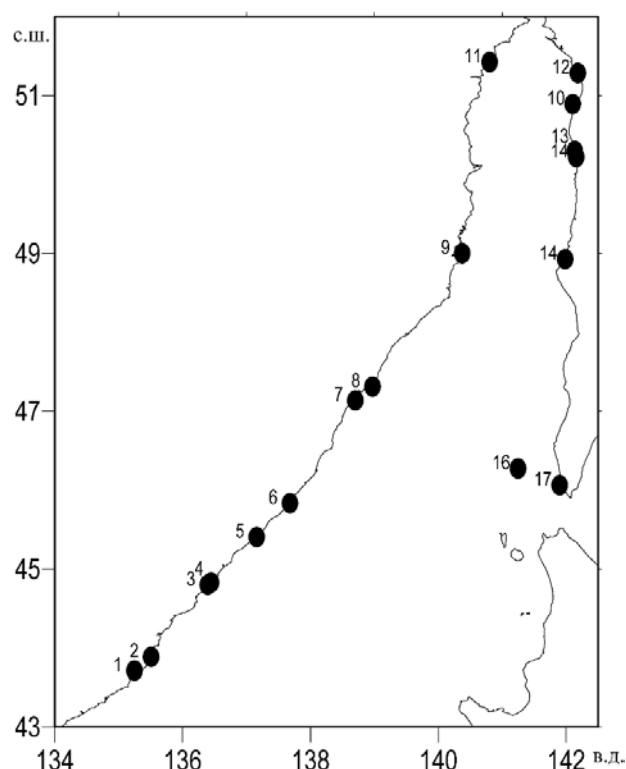
Материал и методика

Береговые сборы

В период активного сбора материала с 22 июля по 20 августа 2017 г. участники экспедиции на НИС «Профессор Гагаринский» работали на 17 точках по побережью северной части Японского моря (рис. 1).

В ходе этих работ были собраны данные по пресноводным, эстуарным и морским рыбам: общий объем фондовой коллекции составил порядка 2000 экз., из них для генетических исследований (фиксация 96%-ным этанолом) – 480 экз. Кариотипировано 14 видов рыб (31 экз.), из них 6 видов впервые. Исследования проводились в устьях рек, литоральной и сублиторальной зонах заливов северной части Японского моря. В каждой из заявленных точек при помощи лодки с мотором высаживалась научная группа для сбора материала. Лодка и береговой отряд снабжался УКВ-радиостанциями типа «Причал».

Рисунок 1. Схема береговых станций во время экспедиции на НИС «Профессор Гагаринский» в северной части Японского моря в июле – августе 2017 г.



Береговой отряд снабжался JPS-навигаторами, запасом воды, продовольствия, индивидуальными спасательными средствами и аптечками первой помощи. Лодка (тип «Сарепта») была полностью укомплектована и принята к работе комиссией ННЦМБ ДВО РАН. Безопасность при высадке с судна и при выполнении работ в море обеспечивалась соблюдением инструкции АН СССР от 29 декабря 1972 г.

Оборудование: лодка (тип «Сарепта») с мотором, микроскоп и бинокулярные микроскопы, центрифуга, весы, посуда, мальковый невод (раскрытие 10 м, мин. дель 6 мм); закидной невод (раскрытие 30 м, мин. дель 10 мм); жаберные сети (ячея 10–50 мм), ловушки, сачки, учебные снасти.

Для проведения исследований и отлова рыб было получено два разрешения: № 252017030790 от 05.06.2017 г. и № 252017030804, выданные Примор-

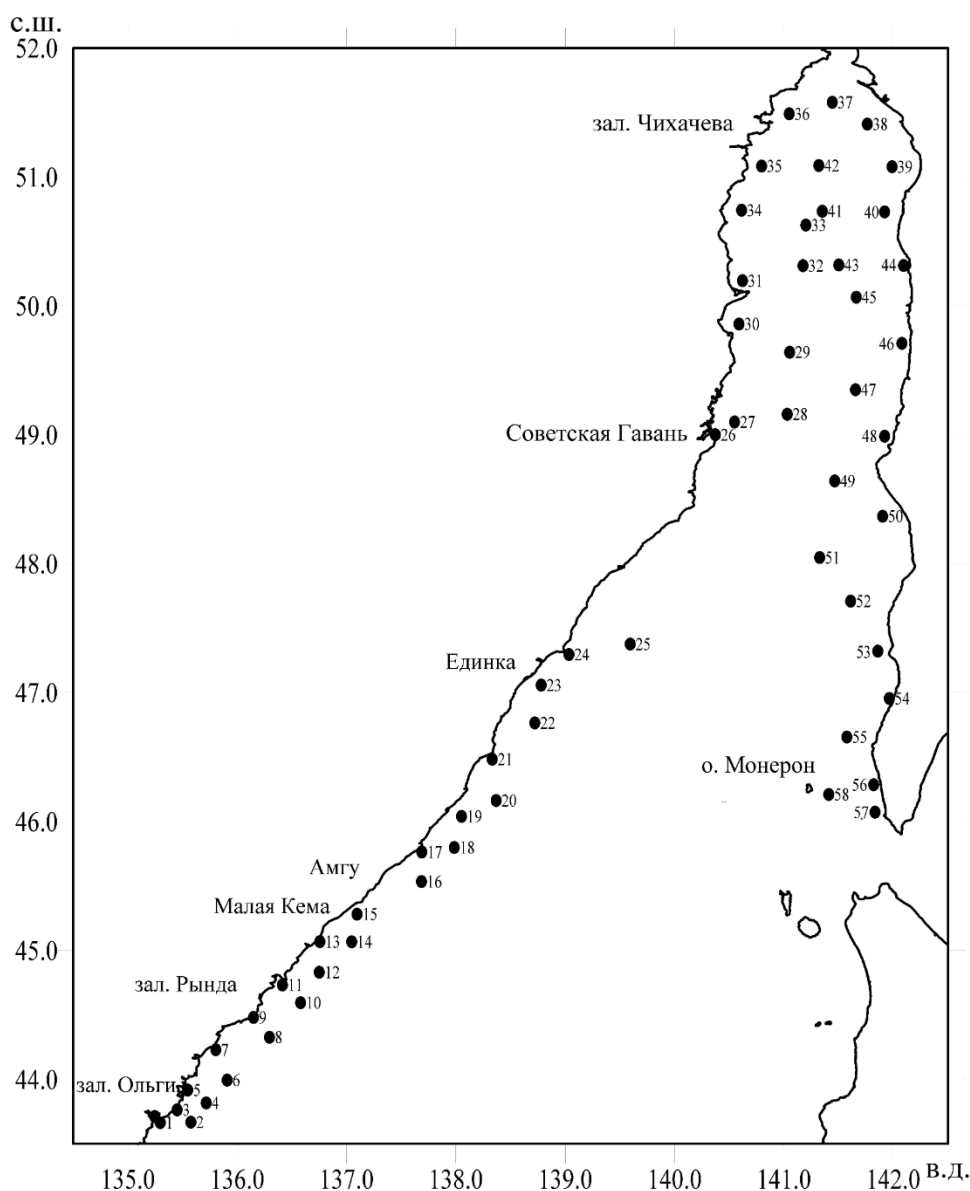
ским территориальным управлением ФАР.

Первичная фиксация рыб осуществлялась 3%-ным раствором формальдегида, гидробионтов – 75%-ным раствором этанола. Для генетических исследований образцы фиксировались в 96%-ном этаноле с обязательной заменой раствора через 3–4 дня. Собранные образцы находятся в коллекциях ННЦМБ ДВО РАН и ИБПС ДВО РАН.

Ихтиопланктонные работы

Ихтиопланктонные пробы собирали в северной части Японского моря, всего было сделано 58 станций от зал. Ольги до о. Монерон (рис. 2).

Рисунок 2. Схема ихтиопланктонных станций во время экспедиции на НИС «Профессор Гагаринский» в северной части Японского моря в июле – августе 2017 г.



Сеть станций была определена таким образом, чтобы охватить акваторию между изобатами 50 и 200 м. В северной мелководной части Татарского пролива часть ловов была сделана над меньшими глубинами – от 16 м. По техническим причинам не удалось охватить съемкой лишь участок шельфа между м. Золотым и б. Императорская гавань (рис. 2). В районе исследований выделены два подрайона: побережье Приморья (с 23.07.2017 по 01.08.2017, 25 станций) и Татарский пролив (с 02.08.2017 по 18.08.2017, 33 станции).

Ихтиопланктон отлавливали с борта судна, используя икорную сеть ИКС-80, изготовленную в соответствии с рекомендациями Рассы и Казановой [1]. Ихтиопланктон отбирали в поверхностном горизонте на циркуляции судна со скоростью 2,5 узла продолжительностью 10 мин., а затем вертикальным ловом с 50 м до поверхности воды с помощью судовой лебедки. При вертикальном лове сеть дополнительно оснащалась автономным гидрологическим зондом-профилографом CastAway-CTD.

Всего за период работ собрано и обработано 116 проб ихтиопланктона. Отобранные пробы фиксировались 4%-ным раствором формалина. Их камеральная обработка осуществлялась в лабораторных условиях. Идентификация икринок, измерения личинок и мальков проводились в соответствии с разработанными ранее методами и рекомендациями [2, 3, 4]. Общую длину (TL) личинок и мальков измеряли с точностью до 0,1 мм при помощи микроскопа Olympus. В таблице систематическое положение таксонов соответствует данным, опубликованным на сайте Каталога рыб [5].

Результаты и обсуждение

Результаты береговых сборов

Во время рейса основные усилия были сконцентрированы на исследовании морских литоральных, сублиторальных рыб и изучении рыб пресноводно-эстуарного комплекса северной части Японского моря. Основные материалы еще находятся в обработке у специалистов и в дальнейшем будут опубликованы в ведущих научных журналах. Сейчас мы можем представить предварительный анализ полученных данных.

Среди представителей пресноводно-эстуарного комплекса северной части Японского моря обнаружено 22 вида рыб (5 пресноводных, 5 проходных

и 12 эстуарных видов). Выяснено, что наиболее обычными и массовыми видами рыб пресноводно-эстуарного комплекса северной части Японского моря являются: *Hypomesus japonicus*, *H. nipponensis*, *Pungitius sinensis*, *Gasterosteus aculeatus*, *Megalocottus platycephalus* и *Cottus amblystomopsys*.

Для *H. japonicus*, *S. leucomaensis* и *Tribolodon hakonensis* на основании собранных и уже имеющих данных будет проведен филогенетический анализ внутривидовой генетической изменчивости и географического распределения важнейших генеалогических линий с использованием молекулярных маркеров. Это позволит оценить, в какой степени на современную генетическую структуру популяций могли повлиять палеоисторические (изоляция в отдельных рефугиумах и последующее расселение, фрагментация ареала и дисперсия) и эволюционные (мутации, дрейф генов, естественный отбор) события.

На литорали и верхней сублиторали (глубины 0–5 м) северной части Японского моря обнаружено 84 вида рыб. Наибольшее видовое богатство отмечено в семействах керчаковых и стихеевых. Удалось собрать богатый фаунистический материал, который будет использован для сравнительно-морфологического анализа видов семейств керчаковых, стихеевых и бельдюговых для всего Дальневосточного бассейна. Ряд ранее опубликованных данных требует проверки, уточнения или подтверждения на реально существующих сборах.

Впервые получен представительный материал по распределению и обилию рыб на литорали заливов (Советская Гавань и Чихачева) и бухт северной части Японского моря. Выявлены основные закономерности распределения состава и обилия рыб по биотопам в зависимости от типа субстрата, наличия/отсутствия луж и т. д. Самыми массовыми из рыб литорали этого района являются три вида: *Alectrias alectrolophus*, *Stichaeopsis nana* и *Myoxocephalus stelleri*. Удалось собрать материал из типовых мест сбора многих видов. Теперь будет возможно провести переописание ряда видов. Например, можно будет выделить неотип для вида *Pseudoalectrias tarasovi*. Этот же вид был впервые обнаружен у м. Золотого (граница Приморского и Хабаровского края) и на о. Монерон.

Собран материал для кариологического анализа видов родов *Myoxocephalus*, *Porocottus*, *Gymnocanthus* и *Hypsagonus*. Проведена его первич-

ная обработка – приготовлена суспензия клеток переднего отдела почки. Эта суспензия в лабораторных условиях будет использована для кариотипирования видов. Удалось собрать материал для кариологического исследования представителей сем. Cottidae, обитающих в прибрежных водах северной части Японского моря. Это позволит не только описать ранее не изученные кариотипы, но и на основании комплексного анализа молекулярно-генетических, кариологических и морфологических исследований выработать современные представления о филогении, последовательностях дивергенции, темпах эволюции видов родов сем. Cottidae из Японского и Охотского морей.

Для продолжения работ по изучению филогении, эволюции и систематики бельдюговидных рыб (отряд Perciformes) дальневосточных морей России проведен сбор биологического материала от таксонов подотряда Zoarcoidei и Cottoidei в прибрежных районах северной части Японского моря. В ходе экспедиционных работ собран материал от представителей семейств Stichaeidae (подсемейства Stichaeinae, Opisthocentrinae, Lumpeninae, Chirolophinae, Aletriinae), Zoarcidae (подсемейства Zoarcinae, Gymnelinae), Pholidae. Планируется проведение комплексного анализа с использованием молекулярно-генетических маркеров (генов митохондриальной и ядерной ДНК) и сравнительно-морфологического подхода.

Результаты ихтиопланктонных работ

В третьей декаде июля в ихтиопланктоне восточного побережья Приморья была отмечена икра 7 видов и личинки 5 видов рыб из 5 семейств (табл. 1). Видовой состав ихтиопланктона в горизонтальных и вертикальных уловах несколько различался. В горизонтальных уловах в среднем по району на долю видов семейства Pleuronectidae приходилось 86,9 % икры (4 вида рыб) и 78 % личинок (1 вид). Икра *E. japonicus* составляла 12,9 % улова, а икра *C. saira* и *S. japonicus* менее 0,1 %. В ихтиопланктоне была высока доля личинок рыб рода *Sebastes* – 17,6 %, а вида *S. japonicus* – 4,4 %.

В вертикальных уловах в пересчете доля икры представителей семейства Pleuronectidae уменьшилась до 84,1 % (4 вида рыб), а доля икры *E. japonicus* выросла до 15,9 %. Доля личинок семейства Pleuronectidae в вертикальных ловах выросла до 82,3 % (2 вида). Личинки *S. japonicus* и *Liparis tessellatus* составляли 3,3 и 7,8 % улова соответ-

ственно. Доля личинок представителей семейства Scorpaenidae была ниже – 6,5 %.

В ихтиопланктоне Татарского пролива в первые две декады августа присутствовала икра 6 видов рыб из 5 семейств и личинки 11 видов из 6 семейств (табл. 1). Уловы в этом районе отличались от уловов у побережья Приморья большим обилием и многообразием видов рыб. Здесь в горизонтальных ловах на долю видов семейства Pleuronectidae приходилось 99,8 % икры (5 видов рыб) и 85,1 % личинок (4 вида). Икры *E. japonicus* и *S. japonicus* в уловах к северу от 45° с.ш. в период исследований не отмечено. Доля икры *C. saira* была в два раза выше, чем у побережья Приморья – 0,2 %. Среди личинок доля представителей рода *Sebastes* и *S. japonicus* несколько снизилась в сравнении с побережьем Приморья – 8,3 % (3 вида рыб) и 0,2 % соответственно. В уловах появились в заметном количестве личинки *Stichaeus fuscus* – 5,8 %.

Вид *Limanda punctatissima* является обычным в зал. Петра Великого, Татарском проливе, зал. Анива и у южных Курильских островов, где составляет заметную долю биомассы камбал [6, 7]. Икра этого вида диаметром 0,71–0,85 мм находилась на I–IV стадии развития и встречалась в уловах при температуре 13,5–21,5 °С и солености 26,0–33,8 ‰, в массе – в диапазоне 15,0–18,0 °С и 31,0–33,0 ‰ над глубинами менее 40 м. У побережья Приморья в уловах фиксировалась только икра, а в Татарском проливе – и икра и личинки этого вида. Личинки концентрировались в более холодных водах (рис. 3А). Наиболее высокие их концентрации наблюдались от района м. Сюркум до зал. Чихачева по материковому побережью и севернее Александровска-Сахалинского по побережью о. Сахалин. В целом концентрация икры *L. punctatissima* была примерно одинаковая по всей облавливаемой толще воды, в то время как концентрация личинок была на порядок выше в вертикальных ловах. Размерный ряд личинок варьировал от 2,5 до 10,0 мм. Отсутствие личинок в уловах у Приморского побережья, а также снижение количества икры данного вида с одновременным постепенным увеличением размеров личинок в уловах к южному Сахалину, могут свидетельствовать о том, что у побережья Приморья мы захватили в конце июля 2017 г. более ранний период нереста, чем у о. Сахалин, у южной оконечности которого нерест *L. punctatissima* во второй декаде августа уже практически завершился (рис. 3А).

Таблица 1

**Видовой состав и доля (%) от численности (экз./м³) ихтиопланктона
в двух исследованных подрайонах северной части Японского моря
в летний период 2017 г.**

Вид	Приморское побережье				Татарский пролив			
	горизонтальный лов		вертикальный лов		горизонтальный лов		вертикальный лов	
	икра	личинки	икра	личинки	икра	личинки	икра	личинки
Сем. Engraulidae	12,9	–	15,9	–	–	–	–	–
<i>Engraulis japonicus</i>	12,9	–	15,9	–	–	–	–	–
Сем. Osmeridae	–	–	–	–	–	–	–	0,7
<i>Mallotus villosus</i>	–	–	–	–	–	–	–	0,7
Сем. Scomberesocidae	0,1	–	–	–	0,2	–	–	–
<i>Cololabis saira</i>	0,1	–	–	–	0,2	–	–	–
Сем. Gasterosteidae	–	–	–	–	–	0,6	–	–
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	–	–	–	–	–	0,6	–	–
Сем. Scorpaenidae		17,6	–	6,5		8,3	–	9,6
<i>Sebastes minor</i>	–	13,2	–	3,3	–	2,8	–	5,1
<i>S. taczanovskii</i>	–	3,3	–	3,2	–	5,1	–	4,5
<i>S. trivittatus</i>	–	1,1	–	–	–	0,4	–	–
Сем. Liparidae	–	–	–	7,8	–	–	–	–
<i>Liparis tessellatus</i>	–	–	–	7,8	–	–	–	–
Сем. Stichaeidae	–	–	–	–	–	5,8	–	5,3
<i>Stichaeus fuscus</i>	–	–	–	–	–	5,8	–	5,3
Сем. Scombridae	0,1	4,4	–	3,3	+	0,2	–	0,7
<i>Scomber japonicus</i>	0,1	4,4	–	3,3	+	0,2	–	0,7
Сем. Pleuronectidae	86,9	78,0	84,1	82,4	99,8	85,1	100,0	83,7
<i>Glyptocephalus stelleri</i>	0,3	–	14,0	24,2	1,5	10,8	5,4	5,0
<i>Cleisthenes herzensteini</i>	59,2	78,0	43,2	58,2	26,9	30,9	13,3	6,8
<i>Limanda aspera</i>	–	–	–	–	0,5	–	–	–
<i>L. punctatissima</i>	26,0	–	26,9	–	49,8	30,3	62,1	26,9
<i>Acanthopsetta nadeshnyi</i>	1,4	–	–	–	21,1	13,1	19,2	45,0
Всего, %	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Средние уловы экз./м³	0,119	0,002	0,146	0,047	0,095	0,009	0,262	0,174

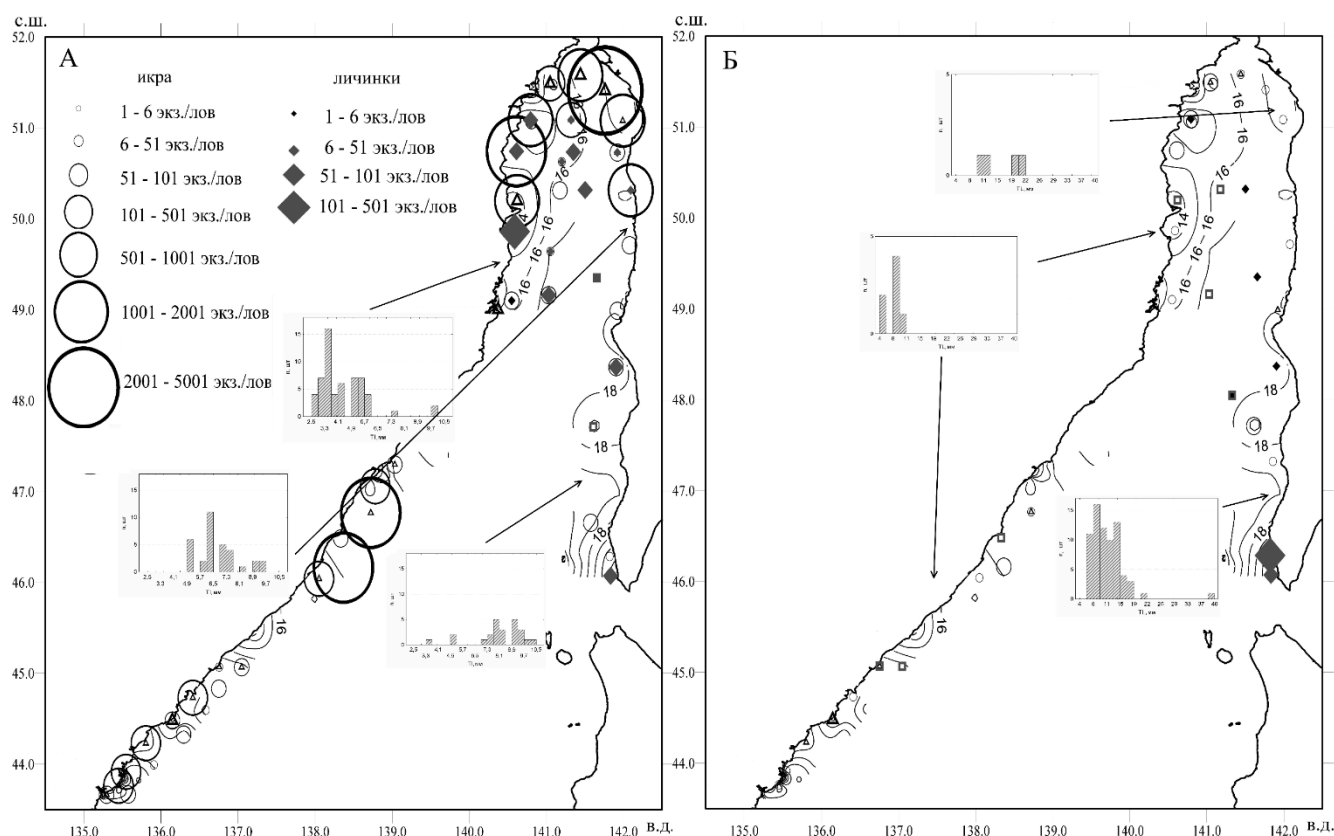


Рисунок 3. Распределение икры, личинок сем. Pleuronectidae и размерный состав личинок в северной части Японского моря летом 2017 г. по данным вертикальных и горизонтальных ловов: А – *Limanda punctatisima*, Б – *Glyptocephalus stelleri*. Икра: ○ – горизонтальные ловы, △ – вертикальные ловы; личинки: ◆ – горизонтальные ловы, □ – вертикальные ловы; изотермы – -16-

Икра *L. aspera* диаметром 0,74–0,82 мм (IV стадии развития) присутствовала в уловах лишь единоразы – у зал. Императорская гавань при температуре 15,6 °C и солености воды 31,2 ‰.

В ранее проведенных исследованиях икра *L. aspera* в июле – августе доминировала в уловах [8, 9, 10], и, исходя из этого, икра и личинки данного вида ожидаемо должны были присутствовать в уловах в период наших работ. Однако в исследованных нами пробах присутствовали только личинки *L. punctatisima*, в правильности определения которых мы уверены. Следует также отметить, что икра *L. aspera* и *L. punctatisima* очень схожа по размерам и пигментации [11], а в сборах Мухаметовой [12, 13], когда в сходные сроки фиксировались существенные уловы икры *L. aspera* в Татарском проливе, полностью отсутствовали личинки семейства Pleuronectidae, что сильно снижает надежность идентификации икры.

Результаты последней донной траловой съемки в этом районе показали существенный рост численности *L. punctatisima* [14]. Ее биомасса в Западно-Сахалинской подзоне в 2015 г. была оценена почти в четыре раза выше, чем биомасса *L. aspera*, даже при том, что в летний период *L. punctatisima* держится, как правило, на меньших глубинах, чем *L. aspera*, часто вне акватории, доступной для работы донным тралом.

Gl. stelleri встречался по всему району исследований в диапазоне температур у поверхности от 13,4 до 18,9 °C и солености от 29,6–33,6 ‰ (рис. 3Б). Уловы отмечались от 16 м в северной части Татарского пролива до наиболее глубоководных станций в южной части исследовательской акватории над глубинами 200–260 м. Основная часть как личинок, так и икры *Gl. stelleri* встречались глубже 35-метровой изобаты, в основном в вертикальных ловах. Их концентрация на м³ при горизонтальных ловах, как правило, была на 1–2 порядка меньше, чем при вертикальных, но при концентрации менее 0,03 экз./м³ они встречались только при горизонтальных ловах (см. табл. 1).

По литературным данным, еще 5–15 лет назад икра *E. japonicus* в августе составляла до 85,0 % от

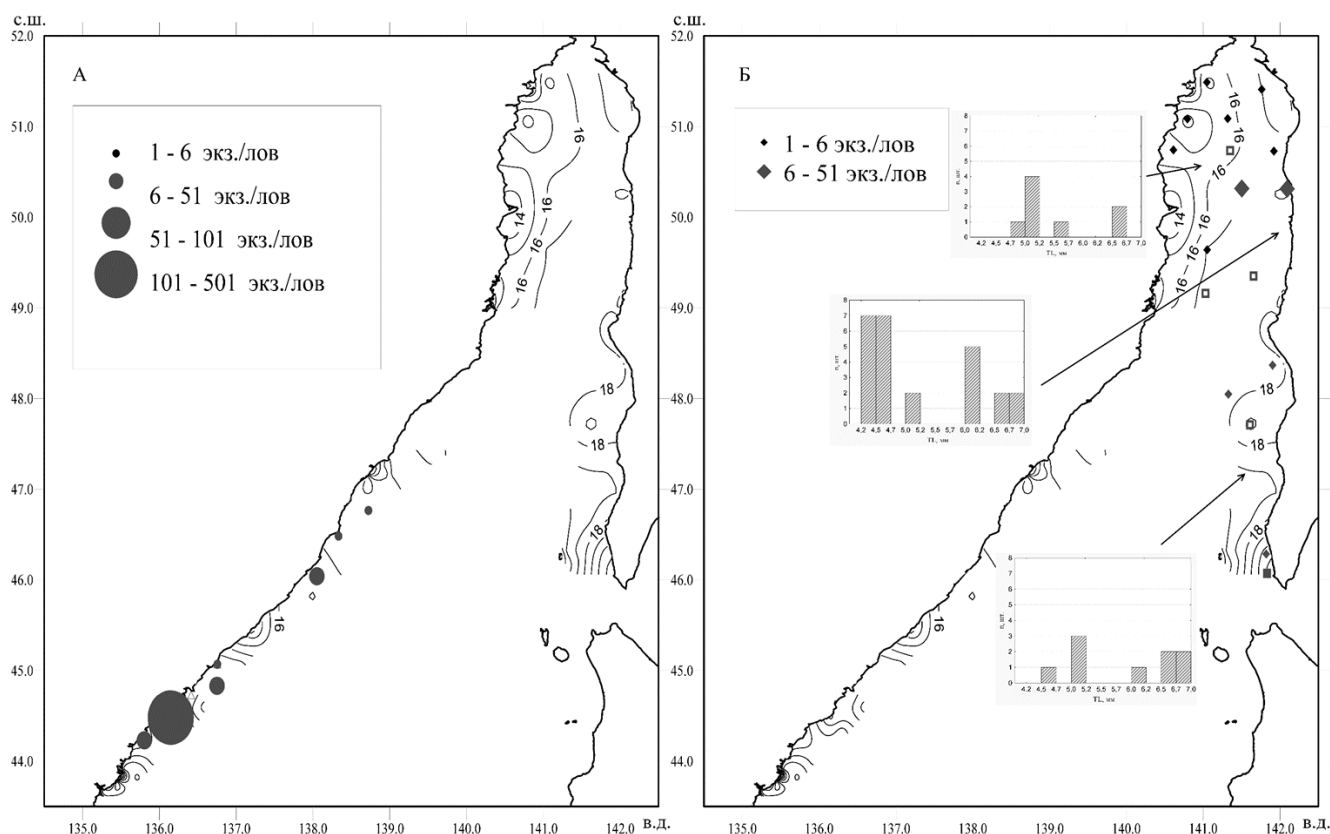


Рисунок 4. Распределения икры *Engraulis japonicus* (А), личинок *Stichaeus fuscus* (Б) в период исследований по данным вертикальных и горизонтальных ловов (обозначения аналогично рис. 3)

всего ихтиопланктона и плотность ее распределения доходила в Татарском проливе до 3,5 экз./м³ (южнее значительно больше) [9, 15]. По нашим данным, первые две декады августа 2017 г. в пробах икра данного вида отсутствовала, в то время как температура воды в поверхностном слое центральной и восточной частей Татарского пролива была вполне комфортна для нереста *E. japonicus* (до 20 °C) и на световых станциях у южного Сахалина встречались взрослые особи этого вида. У Приморского побережья в конце июля 2017 г. икра хотя и присутствовала, но ее концентрации были на порядок ниже отмеченных ранее значений [12], а личинки не встречались совсем (рис. 4А).

В летнем ихтиопланктоне впервые были описаны личинки вида *Stichaeus fuscus*. По материковому побережью они начали встречаться от зал. Императорская гавань вплоть до 51°30' с.ш., по Сахалинскому – до м. Кузнецова на юге. Личинки были распространены по всей акватории пролива как на самых мелководных (от 16 м), так и на наиболее глубоко-

водных станциях в диапазоне температур от 13,5 до 18,9 °C (рис. 4Б) и солености от 31,4 до 33,6 ‰. Размеры личинок колебались в диапазоне 4,2–7,0 мм.

Проведенные в летний период 2017 г. вдоль северного побережья Приморья и в Татарском проливе исследования ихтиопланктона позволили оценить нерестовую активность летне-нерестующих видов рыб. Объем выполненных работ дает возможность провести сравнительный анализ видового состава и обилия летнего ихтиопланктона на данной акватории за период с 1947 г. Результаты исследования позволяют говорить, на наш взгляд, с одной стороны, о слабых изменениях в видовом составе с середины прошлого века и о значительных изменениях доминирующих видов – с другой. По-прежнему наиболее массовыми видами являются представители семейства Pleuronectidae, однако на смену *L. aspera* и *Pseudopleuronectes herzensteini*, которые доминировали в 40-х годах XX в., пришли *L. punctatissima*, *Cl. herzensteini* и *A. nadeshnyi* – менее ценные промысловые виды рыб. Значительно, даже в сравнении с исследованиями 5–10-летней давности, в Татарском проливе в августе снизилась нерестовая активность *E. japonicus*. Численность *S. japonicus* – ценного промыслового объекта у о. Сахалин и Приморья

в середине прошлого века – уже на протяжении нескольких десятилетий продолжает находиться в Японском море на очень низком уровне.

ИССЛЕДОВАНИЯ ДОННЫХ СООБЩЕСТВ В ЗАЛИВЕ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

Цель и задачи

Мониторинг уникальных прибрежных экосистем в заливе Петра Великого, изучение изменчивости бентосных сообществ под воздействием природных и антропогенных факторов в заливе Петра Великого Японского моря.

Госбюджетная тема: «Динамика морских экосистем в условиях глобальных климатических изменений и антропогенного воздействия». № госрегистрации 115081110035; № ФАНО 0268-2018-0003

Методы исследований

Для выполнения настоящих исследований был использован телеуправляемый подводный аппарат (ТПА) SUB-fighter 3000 (рис. 5). Судном-носителем для SUB-fighter 3000 является НИС «Владимир Касьянов».

НИС «Владимир Касьянов» – маломерное научно-исследовательское судно для проведения биологических исследовательских работ в прибрежной зоне моря. Наибольшая длина 19 м, наибольшая ширина 4 м, наибольшая осадка 1 м, мореходность 5 баллов, полное водоизмещение 43 т, тип и мощность главной энергетической установки – дизель Komatsu, 655 л. с.

Рисунок 5. Телеуправляемый подводный аппарат SUB-fighter 3000



ТПА SUB-fighter 3000 изготовлен компанией Sperre (Норвегия) по комплектации, разработанной в Институте биологии моря им. А.В. Жирмунского ДВО РАН (с 1 сентября 2016 г. Национальный научный центр морской биологии ДВО РАН). Данная модель подводного аппарата представляет собой компактное мобильное устройство для разведки морского дна на глубинах до 700 м (табл. 2), поиска и видеосъемки с помощью видеокамер высокой четкости (High Definition). Работа ТПА может выполняться практически с любого судна-носителя, имеющего электропитание 220 в, при удалении до 1 км. Два горизонтальных и один вертикальный движители обеспечивают прекрасную маневренность.

Таблица 2

Характеристики телеуправляемого подводного аппарата

Характеристики	SUB-fighter 3000
Изготовитель	Sperre, Норвегия
Габариты Д × Ш × В, см	100 × 70 × 65
Вес на воздухе, кг	150
Рабочая глубина, м	700
Автономность	Неограниченно
Движители	2 горизонтальных, 1 вертикальный
Инструмент	Манипулятор с одной степенью свободы
Навигация	Гидролокатор кругового обзора, компас, глубиномер, автокурс/глубина
Фото-видео система	Цветная видеокамера высокого разрешения и осветители
Тип и длина кабеля, м	оптоволокно 1100
Надводное оборудование	Спускоподъемное устройство, аппаратура поста управления

Навигационная система SUB-fighter 3000 содержит стандартный набор оборудования: ГКО, глубиномер, магнитный компас и автофункции (автокурс, автоглубина). Дополнительный модуль ТПА представляет собой съемную платформу для подключения датчиков параметров водной среды и несущий одностепенной манипулятор. Одними из главных особенностей ТПА SUB-fighter 3000 являются простота конструкции, надежность в эксплуатации, взаимозаменяемость элементов, а также хорошая мореходность.

Для выполнения видеосъемки ТПА снабжен двумя видеокамерами (одна из них высокого разрешения) на горизонтально-вертикальном поворотном устройстве и двумя светильниками по 250 Вт. На HD-камере параллельно укреплены два лазера мощностью 25 Вт. Масштабные лазерные отметки в центре кадра, расстояние между которыми составляет 8 см, обеспечивают точное определение ширины учетной полосы и измерение размеров организмов.

Энергопитание ТПА SUB-fighter 3000, управление и передача видеоматериалов на поверхностный блок обработки информации происходит в режиме реального времени по оптоволоконному кабелю длиной 1100 м. Надводный блок довольно компактен и сопоставим по размерам с подобными блоками для малых осмотровых типов ТПА, лебедка с кабелем – электрическая и, по сравнению с аналогами, отличается малым весом – всего 350 кг. По информативности и компактности данная система уникальна и может быть использована в различных направлениях науки об океане. Горизонтальная скорость аппарата – 2,8 узла, вертикальная – 1,5 узла, рабочая глубина до 700 м.

Спуски ТПА проводились во время стоянки судна на якоре или, если глубина не позволяла стать на якорь, в дрейфе. Для спуска и подъема ТПА использовался судовой кран. ТПА удерживали на таком расстоянии от дна, которое позволяет рассмотреть

объекты макрофауны. По этой причине поле зрения видеокамеры и, соответственно, исследуемая площадь в значительной мере зависели от прозрачности воды. Чем меньше прозрачность, тем ближе к объекту приходится держать видеокамеру, тем меньше поле зрения и обозримая площадь дна. Размер наблюдаемых животных и ширину учетной полосы оценивали с помощью лазерных указателей. Обычно съемка продолжалась около 30 мин. в зависимости от ландшафта, мутности воды и скорости течения при поддержании постоянной скорости ТПА и расстояния до дна для дальнейших расчетов исследованной площади для оценки плотности поселения, биомассы и частоты встречаемости гидробионтов.

Исследования проводили на пяти полигонах, расположенных в зал. Петра Великого (рис. 6), проведено 15 рейсов в мае – октябре 2017 г.

На полигоне 3 исследовали обычные на больших глубинах бактериальные маты, являющиеся индикатором метановых сипов. На полигонах 4 и 5 при обследовании не изученных ранее акваторий с помощью подводных аппаратов особое внимание уделялось поиску представителей донной эпифауны, которая традиционно многие годы служит источником биологически активных веществ и основой для создания фармацевтических препаратов. Это, прежде всего, губки, стрекающие (к ним относятся кораллы, актинии, цериантарии), двустворчатые моллюски,

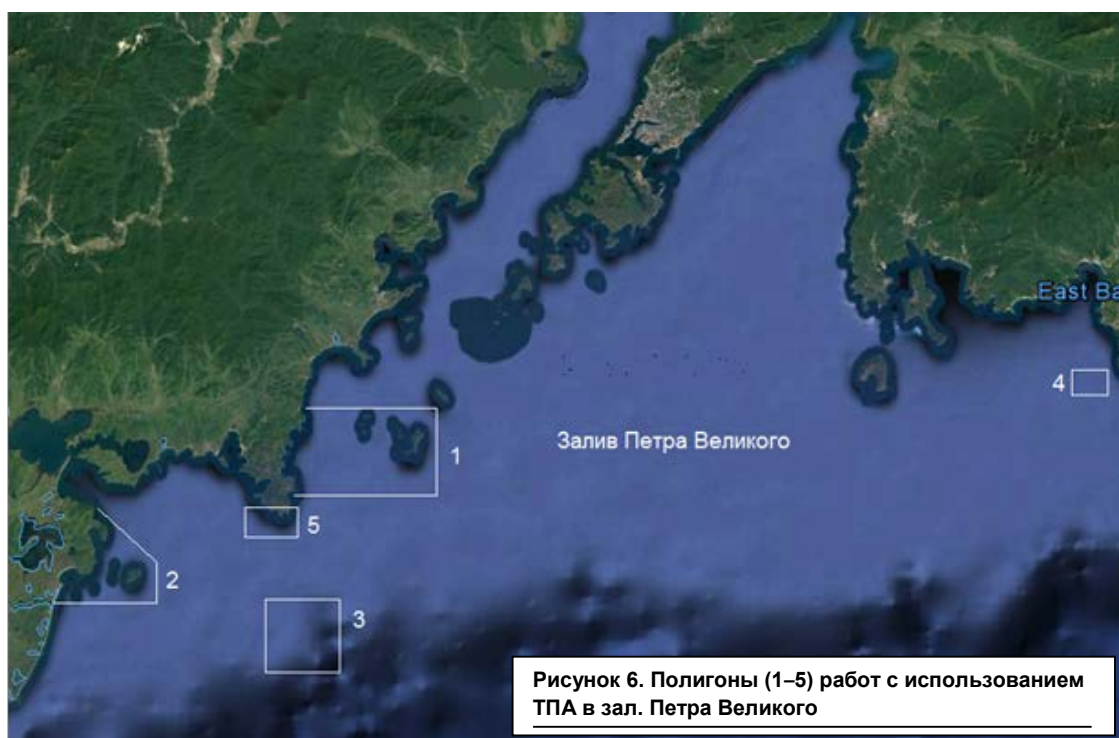


Рисунок 6. Полигоны (1–5) работ с использованием ТПА в зал. Петра Великого

иглокожие, мшанки, асцидии.

На полигонах 1 и 2, расположенных соответственно на восточном и южном участках Дальневосточного государственного морского заповедника (ДВГМЗ), исследовали плотность поселений и распределение эпифауны. Следует отметить, что стандартные гидробиологические методы отбора проб драгами, тралами и дночерпателями могут наносить ущерб биоразнообразию, поэтому на заповедных акваториях их применение ограничено или запрещено. Очевидной альтернативой здесь представляется разработка методов экологического мониторинга, основанных на материалах подводных фото- и видеосъемок подводных аппаратов. Такой подход не только обеспечивает корректные оценки видового состава, характера распределения и плотности поселений бентосных организмов [16], но и позволяет получать прямую информацию о характеристиках местообитаний. Исследования проводили с 28 мая по 9 июня 2017 г. на акватории Восточного участка Дальневосточного морского заповедника, видеозаписи велись на 46 разрезах на глубинах 9,8–79,8 м; с 22 по 24 июня и с 28 по 29 июля 2017 г. на акватории Южного участка Дальневосточного морского заповедника, видеозаписи велись на 30 разрезах на глубинах 8–57,3 м. Общая длина видеоразрезов составила 7936 м на Восточном участке и 4472 м на Южном участке заповедника. Для позиционирования начальной и конечной точек профилей использовали картплоттер Garmin GPSMAP 520s с 12-канальным GPS-приемником. При создании и редактировании профилей, определении длины разрезов и их частей использовалось программное обеспечение MapSource 6.16.13 (Garmin Ltd).

Для каждой видеопробы фиксировались типы донных грунтов (ил, песок, гравий, валуны и т. д.). Преобладающая фракция определялась визуально, ее размер оценивался по гранулометрической шкале [17, 18]. Эти данные были дополнены сведениями, полученными при анализе грунтов, взятых дночерпателем при проведении исследований в координатах видеоразрезов (рис. 6). Все полевые работы сопровождались эхолотными промерами. Карты распределения организмов выполнены при помощи программы Surfer, ver. 10 (Golden Software Inc.), содержащей широкий набор методов создания сеточных поверхностей и операций с ними.

Методика анализа видеозаписей состояла из нескольких последовательных этапов: определив длину профиля по координатам и зная время его прохождения, рассчитывали среднюю скорость аппарата. Затем видеоразрезы разбивали на отрезки по 20 м, каждый из которых в дальнейшем трактовался как отдельная видеопроба [19, 20]. На Восточном участке было получено 389 видеопроб, на Южном участке 228 видеопроб. Ширина учетной полосы (W) в метрах определялась по формуле

$$W = 0,08 W_m / W_l,$$

где: W_m – ширина видеомонитора; W_l – расстояние между лазерными метками, измеренное на дисплее; 0,08 м – фиксированное расстояние между лазерами [21].

Расстояние W_l измерялось каждые 10 секунд записи, затем рассчитывалась площадь каждого 20-метрового отрезка. По полученным значениям определялась средняя площадь видеопробы.

В пробах подсчитывали 18 массовых видов и групп эпифауны: морских звезд *Patiria pectinifera*, *Distolasterias nipon*, *Asterias amurensis*, *Solaster pacificus*, офиур, кукумарии *Cucumaria japonica*, краба-стригуна *Chionoecetes opilio*, раков-отшельников, морского ежа *Strongylocentrotus intermedius*, асцидии *Halocynthia aurantium*, приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis*, одиночных шестилучевых кораллов рода *Ceriantharia*, мягкого коралла *Gersemia rubiformis*, губок, известковых кораллов, актиний *Metridium senile* и *Cribrinopsis sp.*, брюхоногих моллюсков. Численность каждого объекта исследований в видеопробе пересчитывалась на 1 м², полученные значения использовались для определения средней плотности поселения организмов и построения карт распределения (рис. 7, 8).

Размеры гидробионтов на мониторе измеряли с точностью до 1,0 мм и масштабировали по лазерным отметкам в кадре.

Patiria pectinifera встречается в западном, северном и восточном районах акватории Восточного участка и отсутствует в центральном и южном районах. Она отмечена от минимальных глубин проведения работ – 9,8 м. Максимальная глубина, на которой встречен этот вид – 49,5 м, здесь она обитает единично. Ее основные скопления с плотностью поселений более 20 экз/м² расположены вокруг архипелага Римского-Корсакова, скопления с меньшей плотностью – до 10 экз/м² – расположены у мыса Льва и бухты Астафьева (рис. 7).

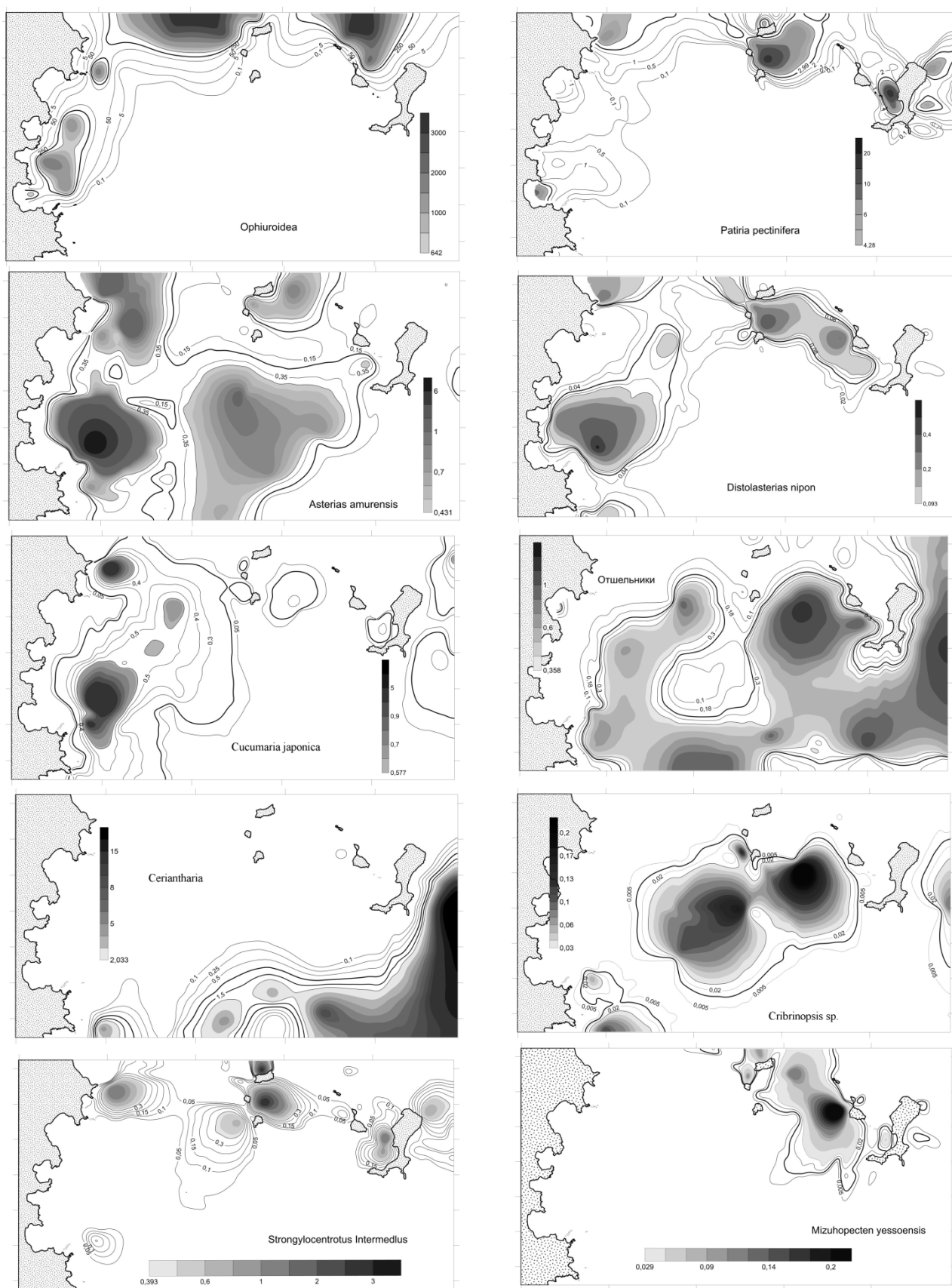


Рисунок 7. Распределение гидробионтов на акватории Восточного участка ДВГМЗ. Шкала – экз/м²

Distolasterias nipon встречается на глубинах от 9,8 до 59,4 м на всей акватории, за исключением юго-восточного района с изобатами более 60 м. Ее скопления с плотностью поселений до 0,69 экз/м² сконцентрированы вокруг архипелага Римского-Корсакова, у мыса Льва и от бухты Астафьева до бухты Средняя на изобатах 18–44 м.

Морская звезда *Asterias amurensis* обитает почти во всем диапазоне исследованных глубин – от 9,8 до 70,7 м на всех типах грунтов. Ее скопления (рис. 7) расположены севернее бухты Горшкова до мыса Льва, восточнее острова Де-Ливрона, в центральной части глубоководной котловины, а также восточнее бухт Спасения – Средняя. Скопление с максимальной плотностью до 12,0 экз/м² располагается на глубине 44 м в районе островов Астафьева на мелкозернистом песке с битой ракушкой. Концентрация этой звезды с максимальными показателями плотности в юго-западной части района исследований может объясняться тем, что увеличение ее численности происходит при увеличении поступления органического загрязнения [22], а в этом районе происходит накопление органики из-за течения, которое направлено из зал. Посыта мимо мыса Гамова на акваторию заповедника. Остальные скопления этой звезды также связаны, по-видимому, с районами повышенной концентрации органического вещества. Его поступление наблюдается с севера, из бухты Бойсмана, а также происходит его концентрация в центральной части котловины.

На акватории заповедника обнаружена популяция морской звезды *Solaster pacificus*, которая обитает юго-западнее о-ва Матвеева на глубинах 40–50 м с максимальной плотностью 0,40 экз/м². В зал. Петра Великого эта звезда была встречена на глубинах более 65 м.

Скопления *Strongylocentrotus intermedius* расположены в районе о-вов Римского-Корсакова на глубинах 9,8–37 м и у мыса Льва на глубинах до 20 м. Единично промежуточный еж встречается до максимальной глубины 70,7 м в юго-восточной и восточной частях исследуемой акватории (рис. 7). Его скопления приурочены к гравийно-галечным субстратам, хотя он встречается и на илистых грунтах. На возвышенности между островами Де-Ливрона и Гильденбранта численность промежуточного морского ежа достигает максимальных для исследованного района величин – более 7 экз/м².

Офиуры обитают в диапазоне глубин 17,9–37,3 м и приурочены к западным и северным акваториям Восточного участка. Предпочитаемые грунты – илистый песок, хотя немногочисленные особи встречаются на мелкозернистом и крупнозернистом песке, мелком гравии и битой ракушке. Максимальная плотность скоплений, расположенных у северной границы заповедника достигает более 3000 экз/м².

Раки-отшельники встречены на глубинах от 11,8 м до максимальных глубин в районе исследований 79,8 м. Если в северной и западной частях акватории они встречаются штучно, то на глубинах более 50 м они образуют скопления, которые приурочены к илисто-песчаным и илистым грунтам. Скопление с плотностью более 4,7 экз/м² располагается южнее островов Матвеева-Гильденбранта.

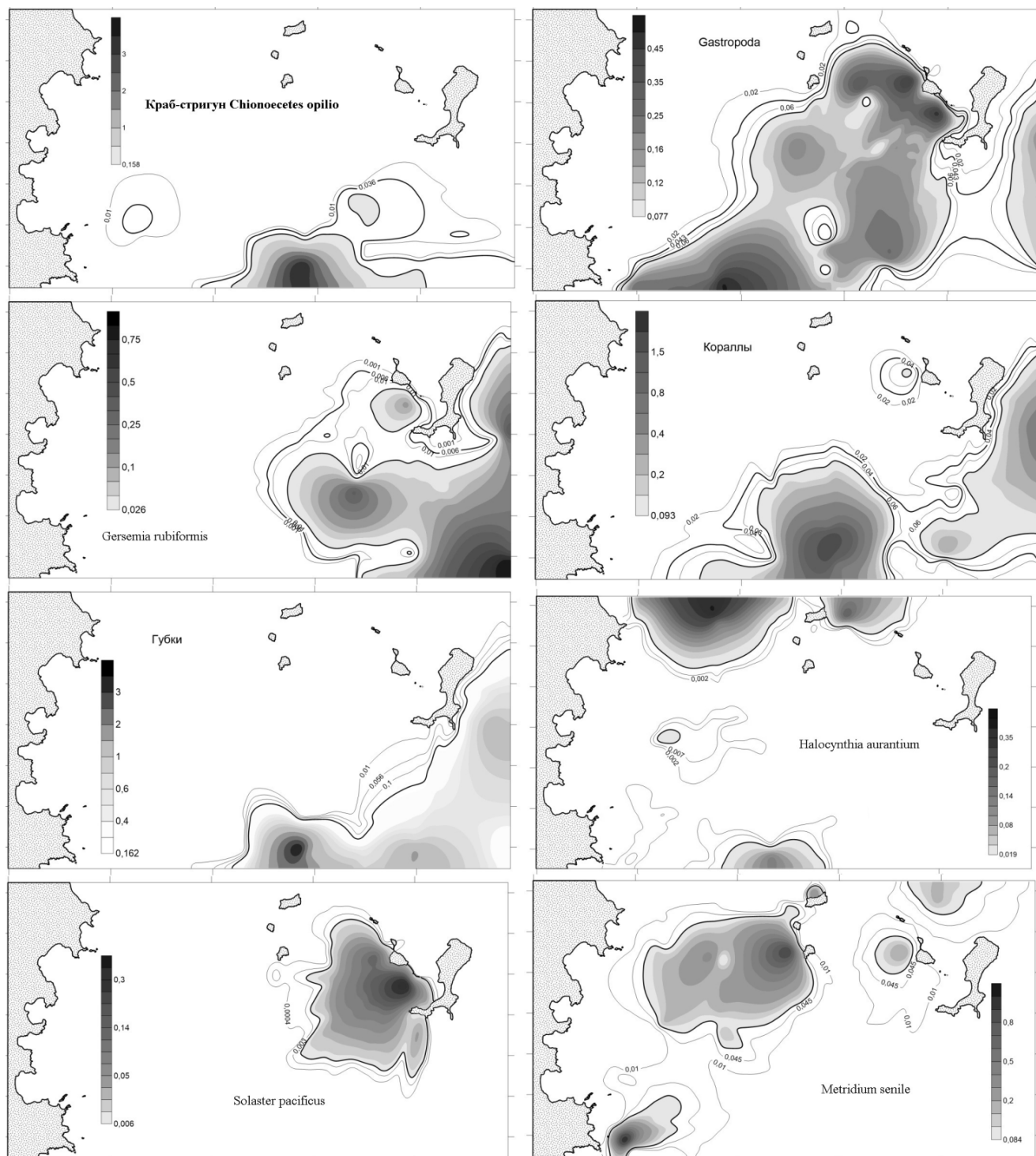
Скопления приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis* у материкового побережья заповедника отсутствуют, здесь гребешок встречается штучно. Все обнаруженные скопления расположены вокруг островов Римского-Корсакова, а скопление взрослых особей с максимальной плотностью более 0,4 экз/м² расположено западнее гряды о-ва Матвеева на глубинах более 45 м. Скопление гребешка у о. Де-Ливрона с плотностью поселений около 1 экз/м² представлено особями в возрасте 1+ с размером 3,4 см.

В основных скоплениях асцидии *Halocynthia aurantium*, которые расположены у северной границы заповедника (рис. 8), ее максимальная плотность достигает 0,74 экз/м².

Кукумария *Cucumaria japonica* приурочена к илисто-песчаным и песчаным субстратам и располагается двумя скоплениями (рис. 7), максимальная плотность поселений которых у о-вов Астафьева достигает 31,1 экз/м², а у м. Льва – 7,4 экз/м², а ее биомасса соответственно достигает величин 12,5 и 3,0 кг/м². Поскольку кукумария является фильтратором, эти скопления расположены в местах поступления органики на акваторию заповедника – с юга из зал. Посыта и с севера из бухты Бойсмана.

На акватории заповедника обитают два массовых вида актиний – *Metridium senile* и *Cribrinopsis* sp. Скопления *Metridium senile* расположены в западных и северных районах акватории заповедника и больше приурочены к песчаным и илисто-песчаным грунтам с примесью ракушки и камней, используемых в качестве субстрата. Ее максимальная плотность в скоплениях достигает 1,82 экз/м². Напротив, скопления

Рисунок 8. Распределение гидробионтов на акватории Восточного участка ДВГМЗ. Шкала – экз/м²



Cribrinopsis sp. расположены в центральной части акватории на илистых и илисто-песчаных грунтах, поскольку этот вид не нуждается в дополнительном субстрате. Ее максимальная плотность в скоплениях достигает 0,55 экз/м².

Брюхоногие моллюски обитают на всей акватории Восточного участка с глубинами более 40 м на илистом песке и илах. Их максимальная плотность достигает 1,78 экз/м².

В юго-восточном глубоководном участке исследуемой акватории на илистых грунтах эпифауна представлена различными кораллами и губками. Самой многочисленной группой являются одиночные шестилучевые кораллы рода *Seriantharia*. Они обитают на глубинах более 60 м, а скопления с максимальной плотностью 54,8 экз/м² образуют на глубинах более 70 м.

Совместно с ними обитают мягкие кораллы *Gersemia rubiformis*, образующие скопления с максимальной плотностью 1,03 экз/м² на максимальных глубинах исследуемой акватории 79,6–80 м.

Обитающие в этом районе известковые кораллы образуют скопления с максимальной плотностью 1,95 экз/м² на глубинах более 60 м.

Здесь же обитают различные виды губок, образующие скопления на глубинах более 60 м с максимальной плотностью 3,87 экз/м².

В районе расположения скопления губок с максимальной плотностью отмечено скопление краба стригуна *Chionoecetes opilio*. Плотность скопления достигала величины 4,74 экз/м². Все крабы в скоплении были представлены недавно перелинявшими особями. Вследствие этого можно предположить, что они целенаправленно сконцентрировались в скоплении губок для питания с целью увеличить содержание кальция в организме после линьки. В процессе линьки стригун опилио распространен на всей акватории с илисто-песчаными и илистыми грунтами, что подтверждается многочисленными остатками старых оболочек панциря.

Техническая сложность и относительная дороговизна использования подводных аппаратов для видеомониторинга биоразнообразия охраняемых акваторий компенсируется точностью учета гидробионтов, охватом значительных площадей дна и возможностью видеодокументирования подводных исследований. Использование только традиционных дночерпательных и водолазных методов сбора без

подводной видео- и фотосъемки не позволяет получить полное представление о количественных характеристиках донных биоценозов.

Дальнейшие исследования с использованием подводных аппаратов помогут обеспечить картографическую основу долговременного видеомониторинга состояния сообществ и экосистем в ДВГМЗ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Расс Т.С., Казанова Н.Н. Методическое руководство по сбору икринок, личинок и мальков рыб. М.: Пищ. пром-сть, 1966. 35 с.
2. Ahlstrom E.H., Butler J.L., Sumida B.Y. Pelagic stromateoid fishes (Pisces, Perciformes) of the eastern Pacific: kinds, distributions, and early life histories and observations on five of these from the northwest Atlantic // Bulletin of Marine Science. 1976. Vol. 26, no. 3. P. 285–402. URL: <http://www.ingentaconnect.com/contentone/umrsmas/bullmar/1976/00000026/00000003/art00001#> (дата обращения: 01.05.2018).
3. Matarese A.C., Kendall A.W., Blood D.M., Vinter B.M. Laboratory guide to early life history stages of northeast Pacific fishes // US Dept. Commer. NOAA Technical Report NMFS. Springfield: U.S. Department of Commerce, 1989. № 80. 653 p. URL: <http://cutt.us/Jh1uu> (дата обращения: 01.05.2018).
4. Соколовский А.С., Соколовская Т.Г. Атлас икры, личинок и мальков рыб российских вод Японского моря. Владивосток: Дальнаука, 2008. 223 с.
5. Catalog of Fishes / Eschmeyer W.N. (ed.). URL: <http://research.calacademy.org/ichthyology/catalog/fishcatmain.as>. Version 2018 (дата обращения: 30.03.2018).
6. Колпаков Н.В. Биология длиннорылой камбалы *Limanda punctatissima* (Pleuronectidae) прибрежных вод северного Приморья // Известия ТИНРО. 2005. Т. 143. С. 108–118.
7. Епур И.В., Баланов А.А. Видовой состав и сезонная динамика ихтиопланктона прибрежной зоны западной части залива Петра Великого Японского моря в 2007–2010 гг. // Вопросы ихтиологии. 2015. Т. 55, № 4. С. 397–410.
8. Дехник Т.В. Размножение и развитие японской скумбрии *Pneumatophorus japonicus* (Houttuyn) у берегов южного Сахалина // Исследования Дальневосточных морей СССР. М.: Из-во Академии наук СССР, 1959. Вып. VI. С. 97–108.
9. Moukhametova O.N. Some peculiarities of fish egg I larvae distribution in Northern Japan Sea // Program abstract of 11th Annual Meeting of North Pacific Marine Science Organization. Qingdao, 2002. P. 51–52.
10. Мухаметова О.Н. Исследования ихтиопланктона в лаборатории гидробиологии // Труды СахНИРО. 2012. Т. 13. С. 118–133.
11. Перцева-Остроумова Т.А. Размножение и развитие дальневосточных камбал. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1961. 484 с.
12. Moukhametova O.N. Reproductive and nursery potential of nearshore area in the East of Tatarskyi Strait // Proceedings of the 29th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice. Hokkaido: Mombetsu, 2014. P. 288–291.

13. Moukhametova O.N. Ichthyoplankton as an indicator of fish reproduction in Tatarskiy Strait (Japan Sea) // Proceedings of the 27th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice. Hokkaido: Mombetsu, 2012. P. 133–136.
14. Калчугин П.В., Бойко М.И., Соломатов С.Ф., Черниенко Э.П. Современное состояние ресурсов донных и придонных видов рыб в российских водах Японского моря // Изв. ТИНРО. 2016. Т. 184. С. 54–69.
15. Мухаметова О.Н., Мухаметов И.Н. Ихтиопланктон прибрежной зоны залива Анива // Труды СахНИРО. 2013. Т. 14. С. 185–202.
16. Адрианов А.В., Тарасов В.Г., Щербатюк А.Ф. Применение и перспективы сезонного видеомониторинга на особо охраняемых морских акваториях залива Петра Великого (Японское море) // Вестник ДВО РАН. 2005. № 1. С. 19–26.
17. Безруков П.Л., Лисицын А.П. Классификация осадков современных водоемов // Тр. Ин-та океанологии АН СССР. 1960. Т. 32. С. 3–14.
18. Лопатин Б.Г., Борщева Н.А., Власова Н.П. и др. Методические указания по изучению Арктического шельфа // Л.: НИИГА, 1981. 80 с.
19. Christie C.A., Bass D.K., Neal S.L. et al. Survey of sessile benthic communities using the video technique. // Long-term Monitoring of the Great Barrier Reef. Standard operational procedure 2. Townsville: Australian Institute of Marine Science, 1996. 41 p.
20. Шашков А.Л., Оленин С.Н. Применение дистанционной видеосъемки для количественного анализа признаков донных биотопов и их идентификации. // Комплексные исследования подводных ландшафтов в Белом море с применением дистанционных методов (Труды Беломорской биостанции МГУ, т. 11). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. С. 64–73.
21. Pacunski R.E., Palsson W.A., Greene H.G. Estimating fish abundance and community composition on rocky habitats in the San Juan islands using a small remotely operated vehicle // Washington Department of Fish and Wildlife Report No. FPT 13-02. Olympia: Washington Department of Fish and Wildlife, 2013. 48 p. URL: <http://wdfw.wa.gov/publications/01453/wdfw01453.pdf> (дата обращения 30.03.2018).
22. Галышева Ю.А., Пустовалова Н.П. Количественное распределение морских звезд в некоторых акваториях Дальнего Востока // Океанология. 2009. Т. 49, № 6. С. 864–874.

ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ В ОСЕННИЙ ПЕРИОД (РЕЙС № 76 НИС «ПРОФЕССОР ГАГАРИНСКИЙ», 19–30 НОЯБРЯ 2017 г.)

**А.Ф. Сергеев*, П.Ю. Семкин, Н.В. Шлык,
И.И. Горин, В.А. Баннов, В.В. Калинин,
В.А. Дубина, А.Ю. Лазарюк, В.Б. Лобанов
Тихоокеанский океанологический институт им.
В.И. Ильичева ДВО РАН**

*e-mail: sergeev@poi.dvo.ru

Введение

В осенний период в северо-западной части Японского моря происходит существенная перестройка структуры океанологических полей в связи со сменой муссонного ветра и последующим началом термохалинной конвекции [1–4]. В результате смены муссона в сентябре – октябре у южного побережья Приморского края развивается область интенсивного апвеллинга, которая обуславливает значительные изменения как в термохалинной структуре вод, так и в структуре течений, активизирует динамику вод в районе за счет развития синоптических и мезомасштабных вихрей [5–9], горизонтально поперечных волновых движений в условиях существенно неоднородной донной топографии. Развитие апвеллинга существенно влияет на продуктивность прибрежных вод, в частности урожайность ламинарии, морских ежей, трепангов и других биологических объектов [2, 3]. Интенсивность апвеллинга определяет как эффективность водообмена и вентиляции прибрежной зоны, так и поступление в область шельфа вод повышенной солености, создавая тем самым предусловия для зимней термохалинной конвекции. В свою очередь, конвективные процессы на шельфе определяют интенсивность каскадинга (склоновой конвекции) и вентиляции промежуточных и глубинных вод Японского моря [10–11]. На изучение комплекса этих процессов и была

направлена экспедиция ТОИ ДВО РАН на НИС «Профессор Гагаринский» в период 19–31 ноября 2018 г. (рейс № 76).

Основными задачами экспедиции являлись:

- выполнение СТД-съемки области апвеллинга и ассоциированных вихревых структур в районах подводной возвышенности Первенца, горы Петра Великого, а также хребтов Берсенева и Васильковского;
- подъем автономных буйковых станций (АБС), установленных в летний период, постановки донных АБС в шельфовой и склоновой области залива Петра Великого для изучения склоновой конвекции зимой;
- проведение в рамках государственного задания интеграции науки и образования производственной практики студентов-океанологов ДВФУ (Тихоокеанский плавучий университет).

Схема, состав и оборудование экспедиции

Схема работ экспедиции приведена на рис. 1. По первоначальным планам с учетом возможных неблагоприятных погодных условий, характерных для осеннего периода в Японском море, проведение этой экспедиции планировалось на НИС «Академик М.А. Лаврентьев». Однако из-за невыполненного ремонта этого судна гидрологическую съемку и постановку АБС пришлось проводить на НИС «Профессор Гагаринский». В силу меньшего размера и плохой остойчивости на волне несколько раз судно было вынуждено прерывать работы из-за штормов и уходить в укрытие, что обусловило потерю времени и неполное выполнение запланированной съемки.

Научный состав экспедиции включал восемь сотрудников ТОИ ДВО РАН и шесть студентов ДВФУ.

СТД-зондирования выполнялись в режиме реального времени с определением температуры, солености,

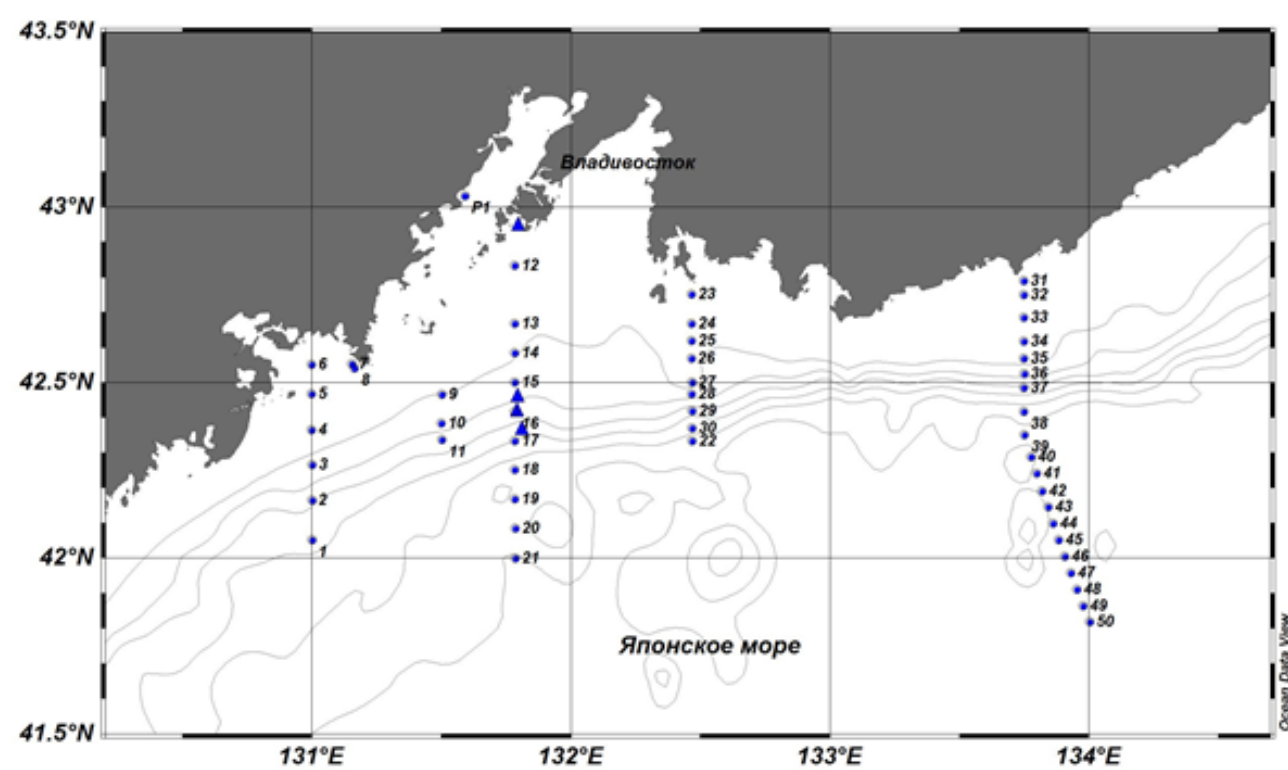


Рисунок 1. Схема экспедиции рейса № 76 НИС «Профессор Гагаринский» 19–30 ноября 2017 г. Кружками и цифрами показано расположение и номера гидрологических СТД-станций, треугольниками – поставленных донных АБС

содержания кислорода, хлорофилла *a* и мутности зондом SBE 9plus с бортовым устройством SBE 11 с помощью переносной кабельной электрогидравлической лебедки грузоподъемностью 2,8 т (модель 3040EML WR) (рис. 2). На придонных АБС были установлены регистраторы температуры и солености

SBE 37-SMP, акустические измерители течений Aquadopp DW, логгер SBE 19, размыкатели Benthos 865-A.

За период экспедиции выполнено 50 гидрологических станций СТД-зондирований, поднята одна и установлены четыре донных АБС, проведены практические и теоретические занятия со студентами ДВФУ.

Рисунок 2. Выполнение СТД-зондирований в экспедиции



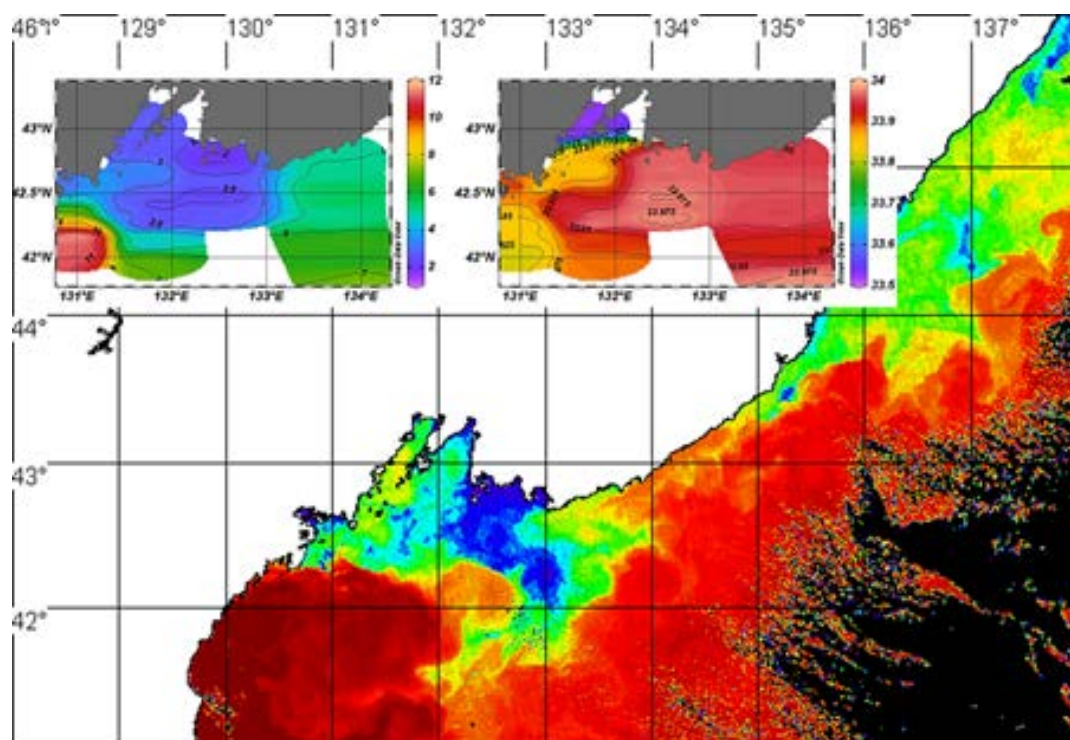


Рисунок 3. ИК-изображение со спутника NOAA за 16.11.2017 г. Синий и зеленый тон изображения показывают область низких температур, обусловленных осенним апвеллингом. На вставке – распределение температуры и солености на поверхности моря по результатам судовой СТД-съемки экспедиции

Термохалинная структура вод в районе работ

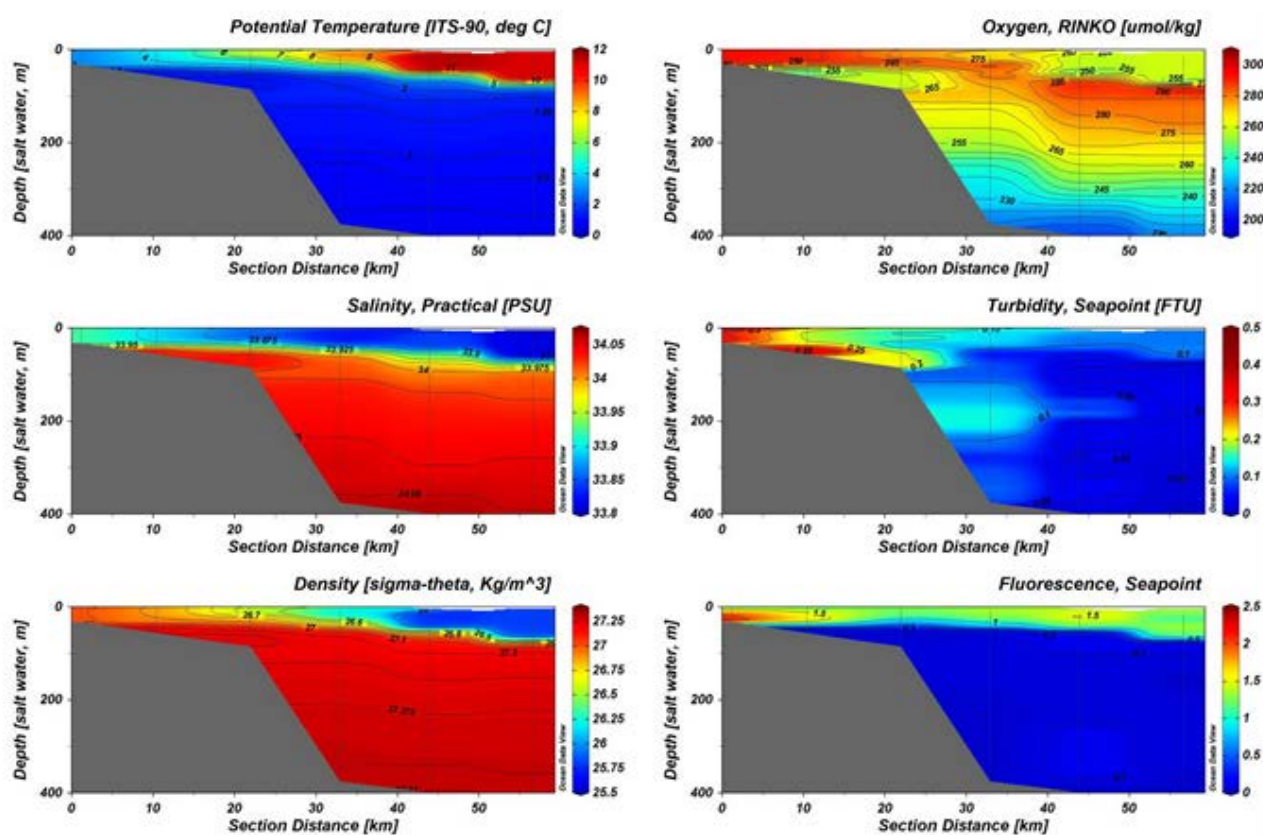
В экспедиции было выполнено пять меридиональных разрезов различной протяженности, пересекающих область апвеллинга. Из-за штормовой погоды не все разрезы были выполнены полностью. Тем не менее проведенная съемка показывает основные черты распределения океанологических характеристик в этот период (рис. 3). Гидрологическая ситуация в период работ характеризовалась наличием вдоль всего Приморья области апвеллинга с пониженными значениями температуры воды ($1,9\text{--}2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$) и повышенными значениями солености ($33,97\text{--}33,98$ епс) за счет подъема к поверхности промежуточных вод и ветрового перемешивания. Резкие фронтальные разделы отделяли зону апвеллинга от теплых вод, переносимых крупным антициклоническим вихрем на западе района и струйными вторжениями на юге и востоке. Причем характеристики этих вод различны. Воды западного вторжения более теплые, менее соленые и с более низким содержанием кислорода ($11,2\text{--}11,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, $33,81\text{--}33,85$ епс, $255\text{--}260$ мкмоль/кг),

чем воды вторжений центральной и восточной частей моря ($6,6\text{--}7,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $33,92\text{--}33,99$ епс, $285\text{--}300$ мкмоль/кг).

Вертикальная структура вод в области апвеллинга

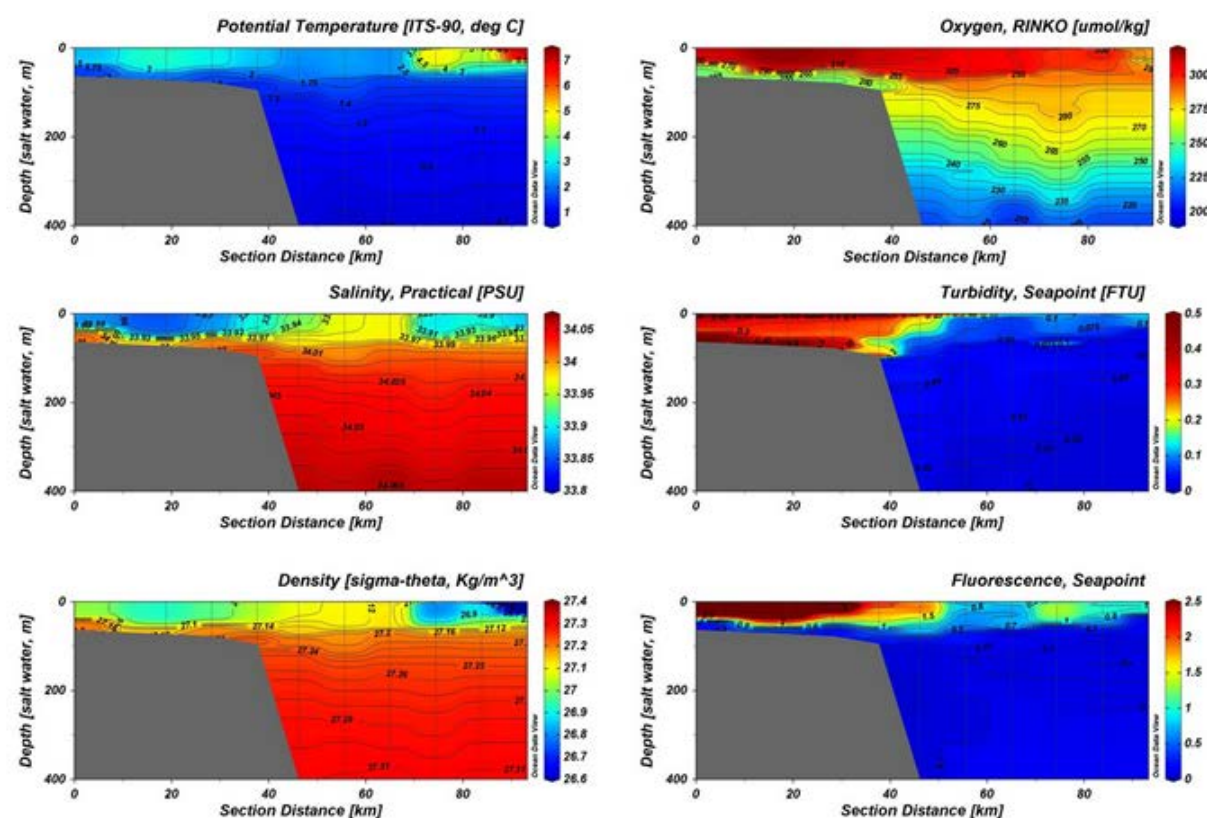
Разрез по меридиану 131° в.д. пересекает теплое вторжение на северной периферии антициклонического вихря в западной части района (рис. 4). Толщина квазиоднородного слоя вторжения с относительно высокой температурой (до $11,6\text{ }^{\circ}\text{C}$) составляет около 60 м. Эти воды имеют наиболее низкую соленость и пониженное содержание кислорода. Отмечается субдукция вод залива с повышенным содержанием кислорода под слой теплых вод на глубинах 60–200 м. Придонный слой вод на шельфе отличается повышенной мутностью и пониженным содержанием кислорода.

Разрез по $131^{\circ}47'$ в.д. проходит через центральную часть залива Петра Великого и в южной части также пересекает вторжение теплых вод шириной 10 км и толщиной около 50 м ($4,6\text{--}5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $33,90$ епс). Соленость этих вод несколько выше, чем наблюдалась на западном разрезе по 131° в.д. На спутниковых изображениях видно, что эта область имеет форму мезомасштабного антициклонического вихря, расположенного область относительно теплых вод на разрезе около подводной горы Петра Великого. Другая расположена



▲ Рисунок 4. Распределение температуры, солёности, условной плотности, содержания кислорода, мутности и флуоресценции на разрезе по 131° в.д.

▼ Рисунок 5. Распределение температуры, солёности, условной плотности, содержания кислорода, мутности и флуоресценции на разрезе по 131°47' в.д.



в шельфовой части залива. В центральной части видна область апвеллинга с температурой ниже $2,5^{\circ}\text{C}$ и повышенной соленостью (до $33,96\text{--}33,97$ епс) в поверхностном слое $0\text{--}60$ м, хорошо перемешанном, очевидно, ветрового воздействия. На этом разрезе не наблюдается субдукции вод залива. Область теплового вторжения на юге имеет структуру антициклонического вихря с соответствующим прогибом изолиний по всей толще зондирования (до 500 м) и поверхностным ядром более теплых и распресненных вод, по-видимому, захваченных вихрем в процессе эволюции. В области шельфа отмечается повышенная мутность вод как в результате развития планктона, так и, очевидно, интенсивного ветрового перемешивания. Область апвеллинга, наоборот, характеризуется повышенной прозрачностью.

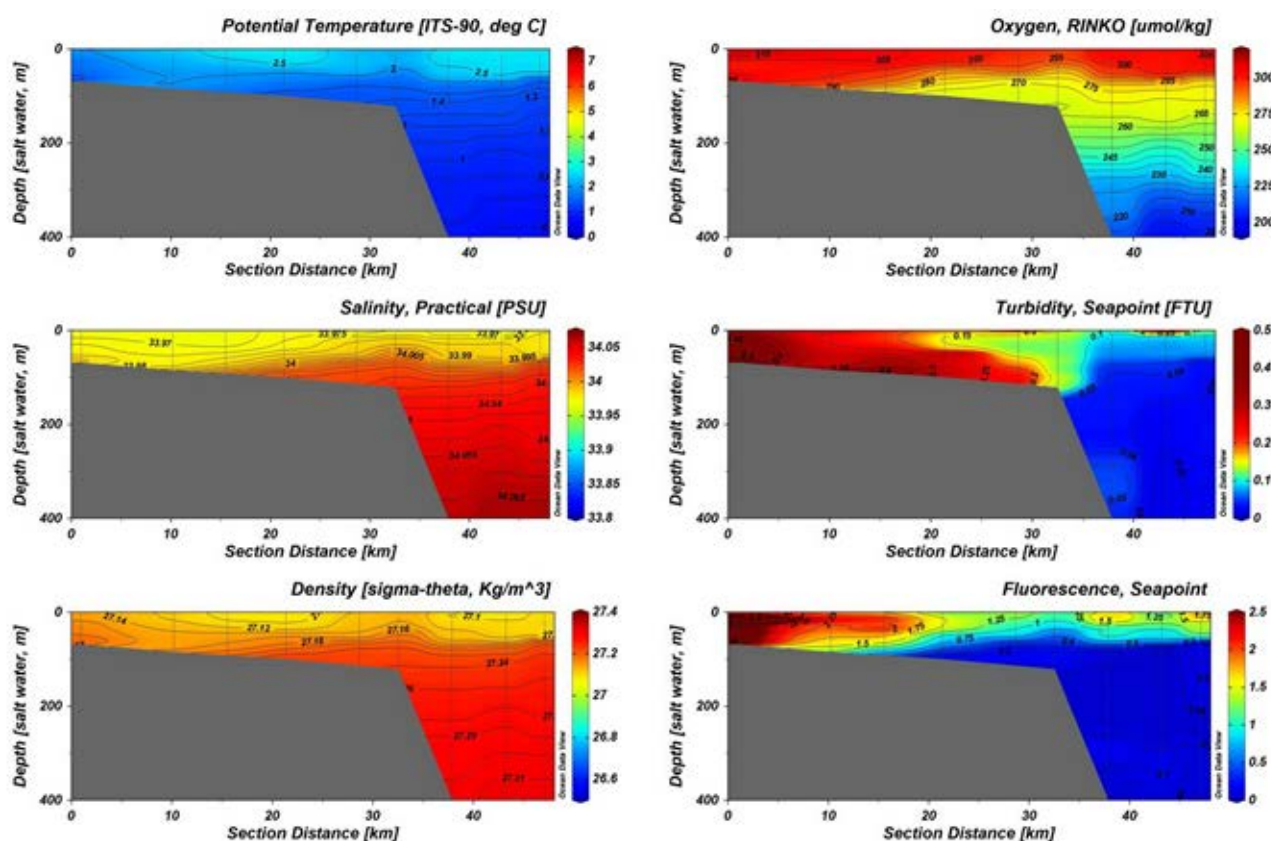
Разрез по $132^{\circ}28'$ в.д. расположен в области наиболее интенсивного апвеллинга. Здесь отмечаются самые низкие значения температуры воды и высокие значения солености (до $1,91^{\circ}\text{C}$ и $33,98$ епс). Разрез пересекает два языка трансформированных субтропических вод, переносимых Приморским течением из обширной области восточного вторжения на 134° в.д., хорошо заметных на спутниковых изображениях и прослеживаемых на разрезе по повышенным

значениям температуры воды и сравнительно высоким значениям солености ($2,67\text{--}2,73^{\circ}\text{C}$ и $33,97\text{--}33,98$ епс). Высокие значения мутности и флуоресценции отмечаются на шельфе и заметно более низкие – в открытой части моря.

Разрез по $133^{\circ}45'$ в.д. располагался в области теплых вод у восточного края области апвеллинга (рис. 7). Северная часть разреза пересекает зону теплых вод западной ветви Цусимского течения, подходящей к побережью Приморья из восточной части моря ($5,3^{\circ}\text{C}$, $33,96$ епс, толщина слоя до 40 м). Южная часть – языки теплых вод, направленные на север из центральной части моря ($6,6\text{--}7,3^{\circ}\text{C}$, $33,91\text{--}33,98$ епс), толщиной $40\text{--}60$ м). Вторжения и языки вод связаны с мезомасштабными вихревыми структурами, хорошо заметными на спутниковых изображениях. На разрезе можно выделить три антициклонических вихря, обозначенных буквами А, В и С на рис. 7.

Наиболее крупный из них – вихрь А диаметром около 30 км в южной части разреза.

Рисунок 6. Распределение температуры, солености, условной плотности, содержания кислорода, мутности и флуоресценции на разрезе по $132^{\circ}28'$ в.д.



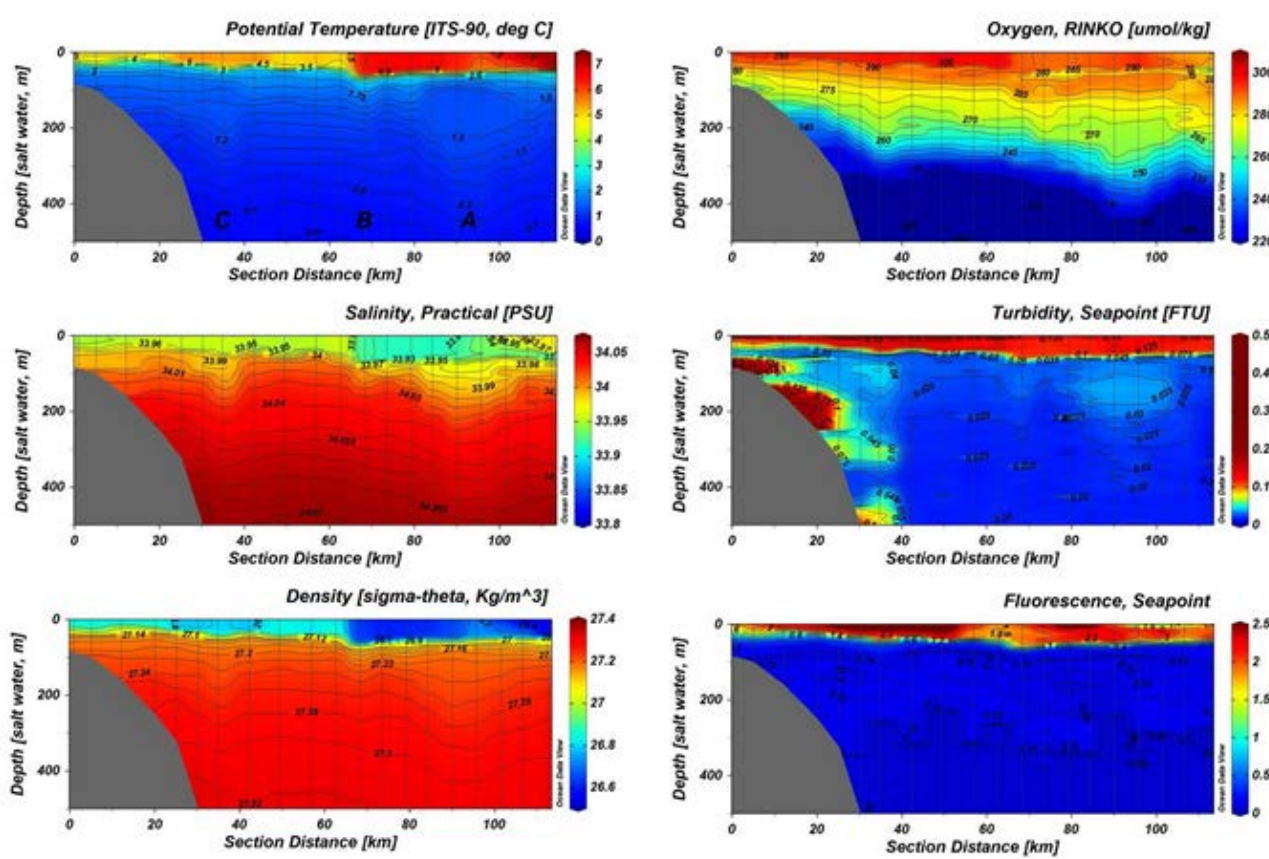


Рисунок 7. Распределение температуры, солёности, условной плотности, содержания кислорода, мутности и флуоресценции на разрезе по 133°45' в.д. А, В, С – области мезомасштабных антициклонических вихрей

Судну удалось пересечь центральную часть этого вихря благодаря наведению по оперативной спутниковой информации. По результатам СТД-съемки хорошо видно линзообразное ядро вихря между горизонтами 100 и 250 м. Воды ядра отличаются от окружающих вод практически по всем параметрам, в том числе и по повышенной мутности. В верхнем 50-метровом слое вихрь переносит теплые воды пониженной солёности (6,5–7,3 °C, 33,93–33,97 епс). Поверхностный слой вихря отделен от его ядра резким пикноклином, что свидетельствует о неодновременности формирования поверхностной и глубинной структур. По-видимому, поверхностный слой является результатом недавней адвекции вод с южных или западных районов моря. В пользу последнего указывает также низкая солёность вод. Антициклонический прогиб изолиний прослеживается до предельных глубин зондирования (500 м). Вихрь расположен над долиной между хребтами Берсенева и Васильковского и, по-видимому, является топографически захваченным.

На северной периферии вихря А можно выделить еще один антициклонический вихрь В диаметром около 15 км, переносящий воды наиболее низкой солёности в поверхностном слое. Этот вихрь прослеживается по вертикали до глубины около 270 м (рис. 7).

Третий антициклонический вихрь С отмечается в северной части разреза, в присклоновой области. Он прослеживается по всей глубине зондирования. По-видимому, разрез прошел западнее центра вихря и не показывает возможной линзообразной структуры его ядра. Размер вихря на разрезе 15–20 км.

На данном разрезе, в отличие от предыдущих, отмечается высокое содержание хлорофилла *a* (2,72 мкг/кг) в поверхностных водах. Казалось бы, повышенные значения должны наблюдаться в зоне апвеллинга, где происходит подъем к поверхности биогенных элементов. Тем не менее, по результатам съемки этого не обнаружено. В области апвеллинга значения хлорофилла *a* сравнительно низкие (рис. 4–6). Повышенные значения наблюдались лишь в зоне шельфа и к востоку от апвеллинговой зоны в области рассмотренных выше вихревых структур (рис. 7).

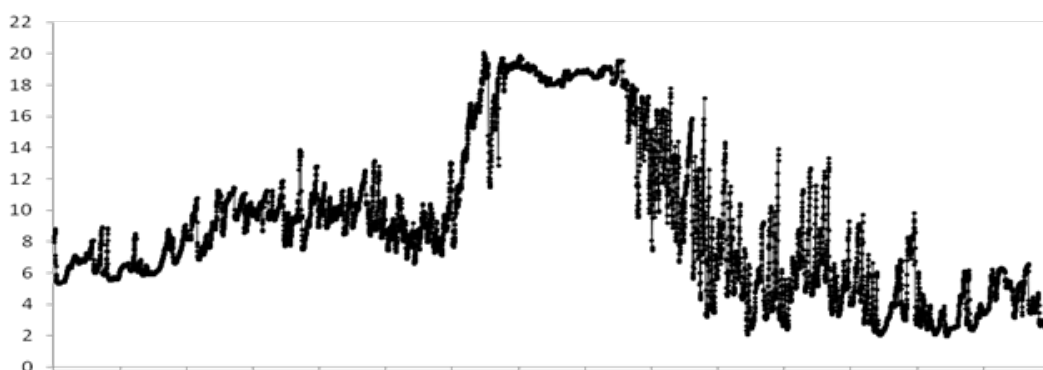


Рисунок 8. Изменение придонной температуры воды на глубине 21,5 м у южного побережья о. Русский (залив Петра Великого) в период 4 июня – 1 ноября 2017 г.

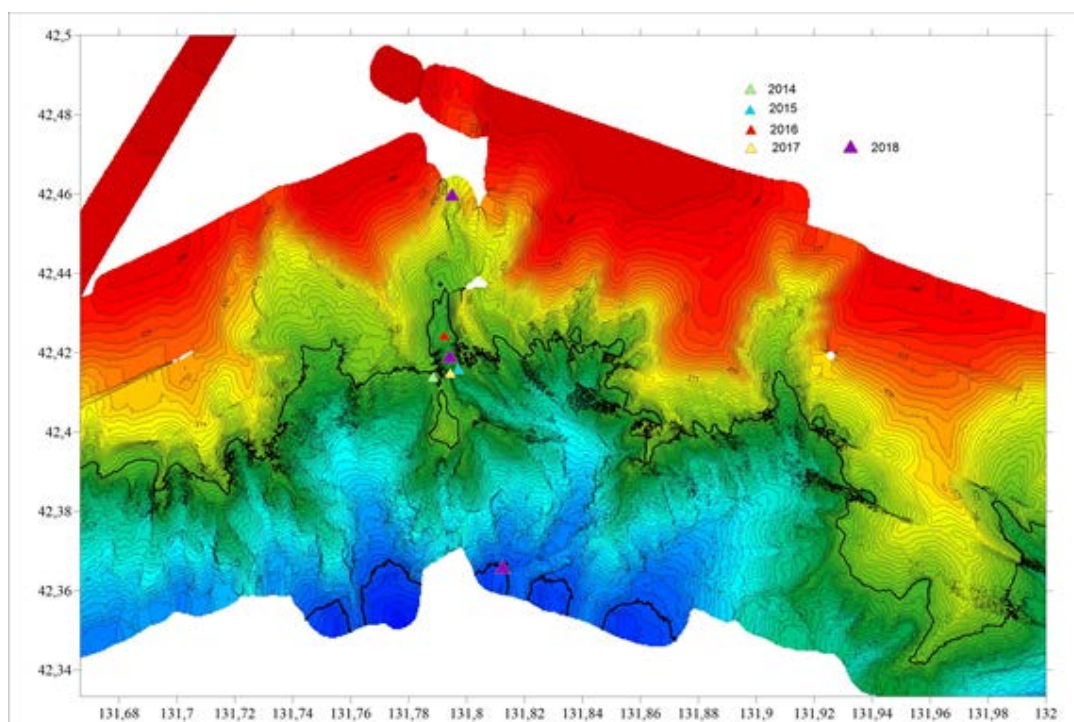
Еще одной важной особенностью разреза по 133°45' в.д. являются ядра аномально повышенной мутности в придонном слое шельфово-склоновой области на 100, 200 и 500 м (0,13–0,32 FTU) (рис. 7). Их присутствие указывает либо на начавшийся каскадинг шельфовых вод, либо на особенности биогеохимических процессов на данном участке континентального склона.

Рисунок 9. Схема постановок донных АБС на склоне залива Петра Великого. Положение трех АБС, установленных в рейсе в зоне центрального каньона, показано сиреневыми треугольниками. Донная топография получена многолучевым эхолотом в экспедиции ТОИ ДВО РАН (В.Н. Карнаух)

Временная изменчивость параметров вод в период апвеллинга

Поднятая в экспедиции АБС, установленная в начале летнего периода в верхней части залива Петра Великого у о. Русский, позволяет рассмотреть временные изменения температуры воды и солёности, обусловленные процессами вертикального и горизонтального обмена (рис. 8). Во временном ходе отчетливо видно значительное понижение температуры воды с конца августа по середину сентября, обусловленное подходом бентического фронта и началом апвеллинга.

Сравнение с результатами многолетних измерений на АБС в данной точке показывает, что апвеллинг 2017 г. был более ранний, чем в предшествующие 2012–2016 гг. Это можно интерпретировать как признак возможной смены тренда среднемесячных зимних



температур и начала установления периода более холодных зим в Приморье. Данный прогноз основан на исследованиях многолетней изменчивости структуры Приморского апвеллинга и зимних температур в Приморье. Примером аномально раннего апвеллинга является 2010 г., когда апвеллинг начался в середине августа, а примером позднего – 2016 г. с началом апвеллинга в середине октября. За ними последовали соответственно периоды относительно холодных (2011–2013 гг.) и теплых (2016–2017 гг.) зим.

Постановка АБС на склоне залива

В экспедиции были также продолжены работы по изучению вентиляции глубинных вод Японского моря на аппаратурно-методической основе, приведшей впервые к обнаружению в прошедшем зимнем сезоне продолжительной глубокой склоновой конвекции. В центральной части залива Петра Великого в каньоне континентального склона на глубинах 674, 1150 и 2023 м были установлены три донных АБС с измерителями океанографических параметров (рис. 9). Для регистрации изменчивости параметров морской среды на шельфе залива установлена четвертая АБС с измерителями температуры и солёности на глубине 23 м. Подъем станций планируется провести в апреле – мае 2018 г.

Тихоокеанский плавучий университет

В экспедиции была реализована научно-образовательная программа Тихоокеанского плавучего университета по обучению и стажировке студентов Дальневосточного федерального университета (г. Владивосток). Были организованы занятия и чтение лекций, касающихся вопросов физической и региональной

океанографии, технических средств освоения Мирового океана, методики проведения СТД-зондирований, подготовки и постановки автономных буйковых станций, техники безопасности и охраны труда (рис. 10). В ходе рейса студенты подготовили экспедиционные отчеты.

Заключение

В результате проведенных исследований были установлены неизвестные или малоизученные особенности в распределении океанографических параметров и в структуре вод, необходимые для создания более полных представлений о процессах и явлениях в морской среде в российских водах Японского моря.

1. Гидрологическая ситуация у южного Приморья поздней осенью 2017 г. определялась развитием области апвеллинга и вторжениями субтропических вод на ее западной, центральной и восточной периферии. Апвеллинг наблюдался во всем исследуемом районе от залива Посыета до бухты Соколовской. Подъемом вод охвачена вся исследуемая толща моря. Воды вторжений охватывают верхний слой 40–60 м и квази-однородны в результате ветрового перемешивания. При этом воды, поступающие с запада, отличаются наиболее низкой солёностью, в то время как подходящие с востока воды западной ветви Цусимского течения имеют наибольшую солёность.

2. Впервые получены данные о вертикальной структуре мезомасштабных и субмезомасштабных вихрей в области континентального склона, а также в районах горы Петра Великого, хребтов Берсенева

Рисунок 10. Практические занятия со студентами-океанологами ДВФУ по работе оператора СТД-зонда (слева) и сборке АБС (справа)



и Васильковского, наблюдавшихся ранее на спутниковых изображениях. Можно предположить, что вихри в районах подводных гор являются топографически захваченными. По-видимому, развитие вихревых образований связано с развитием области апвеллинга. Вихри являются проявлением водообмена в пограничных областях, трансформируют и разрушают фронтальную зону области апвеллинга, а также вызывают образование присклоновых аномалий мутности.

3. Установлены новые особенности термохалинной структуры вод северо-западной части Японского моря, обусловленные взаимодействием топографических вихрей и вторжениями теплых вод в западной и центральной частях моря. Спутниковый мониторинг района исследований и данные СТД-измерений указывают на вовлечение поверхностного потока теплых вод с юга в циркуляцию топографических вихрей, маркируя их положение на спутниковых снимках. Это приводит к формированию неоднородной вертикальной структуры вихрей, состоящей из нескольких слоев с различными свойствами вод, имеющих разное происхождение.

4. Выдвигается гипотеза, что компенсационным механизмом апвеллинга в северо-западной части Японского моря, вероятнее всего, является система антициклонических вихрей. На предложенной в работе [10] схеме поперечной циркуляции в зоне апвеллинга вертикальная адвекция вод в мористой части апвеллинговой ячейки в реальности осуществляется антициклоническими вихрями. Вихри в северо-западной части моря, распространяясь до дна, наряду с конвекцией, обеспечивают вентиляцию всей толщи вод Японского моря. В то же время периферийные циклонические вихри являются дополнительным механизмом балансировки системы вертикального водообмена.

5. Установлено отличие характера апвеллинга у берегов Приморья в 2017 г. от такового в предыдущие годы, что указывает на возможную смену в 2018 г. многолетнего тренда зимних температур воздуха и начало периода более холодных зим. Данный прогноз основан на исследованиях многолетней изменчивости структуры Приморского апвеллинга и межгодовой изменчивости температуры воздуха в Приморском крае в зимний сезон.

6. Продолжено исследование процесса вентиляции глубинных вод Японского моря за счет склоновой конвекции (каскадинга) в заливе Петра Великого с использованием донных автономных измерительных систем,

позволивших впервые зарегистрировать продолжительную глубокую склоновую конвекцию зимой 2016–2017 гг. На зимний сезон 2017–2018 гг. с использованием новой детальной топографии центрального каньона были установлены четыре донных АБС для непрерывных измерений параметров морской среды. Подъем измерительных систем будет проведен в апреле – мае 2018 г.

7. Продолжена программа Тихоокеанского плавучего университета. В рамках государственного задания интеграции науки и образования в экспедиции проведены теоретические и практические занятия со студентами ДФВУ, проходящими морскую производственную практику.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жабин И.А., Грамм-Осипова О.Л., Юрасов Г.И. Ветровой апвеллинг у северо-западного побережья Японского моря // Метеорология и гидрология. 1993. № 10. С. 82–86.
2. Зуенко Ю.И., Надточий В.В. Исследование влияния апвеллинга на состав и обилие мезопланктона в прибрежной зоне Японского моря // Океанология. 2004. Т. 44, № 4. С. 561–569.
3. Звалинский В.И., Лобанов В.Б., Захарков С.П., Тищенко П.Я. Хлорофилл, замедленная флуоресценция и первичная продукция в северо-западной части Японского моря осенью 2000 г. // Океанология. 2006. Т. 46, № 1. С. 27–37.
4. Юрасов Г.И., Яричин В.Г. Течения Японского моря. Владивосток: ДВО АН СССР, 1991. 174 с.
5. Лобанов В.Б., Пономарев В.И., Салюк А.Н., Тищенко П.Я., Тэлли Л.Д. Структура и динамика синоптических вихрей северной части Японского моря // Дальневосточные моря России. Т.1. Океанологические исследования. М.: Наука, 2007. С. 450–473.
6. Ладыченко С.Ю., Лобанов В.Б. Синоптические вихри в районе залива Петра Великого по спутниковым данным // Исследование Земли из космоса. 2013. № 4. С. 3–15. doi:10.7868/S0205961413030032
7. Лазарюк А.Ю., Каплуненко Д.Д., Островский А.Г., Лобанов В.Б., Трусенкова О.О., Ладыченко С.Ю. Экспериментальные исследования изменчивости термохалинной структуры вод над континентальным склоном северо-западной части Японского моря // Океанологические исследования. 2017. Т. 45, № 1. С. 34–52. doi:10.29006/1564-2291.JOR-2017.45(1).5
8. Никитин А.А., Юрасов Г.И. Синоптические вихри Японского моря по спутниковым данным // Исследование Земли из космоса. 2008. № 5. С. 42–57.
9. Пономарев В.И., Файман П.А., Дубина В.А., Ладыченко С.Ю., Лобанов В.Б. Синоптическая вихревая динамика над северо-западным материковым склоном и шельфом Японского моря (моделирование и результаты дистанционных наблюдений) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8, № 2. С. 100–104.
10. Юрасов Г.И. Гидрологический режим залива Петра Великого и особенности вентиляции вод Японского моря // Вестник ДВО РАН. 2003. № 2 (108). С. 142–147.
11. Lobanov V., Sergeev A., Gorin I., Shcherbinin P., Voronin A., Kaplunenko D., Popov O., Gulenko T. Observations of dense water cascading along the Peter the Great Bay slope in the northwestern Japan Sea // Int. Conf. Fluxes and Structures in Fluids: Selected Papers / Eds. Yu.D. Chashechkin, V.G. Baydulov. Moscow: MAKSPress, 2014. P. 142–150.

42-й РЕЙС НИС «АКАДЕМИК БОРИС ПЕТРОВ» – ВОЗВРАЩЕНИЕ РОССИЙСКИХ УЧЕНЫХ В ИНДИЙСКИЙ ОКЕАН СПУСТЯ ЧЕТВЕРТЬ ВЕКА

О.В. Левченко

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

e-mail: olevses@mail.ru

С 5 января по 29 марта 2017 г. выполнен 42-й рейс научно-исследовательского судна (НИС) «Академик Борис Петров» по маршруту Тяньзинь (КНР) – Сингапур – Суэц (АРЕ) – Калининград (рис. 1). В этом рейсе проводились исследования литосферы, гидросферы и атмосферы. С 2010 г. судно не эксплуатировалось и находилось на аварийной стоянке сначала в Индии и последние четыре года в Китае. Научная экспедиция была совмещена с перегонем судна в порт приписки Калининград после завершения ремонта в декабре 2016 г. на средства Федерального агентства научных организаций (ФАНО) России. Судовое время оплачивалась за счет целевого финансирования экспедиционных исследований ФАНО России, а расходы

на каждого участника экспедиции (транспортные, оформление визовых, медицинских, страховых документов и другие) из различных программ, проектов и грантов (Программа ИЗП Президиума РАН, гранты РНФ № 14-50-00095 и РФФИ № 14-05-00395, 15-05-02086 и другие).

Благодаря новой системе ФАНО организации морских исследований по принципу «одного окна» ученые из разных городов (Москва, Владивосток, Севастополь, Томск, Калининград) получили возможность собраться для совместных мультидисциплинарных исследований в одном рейсе. В 42-м рейсе НИС «Академик Борис Петров» участвовало 26 научных сотрудников из шести институтов Российской академии наук, подведомственных ФАНО России: Института

Рисунок 1. Маршрут 42-го рейса НИС «Академик Борис Петров». Основные районы геофизических (А) и гидрологических (Б) исследований

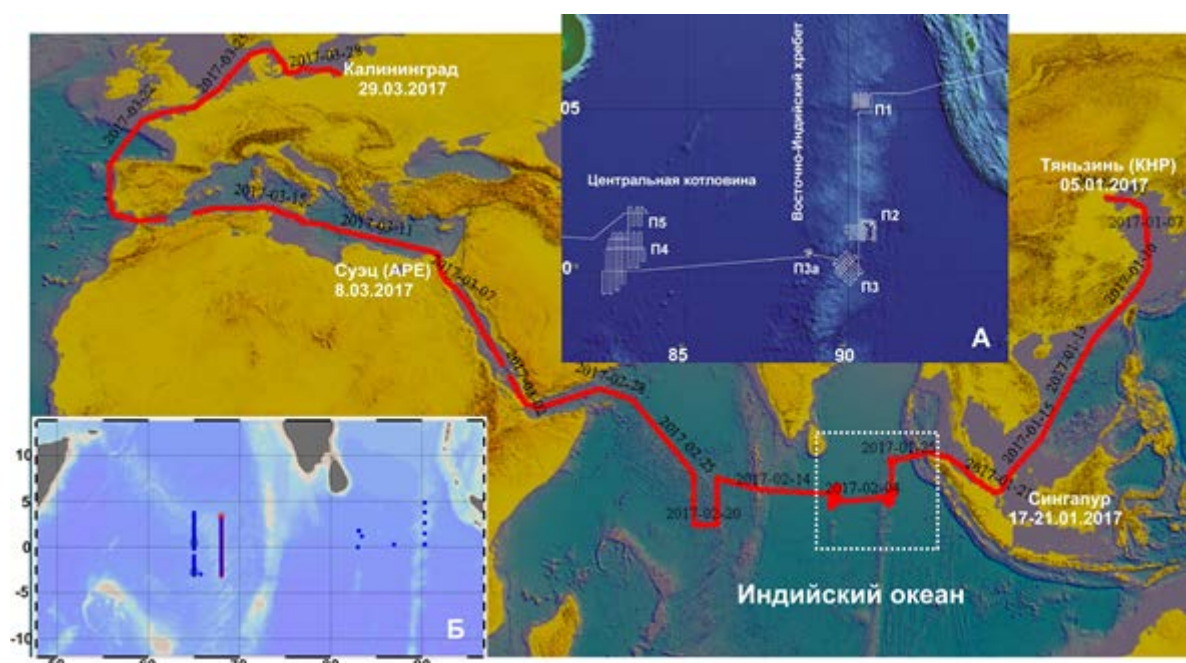


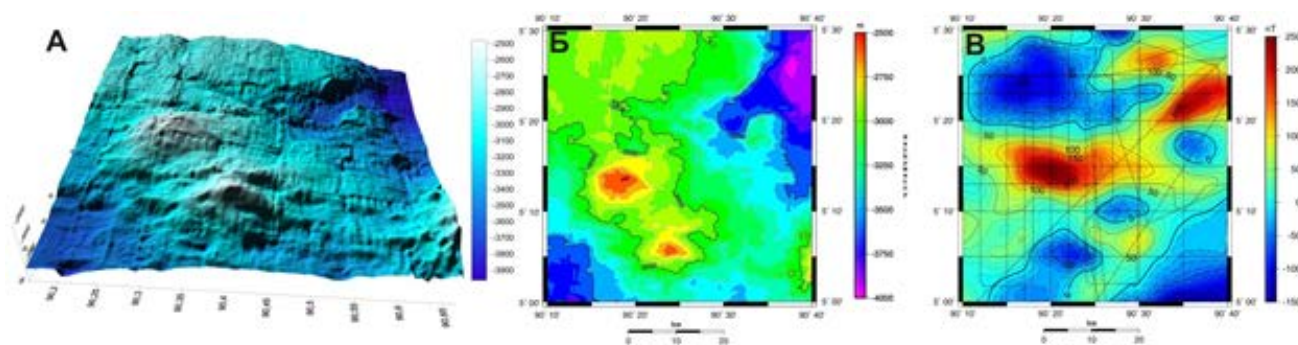


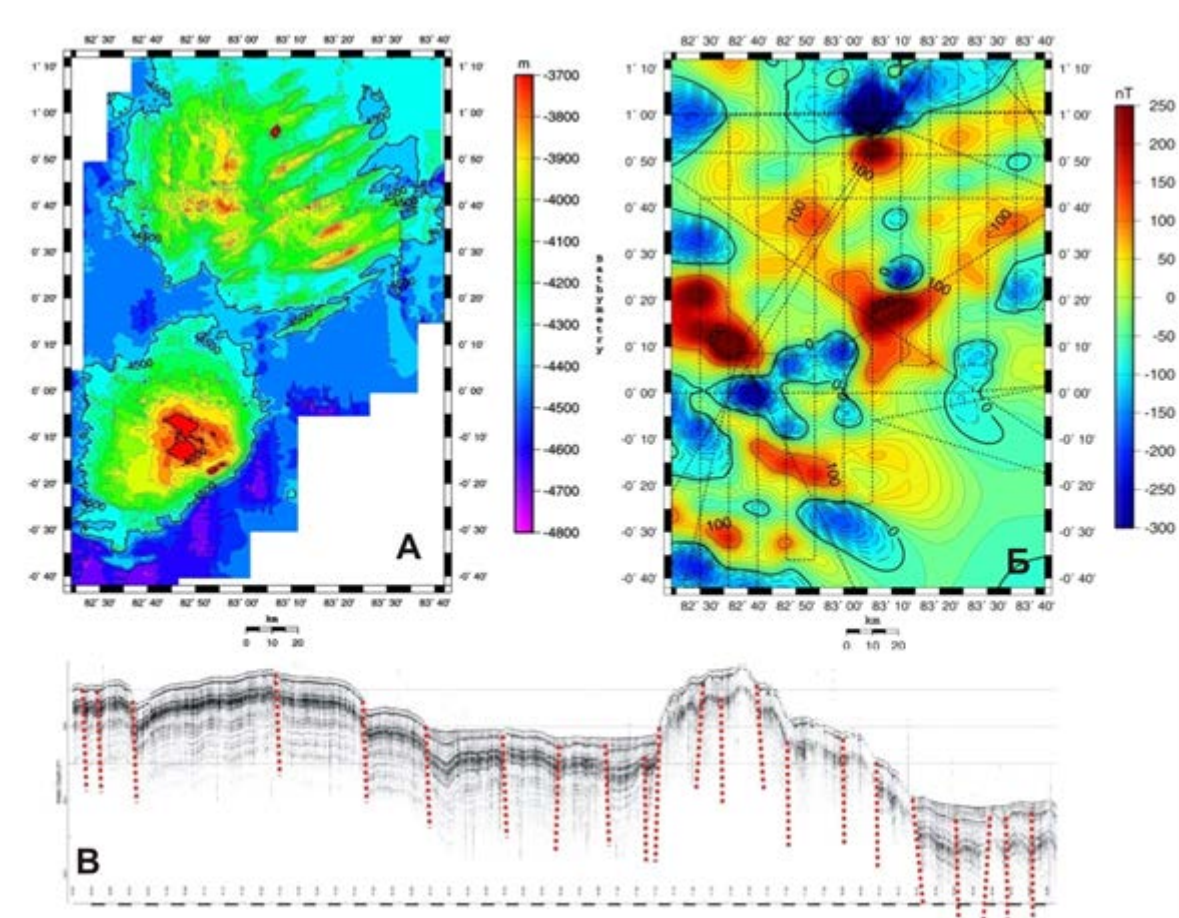
Рисунок 2. Мультидисциплинарные исследования в 42-м рейсе НИС «Академик Борис Петров»: 1 – геофизическая съемка с магнитометром MPMG-4; 2 – гидрологические измерения: зонд SBE 911plus с акустическим профилографом течений DVS-750; 3 – гидрохимические исследования водной толщи: отбор проб воды батометрами Нискина (Rozetta); 4 – сбор биологического материала с помощью планктонной сети; 5 – дистанционное измерение температуры поверхности океана инфракрасным термометром Testo 870-2

океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН), Москва и Калининград; Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН (ГЕОХИ), Москва; Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева ДВО РАН (ТОИ), Владивосток; Института морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН (ИМБИ), Севастополь; Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН (ИОА), Томск; Института автоматики и процессов управления ДВО РАН (ИАПУ), Владивосток. Комплексные исследования выполнялись пятью отрядами: геофизики и тектоники (ИО РАН), гидрологии (ТОИ, ИО РАН), геохимии (ТОИ, ИАПУ), биологии (ИМБИ), взаимодействия атмосферы и океана (ИО РАН, ИОА) (рис. 2). Научная программа 42-го рейса НИС «Академик Борис Петров», согласованная с руководством всех институтов РАН, сотрудники которых участвовали в рейсе, охватывала широкий круг научных задач. Основные комплексные мультидисциплинарные исследования выполнены в экваториальной области Индийского океана: на пяти полигонах в восточной (рис. 1А) и на двух разрезах в западной (рис. 1Б) частях.

Геофизические исследования. В восточной части Индийского океана наблюдается множество уникальных структур и феноменов глобального, регионального и локального масштаба, природа которых остается дискуссионной. Из множества внутриплитных поднятий самым загадочным является занимающий центральное положение асейсмичный Восточно-Индийский хребет (ВИХ) – наиболее протяженное (5000 км) внутриплитное линейное поднятие Мирового океана [1, 2]. Он разделяет котловины Центрально-Индийскую и Вартон, которые характеризуются разным структурным планом и строением литосферы. Центральная котловина является другим уникальным природным объектом региона, где развиты не имеющие аналогов интенсивные молодые внутриплитные деформации литосферы, выраженные в складчато-разрывных дислокациях осадочного чехла и фундамента с самой высокой океанской внутриплитной сейсмичностью [3–6]. В 1970–1980-е гг. прошлого века ИО РАН в регулярных рейсах своих НИС собрал большой объем данных о рельефе дна, строении коры и литосферы, геофизических полях, тектонике, процессах осадконакопления и магматизма в восточной части Индийского океана [2–5, 7, 8]. Полученные более чем через четверть века после последнего из них (20-й рейс НИС «Академик Мстислав

Рисунок 3. Восточно-Индийский хребет, полигон П1 42-го рейса НИС «Академик Борис Петров». Рельеф дна: А – 3Д изображение и Б – батиметрическая карта, В – карта аномального магнитного поля





Келдыш», 1990) в 42-м рейсе НИС «Академик Борис Петров» новые геофизические данные дополняют представления о глубинном строении северного сегмента Восточно-Индийского хребта и экваториальной части Центральной котловины (геомагнитная съемка), а также позволяют детализировать современную структуру дна (батиметрия с многолучевым эхолотом) и подстилающих осадочных отложений (высокоразрешающая сейсмоакустика, парасанд). Это важно для понимания природы этого внутриплитного асейсмичного поднятия (рис. 3) и механизмов молодой внутриплитной деформации индоокеанской литосферы (рис. 4). Общий объем выполненной в рейсе геофизической съемки: батиметрия с многолучевым эхолотом HydroSweep DS-2 – 9125 миль, сеймопрофилирование с Parasound DS-2 – 2366 миль, магнитометрия с MPMG-4 – 5246 мили.

Гидрофизические исследования. В 42-м рейсе НИС «Академик Борис Петров» были возобновлены также гидрологические и биологические исследования, которые ранее проводились отечественными учеными в Индийском океане. Выполнена гидрологическая

Рисунок 4. Центрально-Индийская котловина, полигон П4 42-го рейса НИС «Академик Борис Петров». Карты рельефа дна (А) и аномального магнитного поля (Б); сейсмоакустический профиль, молодые складчато-разрывные деформации (В)

съемка стандартных океанологических параметров (температура, соленость, содержание кислорода) для восточной и западной частей Индийского океана (рис. 1Б) на 81 океанографической станции от поверхности до 700 м, на 4 станциях от поверхности до дна. Полученные данные дополнили результаты 22-летней давности, вошедшие в атлас WOCE [9], с которыми они коррелируются с высокой точностью (рис. 5А – В). Характеристики подповерхностного экваториального течения Тареева, открытого в 31-м рейсе НИС «Витязь» (1960) [10], уточнены в результате наблюдений на двух меридиональных гидрологических разрезах в западной части Индийского океана (рис. 5Г). На 65° в.д. его ширина около 350 км, а ядро наблюдается немного южнее экватора на глубине 50 м. На 68° в.д. течение заглубляется и распадается на струи в полосе шириной более 700 км. Инструментальные измерения скорости течения Тареева зимой

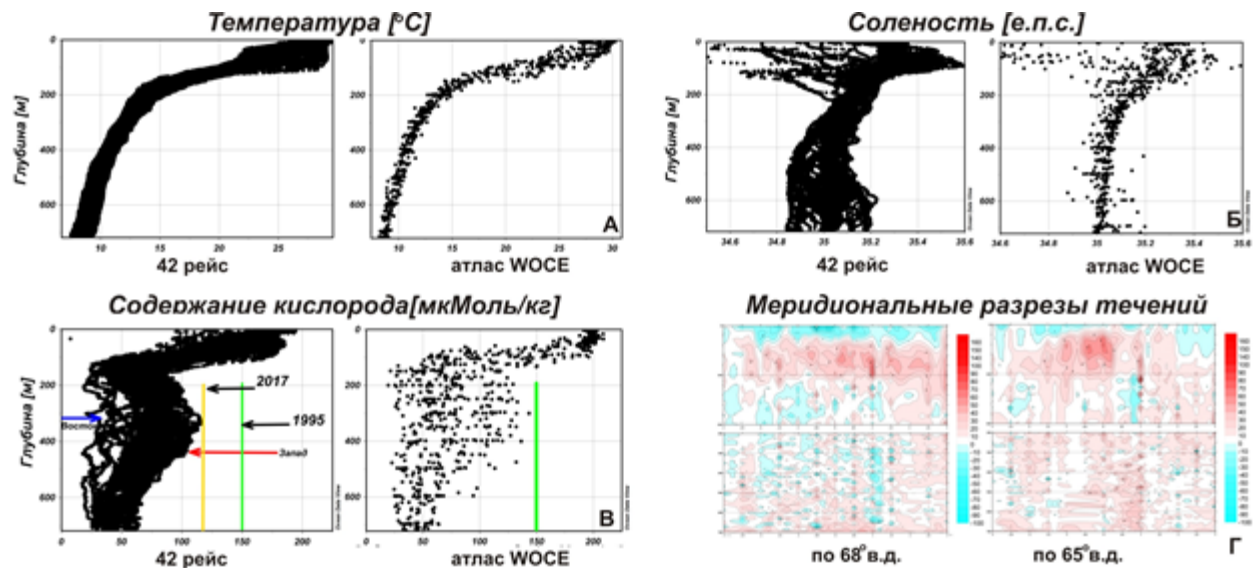


Рисунок 5. Профили основных гидрологических характеристик, полученных в 42-м рейсе НИС «Академик Борис Петров» и исторические данные 1995 г. по атласу WOCE: А – температура, Б – солёность, В – содержание кислорода; Г – меридиональный разрез поля течений по 68° и 65° в.д. от 3° с.ш. до 3° ю.ш. на глубину от 0 до 700 м

2017 г. показали, что этот важный в климатическом отношении океанский поток сохраняет квазистационарность основных динамических характеристик в масштабе многих десятилетий [11].

Непрерывные измерения проводились всеми отрядами по всему маршруту на ходу судна (рис. 6): геофизическая съёмка для изучения морфоструктурных особенностей океанского дна; непрерывный отбор проб поверхностной воды для измерения гидролого-гидрохимических параметров (температуры, солёности, растворенного кислорода, мутности, хлорофилла и органического углерода); газогеохимические исследования концентрации парниковых газов (метана, углеводородных газов этан-бутан, углекислого газа), а также водорода и ртути в поверхностной воде и придном слое атмосферы; фильтрация проб морской воды для определения пигментного состава клеток фитопланктона; радиохемозкологический мониторинг для выявления временных трендов перераспределения радионуклидов и химических загрязнителей в компонентах морских экосистем; сбор золотой взвеси (аэрозоля) с поверхности океана для определения ее концентрации, вещественного и химического состава; метеорологические наблюдения с целью изучения взаимодействия океана и атмосферы и оценки

параметров облачности; измерение оптических характеристик атмосферного аэрозоля над океаном для определения его влияния на радиационные процессы и формирование климата.

В 42-м рейсе НИС «Академик Борис Петров» впервые в мировой практике получены столь глобальные комплексные данные непрерывных попутных газогеохимических, гидрологических, биологических и метеорологических измерений на протяжении около 30 000 миль по всему маршруту судна. Эти уникальные данные, позволяющие оценить вклад различных частей Мирового океана в глобальный поток метана в атмосферу, свидетельствуют о недооценке океана как глобального источника поступления парниковых газов в атмосферу. В 42-м рейсе были продолжены начатые в 2016 г. в 31-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов» [12] работы ИО РАН по изучению аэрозолей и поверхностных вод для мониторинга концентрации взвеси и органических соединений в поверхностных водах (углеводородного загрязнения), изучения содержания в взвеси природных и антропогенных липидов, углеводов, хлорофилла с целью установления влияния на них климатических особенностей. Также были продолжены начатые в 31-м рейсе непрерывные атмосферные наблюдения для оценки параметров облачности, радиационных потоков и оптических характеристик атмосферного аэрозоля. Отобран гигантский объем биологических проб, дальнейшая обработка которых в лабораторных условиях позволит адекватно оценить биологическое разнообразие планктонных организмов, численность, структуру и внутриклеточное содержание пигментов в сообществе

пикофитопланктона, численность гетеротрофного бактериопланктона и многих других характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Левченко О.В., Сборщиков И.М., Маринова Ю.Г. Тектоника хребта Девяностого градуса // *Океанология*. 2014. Т. 54, № 2. С. 252–266. doi:10.7868/S0030157414020142
2. Кашинцев Г.Л., Непрочнов Ю.П., Гринько Б.Н. Генезис и эволюция Восточно-Индийского хребта // *Океанология*. 2000. Т. 40, № 6. С. 901–906.
3. Казьмин В.Г., Левченко О.В. Современные деформации индоокеанской литосферы // *Современная тектоническая активность Земли и сейсмичность*. М.: Наука. 1987. С. 159–175.
4. Melikhov V.R., Neprochnov V.P., Rao D.G. Intraplate deformation in The Central Indian Ocean Basin. Bangalore: Geological Society of India, 1998. Memoir No. 39. 250 p.
5. Вержбицкий В.Е., Левченко О.В. Детальная структура области внутриплитных деформаций в Центральной котловине Индийского океана (результаты исследований на трех полигонах) // *Геотектоника*. 2002. № 6. С. 77–94.
6. Bergman E.A., Solomon S.C. Oceanic intraplate earthquakes: implications for local and regional intraplate stress // *J. Geophys. Res.* 1980. Vol. 85, № B10. P. 5389–5410. <https://doi.org/10.1029/JB085iB10p05389>
7. Безруков П.Л., Непрочнов Ю.П., Затонский Л.К. и др. Геология и геофизика дна восточной части Индийского океана : По материалам 54-го и 58-го рейсов н.-и. судна "Витязь" / Отв. ред. П.Л. Безруков, Ю.П. Непрочнов]. М.: Наука, 1981. 255 с.
8. Сборщиков И.М. Строение зоны деформаций в районе подводной горы А. Никитина (Индийский океан) // *Океанология*. 1998. Т. 38, № 1. P. 122–130.
9. Schlitzer R. Electronic Atlas of WOCE Hydrographic and Tracer Data Now Available // *Eos Trans. AGU*. 2000. Vol. 81, No. 5. P. 45.
10. Нейман В.Г., Бурков В.А., Щербинин А.Д. Динамика вод Индийского океана. М.: Научный мир, 1997. 232 с.
11. Нейман В.Г., Фрей Д.И., Амбросимов А.К., Каплуненко Д.Д., Морозов Е.Г., Шаповалов С.М. Экваториальные течения в Индийском океане по измерениям в феврале 2017 г. // *Доклады Академии Наук*. 2018. Т. 479, № 1. С. 84–87. doi:10.7868/S0869565218010206
12. Немировская И.А., Титова А.М. Попутные исследования в рейсе научно-исследовательского судна «Академик Николай Страхов» // *Океанология*. 2017. Т. 57, № 2. С. 371–373. doi:10.7868/S0030157417020149

Научное издание

**ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
НА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ СУДАХ
ФАНО РОССИИ И АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН
В 2017 г.**

Верстка: *Н. Б. Мороз*
Оригинал-макет: *Н. Б. Мороз*
Оформление обложки *П. В. Поликарпова*

Подписано в печать 25.06.2018 г.

Формат 60 × 84/8. Гарнитура Arial

ФГБУН МГИ РАН

299011, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

Тел. (8692) 54-02-23