

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК



ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

ИТОГИ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В 2020 ГОДУ В МИРОВОМ ОКЕАНЕ И ВНУТРЕННИХ ВОДАХ

Москва, 24 – 26 февраля 2021 г.

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**ИТОГИ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
В 2020 ГОДУ В МИРОВОМ ОКЕАНЕ
И ВНУТРЕННИХ ВОДАХ**

(Москва, 24–26 февраля 2021 года)

Севастополь

2021

УДК 551.46+551.46.07

И93

Итоги экспедиционных исследований в 2020 году в Мировом океане и внутренних водах = Results of Field Research in the World Ocean and Internal Waters in 2020 : тезисы докладов всероссийской научной конференции, Москва, 24–26 февраля 2021 г. / ответственный редактор Т. В. Дабижа. – Севастополь : ФГБУН ФИЦ МГИ, 2021. – 175 с. ; 29,7 см. – ISBN 978_5_6043409_4_3. – Текст : электронный. – URL: http://mhiras.ru/news/news_202109171800.html. – Дата публикации: 17.09.2021.
ISBN 978_5_6043409_4_3

В сборнике представлены материалы Всероссийской научной конференции «Итоги экспедиционных исследований в 2020 г. в Мировом океане и внутренних водах» (Москва, 24–26 февраля 2021 г.). Сборник включает предварительные научные результаты морских экспедиционных исследований на судах неограниченного района плавания во всех морях России и на судах малого научно-исследовательского флота на внутренних реках и водоёмах.

УДК 551.46+551.46.07

Материалы опубликованы в авторской редакции

с минимальными корректорскими правками.

ISBN 978_5_6043409_4_3

© Коллектив авторов, 2021

© Оформление. ФГБУН ФИЦ МГИ,
2021

СОДЕРЖАНИЕ

КОМПЛЕКСНЫЕ РЕСУРСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КРИЛЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ ЮЖНОГО ОКЕАНА (АТЛАНТИЧЕСКИЙ СЕКТОР АНТАРКТИКИ)

Морозов Е.Г. Антарктическая экспедиция – 79-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш»	6
Морозов Е.Г. Исследования в канале Вима. Обратный рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш» из Антарктики	7
Борzych О.Г., Даутова Т.Н., Головань О.А., Зинов А.А., Касьян В.В., Морозова Т.В. Исследования ННЦМБ ДВО РАН в Южном океане (пролив Дрейка, море Скотия)	8
Салюк П.А., Шакиров Р.Б., Полоник Н.С., Пономарева А.Л., Тищенко П.П., Телегин Ю.А., Захарков С.П., Митник Л.М., Штрайхерт Е.А., Марьина Е.Н., Попов О.С., Рудых Я.Н., Калинин В.В., Алаторцев А.В. Исследования ТОИ ДВО РАН в 79-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш»	12
Коноплин А.Ю. Технология и результаты использования АНПА для исследования глубоководных экосистем Атлантического сектора Антарктики	15
Артемьев В.А., Латушкин А.А., Салюк П.А., Глуховец Д.И., Храпко А.Н., Григорьев А.В., Гармашов А.В., Юшманова А.В. Гидрооптические исследования в 79-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш»	16
Мирзоева Н.Ю., Чурилова Т.Я., Муханов С.В., Полякова Т.А., Самышев Э.З., Машукова О.В., Яковенко В.А., Моисеева Н.А., Параскив А.А., Мельник А.В., Сидоров И.Г., Силаков М.И. Оценка современного состояния морской экосистемы Атлантического сектора Антарктики (по результатам участия ФИЦ ИнБЮМ в 79-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш»)	20

АТЛАНТИЧЕСКИЙ ОКЕАН, ЗАПАДНАЯ ЧАСТЬ И ОСТРОВА СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

Мирошников А.Ю., Алиев Р.А., Кудиков А.В. Распределение антропогенных и природных радионуклидов на поверхности ледника Налли (архипелаг Новая Земля)	22
Бахмутов В.Ю. Итоги комплексных батиметрических исследований АО «ГНИНГИ» в Северном Ледовитом океане в 2020 году	30
Сорохтин Н.О. Современные геолого-геоморфологические процессы на шельфе Баренцева и Карского морей по результатам 49-го рейса НИС «Академик Николай Страхов»	32
Сколотнев С.Г., Пейве А.А., Соколов С.Ю., Добролюбова К.О., Перцев А.Н., Иваненко А.Н., Разумовский А.А., Бич А.С., Брусиловский Ю.В., Шолухов К.Н., Веклич И.А., Добролюбов В.Н., Санфилиппо А., Нестола Я., Петракчини Л., Басш В., Феррандо К., Сани К. Тектоническое строение и магматизм мегатрансформа Чарли Гиббс и прилегающих сегментов Срединно-Атлантического хребта (Северная Атлантика) по результатам геолого-геофизических исследований, проведенных в 50-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов»	36
Галактионов К.В., Николаев К.Е. Паразитологические исследования в юго-восточной части Баренцева моря (Печорское море). По материалам экспедиций Зоологического института РАН	37
Ахманов Г.Г., Соловьева М.А., Монтелли А.И., Полудеткина Е.Н., Хлыстов О.М. и участники экспедиции TTR-19 Особенности постледникового донного рельефа и разгрузки флюидов в СВ Баренцевом море: по данным геолого-геофизических и геохимических исследований в экспедиции TTR-19 (АНС48)	39
Клювиткин А.А., Политова Н.В., Новигатский А.Н., Кравчишина М.Д. Исследования седиментосистем Европейской Арктики в 80-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш»	46
Толстикова А.В., Галахина Н.Е., Здоровеннов Р.Э., Белевич Т.А., Георгиев А.П. Комплексные исследования трансформации гидрологических и биогеохимических режимов Онежского залива Белого моря под влиянием климатических и антропогенных изменений в июле 2020 года	52

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН

Давыдов Д.А., Кашулина Г.М., Константинова Н.А., Вильнет А.А., Королева Н.Е., Конорева Л.А., Коробейникова Н.М., Литвинова Т.И., Данилова А.Д., Чесноков С.В., Савченко А.Н. Результаты работ Полярно-альпийского ботанического сада-института по изучению фиторазнообразия, растительности и почв в экосистемах архипелага Шпицберген в 2020 году 59

Козелов Б.В. Проведение стационарных наблюдений за магнитными и оптическими явлениями на архипелаге Шпицберген, исследование геофизических процессов в высокоширотной атмосфере Земли 62

Федоров А.В., Асминг В.Э., Баранов С.В., Федоров И.С. Тезисы Кольского филиала ФИЦ ЕГС РАН к отчетной конференции о результатах выполнения экспедиционных исследований в 2020 году «О сейсмических и инфразвуковых проявлениях тектонической и ледниковой активности в районе архипелага Шпицберген в 2020 году» 64

Гладышев С.В., Гавриков А.В., Гладышев В.С. Итоги 50-го рейса НИС «Академик Сергей Вавилов» в Северную Атлантику в августе – сентябре 2020 года 72

СЗЧ ТИХОГО ОКЕАНА И ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЕ МОРЯ

Босин А.А., Артемова А.В., Василенко Ю.П. Изучение изменений климата и среды северной части Тихого океана: результаты экспедиции на НИС «Академик М.А. Лаврентьев», рейс № 91 79

Валитов М.Г., Шакиров Р.Б., Ли Н.С., Легкодимов А.А., Якимов Т.С., Окулов А.К., Пономарева А.Л., Бовсун М.А., Калинин В.В., Балданова К.О., Буланов В.А., Корсков И.В., Калгин В.Ю., Максеев Д.С., Колпащикова Т.Н. Комплексные геолого-геофизические и океанографические исследования в Японском море на НИС «Академик М.А. Опарин», рейс № 61 81

Мордухович В.В. Исследования в Гамовском каньоне Японского моря 87

Тищенко П.Я. Комплексные исследования северо-западных прибрежных акваторий Японского и Охотского морей в период с 9 по 24 сентября 2020 года (59-й рейс НИС «Академик Опарин») 91

Лобанов В.Б., Сергеев А.Ф., Марьина Е.Н., Прушковская И.А., Колтунов А.М., Горячев В.А., Калинин В.В., Зверев С.А., Юрцев А.Ю., Лукьянова Н.Б., Юрикова Д.А., Кукла С.П., Максеев Д.С., Якимов Т.С., Крайников Г.А., Коржиков И.А., Леусов А.Э., Сагалаев С.Г., Семкин П.Ю., Тищенко П.П., Тищенко П.Я., Шкирникова Е.М., Шевцова М.Г., Апарина К.А., Рюмина А.А., Загаруйко О.И., Акулова Э.А., Юрикова Е.А., Федорова К.С., Чичкин Р.В. Исследование состояния и динамики вод северо-западной части Японского моря в осенне-зимний период на НИС «Академик Опарин», рейс № 62 92

Чаркин А.Н., Семкин П.Ю., Кособоков К.Н., Гуленко Т.А., Семин В.Л., Ульяновцев А.С., Колбасова Г.Д., Юрикова Д.А., Тищенко П.П., Леусов А.Э., Кукла С.П., Зверев С.А., Тищенко П.Я., Орлова Т.Ю., Морозова Т.В. Комплексные исследования состояния морских экосистем восточно-арктических и дальневосточных морей в 60-м рейсе НИС «Академик Опарин» 96

НАРАЩИВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛА – ПЛАВУЧИЕ УНИВЕРСИТЕТЫ

Сабуров А.А., Драчкова Л.Н., Минчук О.В., Гапурова У.К. Онлайн-лекторий «Арктический плавучий университет» 100

Степанова Н.Б., Осадчиев А.А., Медведев И.П., Сильвестрова К.П., Мысленков С.А., Медведева А.Ю., Муравья В.О., Чубаренко Б.В. Плавучий университет ИО РАН: итоги исследования прибрежных береговых течений и особенностей водообмена между мелководной береговой лагуной и прилегающей морской акваторией в 2020 году. 105

МОРЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ВОСТОЧНОЙ АРКТИКИ

Василенко Ю.П., Янченко Е.А., Босин А.А. Реконструкция динамики и деградации ледяного покрова Восточной Арктики и северо-западной части Тихого океана как индикатора разномасштабных климатических перестроек в плейстоцене – голоцене и основы для разработки 108

Кожевников А.Ю., Лахманов Д.Е., Лактин Т.Б., Ульяновский Н.В., Косяков Д.С., Фалёв Д.И., Малков А.В. САФУ в международной экспедиции на НИС «Академик Мстислав Келдыш», рейс 82	112
Гусев Е.А., Крылов А.А., Яржембовский Я.Д., Элькина Д.В., Новихина Е.С., Костромина Н.А., Комаров А.Ю., Горбунов Д.А., Бочкарев А.В., Захаров В.Ю., Савин А.С., Крылов А.В., Гуков А.Ю., Волосникова А.С. Донные осадки западной части Восточно-Сибирского моря.....	114
Флинт М.В. Экосистемы морей Сибирской Арктики – 2020: Карское море (81-й рейс научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш»)	120
Зацепин А.Г., Куклев С.Б. Исследования седиментосистем Европейской Арктики. Задачи и результаты проведения комплексной прибрежно-морской научной экспедиции ИО РАН «Черное Море – 2020»	121
Педченко А.П., Блиновская Я.Ю., Гаврило М.В., Кантаков Г.А. Необходимость организационного развития и методической унификации количественных сборов и анализа микропластика	127

ЧЕРНОЕ, АЗОВСКОЕ, КАСПИЙСКОЕ МОРЯ

Коновалов С.К., Артамонов Ю.В., Гармашов А.В., Орехова Н.А., Латушкин А.А. Экспериментальные исследования изменчивости океанологических полей Черного и Азовского морей в 2020 году.....	131
Саяпин В.В., Ушивцев В.Б. Обнаружение ктенофоры <i>Beroe ovata</i> Bruguière, 1789 в Каспийском Море	134
Бердников С.В., Бухмин Д.А., Гуськов Г.Е., Григоренко К.С., Клещенков А.В., Московец А.Ю., Кренева К.В., Олейников Е.П., Рыбцова В.С., Савикин А.И., Саяпин В.В., Шевченко М.С., Степаньян О.В. Экспедиционная деятельность ЮНЦ РАН на НИС «Профессор Панов» и НИС «Денеб» в Азовском, Черном и Каспийском морях в 2020 году	136
Юровский Ю.Ю., Дулов В.А., Малиновский В.В., Кориненко А.Е., Юровская М.В., Скиба Е.В. Исследования на Черноморском гидрофизическом подспутниковом полигоне: к новым спутниковым технологиям.....	145
Бурдиян Н.В., Муханов В.С., Мирзоева Н.Ю., Алемов С.В., Чурилова Т.Я., Климова Т.Н., Машукова О.В., Логоминова И.В. Гидробиологические исследования ФИЦ ИнБИОМ на НИС «Профессор Водяницкий» в 2020 году.....	146
Муханов В.С., Аннинский Б.Е., Артёмов Ю.Г., Боровков А.Б., Гирагосов В.Е., Губанова А.Д., Карпова Е.П., Кривенко О.В., Куцын Д.Н., Малахова Л.В., Малахова Т.В., Мальцев В.И., Мельник А.В., Миронова Н.В., Панкеева Т.В., Подрезова П.С., Пономарев Б.Б., Сидоров И.Г., Силаков М.И., Стецюк А.П., Темных А.В., Трощенко О.А., Ханайченко А.Н., Чурилова Т.Я. Прибрежные экосистемы Юго-Западного Крыма: состояние морской среды и биоты	151

ВНУТРЕННИЕ ВОДЫ

Козырева Е.А. Результаты экспедиционных работ Института земной коры СО РАН, выполненных в 2020 году с использованием научно-исследовательского судна «Геолог» на акватории озера Байкал (внутренние воды).....	158
Байкальский музей. Экспедиционные работы 2020	161
Каретников С.Г. Продолжение комплексного изучения Ладожского озера в 2020 году НИС «Эколог»	162
Калинкина Н.М., Теканова Е.В., Белкина Н.А., Назарова Л.Е., Макарова Е.М., Ефремова Т.В., Георгиев А.П., Здоровеннов Р.Э., Потахин М.С., Рябинкин А.В. Результаты экспедиционных исследований в 2020 году на Онежском озере и Выгозерском водохранилище с целью изучения отклика крупных водоемов на антропогенное воздействие и изменение климата.....	163
Ильмаст Н.В. Оценка состояния популяций сиговых рыб Онежского озера	172
Пузанов А.В., Безматерных Д.М., Ермолаева Н.И., Дьяченко А.В., Котовщиков А.В., Рождественская Т.А., Балыкин С.Н. Комплексные гидроэкологические исследования в бассейне реки Оби и Телецкого озера в 2020 году	173

КОМПЛЕКСНЫЕ РЕСУРСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КРИЛЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ ЮЖНОГО ОКЕАНА (АТЛАНТИЧЕСКИЙ СЕКТОР АНТАРКТИКИ)

Антарктическая экспедиция – 79-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш»

Е.Г. Морозов

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

Проведена антарктическая часть экспедиции по изучению экосистем Атлантического сектора Антарктики – 79-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш» (1 декабря 2019 – 8 мая 2020 г.). Исследования выполнены в бассейне Пауэлла моря Уэдделла, проливах Дрейка, Брансфилда и Антарктик. Охвачены районы, представляющие интерес для российского промысла. Получены материалы, характеризующие состояние среды и биологические сообщества: антарктический криль и мезопелагические рыбы, донная фауна, пространственная и временная изменчивость важнейших компонентов экосистем.

Исследовано распределение и размерная структура популяции антарктического криля (*Euphausia superba*). В западной части бассейна Пауэлла и восточной части пролива Брансфилда преобладала молодь криля, которая поступала с водами и дрейфующими льдами из моря Уэдделла. В северо-восточной части бассейна Пауэлла встречался в основном взрослый криль. Выделено 10 размерных групп криля с разными функциями в зависимости от возраста, пола и размера. Условия в районе фронта Уэдделла на севере бассейна Пауэлла определяют стационарность популяции криля и роста особей из разных источников.

Исследованы течения в проливе Брансфилда. Изучена фронтальная система в западной части бассейна Пауэлла. Показаны районы сильного распреснения вод за счет таяния льда. Исследовано перемещение громадного айсберга и его влияние на течения. Проведены измерения внутренних волн большой амплитуды. Исследован поток антарктической донной воды через проход Филип.

Передана в работу в издательство Springer книга об исследованиях в районе Антарктического полуострова.

Об авторе:

Морозов Евгений Георгиевич, д. ф.-м. н., начальник экспедиции

Исследования в канале Вима. Обратный рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш» из Антарктики

Е.Г. Морозов

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

Придонные воды антарктического происхождения распространяются на север, перетекая по абиссальным каналам из одной глубоководной котловины в другую. Важнейшим каналом распространения является канал Вима. Глубины канала Вима превышают 4600 м, тогда как фоновые глубины плато Сантос около 4000 м. Канал Вима – это длинный (700 км) узкий проход между двумя террасами с минимальной шириной немного более 15 км. Распространение придонных вод в глубоководном канале Вима происходит в виде хорошо перемешанной струи. Самая холодная часть потока смещается к восточному склону глубоководного канала за счет влияния придонного трения Экмана. Второе ядро потока наблюдается в верхней части канала у его западного склона.

Исследования в канале Вима проводятся учеными разных стран. Это уже 31-я экспедиция в район канала с 1974 г., из них российских было одиннадцать, начиная с 2002 г. В 10 раз выполнен стандартный (по 31° ю.ш.) российский разрез через канал Вима из общего числа 17. За время исследования показано потепление потока донных вод, вызванное общим потеплением донных вод в Южной Атлантике и в море Уэдделла. Колебания температуры на фоне общего потепления вызываются флуктуациями верхней границы глубинной воды моря Уэдделла из-за изменения ветрового режима в атмосферном круговороте Уэдделла и, соответственно, перетекания вод разной температуры через пороги в хребте Саут Скотия.

Исследованы потоки донных вод к северу от канала Вима с целью найти продолжения потоков из канала Вима в Бразильскую котловину. Течение из канала Вима состоит из двух ветвей. Самое глубокое течение течет по дну в центре канала, а другая ветвь течет над западной стенкой канала. Мы обнаружили два меньших канала северного продолжения более глубокого придонного потока. Эти потоки ослабевают и почти исчезают на широте 25°30' ю.ш. Верхнее течение течет на глубине 4100–4200 м по материковому склону. Мы проследили этот поток до 24° ю.ш. на расстоянии более 250 км. Эта ветвь переносит антарктическую донную воду на север, которая в конечном итоге заполняет глубокие бассейны Северной Атлантики.

Летом 2021 г. в издательство Springer будет сдана книга о гравитационных потоках донных вод.

Исследования ННЦМБ ДВО РАН в Южном океане (пролив Дрейка, море Скотия)

О.Г. Борзых, Т.Н. Даутова, О.А. Головань, А.А. Зинов, В.В. Касьян, Т.В. Морозова

*Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН,
Владивосток, Россия*

Интересом исследования были сообщества пелагиали (фито- и зоопланктон) и бентосные сообщества моря Скотия, Южный океан. Целью работ было получение новых сведений о качественном составе и распределении малоизученных планктонных и донных гидробионтов на шельфе и склоне антарктического шельфа.

Исследования проводились во 2-м и 3-м этапах в рамках экспедиции 2019–2020 г. в Южный океан на борту НИС «Академик Мстислав Келдыш» (рис. 1).

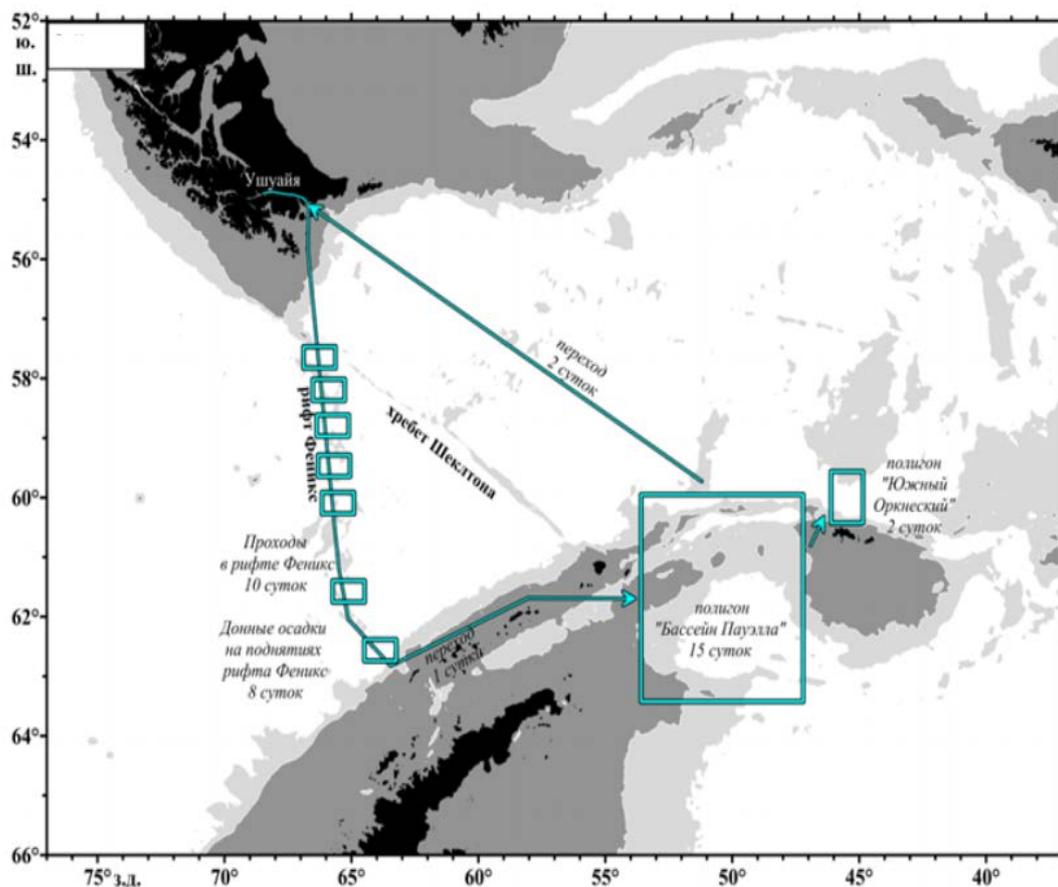


Рис. 1. План экспедиционных работ в районе пролива Дрейка и море Скотия (Южный океан)

В ходе рейса были получены новые данные о распределении фито- и зоопланктона, сведения о восьмилучевых кораллах (*Octocorallia*) и равноногих ракообразных *Isopoda* в бассейне Пауэлла в северной части моря Уэдделла (Южный океан). Пополнена коллекция биообразцов в ЦКП РК «Морской биобанк». Собраны пробы для анализа микобиоты донных сообществ из обследованного района.

Для депонирования в ЦКП РК «Морской биобанк» и анализа микобиоты пробы отбирали с помощью дночерпателя (собрано с 4 станций) (рис. 2) и донного трала (*Sigsbee*) (отобрано на 10 станциях).



Рис. 2. Отбор проб при помощи дночерпателя

Отбор проб донных осадков проводили стерильными инструментами сразу после поднятия дночерпателя. После отбора пробы подвергались камеральной обработке и консервации в стерильной лаборатории (рис. 3). Лабораторное помещение перед работой стерилизовали ультрафиолетовыми лампами в течение 2 ч.



Рис. 3. Лаборатория: А – вид снаружи; Б – стерилизация ультрафиолетовыми лампами

Все пробы гидробионтов (губки, кораллы, иглокожие) контаминируются при поднятии трала в поверхностных слоях воды и друг от друга. Поэтому пробы гидробионтов перед консервацией промывали стерильной морской водой и вымачивали по 5 мин в 5-кратной повторности. Это позволяет свести степень контаминации почти до нуля.

Были использованы три протокола консервации биообразцов: прямая заморозка на -20°C , заморозка на -20°C с применением в качестве криопротектора глицерина 30 % и консервация в этаноле 96 % с последующим хранением при температуре -20°C .

Всего было подготовлено 73 пробы донных осадков и 271 проба бентосных организмов.

Пробы фитопланктона были отобраны на 31 станции. Всего были собраны 31 сетная проба, 65 батометрических проб для подсчета количества микроводорослей и 130 проб для анализа средней ДНК. Сетные пробы отбирали с глубины 0–50 м с помощью малой планктонной сети с диаметром ячеек 35 мкм. После предварительного просмотра 0.05 мл пробы на микроскопе *Carl Zeiss Promo Star* на предметном стекле пробу фиксировали раствором Утермеля. Для количественного подсчета микроводорослей и метагеномного анализа средней ДНК пробы отбирали с помощью батометра Нискина с поверхностного горизонта и горизонта, соответствующего пику флуоресценции. Количественные пробы фитопланктона объемом 1 л концентрировали методом обратной фильтрации через нуклеопоровые фильтры с диаметром ячеек 2 мкм и фиксировали раствором Утермеля. Одновременно с количественными пробами с тех же горизонтов были отобраны пробы для изучения средней ДНК объемом 1 л. Содержимое этих проб было последовательно осаждено на нуклеопоровые фильтры с диаметром пор 8 и 1 мкм и помещено на хранение в морозильную камеру при температуре -20°C .

В результате предварительного исследования проб фитопланктона обнаружено 46 видов планктонных микроводорослей, относящихся к 5 классам: *Bacillariophyta*, *Dinophyta*, *Prymnesiophyta*, *Chlorophyta* и *Cyanophyta*. По числу видов преобладали диатомовые водоросли (*Bacillariophyta*) – 39 видов, динофлагелляты (*Dinophyta*) были представлены четырьмя видами, остальные – по одному виду. Среди диатомей наиболее представительным был род *Chaetoceros* – девять видов. На большинстве станций как по численности, так и по биомассе преобладали диатомовые водоросли. Виды доминанты относились к родам *Corethron*, *Pseudonitzschia* и *Chaetoceros*.

Исследование зоопланктона. Планктон был собран большой сетью Джели с площадью входного отверстия 0.1 м^2 и фильтрующим конусом, изготовленным из капронового сита с ячейей размером 0.168 мм , и сетью БОНГО (диаметр 60 см, площадь входного отверстия 0.2825 м^2 , ячейя 500 мкм) со счетчиком для определения объема профильтрованной воды на 18 станциях. Для каждой станции были рассмотрены отдельно зоны до пикноклина (200–0 м) и после пикноклина (от 500–200 м). В районах с глубиной менее 500 м облавливался слой 200–0 м. Из трала Isaacs Kidd были собраны глубоководные копеподы (три пробы). Все пробы были зафиксированы 4%-ным раствором формальдегида и 70%-ным спиртовым раствором для последующего изучения в лабораторных условиях.

Исследование равноногих ракообразных Isopoda (Crustacea: Malacostraca). Изоподы присутствовали в бентосных сборах с восьми станций, диапазон глубин 220–2800 м, выполненных при помощи трала Сигсби и дночерпателя. Кроме того, три вида *Asellota* оказались случайно собранными вместе с грунтом сетью Джели при ее аварийном спуске на станции 6597 (820 м). Еще шесть видов из различных семейств и подотрядов изопод были подняты при помощи кошки с глубины 220 м на станции 6585а вместе с массой мшанок. Всего было обнаружено 486 экз. изопод, которые были отнесены к 33 морфологическим видам из 13 семейств и 4 подотрядов. По числу видов преобладали представители подотряда *Asellota* (16 видов, 18% экз. изопод), по численности – *Sphaeromatidea* (3 вида, 41 % экз.). Последние – за счет вклада одного массового вида *Ceratoseroli smeridionalis* (Vanhöffen, 1914). Однако следует отметить, что данная картина не отражает реального состава фауны изопод ввиду того, что сборы макробентоса производились не специализированными орудиями. Наибольшее видовое богатство было отмечено к югу от о-ва Гринвич (Южные Шетландские острова): 18 морфологических видов на станции 6597 (820–843 м) и 6 видов на станции 6585а (220 м).

На остальных станциях в сборах присутствовали по 2–3 вида изопод. Три вида (*C. meridionalis*, *Cirolanidae* sp1, *Cymothoidasp2*) отмечены на 2–4 станциях, остальные виды присутствовали на одной из станций. Более точная видовая идентификация будет произведена в лаборатории института. Часть собранных видов после детальных исследований, возможно, окажутся новыми для науки и будут описаны.

Заключение. Во время экспедиции 2019–2020 гг. на борту НИС «Академик Мстислав Келдыш» в Южный океан отрядом ННЦМБ ДВО РАН были отобраны пробы для исследований – зоопланктона, мицелиальных грибов донных и пелагических сообществ, а также образцы для депонирования в центр коллективного пользования ННЦМБ ДВО РАН Ресурсная коллекция «Морской биобанк».

Собранный материал имеет большую научную ценность и использован в широком спектре научных исследований.

Исследования ТОИ ДВО РАН в 79-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш»

**П.А. Салюк*, Р.Б. Шакиров, Н.С. Полоник, А.Л. Пономарева, П.П. Тищенко,
Ю.А. Телегин, С.П. Захарков, Л.М. Митник, Е.А. Штрайхерт, Е.Н. Марьина,
О.С. Попов, Я.Н. Рудых, В.В. Калининчук, А.В. Алаторцев**

*ФГБУН Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева
Дальневосточного отделения Российской академии наук (ТОИ ДВО РАН), Владивосток,
Россия*

*e-mail: psalyuk@poi.dvo.ru

Коллективом ТОИ ДВО РАН выполнен комплекс исследований в рамках программы РАН «Ресурсные исследования криля и экосистемы Южного океана (атлантический сектор Антарктики)». Основные результаты получены в научной комплексной экспедиции РАН на борту НИС «Академик Мстислав Келдыш» (рейс № 79) с декабря 2019 по май 2020 г. по маршруту п. Калининград – п. Монтевидео – п. Ушуайя – п. Монтевидео – п. Калининград. Организатор экспедиции: ИО РАН. Всего было проведено четыре этапа экспедиции: два через Атлантический океан в декабре 2019 – январе 2020 г. и в марте – мае 2020 г., и два основных этапа в Южном океане в январе – марте 2020 г. После экспедиции проведены экспериментальные и теоретические работы с полученным и дополнительным материалом, выполнено сравнение результатов с Атлантическим океаном, проведено изучение данных спутникового дистанционного зондирования над Антарктикой, в частности в связи с внезапными эпизодами увеличения температуры атмосферы.

Цель и направления работ

Цель работ ТОИ ДВО РАН: комплексные исследования системы «дно – толща вод – атмосфера» для оценки фонового и аномальных состояний окружающей среды Южного океана. Исследования выполнены по нескольким научным направлениям: газогеохимия, гидробиология, биооптика, ртутметрия, геомикробиология.

В исследованиях приняли участие следующие подразделения института: лаборатория газогеохимии (7/6), новая лаборатория комплексных исследований окружающей среды и минеральных ресурсов, созданная в 2019 г. в рамках нацпроекта «Наука» (7/10), лаборатория физической океанологии (1/1), лаборатория информатики и мониторинга океана (1/5), сектор гидрологических измерений (1/7), лаборатория гидрохимии (5/4), лаборатория геохимии осадочных процессов (7/7), лаборатория палеоокеанологии (7/9), лаборатория спутниковой океанологии и лазерного зондирования (9/4). Таким образом, было задействовано 4 отдела и 9 лабораторий института, что позволило усилить междисциплинарное взаимодействие и подойти к решению поставленных задач с разных сторон. Во время экспедиции осуществлялось также тесное сотрудничество с тематическими отрядами экспедиции: гидрологии, гидрохимии, гидробиологии, оптики, – в которые входили представители различных институтов РАН. Результаты работы сотрудников ТОИ ДВО РАН вошли в общие базы и совместные публикации, что способствовало укреплению взаимоотношений между разными организациями.

Кроме экспедиционных исследований выполнены экспериментальные работы с фактическим материалом в береговых лабораториях, проведены постэкспедиционные калибровочные эксперименты и выполнены исследования с помощью дистанционных методов спутникового зондирования над Антарктикой, проведена валидация данных полученных *in situ*.

Районы исследований и объемы работ

На первом этапе по маршруту от п. Калининград до п. Монтевидео работы выполнялись в основном на ходу судна с 30 ноября 2019 г. по 7 января 2020 г. Задачи этого этапа: исследование содержания и потоков ртути в системе «океан – атмосфера» и ее концентрации в биологических объектах, изучение оптических и биооптических характеристик водных масс и их пространственной изменчивости, исследования первичной продукции и ее региональной и временной изменчивости, оценка фотосинтетического потенциала фитопланктона,

исследования содержания метана в воде и атмосфере, а также интенсивности микробных процессов, обеспечивающих круговорот углерода и метана в водной толще. Кроме этого, важным было подготовить и апробировать научное оборудование для работы в основных этапах в Южном океане.

В первом этапе получены измерения в районах воздействия Канарского апвеллинга, выноса и оседания сахарской пыли, в Северо-Атлантическом и Южно-Атлантическом круговоротах, над экваториальным течением и над глубоководным каналом Вима, через который происходит придонное распространение антарктических вод, а также в зоне эстуария Ла-Плата. Таким образом был собран материал из зон различной трофности, с различными типами источников поступления органических веществ и разными условиями для функционирования фитопланктонных и бактериальных сообществ.

Всего в первом этапе выполнено 17 станций с профилированием CTD-зондами *SeaBird SBE-911* и *SBE-19 plus* (отрядом гидрологии), из них на 12 станциях использовались оптические датчики ТОИ ДВО РАН. Получены непрерывные записи термосолинографом *SeaBird SBE-21* и лазерным флуориметром (длина трека около 18 000 км), а также ртутметрическим и метеорологическим комплексом (длина трека около 27 000 км). Отобрано 98 проб для определения концентрации хлорофилла *a*, 52 пробы для определения первичной продукции, 60 проб для определения бактериальной продукции и численности бактерий, 114 проб для определения концентрации метана и для сопутствующих микробиологических исследований.

Во втором и третьем этапах рейса исследования проведены в Атлантическом секторе Южного океана: Фолклендское течение, пролив Дрейка, пролив Брансфилда, море Уэдделла, бассейн Пауэлла, пролив Антарктика. Второй этап был проведен в сезон антарктического лета с 8 января по 8 февраля 2020 г., а третий этап можно отнести к началу антарктической осени, с 9 февраля по 3 марта 2020 г. Всего за второй и третий этапы экспедиции выполнено 115 зондирований с помощью погружного гидрологического комплекса (отрядом гидрологии), получено 1118 определений pH и общей щелочности, отобрано 305 проб для определения концентрации метана и сопутствующих микробиологических исследований, 62 пробы для определения численности бактерий и бактериальной продукции, измерено 155 трехмерных спектров флуоресценции морской воды, получены непрерывные записи температуры, солености и флуоресценции морской воды (длина треков около 11 000 км) и непрерывные записи концентрации ртути в атмосфере и метеопараметры (длина треков около 13 000 км).

Важнейшие результаты

Впервые выявлена аномалия метана в придонном горизонте воды в глубоководном (более 1000 м) участке пролива Брансфилд, обусловленная фокусированным выходом метана на глубине 1397 м. Установлено, что обогащенный метаном (10.29–14.46 нмоль/л) придонный слой морской воды распространяется на расстояние до 30–35 км от центра аномалии. На этом участке также выявлен мощный микробный фильтр в зоне разгрузки метана, в составе которого были зафиксированы культивируемые формы термофильных метанотрофных бактерий, что указывает на термогенное происхождение метана и характеризует в целом активные эндогенные процессы «дыхания недр» в протяженной рифтогенной структуре пролива Брансфилд. Полученные результаты указывают на возможность существования такого явления и в других районах Антарктики. Кроме того, впервые обнаружены штаммы нефтеокисляющих микроорганизмов, исследование которых для оценки состояния придонных экосистем является очень важным направлением.

С помощью лазерного проточного флуориметра обнаружено присутствие пигмента фикоэритрина в морской воде в Атлантическом секторе Южного океана, главным образом в зоне смешения морей Уэдделла и Скоша вблизи Антарктического циркумполярного течения в январе и начале февраля 2020 г. и на юге шельфа южной Америки в середине февраля 2020 г. Внутри АЦТ и проливе Дрейка фикоэретринсодержащие водоросли отсутствовали полностью. Начиная с середины февраля интенсивность флуоресценции фикоэритрина в целом по региону существенно уменьшилась. Исследовано пространственное распределение интенсивности флуоресценции фикоэритрина и концентрации хлорофилла *a*, а также их соотношение, которое может быть показателем изменения видового состава фитопланктонных сообществ. В районе исследований около Антарктического полуострова фикоэретрин являлся признаком присутствия криптофитовых водорослей (*geminigeracryophila*, по данным членов отряда

гидробиологии Ф. Сапожникова и Т. Морозовой), которые начинают развиваться в летний период с повышением сезонной освещенности и кислотности морской воды.

Изучены процессы функционирования фитопланктонных и бактериальных сообществ в различных зонах Атлантического океана. Изучена изменчивость в поверхностных горизонтах по ходу движения судна ассимиляционного числа, что важно для расчетов первичной продукции фитопланктона по моделям с использованием спутниковых данных. Уточнены спутниковые оценки концентрации хлорофилла *a*. Исследованы продукционные характеристики пролива Брансфилд, что важно для оценки продуктивности вод района Антарктического полуострова с целью оценки долговременных перспектив промысла криля и выработки стратегии управления использованием морских биологических ресурсов Антарктики.

Гидрооптические и гидрологические измерения ТОИ ДВО РАН вошли в единую базу данных экспедиции (совместную с ИО РАН, МГИ РАН и ИнБЮМ РАН) по биооптическим характеристикам морской воды, которая является основой для создания биооптических алгоритмов восстановления концентрации хлорофилла *a* и детектирования фикоэритрин-содержащих водорослей из спутниковых данных по цвету моря. Создание таких алгоритмов позволит провести ретроспективный анализ в связи с климатическими изменениями, происходящими в Антарктическом регионе за последние 20 лет.

Проанализированы результаты измерений исключительно редкого крупномасштабного атмосферного явления – внезапного стратосферного потепления (ВСП) над Антарктикой с помощью измерений, выполненных сканирующим микроволновым температурно-влажностным зондировщиком атмосферы МТВЗА-ГЯ с нового метеорологического спутника России «Метеор-М» № 2-2. Быстрый рост температуры средней и нижней стратосферы обнаружен в конце августа – сентябре 2019 г. во время антарктической зимы за 5–6 месяцев перед экспедиционными исследованиями. Прослежена эволюция ВСП над Южной полярной областью. Из сопутствующих измерений следует, что потепление сопровождалось изменением циркуляции атмосферы в обширном регионе, уменьшением площади озоновой дыры над Антарктидой, возмущением характеристик ионосферы. Полученный результат позволит исследовать причинно-следственные связи зарегистрированных изменений и процессов развития криля в Антарктическом регионе в период 2019–2020 гг. Стоит отметить, что в феврале 2020 г. на нескольких антарктических станциях были зафиксированы максимальные значения температуры воздуха за всю историю инструментальных наблюдений.

Полученные результаты имеют высокую ценность для оценки параметров биопродуктивности районов Южного океана и выявления причинно-следственных связей ее изменчивости, и применимы для других акваторий Мирового океана.

Работы выполнены в рамках государственного задания ТОИ ДВО РАН по теме № FWMM-2019-0007 «Комплексные исследования окружающей среды Южного океана».

Технология и результаты использования АНПА для исследования глубоководных экосистем Атлантического сектора Антарктики

А.Ю. Коноплин

Институт проблем морских технологий ДВО РАН, Владивосток, Россия

e-mail: kayur-prim@mail.ru

Доклад посвящен технологии и результатам выполнения исследовательских работ автономным необитаемым подводным аппаратом (АНПА) «ММТ-3000», который использовался при выполнении комплексных исследований экосистем Антарктики и глубоководных биологических ресурсов южных морей в экспедиции на НИС «Академик Мстислав Келдыш» (79-й рейс) в 2020 г. Предложенная технология затрагивает вопросы планирования миссий, подготовки программного обеспечения (ПО), управления АНПА, а также организации погружений и взаимодействий с экипажем судна-носителя. В экспедиции с помощью АНПА получены следующие основные результаты:

- получены данные, используемые для визуальной оценки распределения глубоководных биологических ресурсов Южных морей;
- выполнена оценка пригодности рельефа донной поверхности для траления тралом Сигсби на основе съемки гидролокатором бокового обзора и фотосъемки;
- выполнены измерения параметров водной среды (гидрофизические и гидрохимические характеристики) с помощью набора датчиков, установленных на АНПА;
- выполнена оценка перспектив эффективного использования АНПА для исследования биоразнообразия донных сообществ Южных морей;
- выполнена отладка алгоритмов навигации и управления АНПА в условиях южных широт;
- выполнена оценка возможности выполнения подледных работ с помощью АНПА в Антарктике.

Также созданы алгоритмы обработки данных, получаемых от систем технического зрения АНПА, предназначенные для идентификации подводных объектов. При этом для формирования единого изображения морского дна в процессе движения АНПА было разработано соответствующее бортовое ПО. Это ПО динамически формирует базу данных с изображениями, доступ к которой можно получить сразу при всплытии аппарата на поверхность. Для этого разработан специальный алгоритм, который динамически добавляет каждое изображение в базу данных. С помощью созданного ПО сформированы динамические карты морского дна с использованием реальных фотоизображений донной поверхности, полученных АНПА при выполнении глубоководных обзорных операций.

С целью повышения эффективности выполнения визуальной оценки глубоководных биологических ресурсов Южных морей, а также разработки и апробации технологии использования АНПА для выполнения комплексных исследований глубоководных экосистем до глубин 3500 м была выполнена модернизация подводного робототехнического комплекса в части разработки и изготовления нового АНПА «ММТ-3500». При этом была разработана конструкция и механические элементы АНПА, позволяющие работать на глубинах до 3500 м, разработаны и реализованы: система энергообеспечения, движительно-рулевой комплекс, система бортового управления, навигации и связи, а также информационно-измерительный комплекс. Кроме того, разработано новое ПО, позволяющие планировать и симулировать миссии АНПА, просматривать состояние и управлять всеми подсистемами АНПА, а также осуществлять постобработку данных, получаемых АНПА в процессе выполнения миссий. Выполненная модернизация подводного робототехнического комплекса позволит повысить эффективность выполнения глубоководных исследований в предстоящих экспедициях в Южном океане.

Об авторе:

Коноплин Александр Юрьевич, заместитель руководителя темы «Изучение биоразнообразия донных сообществ Южных морей» (№ госрегистрации АААА-А19-119100490014-0), к.т.н., заведующий лабораторией робототехнических систем, Институт проблем морских технологий ДВО РАН (Владивосток, Россия)

Гидрооптические исследования в 79-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш»

В.А. Артемьев¹, А.А. Латушкин^{2}, П.А. Салюк³, Д.И. Глуховец¹, А.Н. Храпко¹,
А.В. Григорьев¹, А.В. Гармашов², А.В. Юшманова¹*

¹*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия*

²*Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия*

³*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток,
Россия*

*e-mail: sevsalat@gmail.com

В рамках программы экспедиционных исследований в 79-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в декабре 2019 г. – феврале 2020 г., выполненных на трансатлантическом разрезе, в южном секторе Атлантического океана в районе Фолклендского (Мальвинского) течения, в море Уэдделла и бассейне Пауэлла, а также в проливах Брансфилд и Антарктическом были проведены комплексные гидрооптические исследования. Они включали: комплексные подспутниковые измерения; зондирования на дрейфовых станциях в подповерхностном слое (0–200 м); измерения светового режима на поверхности; непрерывные измерения с использованием проточного комплекса по маршруту судна; измерения спектров коэффициента яркости моря на станциях и на ходу судна, а также лабораторные измерения на пробах.

Задачи гидрооптических исследований

1. Определение характеристик и пространственной изменчивости основных оптически-активных компонентов морской воды: фитопланктона, растворенных органических веществ и взвешенных веществ.

2. Подспутниковые наблюдения биооптических характеристик верхнего слоя моря, оптических свойств поверхности моря.

3. Получение данных для разработки региональных алгоритмов обработки спутниковых данных для оценки продуктивности пелагических экосистем.

4. Сравнение дистанционных и контактных определений оптических характеристик морской воды.

5. Определение оптических характеристик моря для разных по составу и функциональному состоянию фитопланктонных сообществ.

6. Оценка изменений светового потока в видимом диапазоне и фотосинтетически активной радиации (ФАР), падающей на поверхность и проникающей в водную толщу океана, в зависимости от гидрометеорологических условий и характеристик морской воды.

7. Непрерывные исследования пространственной изменчивости хлорофилла *a* (Хл), окрашенного растворенного органического вещества (ОРОВ), температуры, солености и показателя ослабления света на ходу судна с использованием судовой проточной системы.

8. Получение данных для исследований оценки запасов базовых компонентов пелагических экосистем, изучения структуры и пространственной организации планктонных сообществ и исследования первичной продукции.

Измерения гидрооптических параметров выполнялись с использованием следующей гидрооптической аппаратуры:

1. Погружные приборы:

– автономный измерительный комплекс ПУМ-200 (разработка ИО РАН), в состав которого входили: измеритель показателя ослабления направленного света и измеритель флуоресценции хлорофилла *a* *Chelsea Minitracka II* (длина волны возбуждения 430 нм, регистрации – 685 нм). Измерения показателя ослабления выполнялись в зеленой области спектра на длине волны 525 нм;

– автономный спектральный измеритель показателя ослабления направленного света (разработка МГИ РАН). Измерения проводились в красной области спектра на длине волны 625 нм;

– трехканальный датчик флуоресценции *WetLabs ECO-Triplet*, позволяющий измерять сигналы флуоресценции хлорофилла *a*, фикоэритрина и фикоцианина до глубин 600 м;

– датчик флуоресценции хлорофилла *a* *Seapoint fluorimeter* и датчик мутности *Seapoint turbidity meter*, установленные на гидрологическом зонде *SeaBird SBE-911*, с возможностью работать до глубины 6000 м;

– подводный измеритель фотосинтетически активной радиации на основе датчиков *Li-COR LI-192*;

– измеритель светового режима в водной толще *BIC*, предназначенный для измерения подводной облученности в четырех спектральных участках видимого диапазона: 443, 490, 555 и 625 нм.

2. Измерители светового режима на поверхности:

– палубный датчик *Li-COR LI-190SA* (измерения в диапазоне ФАР);

– спектро радиометр *BIC* (4 спектральных канала: 443, 490, 555, 625 нм).

3. Оборудование судовой проточной системы:

– двухканальный проточный флуориметр ПФД-2 (разработка ИО РАН), позволяющий выполнять непрерывные измерения на ходу судна интенсивности флуоресценции Хл и ОРОВ;

– проточный кондуктометр «Эксперт-002-2-6Пр» для измерений удельной электропроводности и температуры воды и последующего расчета солености воды;

– проточный термосолинограф *SeaBird SBE 21*;

– прозрачномер ПУМ-А (разработка ИО РАН) для непрерывной регистрации показателя ослабления света на длине волны 525 нм;

– прокачиваемый лазерный гиперспектральный флуориметр (разработка ИАПУ ДВО РАН). Длины волн возбуждающего излучения 355 и 532 нм, спектральный диапазон 400–800 нм, спектральное разрешение 0.1 нм, время накопления сигнала от 10 с, частота возбуждающих импульсов 2 Гц, чувствительность от 0.1 мкг/л.

4. Приборы для гиперспектральных измерений:

– плавающий спектро радиометр ПРО-1 (разработка ИО РАН). Прибор предназначен для измерения спектральной яркости выходящего из воды излучения, под поверхностью моря и падающей спектральной облученности в диапазоне длин волн 390–700 нм. По полученным данным рассчитывается спектральный коэффициент яркости водной толщи;

– ручной гиперспектральный спектро радиометр (производство *ASD*), спектральный диапазон 325–1075 нм с разрешением 1 нм, объективы для измерения яркости с углом поля зрения 10 градусов. Прибор позволяет определять спектры коэффициента яркости моря с борта судна.

5. Приборы для лабораторных измерений:

– портативный спектрофотометр в конфигурации *ICAM (Integrated Cavity Absorption Meter)* использовался для измерения спектров показателя поглощения морской воды в диапазоне длин волн 400–700 нм (разработка кафедры биофизики Биологического факультета МГУ);

– двухканальный лазерный спектрометр ЛС-2 (разработка ИО РАН) для измерения спектров флуоресценции пигментов фитопланктона и ОРОВ на пробах морской воды (длины волн возбуждения – 401 и 532 нм);

– спектрофлуориметр с многоволновым возбуждением *Varian Cary Eclipse*. Рабочий спектральный диапазон возбуждающего излучения при измерении флуоресценции морской воды 240–650 нм, испускаемое излучение 250–750 нм. Используемый шаг сканирующего монохроматора 5 нм.

В результате проведенных гидрооптических исследований получены следующие результаты:

1. Изменчивость биооптических характеристик поверхностного слоя вод на трансатлантическом разрезе.

Исследованы районы с различными значениями биооптических характеристик поверхностного слоя вод и разными распределениями температуры и солености. В области Канарского апвеллинга и экватора зонам понижения температуры соответствуют пики интенсивности флуоресценции Хл и ОРОВ. При этом интенсивности флуоресценции в обоих каналах изменяются согласованно. В поверхностном слое тропических и субтропических районов Атлантики зарегистрированы низкие значения интенсивностей флуоресценции хлорофилла и ОРОВ, показателей ослабления и поглощения, характерные для олиготрофных вод. Эти распределения в большинстве случаев хорошо согласуются с созданным в конце 2019 г.

веб-сервисом NOAA, который предоставляет интерполированные спутниковые карты концентрации хлорофилла *a*. На подходе к заливу Ла-Плата зарегистрирована серия фронтальных разделов, а также ярко выраженная отрицательная корреляция интенсивности флуоресценции ОРОВ и солености ($\rho = -0.97$), вызванная влиянием стока впадающих в залив рек. В отличие от подобной отрицательной корреляции, исследованной ранее в Карском море, зафиксировано возникновение фотодеградации под воздействием интенсивного солнечного света.

2. Пространственное распределение биооптических характеристик морской воды на дрейфовых станциях.

Район экваториального противотечения характеризуется низким содержанием основных оптически активных компонент морской воды. Это приводит к тому, что значения показателей поглощения и рассеяния света в данном районе близки к характеристикам чистой воды. С учетом высоких положений Солнца над горизонтом свет проникает до больших глубин, что способствует хорошему прогреву верхнего слоя до глубин 60–80 м и развитию фитопланктонных сообществ в более глубоких слоях, определяя вертикальную структуру гидрооптических полей.

В основной струе Фолклендского (Мальвинского) течения, по сравнению с окружающими водами, отмечаются более низкие значения биооптических параметров. На западной периферии течения наблюдался апвеллинг, способствующий подъему биогенных веществ к поверхности, за счет чего в поверхностном слое происходило интенсивное развитие фитопланктона, являющегося здесь основной компонентой в составе взвеси. Для этого района получена высокая корреляция между спутниковыми и судовыми данными.

В проливе Брансфилд обнаружено наличие двух струй, отличающихся по гидрологическим и биооптическим свойствам. В северо-западную часть пролива вдоль Южных Шетландских островов из пролива Дрейк поступали богатые биогенами воды, а в юго-восточную часть пролива поступали менее продуктивные воды из бассейна Пауэлла.

Антарктический пролив характеризовался наличием более прозрачной воды по сравнению с проливом Брансфилд. Области с отличающимися от основной водной массы пролива гидрологическими и биооптическими характеристиками наблюдались лишь в поверхностном 50-метровом слое. Предположительно, такая картина в подповерхностном слое была связана с поступлением более мутных вод из пролива Брансфилд, что, по-видимому, вызвано ветровым воздействием.

Исследования в бассейне Пауэлла выполнены во Вторичной фронтальной зоне Антарктики (ВФЗА). Эта зона отделяет более продуктивные воды, поступающие в бассейн с севера, от холодных менее продуктивных шельфовых вод Антарктики. Различие этих водных масс четко проявлялось в биооптических характеристиках, зарегистрированных на мезополигоне в центре бассейна Пауэлла. На севере, в поверхностном слое полигона, значения всех измеренных биооптических параметров были выше, чем на юге. С глубиной происходило смещение областей высоких концентраций биооптических параметров, что было связано с особенностями гидродинамических процессов, на которые, в свою очередь, влияла расположенная на глубине 600 м подводная гора. Минимальное значение показателя ослабления 0.07 м^{-1} зарегистрировано в северной части полигона. Сильная корреляция между значениями показателя ослабления и интенсивностью флуоресценции Хл говорит о том, что в составе взвеси доминирует биогенная компонента. Видовой состав фитопланктонного сообщества в разных частях мезополигона сильно отличался. Следует отметить, что оптические данные соответствовали изменениям гидрологических характеристик в различных частях мезополигона.

3. Биооптические модели для оценки толщины эвфотического слоя.

Разработаны две региональные биооптические модели для западной части Атлантического сектора Южного океана в антарктический летний период для оценки профиля фотосинтетически активной радиации и толщины эвфотического слоя. Модели разработаны по данным проточных оптических измерений с учетом спектров коэффициента яркости выходящего из воды излучения.

Измеренные значения толщины эвфотического слоя находились в пределах 40–85 м. В некоторых районах при значительном развитии фикоэритрин-содержащих водорослей в верхнем слое эта характеристика уменьшалась до 30–45 м. Показано, что толщина эвфотического слоя определялась стратификацией показателя ослабления света, максимум

которого обычно приходился на верхние 20–30 м. Следует отметить, что коэффициент ослабления ФАР изменялся с глубиной.

Для оценки толщины эвфотической зоны по результатам измерений в поверхностном слое хорошо подходят данные калиброванного проточного лазерного флуориметра и измерителя прозрачности морской воды. Наилучшие результаты в оценке толщины этого слоя были получены с помощью измерений коэффициентов яркости моря, соответствующая модель применима к спутниковым данным о цвете океана.

4. Биооптические характеристики морской воды при содержании в ней фикоэритрин-содержащих водорослей.

Изучено влияние пигмента фикоэритрина на оптические свойства морской воды в Атлантическом секторе Южного океана. На некоторых станциях высокое содержание фикоэритрина регистрировалось в спектрах флуоресценции морской воды, спектрах поглощения света взвешенными частицами и в спектрах коэффициентов яркости моря. Обнаружен сигнал солнечно-индуцированной флуоресценции фикоэритрина. Полученный набор данных дает основу для разработки биооптического алгоритма, который позволит детектировать фикоэритрин-содержащие водоросли по данным спутникового зондирования цвета моря.

5. Измерения для разработки региональных спутниковых биооптических алгоритмов.

В бассейне Пауэлла Антарктического сектора Южного океана были выполнены 12 станций с комплексом подспутниковых измерений, включающих использование: плавающего спектрорадиометра ПРО-1, зондирующих измерителей параметров подводных световых полей ИО РАН и МГИ РАН, прозрачномера ПУМ-200. Одновременно сотрудниками соответствующих отрядов отбирались пробы на видовой состав и концентрацию фитопланктона, взвешенного вещества, состав и распределение биогенов в эвфотическом слое. Полученные результаты будут использованы при анализе распределений фитопланктонных сообществ в акватории бассейна Пауэлла.

6. Измерения светового режима на поверхности.

По результатам непрерывных измерений в светлое время суток были рассчитаны средние величины солнечной радиации в диапазоне ФАР. В Бискайском заливе эти значения составили 150, на экваторе 950, на широте Южного тропика 1100 мкмоль/с·м². При дальнейшем движении на юг эти значения практически не изменялись до пролива Дрейка. В антарктической зоне эти значения изменялись от 190 при постоянной облачности в бассейне Пауэлла до 700 мкмоль/с·м² при малооблачной погоде в проливе Брансфилд.

7. Результаты лабораторных измерений.

На пространственных распределениях показателя поглощения взвешенными частицами $a_p(680)$ и растворенным органическим веществом $a_g(443)$ заметно существенное увеличение значений в южной части Антарктического пролива. Причем это увеличение происходит на различных глубинах: для $a_p(680)$ на поверхности, для $a_g(443)$ в нижележащих слоях. В районе мезомасштабного полигона поглощение взвешенными частицами на поверхности больше в его северо-восточной части.

Точно идентифицирован сигнал флуоресценции фикоэритрина на трехмерных спектрах флуоресценции морской воды (по диапазонам длин волн возбуждения и испускания), получены характерные особенности флуоресценции растворенных органических веществ в водах вокруг Антарктического полуострова.

В результате проведенных исследований все сформулированные задачи выполнены. Получен большой объем данных для малоисследованных с точки зрения гидрооптики регионов. Данные измерений обрабатываются, готовятся публикации.

Работа выполнена в рамках государственных заданий: ИО РАН по теме № 0128-2019-0008 «Оценка современного состояния природных комплексов Атлантического сектора Южного океана и их разнопериодной изменчивости (экосистемы, биопродуктивность, гидрофизика, гидро- и геохимия)»; ФГБУН ФИЦ МГИ по теме № 0555-2019-0003 «Экспериментальные исследования изменчивости гидрофизических, гидрохимических и биооптических полей на разных пространственно-временных масштабах для выявления особенностей климатических изменений океанографических условий в Атлантической части Антарктики»; ТОИ ДВО РАН по теме № FWM-2019-0007 «Комплексные исследования окружающей среды Южного океана».

**Оценка современного состояния морской экосистемы Атлантического сектора Антарктики
(по результатам участия ФИЦ ИнБЮМ
в 79-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш»)**

*Н.Ю. Мирзоева, Т.Я. Чурилова, В.С. Муханов, Т.А. Полякова, Э.З. Самышев,
О.В. Машукова, В.А. Яковенко, Н.А. Моисеева, А.А. Параскив, А.В. Мельник,
И.Г. Сидоров, М.И. Силаков*

*Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени
А.О. Ковалевского РАН» (ФИЦ ИнБЮМ), Севастополь, Россия*

С 30 ноября 2019 г. по 8 мая 2020 г. состоялся 79-й рейс научно-исследовательского судна (НИС) «Академик Мстислав Келдыш», который входит в состав научного флота Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН), в Атлантический сектор Антарктики. Организация и руководство этой морской экспедиции также осуществлялись коллективом ИО РАН. Представители шести подразделений ФИЦ ИнБЮМ (отдела радиационной и химической биологии; отдела функционирования морских экосистем; отдела экологической паразитологии; отдела планктона; отдел биофизической экологии; Научно-исследовательского центра (НИЦ) «Геоматики») участвовали в изучении Атлантического сектора Антарктики в период 2-го (с 8 января по 7 февраля 2020 г.) и 3-го (с 8 февраля по 5 марта 2020 г.) этапов этого рейса.

Цель исследований ФИЦ ИнБЮМ состояла в получении новых данных для комплексной оценки экологического состояния, определения современной структурно-функциональной и пространственной организации пелагических экосистем Атлантического сектора Антарктики, выявления влияния на эти процессы климатических изменений и других факторов, включая ограниченное антропогенное воздействие.

Получены новые данные по уровням и пространственному распределению 13 микроэлементов (Be, Se, Sb, Tl, V, Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, Mo, Co, Fe), включая тяжелые металлы, в современный период в поверхностной морской воде экосистем Атлантического сектора Антарктики. Так, на 9 станциях отбора проб концентрации Мо превышали ПДК, принятых в РФ для рыбохозяйственных водоемов. По «Голландским листам» были отмечены случаи превышения ПДК при хроническом воздействии для Pb, Cd, Zn, Cu, Co и Se в диапазоне от 1.1 раза (для кобальта) до 14.6 раза (для кадмия). В отношении радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs воды Южного океана, как и ранее, относятся к наиболее чистым акваториям Мирового океана.

Анализ разнообразия паразитических организмов морских беспозвоночных и позвоночных животных Антарктики и Субантарктики выявил наличие 377 видов паразитов из 18 таксонов. Выявлен низкий уровень изученности паразитофауны беспозвоночных и позвоночных животных (5 %) данного региона. Отмечен высокий уровень эндемизма фауны паразитов гидробионтов Антарктики и Субантарктики: из 377 видов паразитов 197 являются эндемиками.

Получены новые данные об изменчивости концентрации хлорофилла *a* в сумме с феопигментами и спектральных показателей поглощения света всеми оптически активными компонентами среды в проливе Брансфилд и в бассейне Пауэлла. Отмечены неоднородность вод по вертикальному распределению концентрации хлорофилла, изменчивость более чем на порядок величин концентрации пигментов, спектральных показателей поглощения света пигментами фитопланктона, взвешенным веществом и окрашенным растворенным органическим веществом. Проведена параметризация поглощения света взвешенным и растворенным веществом – получены коэффициенты, на основе которых можно восстанавливать спектры поглощения света этими компонентами.

В прибрежных водах Антарктики были выявлены высокие численности нанофитопланктона, представленного мелкими криптофитовыми водорослями. Замещение крупных диатомей этими микроорганизмами, наблюдаемое на шельфе Антарктики в последние годы, обусловлено глобальным потеплением климата, более интенсивным таянием льдов и поступлением талой воды в прибрежные воды. Подобная трансформация размерно-видовой структуры антарктического фитопланктона ведёт к значительному сдвигу трофических

процессов в пользу таких консументов, как сальпы, которые, в отличие от криля, включают в свой рацион более мелкие пищевые объекты.

По полученным результатам, максимальная биомасса зоопланктона (1290 мг/м³) была зарегистрирована в центральной глубоководной зоне бассейна Пауэлла из-за высокой численности сальп, составляющих 98.5 и 98.7 % от общей численности зоопланктона в обоих районах соответственно (рис. 1).

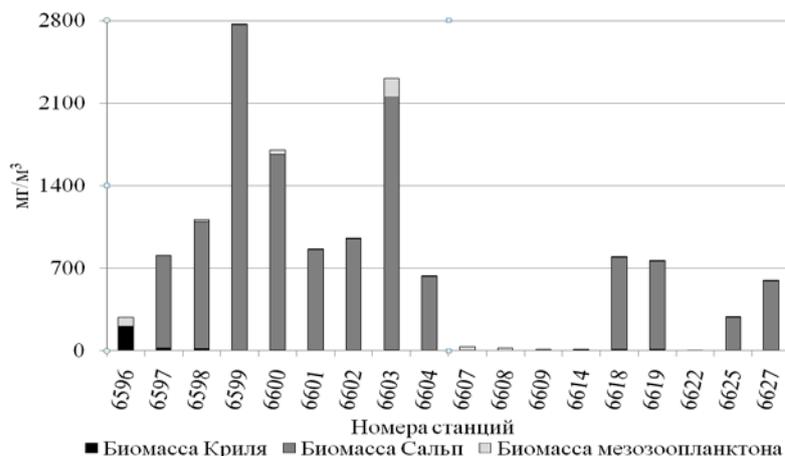


Рис. 1. Распределение биомассы криля, сальп и мезопланктона в бассейне Пауэлла, февраль 2020 г.

Максимальная биомасса эвфаузиид (208 мг/м³) отмечена в западной части исследуемой акватории, где доминировал вид *E. superba*. Полученные результаты подтверждают гипотезу о существенной роли переноса молоди криля в западной части круговорота Уэдделла в пополнении популяции криля Атлантического сектора Антарктики. Основной вынос молоди наблюдался к востоку и северо-востоку от оконечности Антарктического полуострова. Северная и восточная части бассейна являются районом, где постоянно обитает, растёт и созревает криль, происхождение которого относят к морю Уэдделла.

Сравнение современных данных с результатами, полученными в предыдущих исследованиях, показало, что в 2002 г. поле биолюминесценции (ПБ) преимущественно формировалось фитопланктоном и крилем, тогда как в 2020 г. появились обширные поля светящихся сальп на фоне уменьшения количества криля. В результате данного исследования было установлено, что за прошедшие 20 лет свечение антарктических вод в фотическом слое снизилось почти в два раза. Как и у гидрофизических полей, временной масштаб существования ПБ, обусловленных в значительной степени появлением желетелых, находится в тесной связи с изменениями климата, что, безусловно, требует дополнительных исследований в изучаемом Атлантическом регионе Антарктики.

Исследования выполнены в рамках Государственного задания № АААА-А19-119100290162-0.

АТЛАНТИЧЕСКИЙ ОКЕАН, ЗАПАДНАЯ ЧАСТЬ И ОСТРОВА СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

Распределение антропогенных и природных радионуклидов на поверхности ледника Налли (архипелаг Новая Земля)

*А.Ю. Мирошников*¹, Р.А. Алиев², А.В. Кудиков³*

¹*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,
Москва, Россия*

²*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

³*Институт географии РАН, Москва, Россия*

*e-mail: alexey-miroshnikov@yandex.ru

Введение

В настоящее время площадь ледников нашей планеты составляет около 10–11 % поверхности суши (15–16 млн. км²), и они пока продолжают сокращаться в современных климатических условиях. Это приводит к тому, что в процессе таяния ледников возникает воздействие на каскадные ландшафтно-геохимические системы, расположенные на более низких гипсометрических уровнях, конечным звеном которых являются морские трансаквальные ландшафты шельфа. В этой связи факторы, влияющие на миграцию вещества сначала в перигляциальную зону и далее в морскую среду, заслуживают самого внимательного отношения и пристального изучения, так как в этих процессах активно участвуют и различные загрязнители природной среды, в том числе и радиоактивные.

Поступление радиоактивных продуктов на поверхность покровного оледенения Новой Земли было обусловлено прежде всего результатами ядерных взрывов в атмосфере, которые проводились на Центральном испытательном полигоне РФ, расположенном на островах архипелага с 1954 г. Определенную долю вносят глобальные выпадения из атмосферы. Современное радиационное состояние ландшафтов Новой Земли в целом оценивается как удовлетворительное [4], однако надо помнить о том, что изученность этого вопроса является фрагментарной и её нельзя считать исчерпывающей в силу целого ряда различных причин: крайне сложной логистики организации и проведения полевых работ, труднодоступности района, закрытости Новоземельского полигона.

При проведении испытаний ядерного оружия в атмосфере, как правило, предусматривались различные меры по обеспечению экологической безопасности территорий и акваторий, прилегающих к полигону. В том числе учитывались направления ветров, которые, как правило, обеспечивали выпадение радиоактивного следа на площадь полигона или в непосредственной близости [3]. При этом какая-то доля локального радиоактивного загрязнения, суммарная активность которой неизвестна, несомненно, осаждалась в зоне питания покровного оледенения Новой Земли и была депонирована ледником, сформировав в нём радиационно-загрязненный слой (РЗС).

Достижение этого слоя зоны абляции является неизбежным и определяется фактором времени и параметрами вязкопластического течения массы льда под воздействием силы тяжести. К сожалению, гляциологическая изученность архипелага Новая Земля, на котором находится 729 ледников [1], остается крайне слабой до сих пор и недостаток данных о внутреннем строении и динамических параметрах ледников не позволяет произвести достоверные расчеты, определяющие время и местоположение предполагаемого выхода РЗС на поверхность в зоне абляции.

Материалы и методы

В ходе проведения морских экспедиционных исследований 2020 г. в соответствии с научной программой 81-го рейса «Академик Мстислав Келдыш» были продолжены начатые в 2017 и 2018 гг. работы на леднике Налли, талые воды которого разгружаются в Карское море, а именно в залив Благополучия. Ледник, собственно как и сам залив, находится в северной части

Северного острова на стороне Карского моря между выводными ледниками Вершинского и Мощным и своей нижней краевой частью обращен на юг-юго-восток (рис. 1). В соответствии с нашими наблюдениями, его нижняя точка расположена на высоте около 70 м н.у.м. Эта краевая часть ледника упирается в поверхность рельефа, сложенного преимущественно сланцами, аргиллитами и алевролитами, и частично перекрыта конечной мореной. В соответствии с самыми последними данными, площадь ледника составляет 195 км² при длине около 28 км [1]. Радиолокационные исследования, направленные на измерение толщины льда, непосредственно на леднике Налли не проводились. Однако, как показывают результаты изучения расположенного рядом ледника Вершинского, экстраполяция полученных данных позволяет предположить, что она может составлять около 400 м [2].



Рис. 1. Положение ледника Налли на о. Северном и района исследований 2020 г. (желтый круг). Схема составлена с использованием интернет-ресурса <https://www.glacrus.ru/> [Каталог, 2020]

Изучение скорости движения ледников, расположенных в непосредственной близости, и оценка изменения баланса их массы были проведены в этом районе в различное время и различными методами для ледников Вершинского, Мощного, Рождественского, Среднего и Розе [2, 5, 6, 8, 9, 12–14]. Полученные результаты показали высокие скорости для ледников, оканчивающихся в море. Среднегодовая скорость движения варьирует от 50 м/год (ледник Розе) до 200 м/год, а максимальная достигает 350–380 м/год (ледник Вершинского) [2]. При этом баланс массы ледника Налли, который оканчивается на суше и находится в состоянии сжатия, за последние десятилетия существенно не менялся, а сокращение площади ледника за период 1952–2015 гг. могло составить всего лишь 0.35 ± 0.33 км² [2]. Эти значения хорошо согласуются и с данными других исследователей [12]. Следовательно, питание ледника Налли находится в равновесии с расходом массы, который обусловлен исключительно процессом стаивания поверхности в летний период.

Проводимые нами на леднике Налли радиационно-экологические исследования с 2017 г. опираются на изучение органо-минеральных осадков, формирующихся в специфических образованиях – криоконитовых стаканах [7], повсеместно развитых на поверхности всех ледников в зоне абляции и являющихся эффективными сорбционно-морфологическими

ловушками для различных загрязнителей, в том числе и техногенных радионуклидов. В 2020 г. поиск выхода РЗС на поверхность был продолжен также методом отбора проб криоконита, как и в 2017 и 2018 гг. Пробы были отобраны в 13 точках по профилю протяженностью 3700 м, начало которого располагалось в 200 м от самой верхней точки 2018 г. (рис. 2).

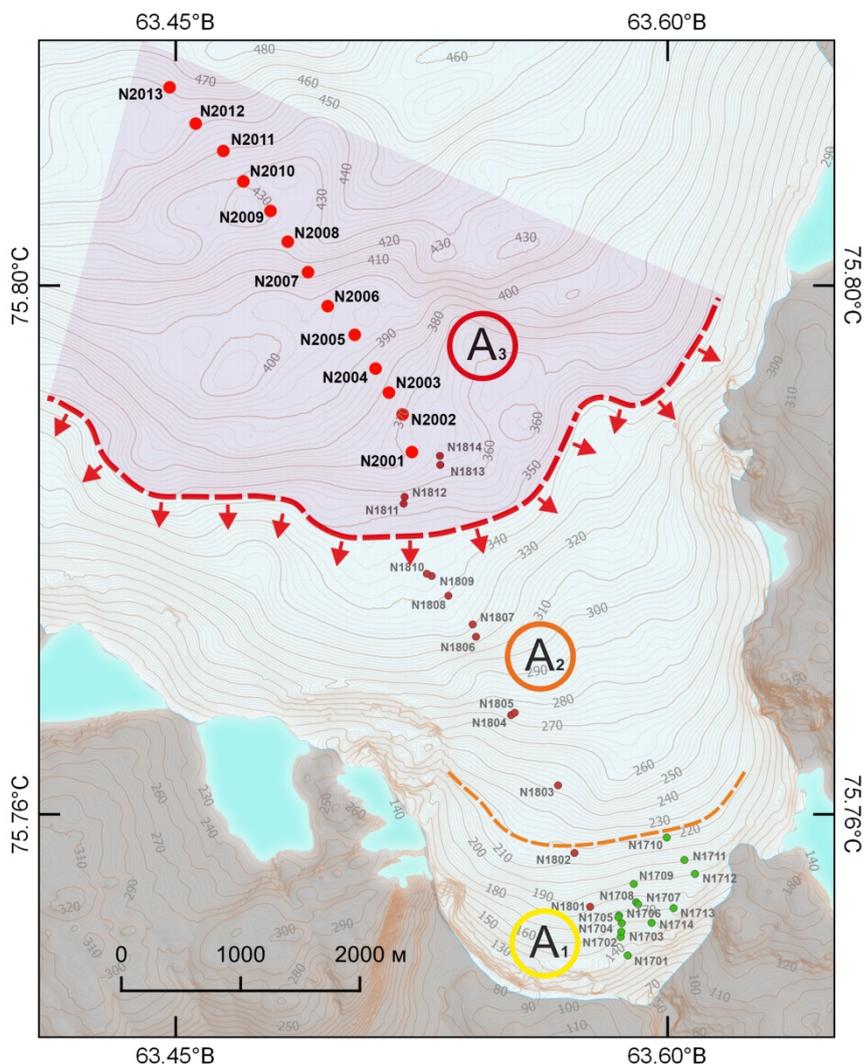


Рис. 2. Положение точек отбора проб криоконита на леднике Налли, выделяемых зон и «передовой» фронтальной линии радионуклидов из разгружающегося РЗС

Таким образом, после завершения экспедиционных работ 2020 г. пробы криоконита отобраны на леднике Налли в 41 точке в интервале высот от 132 до 456 м н.у.м. на протяжении около 9 км от нижнего края ледника вверх в направлении границы области аккумуляции.

Дополнительно в целях сравнения измеренных уровней активности техногенных радионуклидов в криоконите ледника Налли с уровнем глобальных выпадений, соответствующих широтному поясу 75–80° с. ш., в 2017 и 2018 гг. было отобрано 11 образцов из криоконитовых стаканов на трёх ледниках Шпицбергена (*Jotufonna*, *Vestre Grønffjordbreen* и *Fridtjovbreen*).

В основном все пробы отбирались из криоконитовых стаканов, заполненных талой водой, с применением стерильных шприцев Жане объемом 200 мл, к которым при необходимости присоединялся силиконовый шланг. Излишки воды удалялись из банки также шприцем Жане после оттаивания. В нескольких отдельных случаях, когда проба отбиралась из криоконитового стакана, недавно оставшегося без воды, использовались стерильные пластиковые ложки. Затем материал помещался в стерильные полипропиленовые банки объемом 500 мл. При возвращении на борт судна банки хранились в судовой лаборатории

в морозильной камере при температуре $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Транспортировка проб в лабораторию в Москве производилась в замороженном виде. Затем пробы сушились до постоянного веса при температуре $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Измерения удельной активности радионуклидов в образцах проводились с использованием γ -спектрометра с полупроводниковым детектором из сверхчистого германия (*ORTEC*, модель *GEM-C5060P4-B*). Масса проб составляла 20–100 г. Пробы помещались на детектор в цилиндрических банках объемом 50 мл. Время экспозиции каждой пробы было различное и находилось в диапазоне от 60 000 с до 300 000 с. Среднее время набора спектра составляло 110 000 с. Почти все пробы были измерены в пределах четырех месяцев после отбора. Обработку спектров проводили с помощью программного обеспечения *SpectraLine*, *LSRM*, Россия. Калибровку по эффективности детектора проводили, измеряя стандартные препараты *IAEA-447* различной массы.

Результаты и их обсуждение

Природные радионуклиды. Существует предположение, что криоконитовые стаканы могут находиться на поверхности ледников годами и даже десятилетиями, аккумулируя в себе взвешенное и растворенное вещество из талой воды, в которую оно поступает одновременно двумя путями – из тающего льда и с аэрозолями [11].

Выпадение ^{210}Pb из атмосферы происходит с постоянной скоростью, поэтому удельную активность ^{210}Pb можно использовать в качестве параметра, характеризующего время открытости системы [15]. Удельная активность ^{210}Pb в измеренных пробах криоконита ледника Налли варьирует в диапазоне от 1283 (± 31) до 9748 (± 274) Бк/кг (рис. 3, *a*). При этом так же, как и с антропогенными радионуклидами, в целом присутствует очевидная зависимость уровня активности от гипсометрического уровня положения криоконита: точки с более низкой активностью в основном группируются ниже 200 м н.у.м. в диапазоне активности 1200–3000 Бк/кг. Учитывая величину периода полураспада ^{210}Pb ($T_{1/2} = 22.2$ года), определенное влияние на величину дисперсии в такое распределение может вносить та доля ^{210}Pb , которая поступает в криоконит из тающего льда вместе с минеральным веществом, но, по-видимому, она не является значительной.

Присутствие ^7Be также говорит о том, что система является открытой или являлась таковой в течение времени, равного нескольким его периодам полураспада ($T_{1/2} = 53.2$ сут). В распределении активности ^7Be не наблюдается ярко выраженной закономерности, как у других радионуклидов (рис. 3, *b*). В целом значения его активности находятся в диапазоне от 38 (± 10) до 1264 (± 45) Бк/кг, за исключением одной пробы 18-02, в которой было измерено 2418 (± 76) Бк/кг.

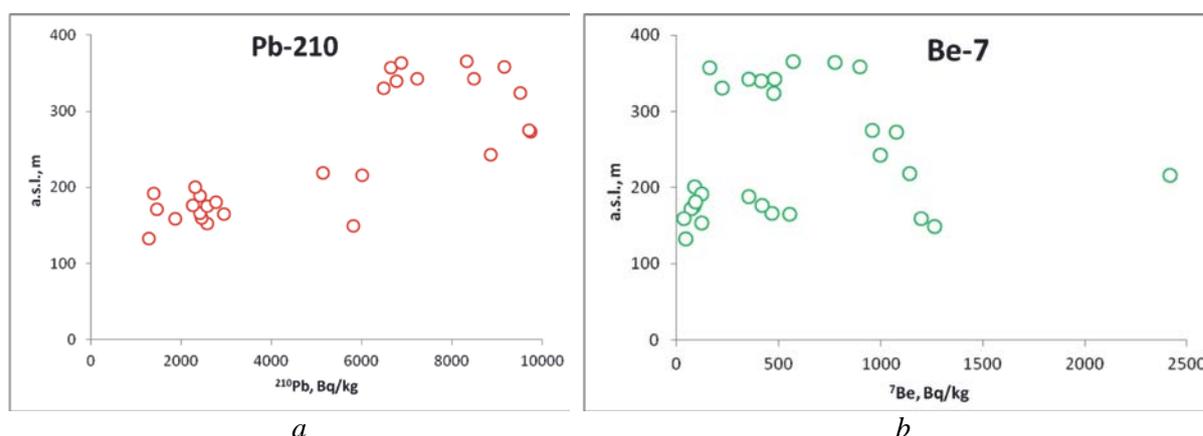


Рис. 3. Изменение отношений $^{137}\text{Cs}/^{210}\text{Pb}$ (А) и $^{137}\text{Cs}/^7\text{Be}$ (В) в зависимости от высоты поверхности ледника

Так как старый криоконит, не контактирующий с талой водой, лишен ^7Be , то его наличие означает, что на момент отбора проб криоконит был «активным», т.е. накапливал радионуклиды. Следовательно, криоконитовые стаканы ледника Налли накапливают радионуклиды независимо от их расположения на леднике.

Такое поведение, вероятно, свидетельствует о том, что криоконит в верхней части ледника старше, чем в нижней. Это происходит за счет выноса вещества из более поздних криоконитовых стаканов с тальными водами и дождями. Нижняя часть ледника в целом более динамична, чем верхняя. Криоконитовые стаканы, расположенные выше 220 м являются более стабильными и переживают несколько сезонов, накапливая значительные количества ^{210}Pb . Определенное влияние могут оказывать и реологические особенности строения ледника Налли, находящегося в состоянии сжатия, следствием чего часто являются пологие надвиги верхних слоев [10].

Антропогенные радионуклиды. Анализ распределения уровней активности ^{137}Cs , ^{241}Am и ^{207}Bi в криоконите ледника Налли относительно гипсометрических уровней расположения точек отбора проб на поверхности ледника приводит к их разделению на три группы (рис. 4), что позволяет выделить три основные зоны (рис. 2). Здесь следует отметить, что на момент подготовки представленных материалов по пробам, полученным в 2020 г., проведены измерения активности только для ^{137}Cs , так как результаты измерения активности ^{241}Am и ^{207}Bi находятся в процессе обработки и ещё не завершены окончательно.

Первую группу проб криоконита (зона A_1 на рис. 2 и 4) составили тесно группирующиеся точки, расположенные до высоты 200 м н.у.м., в которых активность ^{137}Cs варьирует в диапазоне 58–436 Бк/кг, а ^{241}Am – от 1.3 до 9.1 Бк/кг (A_1 на рис. 4, *a* и 4, *b*). При этом ^{207}Bi в них не определяется.

Вторая группа представлена точками, находящимися в интервале высот от 240 до 345 м н.у.м. (зона A_2 на рис. 2 и 4). В этой группе удельная активность ^{137}Cs находится в диапазоне от 2667 до 4659 Бк/кг (A_2 на рис. 4, *a*), а ^{241}Am – в интервале 12.5–28.1 Бк/кг (A_2 на рис. 4, *b*). Следует заметить, что в этой группе точек появляется ^{207}Bi с удельными активностями от 2.2 до 4.4 Бк/кг (A_2 на рис. 4, *c*).

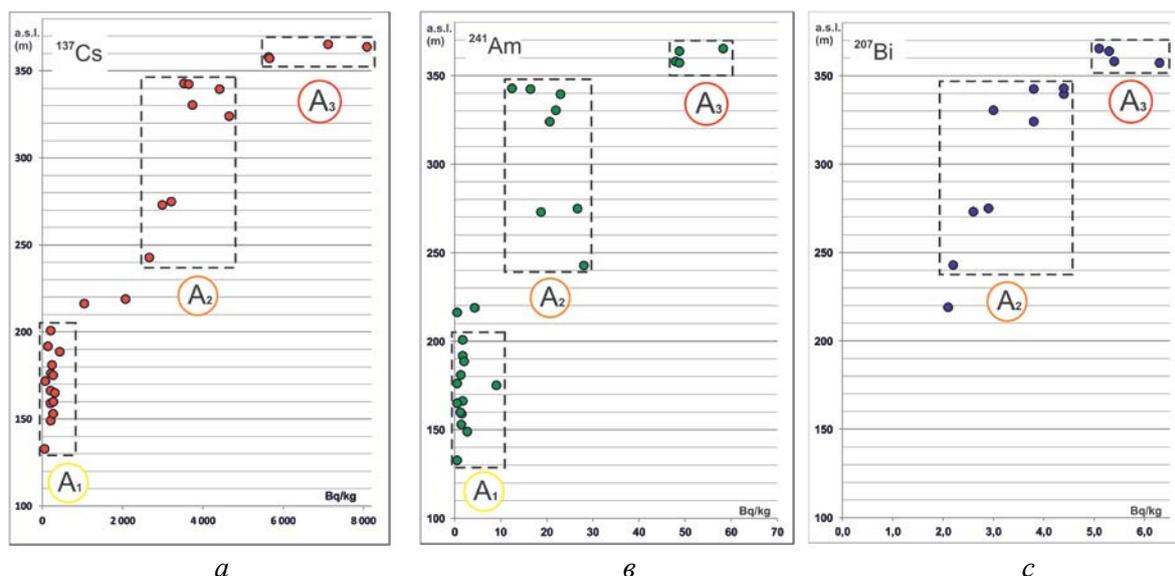


Рис. 4. Распределение удельной активности техногенных радионуклидов в криоконите в зависимости от высотных отметок на поверхности ледника Налли: *a* – $A_{\text{Cs-137}}$ (М н.у.м.); *b* – $A_{\text{Am-241}}$ (М н.у.м.); *c* – $A_{\text{Bi-207}}$ (М н.у.м.)

Третья группа проб криоконита (зона A_3 на рис. 2 и 4) заметно выделяется на общем фоне. Если вторая группа отражает уровень локального фона глобальных выпадений, то третью группу составляют точки, которые находятся выше 355 м н.у.м. В них на коротком расстоянии активность ^{137}Cs резко возрастает сначала до 5700–8100 Бк/кг (рис. 4, *a*) и затем, с учетом данных 2020 г., достигает 16 900 Бк/кг. Удельная активность ^{241}Am в этих пробах также имеет рекордные значения для криоконита Арктики, составляя интервал 48–59 Бк/кг, который находится в сильном отрыве от диапазона второй группы (рис. 4, *b*). Активность радионуклидов ^{207}Bi в этой группе также повышенная и варьирует от 5.1 до 6.3 Бк/кг (рис. 4, *c*).

Разделение проб криоконита на три группы, соответствующие трём зонам, становится более явным при рассмотрении отношений активностей $^{241}\text{Am}/^{137}\text{Cs}$ (рис. 5), $^{207}\text{Bi}/^{137}\text{Cs}$ (рис. 6) и

$^{207}\text{Bi}/^{241}\text{Am}$ (рис. 7). Соотношение $^{241}\text{Am}/^{137}\text{Cs}$ позволяет отличать «чернобыльские» выпадения от глобальных выпадений радиоактивности. ^{241}Am не образуется непосредственно при ядерных взрывах. Он появляется в результате радиоактивного распада ^{241}Pu . Мы видим, что в пробах криоконита с ледников Шпицбергена соотношения $^{241}\text{Am}/^{137}\text{Cs}$ близки к глобальным (рис. 5), тем самым исключается прямое влияние аварии на Чернобыльской АЭС. При этом отличия в пробах криоконита с ледника Налли определяются тем дополнительным радиоцезием, который ранее был депонирован в леднике. Основным глобальным источником ^{207}Bi , поступившего в атмосферу Земли, был взрыв сверхмощной термоядерной бомбы 30 октября 1961 года на Новоземельском полигоне. Это предположение подтверждается более высокими уровнями активности ^{207}Bi в криоконите ледника Налли в отличие от ледников Шпицбергена.

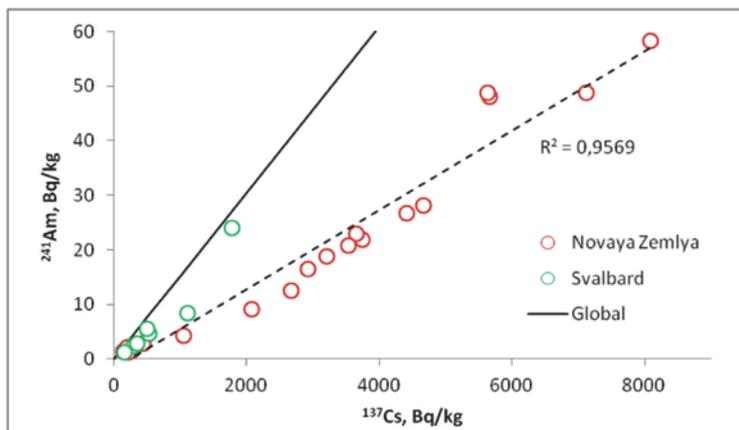


Рис. 5. Соотношение удельной активности ^{241}Am и ^{137}Cs в пробах криоконита с Новой Земли и Шпицбергена (пунктиром показана линия тренда для проб криоконита ледника Налли, сплошная линия соответствует глобальным выпадениям)

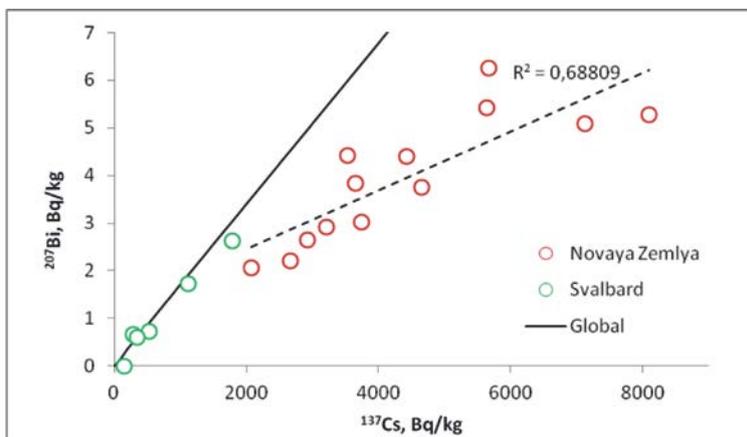


Рис. 6. Соотношение удельной активности ^{207}Bi и ^{137}Cs в пробах криоконита Новой Земли и Шпицбергена (пунктиром показана линия тренда для проб криоконита ледника Налли, сплошная линия соответствует глобальным выпадениям)

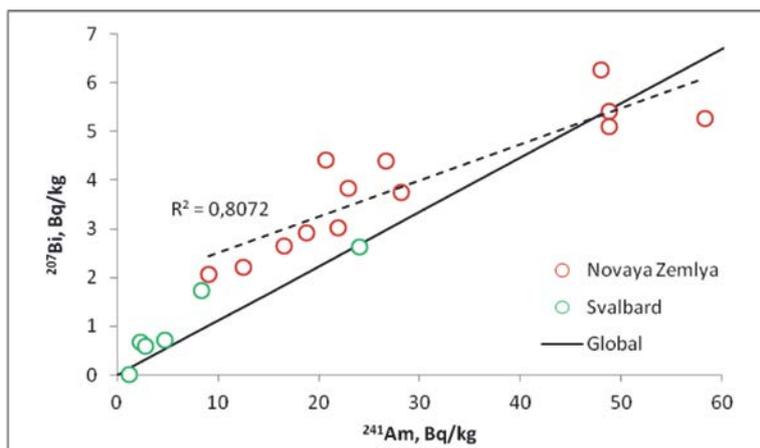


Рис. 7. Соотношение удельной активности ^{207}Bi и ^{241}Am в пробах криоконита Новой Земли и Шпицбергена (пунктиром показана линия тренда для проб криоконита ледника Налли, сплошная линия соответствует глобальным выпадениям)

Распределение удельных активностей ^{137}Cs в пробах криоконита ледника Налли по всем имеющимся точкам ($n = 41$), относительно их высотных отметок, построенное с учетом данных 2020 г., показано на точечной диаграмме (рис. 8).

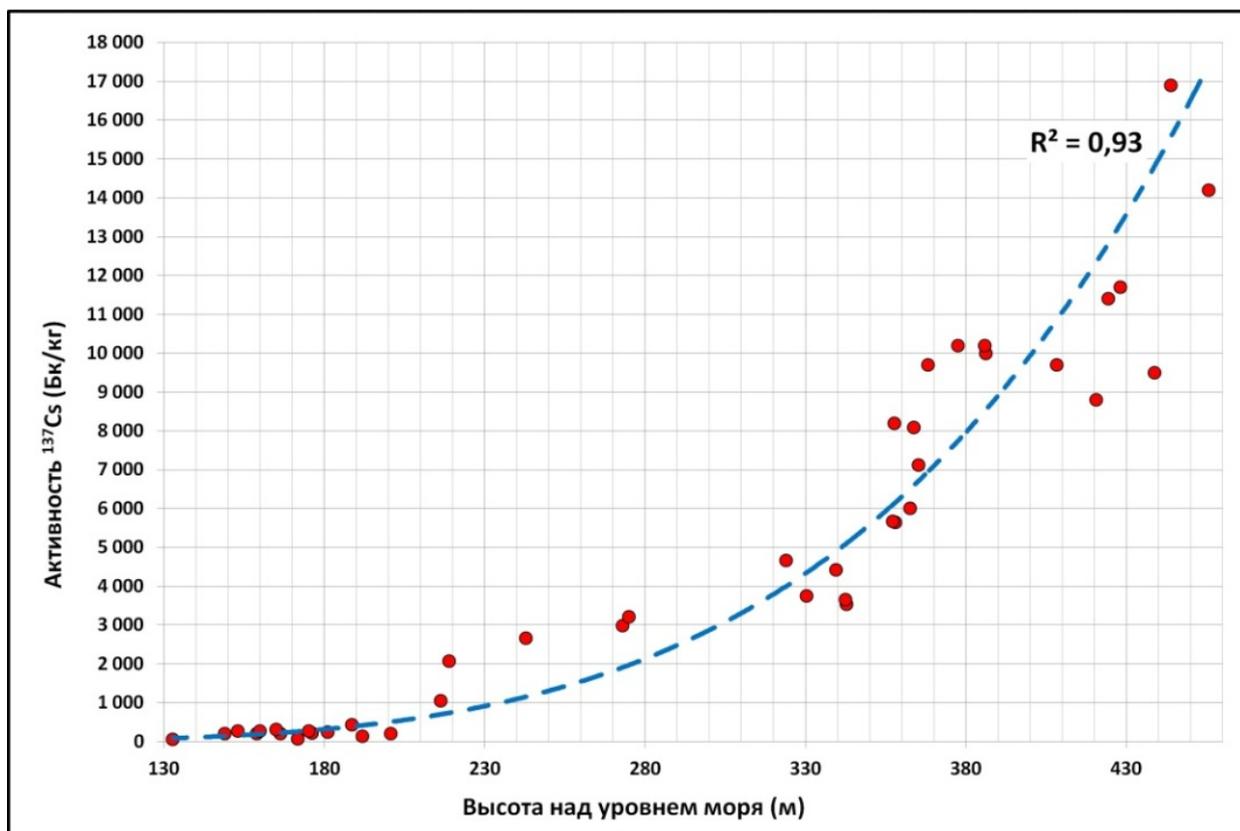


Рис. 8. Диаграмма зависимости активности ^{137}Cs в криоконите ледника Налли от высоты положения точки отбора

Коэффициент детерминации линии тренда (R^2), равный 0,93, иллюстрирует высокую степень зависимости уровня активности радиоцезия от высотной величины точки отбора. Установленная закономерность на исследованном участке поверхности ледника Налли характеризуется ростом активности радиоцезия в криоконите по мере увеличения высоты в сторону фирновой линии.

Заключение

Таким образом, пробы криоконита третьей группы (зона А₃ на рис. 2), обогащенные «дополнительными» относительно глобальных выпадений, освободившимися из ледяного плена радионуклидами ¹³⁷Cs, ²⁴¹Am и ²⁰⁷Pb, являются передовой фронтальной частью радиоактивного загрязнения, ранее депонированного в зоне питания, а теперь разгружающегося из РЗС (рис. 2). По-видимому, оно сравнительно недавно перешло в миграцию по поверхности ледника. При этом выход РЗС на поверхность следует ожидать выше 460-метровой отметки над уровнем моря. В соответствии с современными данными положение фирновой линии на леднике Налли определяется высотой в 610 м н.у.м. [1]. Расстояние до неё от верхней точки опробования составляет 6130 м по линии падения поверхности ледника. Следовательно, при продолжении работ в заданном направлении мы ожидаем увидеть увеличение уровня активности радиоцезия в криоконите и её резкое снижение выше выхода РЗС на поверхность.

Благодарности

Исследования выполнены в благоприятных условиях плодотворного сотрудничества и при поддержке руководителя программы «Морские экосистемы Сибирской Арктики» академика Михаила Владимировича Флинта. Авторы также выражают глубокую признательность всем участникам экспедиции, экипажу НИС «Академик Мстислав Келдыш» и лично капитану легендарного судна Юрию Николаевичу Горбачу.

Экспедиционные работы, подготовка материала к проведению аналитической программы и разработка подходов к интерпретации данных выполнены при финансовой поддержке проекта РФФИ № 18-05-60246. Анализ и расчёты выполнены в рамках темы госзадания ИГЕМ РАН № 121041500216-3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каталог ледников России (2020) www.glacrus.ru, Институт географии РАН.
2. Лаврентьев, И.И., Глазовский, А.Ф., Сальман, А.Л. (2019) Толщина льда и айсберговый сток выводных ледников Новой Земли по данным радиолокационного зондирования. Международная научно-практическая конференция «Георадар». Тезисы доклада. С. 11-15.
3. Михайлов, В.М. (2006) Ядерные испытания в Арктике: Научно-публицистическая монография в двух книгах. - М.:ОАО «Московские учебники», Т. 1. – 463 с. – Т. 2. – 455 с.
4. Сыч, Ю.Г., Дубинко, Л.В. (2012) Радиоэкологическая обстановка на архипелаге Новая Земля. Арктика: экология и экономика, № 1(5), С. 48-59.
5. Carr, J. R., Stokes, C., & Vieli, A. (2014). Recent retreat of major outlet glaciers on Novaya Zemlya, Russian Arctic, influenced by fjord geometry and sea-ice conditions. *Journal of Glaciology*, 60 (219), 155–170.
6. Ciraci, E., Velicogna, I., & Sutterley, T. C. (2018). Mass balance of Novaya Zemlya archipelago, Russian High Arctic, using time-variable gravity from grace and altimetry data from ICESat and Cryosat-2. *Remote Sensing*, 10 (11), 1817.
7. Cook, J., Edwards, A., Takeuchi, N., Irvine-Fynn, T. (2016). Cryoconite: The dark biological secret of the cryosphere. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 40(1), 66-111.
8. Glissenaar, I.A. (2019) Understanding the mass loss of the Novaya Zemlya ice cap and its drivers. Master thesis. Utrecht University. 76 p.
9. Grant, K.L., Stokes, C.R. and Evans, I.S. (2009) Identification and characteristics of surge-type glaciers on Novaya Zemlya, Russian Arctic. *J. Glaciol.*, 55(194), 960–972.
10. Hooke, R. (2005) Principles of glacier mechanics. Second edition. Cambridge, etc., Cambridge University Press, 429 pp.
11. Łokas, E., Bartmiński, P., Wachniew, P. et al. (2014) Sources and pathways of artificial radionuclides to soils at a High Arctic site. *Environ Sci Pollut Res* 21, 12479–12493.
12. Melkonian, A.K., Willis, M.J., Pritchard, M.E., Stewart, A.J. (2016) Recent changes in glacier velocities and thinning at Novaya Zemlya, *Remote Sensing of Environment*, V. 174, P. 244-257.
13. Moholdt, G., Wouters, B., Gardner, A.S. (2012) Recent mass changes of glaciers in the Russian High Arctic. *Geophysical research letters*, V. 39, L10502.
14. Sharov, A.I. (2005). Studying changes of ice coasts in the European Arctic. *Geo-Mar. Lett.*, 25 (2–3), 153–166.
15. Wilflinger, T. et al. (2018) Cryoconites from Alpine glaciers: Radionuclide accumulation and age estimation with Pu and Cs isotopes and 210 Pb. *J. Environ. Radioact.* 186, 90–100.

Итоги комплексных батиметрических исследований АО «ГНИНГИ» в Северном Ледовитом океане в 2020 году

В.Ю. Бахмутов

*Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт
(АО "ГНИНГИ"), Санкт-Петербург, Россия
e-mail: info@gningi.ru*

Комплексные батиметрические исследования (КБИ) в Северном Ледовитом океане проводились в период с 18 августа по 12 ноября 2020 г. (разрешение на проведение морских научных исследований Минобрнауки России от 02.07.2020 № ДН-20-09/13и).

Задачей экспедиции являлось проведение батиметрических, гравиметрических исследований и акустического профилирования на хребте Ломоносова и хребте Гаккеля с переходами в объеме 3500 лин. км и на хребте Альфа-Менделеева, в Канадской котловине и на Чукотском плато в объеме 4000 лин. км для получения дополнительных обосновывающих материалов к Заявке Российской Федерации от 03.08.2015 г. на установление ВГКШ РФ в СЛО.

Районы проведения исследований представлены на рис. 1.

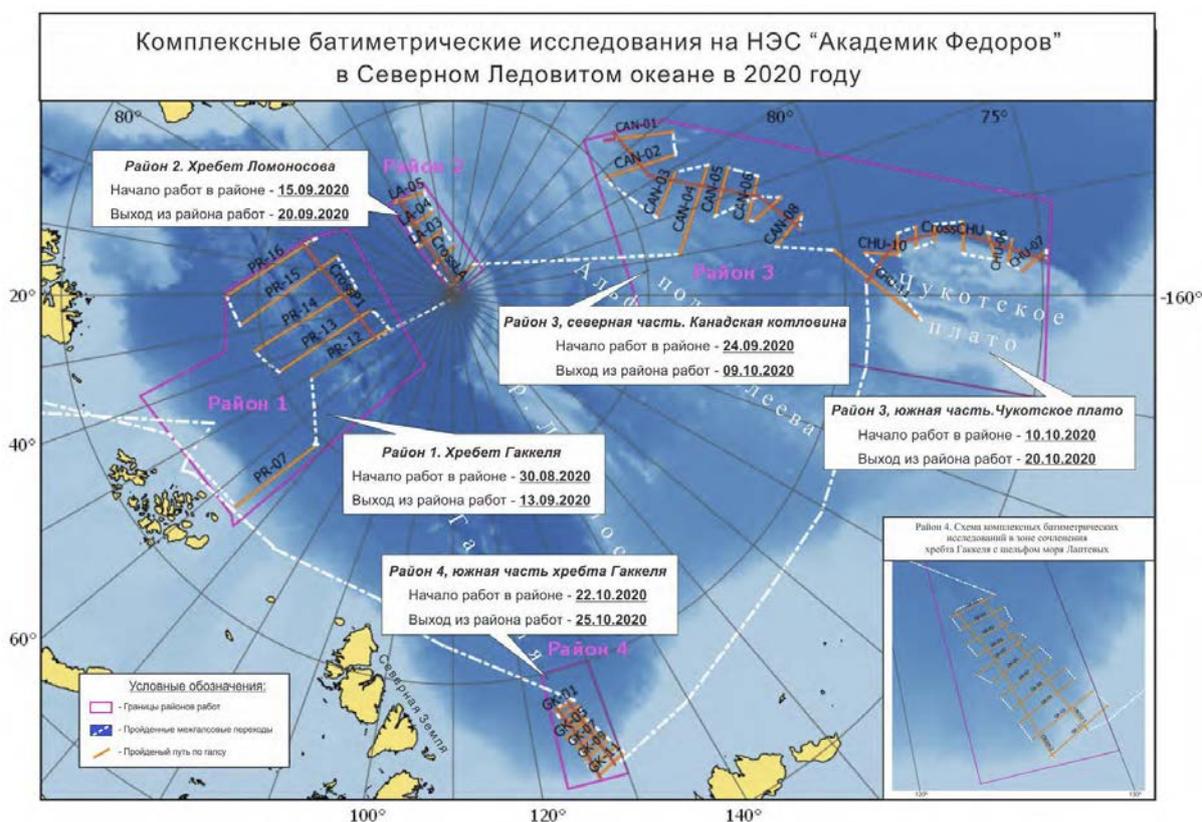


Рис. 1. Районы МНИ и положение проектных профилей экспедиции

В пределах указанных районов была спланирована сеть из 42 профилей, на которых осуществлялась гидрографическая съемка многолучевым эхолотом EM122, гидрографическая съемка однолучевым эхолотом EA600, акустическое профилирование бортовым профилографом *Toras PS18*, набортная гравиметрическая съемка гравиметрами «Попугай» и «Чекан-АМ», а также гидрологические исследования для определения вертикального распределения скорости звука в воде опускаемыми и обрывными зондами. Также была выполнена набортная обработка полученных данных.

Экспедиционные работы выполнялись на научно-экспедиционном судне «Академик Федоров» ФГБУ «ААНИИ» под проводкой атомного ледокола «50 лет Победы» ФГУП «Атомфлот».

Перечень организаций, принимавших участие в экспедиции:

- Управление навигации и океанографии Министерства обороны Российской Федерации (УНиО МО РФ);
- АО «ГНИНГИ»;
- ФГБУ «ААНИИ»;
- ФГУП «Атомфлот»;
- ФГБУ «ВНИИОкеангеология»;
- ООО «Гидро-Си»;
- ООО «Моргеонац».

Гидрометеорологические условия в период выполнения исследований можно в целом охарактеризовать как сложные:

- средняя температура воздуха составила -5.4°C . Наименьшая температура воздуха составила -18.1°C 6 октября в Канадской котловине в районе профиля SAN-05.
- в большей части акватории общая сплоченность льда составила 9–10 баллов, наблюдались айсберги и обломки айсбергов. Общая продолжительность ледокольного обеспечения составила 63 сут с учетом мобилизации и демобилизации атомного ледокола.

Итоги исследований

За 87 сут рейса выполнены:

- съемка рельефа дна: 5811.2 км на профилях, 4075.9 км на межгалсовых переходах, 5091.9 км маршрутный промер, всего 14 979.0 км, проведена полевая обработка 100 % данных;
- гравиметрическая съемка: 5853.4 км на профилях, 4464.0 км на межгалсовых переходах, 7698.0 км маршрутная съемка, всего 18 015.4 км, проведена полевая обработка 100 % данных;
- акустическое профилирование: 4481.6 км на профилях, 3887.0 км на межгалсовых переходах, из них проведена полевая обработка 100 % данных на профилях и 1833.2 км (47.2 %) данных на контрольных пересечениях;
- гидрологические исследования: 31 станция в дрейфе с использованием измерителя скорости звука и STD-зонда и 7 зондирований обрывным зондом на ходу судна.

Выполнена набортная полевая обработка полученных данных. Во время экспедиции производилась независимая оценка и контроль качества материалов и их проверка на соответствие международным и отечественным стандартам, требованиям Комиссии по границам континентального шельфа и Научно-технического руководства Комиссии по границам континентального шельфа.

Об авторе:

Бахмутов Владимир Юрьевич, начальник экспедиции, начальник научно-исследовательского океанографического центра АО «ГНИНГИ», к. в. н.

Современные геолого-геоморфологические процессы на шельфе Баренцева и Карского морей по результатам 49-го рейса НИС «Академик Николай Страхов»

Н.О. Сорохтин

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

Геолого-геофизические, геоморфологические и гидрофизические исследования в Баренцевом и Карском морях были выполнены в 49-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов» в августе – сентябре 2020 г. В экспедиции принимали участие сотрудники следующих организаций:

1. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук;
2. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Российской академии наук;
3. Геологический институт – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук»;
4. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук»;
5. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»;
6. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Мурманский государственный технический университет»;
7. Институт проблем промышленной экологии Севера – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук».

Основанием для проведения работ послужило Разрешение Министерства науки и высшего образования Российской Федерации на проведение морских научных исследований № ДН-09-10/49и от 25 июня 2020 г., а также Разрешение Администрации Северного морского пути № 513/4 на плавание в акватории Севморпути.

Экспедиционные исследования проводились с 18 августа по 7 сентября 2020 г. Общая продолжительность работ – 21 сут, выход и возвращение – порт Архангельск. Изыскания проводились в юго-восточной части Баренцева моря и западной части Карского моря, карта-схема маршрута работ представлена на рис. 1.

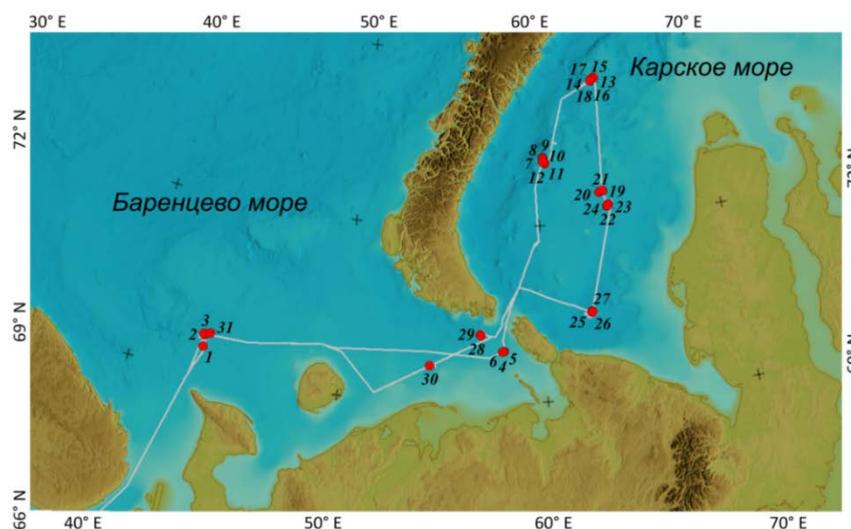


Рис. 1. Маршрут работ и выполненные станции в 49-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов»

Основными задачами экспедиции являлись:

- 1) изучение пространственно-временных закономерностей геологического строения и геодинамического развития Карско-Баренцевоморского региона;
- 2) обоснование наиболее вероятного сценария развития природных обстановок западного арктического шельфа РФ, уточнение границ распространения покровных оледенений на шельфе западной Арктики;
- 3) оценка современных опасных природных процессов, включая экзарационное воздействие на морское дно и новейшие тектонические движения;
- 4) определение границ и размеров возможного простирания подводных многолетнемерзлых пород и эмиссии газов различного генезиса;
- 5) разработка рекомендаций по созданию составной части комплексной системы геолого-геофизического мониторинга морского дна для высокоточного картирования рельефа и верхней осадочной толщи с целью прогноза негативных и катастрофических изменений природной среды.

Работы выполнялись в соответствии с пунктами государственного задания Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 гг. (пункт № 75 Мировой океан – физические, химические и геологические 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 также в соответствии с задачами ниже перечисленных грантов и проектов:

Тема № 0149-2019-0005 «Тектоника деформируемых литосферных плит и геодинамическая эволюция океанской литосферы: геодинамическая эволюция Арктики и зоны перехода от Тихого океана к Евразии; развитие 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». Исполнитель – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, научный руководитель – академик РАН Л.И. Лобковский;

Тема № 0149-2019-0006 «Геоморфология морского дна, геофизические и биогеохимические характеристики литосферы океанов и морей: геоморфологические особенности рельефа дна Арктического бассейна; геолого-геофизические и биогеохимические исследования осадочной толщи и литосферы Арктического шельфа, переходной зоны от Тихого океана к Евразии, отдельных районов Атлантики и Индийского океана, морей России». Исполнитель – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, научный руководитель – д.г.н. С.Л. Никифоров;

Тема № 0128-2019-0010 «Экстремальные опасные явления, связанные с Мировым океаном». Исполнитель – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, научный руководитель – д.г.н. А.В. Соков;

Тема № 0135-2019-0076 «Геологические опасности в Мировом океане и их связь с рельефом, геодинамическими и тектоническими процессами». Исполнитель – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Российской академии наук (ГИН РАН), научный руководитель – д.г.-м.н. С.Ю. Соколов;

Тема № 0135-2018-0044 Программа Президиума РАН 49 «Взаимодействие физических, химических и биологических процессов в Мировом океане» Проект: «Состояние морской среды в условиях антропогенных и аномальных естественных воздействий», подпроект: «Гидроакустические аномалии водной толщи: связь со строением дна, режимом гидросферы и временными вариациями среды». Исполнитель – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Российской академии наук (ГИН РАН), научный руководитель – д.г.-м.н. С.Ю. Соколов;

Тема № 0135-2018-0049 Программа Президиума РАН 49 «Взаимодействие физических, химических и биологических процессов в Мировом океане», проект: «Процессы в океанской литосфере и их влияние на состояние морской среды», подпроект: «Тепловой поток глубинных разломов океанского дна». Исполнитель – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Российской академии наук (ГИН РАН), научный руководитель – д.г.-м.н. М.Д. Хуторской;

Тема № 0226-2019-0053 «Минерагенические основы поиска высоколиквидных и нетрадиционных полезных ископаемых в целях воспроизводства и развития минерально-сырьевой базы в Евро-Арктической зоне России». Исполнитель – Геологический институт – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (ГИ ФИЦ КНЦ РАН). Научный руководитель – к.г.-м.н. Д.Р. Зозуля;

Тема № 0186-2019-009 «Научные основы инновационных технологий здоровья-сбережения, биологической, экологической безопасности населения в западном секторе российской Арктики». Исполнитель – Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ РАН). Научный руководитель – чл.-корр. РАН В.К. Жиров;

Грант РФФИ № 18-05-00316_a «Глубинные источники магнитных аномалий в океанической литосфере» (руководитель – д.г.-м.н. А.М. Городницкий);

Грант РФФИ № 18-05-70040 «Эволюция литосферы западной Арктики: процессы и механизмы, направленность развития, природные ресурсы и геологические опасности» (руководитель – д.г.-м.н. С.Ю. Соколов);

Грант РФФИ № 18-35-20060 мол_a_вед «Рельеф и геоморфологические процессы районов ресурсного освоения южной части Баренцевоморского шельфа» (руководитель – к.г.-м.н. Ю.А. Зарайская).

Основные виды выполненных в рейсе работ: картирование рельефа дна (с помощью многолучевого эхолота) и верхней осадочной толщи (эхолот-профилограф, НСАП, МОВ-ОГТ), магнитометрия, отбор проб воды и донных осадков для проведения геологических, геохимических и гидрохимических исследований, гидрофизические исследования.

В ходе экспедиции были выполнены следующие работы:

– зондирование *CTD*-зондом с получением данных по температуре, солености и плотности (26 станций);

– съемка более 8000 морских миль профилей геофизических исследований (эхолотирование и сейсмопрофилирование);

– отбор проб поверхностных донных осадков дночерпателем *Van Veen* (31 станция), глубина проникновения дночерпателя в осадочный грунт составляла от 10 до 15 см;

– геологический пробоотбор ударной грунтовой трубкой – 7 станций, размер керна составил от 68 до 338 см, при среднем выходе керна около 3.0 м, проведено литологическое описание и фотосъемка отобранных геологических кернов;

– отбор проб воды с поверхности и в толще моря с помощью батометров Нискина для проведения геохимических исследований (26 станций);

– из поднятых образцов произведен отбор проб в следующем количестве:

на минералогический анализ глин и песков – 29 проб;

на гранулометрический анализ – 257 проб;

на геохимический анализ – 257 проб;

на микропалеонтологический анализ – 228 проб;

на микробиологический анализ – 180;

для проведения посева культур микроорганизмов – 32 пробы;

на эколого-токсикологические исследования – 17 образцов;

на петрографические исследования – 19 образцов;

образцы морской воды – 81 проба.

Всего в экспедиции была выполнена 31 станция комплексных исследований (рис. 1).

По результатам выполненных работ обнаружены области распространения различных гляциальных форм рельефа, в том числе подледниковые каналы и краевые моренные образования. Моренные отложения, представленные пелит-алеврито-песчано-гравийно-галечной смесью, были отобраны в юго-восточной части Баренцева моря, примыкающей к п-ову Канин, и в Печорском море. Полученные данные могут быть использованы для уточнения границ распространения позднеплейстоценового оледенения в Баренцево-Карском регионе.

Разрывные нарушения, области повышенной газонасыщенности, оползни, мерзлота и термокарст, а также ледовая и айсберговая экзарация представляют собой наиболее распространённые геориски в районе исследований.

В верхней части осадочной толщи были обнаружены проявления современных неотектонических движений. Так, на полигоне к западу от п-ова Ямал в рельефе была выделена

крупная отрицательная морфоструктура, представляющая собой грабен проседания. В юго-восточной части этого полигона были обнаружены множественные отрицательные формы рельефа. Предположительно, данные формы являются реликтами мерзлотного происхождения, развитыми по тектонически ослабленным зонам. В пользу этого говорит взятая здесь геологической трубкой колонка, в которой на глубине 2.5 м были обнаружены вязкопластичные плотные пелитовые глины коричневого цвета с характерной брекчиевидной текстурой, которая обусловлена промерзанием и последующим оттаиванием пород.

На некоторых участках исследований были обнаружены зоны дегазации, формирующие прорывы в водную толщу с характерными звукорассеивающими аномалиями над разрывами в аномалиях типа яркое пятно или вертикальное акустическое осветление в придонных рефлекторах.

Полученные материалы позволяют говорить о широком распространении палеодолин и существенном эрозионном расчленении южной части Баренцево-Карского шельфа. Наличие эрозионных врезов в осадочной толще представляет опасность при строительстве объектов морской инфраструктуры, они часто заполнены грунтами, относящимися к категории «слабых» (илы и т. п.). Предполагается, что в позднем плейстоцене здесь существовала развитая эрозионная сеть, которая была впоследствии затоплена морем.

В кервах, поднятых из южной части Карского моря, наблюдаются границы размыва, которые маркируются по несогласному залеганию слоев, наличию дресвы и осадков с рыжеватым оттенком, образованным за счет процессов окисления в приповерхностной зоне. Наличие границ размыва в керне свидетельствует об этапах регрессии Карского моря, которая могла приводить к полному осушению бассейна в его южной части.

После культивирования микроорганизмов в лабораторных условиях планируется изучение их биоразнообразия, экологической физиологии и продуктов метаболизма. Оценка антропогенной нагрузки на водные экосистемы Баренцева, Печорского и Карского бассейнов будет дана после проведения эколого-токсикологических исследований проб грунта и тканей гидробионтов.

Получены систематические данные о гидрофизических характеристиках вод Карского и Баренцева морей в конце летнего сезона. В Карском море этот период характеризуется интрузией под термоклин вод с предельно низкой температурой.

Пополнен массив геологических и батиметрических данных, геофизических профилей с целью создания баз данных по свойствам морского дна. На основании полученных результатов будут разработаны рекомендации по созданию составной части комплексной системы геолого-геофизического мониторинга морского дна.

Считаем своим долгом выразить благодарность капитану и экипажу судна «Академик Николай Страхов» за оказанную большую помощь в проведении морских работ.

Об авторе:

Сорохтин Николай Олегович, начальник экспедиции, главный научный сотрудник ИО РАН,
д. г.-м. н.

**Тектоническое строение и магматизм
мегатрансформа Чарли Гиббс и прилегающих сегментов
Срединно-Атлантического хребта (Северная Атлантика)
по результатам геолого-геофизических исследований,
проведенных в 50-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов»**

*С.Г. Сколотнев, А.А. Пейве, С.Ю. Соколов, К.О. Добролюбова, А.Н. Перцев,
А.Н. Иваненко, А.А. Разумовский, А.С. Бич, Ю.В. Брусиловский, К.Н. Шолухов, И.А. Веклич,
В.Н. Добролюбов, А. Санфилиппо, Я. Нестола, Л. Петракчини,
В. Баси, К. Феррандо, К. Сани*

В результате комплексных геолого-геофизических работ, проведенных на полигоне Чарли Гиббс (Северная Атлантика), построена среднемасштабная батиметрическая карта осевой и гребневой зон Срединно-Атлантического хребта (САХ) для района мегатрансформа Чарли Гиббс с прилегающими к нему с двух сторон сегментами САХ общей площадью 54500 км². На этой площади измерено и подсчитано аномальное магнитное поле, изучено строение верхней части осадочного чехла на профилях общей протяженностью 5560 км, собрана коллекция горных пород общим весом около 1400 кг, представляющая весь разрез океанической литосферы: базальты, габброиды, перидотиты. Анализ полученных материалов позволяет установить принципиальное различие в строении спрединговых сегментов внутри мегатрансформа, к югу и к северу от него. На юге они имеют строение типичное для медленно-спрединговых хребтов: отчетливо выраженные рифтовые долины с небольшими неовулканическими поднятиями, сложенными базальтами со свежим закалочным стеклом, и рифтовыми горами на флангах. На севере их строение меняется по мере приближения к мегатрансформе Чарли Гиббс. Наиболее северные сегменты имеют строение близкое к таковому у быстроспрединговых хребтов: рифтовая долина, сложенная базальтами, выражена неотчетливо, высоко поднятые рифтовые горы имеют частогрядовый рельеф. Сменяющий их к югу сегмент имеет строение типичное для медленноспрединговых хребтов (см. выше). Приразломные короткие сегменты устроены подобно таковым вблизи трансформов с большими офсетам, такими как Романш. Для них характерны широкие рифтовые долины с крупными неовулканическими поднятиями, а на флангах развиты внутренние океанические комплексы (ВОК). В приразломных сегментах преобладают ультрабазиты. Внутритрансформный сегмент имеет широкую рифтовую долину с крупными неовулканическими поднятиями. Фланги имеют блоковое строение. Значительная часть блоков представлена ВОК, с которых в большом количестве драгированы габброиды.

Аномальное магнитное поле имеет типичный для спрединговых хребтов полосовой характер. Идентифицированы магнитные аномалии на участках дна с возрастом до 6 млн лет, что позволило вычислить среднюю скорость спрединга дна в этом районе за период в последние 3.5 млн лет: она составила 20 мм/год.

По итогам акустического профилирования в разломных долинах установлено наличие оползней, канальных дрифтов и активных тектонических структур в виде сбросов, взбросов, штамповых складок и диапироподобных структур.

Дальнейшее изучение полученных материалов позволит установить характер вдольосевых вариаций состава базальтов и оценить вклад в их природу геохимических мантийных неоднородностей и мантийных подлитосферных потоков, проанализировать особенности формирования 3-го слоя коры, установить состав литосферной мантии, выявить основные закономерности структурной эволюции мегатрансформа Чарли Гиббс.

**Паразитологические исследования
в юго-восточной части Баренцева моря (Печорское море).
По материалам экспедиций Зоологического института РАН**

К.В. Галактионов, К.Е. Николаев

*Беломорская биологическая станция, ФГБУН Зоологический институт РАН,
Санкт-Петербург, Россия*

Морские экспедиционные исследования Зоологического института РАН в 2020 г. были направлены на изучение состояния биоразнообразия Баренцева и Белого морей, устойчивости донных и пелагических сообществ к воздействию факторов среды как природных, так и антропогенных, а также изучению путей циркуляции паразитических организмов в условиях низкой Арктики, чему и посвящено настоящее сообщение. Климатические изменения последних десятилетий особенно интенсивны в высоких широтах, в частности в Арктическом и Субарктическом регионах России, что, вне всякого сомнения, оказывает влияние на паразитов со сложными жизненными циклами, крайне чувствительными к изменению климата.

Паразиты оказывают важное регулирующее воздействие на популяции животных-хозяев, включаются в трофические связи, потоки вещества и энергии в экосистемах. Наиболее значимо влияние паразитов в прибрежных морских экосистемах, где создаются благоприятные условия для их трансмиссии. В этом плане Печорское море представляет особый интерес, поскольку в силу своей мелководности и высокой биомассы бентосных организмов привлекает сотни тысяч водоплавающих, мигрирующих по Восточно-Атлантическому пролетному пути. Высокие концентрации морских уток-бентофагов – окончательных хозяев гельминтов – и наличие промежуточных хозяев – бентосных моллюсков и ракообразных благоприятствует успешной циркуляции паразитов, несмотря на суровые условия низкой Арктики. Происходящее потепление климата сильно выражено в районе Печорского моря, что может благоприятствовать успеху трансмиссии паразитов. Поэтому в задачи экспедиции на НИС «Профессор Владимир Кузнецов» входила оценка уровней заражения бентосных беспозвоночных личинками гельминтов в реперных районах, по которым имеются данные паразитологических съемок 1980-х и начала 2000-х гг.

В обследованных районах Печорского моря (прибрежье о-вов Вайгач, Долгий и Хайпудырская губа) функционируют очаги заражения гельминтами морских птиц, приуроченные к местам их концентрации. В мидиях зарегистрированы метацеркарии трематод *Renicola* sp. и *Gymnophallus bursicola* – патогенных паразитов почек и кишечника морских уток соответственно. Выявлена неоднородность в распределении зараженности моллюсков этими паразитами, которая объясняется различиями в распределении как их первых промежуточных, так и дефинитивных хозяев. Концентрация обыкновенной гаги у о. Вайгач определила высокую зараженность там мидий личинками *G. bursicola*, а гаги-гребенушки в районе Хайпудырской губы – высокую зараженность личинками *Renicola* sp. Преимущественное питание гаги-гребенушки в сублиторали определило и высокие показатели зараженности крабов *Hyas aranaeus* личинками (цистакантами) скребня *Profilicollis botulus* в Хайпудырской губе – 83.3 % (51.59–97.91 %), в то время как *Gammarus* spp. там были заражены на 2.4 % (1.02–4.6 %). В прибрежье же о-вов Вайгача и Долгий, где держится обыкновенная гага, связанная трофически с литоральной зоной, зараженность *Gammarus* spp. цистакантами *Polymorphus rhippsi* колебалась в пределах 20–45 %. Оба вида скребней патогенны для водоплавающих, поскольку изъязвляют кишечник и могут приводить к его перфузии.

Сопоставление полученных в ходе экспедиции 2020 г. данных по зараженности мидий Печорского моря с имеющимися в нашем распоряжении материалами 2007 и 2010 гг. показало существенное увеличение этого показателя для метацеркарий *Renicola* sp., в то время как зараженность *G. bursicola* значимо не изменилась, хотя и продемонстрировала тенденцию к повышению. Отмеченный рост зараженности может быть обусловлен повышением среднетемпературной (июль – август) температуры воды, которая наблюдается в последнее десятилетие в Печорском море, что могло интенсифицировать трансмиссию. Значимый рост зараженности моллюсков был отмечен в период с 2010 по 2020 г., когда наблюдался наибольший рост среднетемпературной температуры воды.

Сравнение паразитологических данных за 1980-е и 2000-е гг. по о. Вайгач позволило установить, что, хотя общий характер межрегиональных различий в заражении литоральных моллюсков *Littorina saxatilis* (единственный в этом регионе литоральный моллюск – промежуточный хозяин трематод) не претерпел за это время существенных изменений, произошло увеличение уровней заражения микрофаллидными трематодами группы «*pygmaeus*» и экспансия *Microphallus piriformes* и *Tristriata anatis* вдоль побережья Вайгача с юга на север. В период с 2017 по 2020 г. выявлен достоверный рост зараженности моллюсков парентитами *T. anatis*, который, как и в случае зараженности мидий, скорее всего, обусловлен значимым повышением температуры поверхностного слоя воды, отмеченным в указанный период, что стимулировало продукцию расселительных личинок-церкарий и их выживаемости во внешней среде. Вместе взятое и привело к интенсификации трансмиссии *T. anatis*.

Полученные данные свидетельствуют об уже происходящем положительном воздействии потепления климата Арктики на трансмиссию паразитов. Следствием этого станет повышение паразитарного пресса на популяции животных-хозяев как промежуточных (морские беспозвоночные), так и окончательных (морские рыбы, птицы и млекопитающие). Для анализа последствий такого рода воздействия на арктические прибрежные экосистемы необходимо выполнение мониторинга на полигонах, где создаются наиболее благоприятные условия для циркуляции паразитов. К таковым относятся обследованные районы Печорского моря.

Работа выполнена в рамках Гос. заданий Зоологического института РАН, № АААА-А19-119022690122-5, №АААА-А19-119020690109-2, №АААА-А19-119020690072-9 и №АААА-А19-119031200042-9, а также грантов РФФИ № 18-14-00170 и РФФИ № 18-05-60157.

Особенности постледникового донного рельефа и разгрузки флюидов в СВ Баренцевом море: по данным геолого-геофизических и геохимических исследований в экспедиции TTR-19 (АНС48)

Г.Г. Ахманов¹, М.А. Соловьева¹, А.И. Монтели², Е.Н. Полудеткина¹, О.М. Хлыстов³
и участники экспедиции TTR-19

¹Геологический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Институт полярных исследований имени Скотта, Кембриджский университет, Кембридж, Великобритания

³Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

Введение

В 2020 г. Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации была организована и в период с 18 июля по 17 августа проведена комплексная мультидисциплинарная научная экспедиция TTR-19 (АНС48) по программе «Обучение-через-исследование (Плавающий Университет)» («*Training-through-Research (Floating University)*»). Исследования выполнены в северо-восточной части шельфа Баренцева моря, между архипелагами Земля Франца Иосифа и Новая Земля (рис. 1), с борта НИС «Академик Николай Страхов».

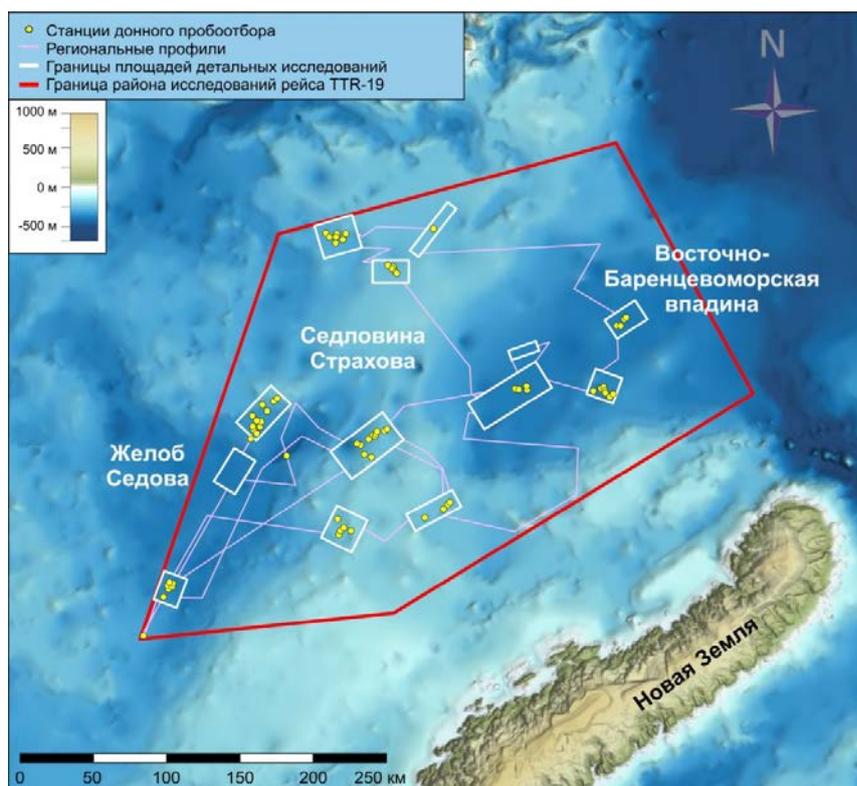


Рис. 1. Схема расположения районов детальных геолого-геофизических исследований и станций донного пробоотбора в рейсе TTR-19

Экспедиция была нацелена:

- на опытные изыскания, направленные на фундаментально-научное обоснование методических подходов: 1) в организации геолого-геофизического и геолого-геохимического картирования зон арктических акваторий, перспективных на залежи углеводородов; 2) интерпретации данных геолого-геохимического опробования арктических донных илов

с целью характеристики углеводородных систем;

- изучение эволюции четвертичного ледникового покрова в пределах северо-восточной части Баренцевоморского шельфа, состава и строения субгляциальных осадочных накоплений, особенностей постледникового донного рельефа и современной морской седиментации;

- определение влияния литологического состава и свойств арктических донных накоплений на формирование фоновых и аномальных концентраций флюидов и органического вещества в приповерхностных осадках;

- развитие инновационной системы комплексных геолого-геофизических и геохимических исследований и подготовки кадров в областях морской геологии и геофизики, геохимических методов поиска углеводородов, экологических изысканий, оценки инженерных рисков освоения акваторий.

В задачи экспедиции входили:

- батиметрическая съемка многолучевым эхолотом с целью картирования современных форм гляциального и перигляциального рельефа, а также участков с развитием опасных геологических процессов;

- отбор колонок донных осадков для определения фоновых концентраций поровых флюидов и выявления геохимических аномалий, связанных с областями их фокусированной разгрузки на дне; изучение особенностей диффузионно-фильтрационного массопереноса и геохимических полей в придонных илах Баренцевоморского региона;

- отработка комплекса геолого-геофизических методов по определению физико-механических свойств донных грунтов;

- обучение студентов навыкам практических научных исследований в условиях арктических экспедиций, сбору и первичной обработке геолого-геофизического и геохимического материала.

В экспедиционных работах приняли участие представители 11 организаций, в том числе четырех вузов, трех институтов Российской академии наук и четырех инновационных компаний. В научный состав экспедиции вошли 35 человек. Среди них: 22 студента и аспиранта очной формы обучения и 9 молодых (младше 39 лет) ученых (рис. 2).



Рис. 2. Участники экспедиции *TTR-19* (АНС48) в северо-восточное Баренцево море на НИС «Академик Николай Страхов»

Работы в пределах заявленного полигона исследований велись непрерывно в течение 18 сут (26.07–13.08.2020). Переход из порта убытия к полигону исследований составил 8 сут, а переход из полигона исследований к порту прибытия – 4 сут.

В пределах единого полигона исследований общей площадью около 85 000 кв. км несколько

районов детальных работ были покрыты батиметрической съемкой (общая площадь – 4 861 кв. км) с параллельным высокочастотным акустическим профилированием с набортным профилографом (всего 2 985 морских миль профилей). Также на полигоне выполнено несколько сейсмических профилей с использованием электроискрового источника типа «спаркер» (всего 215 морских миль профилей). На основании полученных данных в пределах районов детальных исследований определены места и выполнен донный пробоотбор 4-метровой ударной трубкой на 77 станциях (рис. 1).

Изучение эволюции четвертичного ледникового покрова

Широкое разнообразие ледниково-осадочных форм донного рельефа, хорошо сохранившихся на участках ограниченного айсбергового выпахивания и непогребенных в ходе последующей голоценовой седиментации, было идентифицировано на данных многолучевого эхолотирования в ходе экспедиции. Эти формы были отнесены к подледниковым и окраинно-ледниковым и классифицировались на основании морфологического сравнения с формами, ранее описанными в научной литературе, например в «Атласе подводных форм рельефа ледникового происхождения» (Dowdeswell et al., 2016b):

1. В изученном районе весьма распространены протяженные, линейные или очень полого изгибающиеся в плане донные формы (рис. 3, А и 3, Г). Они представлены группами параллельных гряд, до первых метров в высоту, отстоящих друг от друга на расстоянии от 50 до 200 м. Реже отмечались одиночные валы до первых десятков метров в высоту. Такие сопряженные, линейно вытянутые гряды и понижения интерпретировались как проявления так называемой мегамасштабной ледниковой линейности (англ. *MSGL – mega-scale glacial lineation*) (Clark, 1993; Dowdeswell et al., 2016a). Они ориентированы в направлении движения ледника в прошлом, и их формирование объясняется деформированием мягких подледниковых осадочных накоплений под действием налегающего, активного и быстро движущегося ледникового потока (King et al., 2009).

2. Впервые в северо-восточном Баренцевом море обнаружены парные экзарационно-аккумулятивные образования (рис. 3, Б), известные ранее лишь в норвежском секторе и описанные в международной литературе, как *hill-hole pairs* (Ottesen et al., 2005; Hogan et al., 2010; Rise et al., 2016). Считается, что такие особые черты рельефа современного дна сформировались в результате гляциотектонических процессов (главным образом плакинга) под ледниковым покровом относительно небольшой мощности. Взаимная ориентировка сопряженных положительных и отрицательных форм указывает на направление движения палеоледника. Осадочные холмы всегда располагаются ниже по течению ледового потока, за депрессиями и/или бороздами. Холмы сложены материалом, мобилизованным движущимся ледником при выпахивании соответствующей депрессии, что может быть продемонстрировано прямым сопоставлением объемов отрицательных и положительных форм. По одной из гипотез, формирование таких парных образований происходило на участках, где в приповерхностных частях подледникового субстрата образовывались природные гидраты метана (Winsborrow et al., 2016).

3. Обнаружены и детально закартированы три крупных канала (до 70 м глубиной, приблизительно 2 км шириной, протяженностью до 60 км), врезанных в дно в районе исследований (рис. 3, В). Все они извилистые в плане; характеризуются крайне неровной, вертикально ундулирующей поверхностью тальвега; замыкаются на обоих концах выполаживанием в небольшие плоские депрессии или сужением до полного исчезновения. Такие же формы, иногда называемые туннельными долинами, ранее обнаруживались в центральных частях Баренцева моря (Vjarnadóttir et al., 2017). Они, вероятно, формировались в условиях системы перераспределения нагнетаемого давления подледниковых талых вод. Эти системы должны ориентироваться субпараллельно градиенту давления воды, формируемому под ледниковыми щитами и обычно направленному к периферии ледового покрова. Следовательно, направление ледниковых потоков в прошлом было субпараллельно нынешнему направлению обнаруженных каналов.

4. На отдельных участках исследуемого района закартированы области компактного распространения небольших осадочных валов (неправильной, слабо извилистой в плане формы, протяженностью в первые километры; первые метры в высоту; на расстоянии десятков метров друг от друга) (рис. 3, Г). Такие участки главным образом расположены на относительно

мелководье, тяготеют к бортам крупных мегажелобов. Валы-гряды, вероятно, были сформированы на внешней кромке налегания шельфового ледника, параллельно отступающей морской окраине ледового щита (Ottesen and Dowdeswell, 2006). Они должны быть ориентированы перпендикулярно направлению течения ледового потока. Такие гряды иногда называют «морены Де Гира» (Lindén and Möller, 2005). Особенности их распространения предположительно объясняются кратковременным сезонным наступанием ледникового фронта на фоне общей дегляциации – во время наступания (зимой) фронт ледника толкает вперед осадочный материал и формирует небольшую осадочную грядку, которая затем хорошо сохраняется, так как в целом (следующим летом) ледниковый край существенно отступает за счет отрыва айсбергов, которые, в свою очередь, при отрыве от массива льда просаживаются и также способны формировать на дне небольшие осадочные валы.

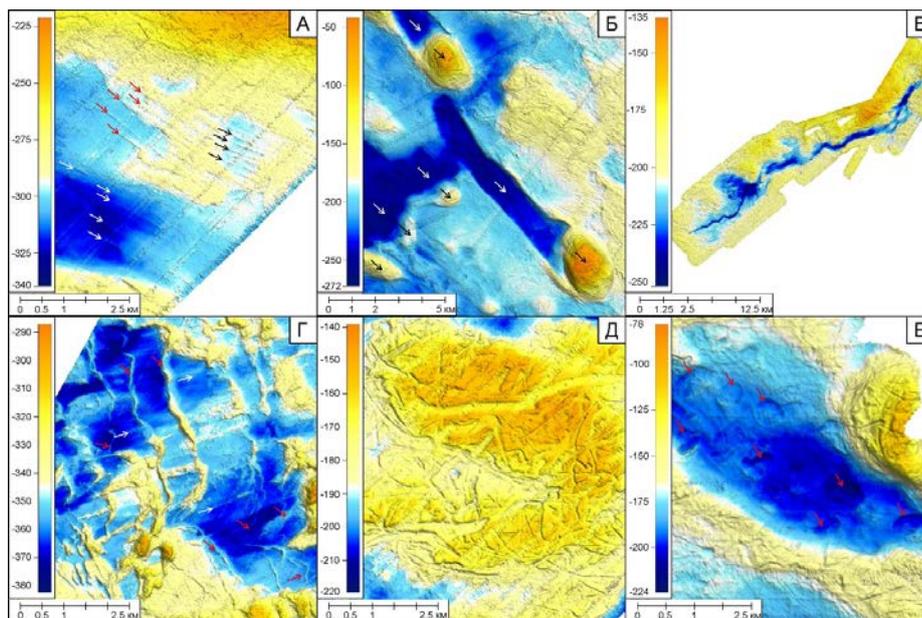


Рис. 3. Примеры подледниковых и окраинно-ледниковых форм рельефа дна СВ Баренцева моря, закартированных в экспедиции TTR-19 (АНС48) на НИС «Академик Николай Страхов»: А – мегамасштабная ледниковая линейность (MSGL); Б – парные экзарационно-аккумулятивные образования *hill-hole pairs*; В – туннельная долина; Г – гряды морены Де Гира (красные стрелки), наложенные на мегамасштабную ледниковую линейность (белые стрелки); Д – борозды айсбергового выпаживания; Е – «кратеры гидратного взрыва»

Большая часть поверхности дна современного Баренцева моря изрыта бороздами айсбергового выпаживания, особенно на относительно мелководных участках, характеризующихся современной глубиной моря менее 260 м (рис. 3, Д). В этих зонах айсберговое выпаживание в значительной степени или нацело уничтожило подледниковые и окраинно-ледниковые формы палеорельефа, поэтому следы движения ледниковых потоков в прошлом не сохранились.

Следуя подходу Vjarnadóttir et al. (2014), среди закартированных донных форм ледникового рельефа выделены те, которые относятся к ранней фазе (полное оледенение), и те, которые отмечают позднюю стадию (фаза дегляциации) эволюции поздне-валдайских ледниковых потоков. Крупные шельфовые желоба рассматриваются как следы полного оледенения или ранней стадии развития ледниковых потоков. Элементы мегамасштабной ледниковой линейности и другие вытянутые по направлению палео-ледниковых потоков донные формы, в принципе, могли сформироваться и на ранней, и на поздней стадии оледенения. Определяющим для их формирования является активный и быстро движущийся ледниковый поток (Greenwood et al., 2012). Образование участков окраинно-ледниковых осадочных гряд относится к поздней фазе поздне-валдайского оледенения или дегляциации региона. Каналы, сформированные тальми водами, также, скорее всего, отмечают время дегляциации, поскольку объем тальных вод существенно увеличивается при региональном подъеме температуры. Парные экзарационно-аккумулятивные формы подледникового рельефа, вероятно, образовывались под

относительно тонким слоем льда, когда базальные температуры были близки к точке таяния (Dowdeswell et al., 2016a), и, следовательно, во время дегляциации.

Следы ледниковых потоков в ранее малоизученном районе южнее Земли Франца Иосифа и между Землей Франца Иосифа и Новой Землей указывают на преобладающее движение ледников в восточном и северо-восточном направлении, в сторону желоба Святой Анны. Направления движения ледниковых потоков в раннюю и позднюю стадию оледенения были одинаковыми. Большой ледниковый «водораздел» (скорее в виде вытянутого гребня, чем в форме изометричного купола) существовал примерно на 76–77 широте в восточной части Баренцевоморского шельфа, а на относительно мелководной седловине Страхова, между впадиной Седова и Восточно-Баренцевоморским желобом, локального ледникового «водораздела» не существовало.

Исследования газо- и флюидонасыщенности донных отложений

Северо-восточный сектор Баренцева моря является одним из наименее изученных районов западной Российской Арктики, в котором общедоступные сведения о результатах исследований газо- и флюидонасыщенности донных отложений крайне скромны по объему и плохо систематизированы. В связи с этим конкретные объекты детальных геохимических исследований и положение станций донного пробоотбора определялись по большей части непосредственно в ходе проведения экспедиции на основании анализа данных выполненных дистанционных исследований – многолучевого эхолотирования и сейсмоакустического профилирования. Отобранный керн детально документировался, из него отбирались образцы на битуминологические исследования и определения состава газовой фазы. Образцы изучались в лабораториях МГУ имени М. В. Ломоносова.

Результаты выполненных исследований позволяют судить о широком распространении в пределах изученного района маломощных четвертичных накоплений, перекрывающих коренные отложения мелового возраста. Четвертичный комплекс представлен в нижней части познеплейстоценовыми плотными и слабопроницаемыми глинами (моренами), которые сменяются вверх по разрезу слабоконсолированными голоценовыми илами (нормально морскими осадками). В результате геохимического анализа порового газа установлено, что донные осадки северо-восточной части шельфа Баренцева моря характеризуются крайне низким содержанием метана. Фоновые концентрации составили 1–5 ppm, а максимальные не превышали 85 ppm. Гомологи метана (C2–C5) присутствуют в следовых количествах. Анализ органического вещества демонстрирует преимущественно маслянисто-смолисто-асфальтеновый состав в «фоновых» станциях и присутствие легких компонентов в некоторых станциях, отнесенных к «аномальным».

В целом очень низкие концентрации углеводородов в опробованных донных илах потребовали уделить особое внимание дополнительным индикаторам углеводородной разгрузки, таким как: аномалии на сейсмоакустических данных, характерные для зон флюидоразгрузки формы рельефа, повышенные концентрации поровых неуглеводородных газов, следы дегазации осадка в виде небольшого вздутия керна, наличие в керне каналов дегазации, неравномерное уплотнение осадка, высокое содержание гидротроилита в осадках и распространение метан-потребляющих организмов *Rogorophora*.

На участках, где, по данным акустического профилирования и сейсморазведки, коренные породы перекрыты маломощным слоем четвертичных отложений, а также в зонах выходов тектонических нарушений на поверхность морского дна, зарегистрированы повышенные содержания метана (до 15 ppm) в донных осадках. Установлено также, что акустические аномалии типа «яркого пятна», часто приуроченные к подошве ледниковых накоплений, тоже связаны с повышенной газонасыщенностью осадка. Концентрации метана в отложениях над такими «яркими пятнами» достигали 16 ppm, а в одной станции были 85 ppm.

Опробовались обнаруженные в ходе съёмки дна многолучевым эхолотом воронкообразные структуры на дне (предположительно «покмарки» и «кратеры гидратного взрыва» (рис. 3, Е) и парные экзарационно-аккумулятивные образования типа *hill-hole pairs* (рис. 3, Б)). Формирование подобных структур некоторые исследователи связывают с фокусированной современной или по крайней мере палео-флюидоразгрузкой (Hovland and Judd, 1988; Winsborg et al., 2016; Andreassen et al., 2017). Действительно, геохимические исследования показали повышение концентрации метана в поровом газе, а также присутствие легких

битумоидов в донных отложениях.

Анализ собранного в экспедиции материала показал, что зоны флюидоразгрузки, выявляемые при геохимических исследованиях донных илов, ассоциированы в большинстве случаев с различными аномалиями на данных сейсмоакустического профилирования и с характерными структурами в рельефе дна. Доказано, что фациальная картина распределения разных типов четвертичных отложений и, в частности, высокая уплотненность и низкая проницаемость позднеплейстоценовых морен существенным образом определяют конфигурацию поверхностных геохимических полей, а корректная интерпретация данных геохимических анализов невозможна без учета литологического контроля флюидонасыщенности донных накоплений.

Опытно-методические работы по определению физико-механических свойств донных грунтов

В ходе рейса начата отработка комплекса геолого-геофизических методов по определению физико-механических свойств донных грунтов, проанализировано влияние состава и строения верхней осадочной толщи на скорости прохождения продольных волн в осадках, а также на их гидрогеологические и инженерно-геологические свойства.

Разнообразный литологический состав и прочностные характеристики определяют то, что донные осадки изученного района Баренцевоморского шельфа характеризуются большим разбросом значений скоростей распространения продольной волны (от 1100 до 2200 м/с). Самые верхние современные морские осадки характеризуются скоростями около 1500 м/с. В слабо- и среднеуплотненных ледниково-морских отложениях регистрируются скорости распространения волны около 1650 м/с. Плотные моренные накопления показывают типичные скорости около 1750 м/с. Для всех основных типов грунтов, распространенных в районе исследований, скорости прохождения продольной волны хорошо коррелируются с данными замеров недренированной прочности с использованием полевой «микрокрыльчатки».

Заключение

В ходе мультидисциплинарной научно-образовательной экспедиции *TTR-19* (АНС48) по программе «Обучение-через-исследование (Плавучий Университет)» («*Training-through-Research (Floating University)*»):

- получены уникальные данные о ледниковых формах рельефа дна в малоизученном секторе Баренцева моря, заставляющие пересмотреть представления об эволюции четвертичного ледникового покрова в этом регионе и структуре Евразийского ледникового щита в целом;
- определены районы повышенной концентрации флюидов в донных илах, свидетельствующие об активности углеводородных систем осадочного бассейна и перспективах на поиски нефти и газа;
- собрана обширная коллекция образцов донных отложений и флюидов для дальнейшего изучения с целью геологической характеристики района исследований;
- выполнен ряд успешных экспериментов, способствующих усовершенствованию методики комплексных геолого-геофизических и геохимических морских исследований в полярных районах;
- более тридцати студентов, аспирантов и молодых ученых получили навыки практических научных исследований в условиях арктических экспедиций, сбора и первичной обработки геолого-геофизического и геохимического материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Andreassen K., Hubbard A., Winsborrow M., Patton H., Vadakkepuliambatta S., Plaza-Faverola A., Gudlaugsson E., Serov P., Deryabin A., Mattingsdal R., Mienert J., Bünz S., 2017. Massive blow-out craters formed by hydrate-controlled methane expulsion from the Arctic seafloor. *Science*, 356, pp. 948-953.
2. Bjarnadóttir, L.R., Winsborrow, M.C.M. and Andreassen, K., 2014. Deglaciation of the central Barents Sea. *Quaternary Science Reviews*, v. 94, p. 208-226.
3. Bjarnadóttir, L.R., Winsborrow, M.C.M. and Andreassen, K., 2017. Large subglacial meltwater features in the central Barents Sea. *Geology*, v. 45, p. 159-162
4. Clark, C.D., 1993. Mega-scale glacial lineations and crosscutting ice-flow landforms. *Earth Surface Processes and*

Landforms, v. 18, p. 1–19.

5. Dowdeswell, J.A., Canals, M., Jakobsson, M., Todd, B.J., Dowdeswell, E.K. and Hogan, K.A., 2016a. The variety and distribution of submarine glacial landforms and implications for ice-sheet reconstruction. In: Dowdeswell, J.A. et al., (eds). *Atlas of Submarine Glacial Landforms: Modern, Quaternary and Ancient*. Geological Society, London, *Memoirs*, v. 46, p. 519-552.
6. Dowdeswell, J.A., Canals, M., Jakobsson, M., Todd, B.J., Dowdeswell, E.K. and Hogan, K.A., (eds), 2016b. *Atlas of Submarine Glacial Landforms: Modern, Quaternary and Ancient*. Geological Society, London, *Memoirs*, v. 46, 614 pp.
7. Greenwood, S.L., Gyllencreutz, R. Jakobsson, M. and Anderson, J.B., 2012. Ice-flow switching and East/West Antarctic Ice Sheet roles in glaciation of the western Ross Sea. *Geological Society of America Bulletin*, v. 124, p. 1736-1749.
8. Hogan, K.A., Dowdeswell, J.A., Noormets, R., Evans, J. and Ó Cofaigh, C., 2010. Evidence for full-glacial flow and retreat of the Late Weichselian ice sheet from the waters around Kong Karls Land, eastern Svalbard. *Quaternary Science Reviews*, v. 29, p. 3545-3562.
9. Hovland M., Judd A.G., 1988. *Seabed Pockmarks and Seepages: Impact on Geology, Biology and Marine Environment*, 293 p.
10. King, E.C., Hindmarsh, R.C. and Stokes, C.R., 2009. Mega-scale glacial lineations beneath a West Antarctic ice stream. *Nature Geoscience*, v. 2, p. 585-588.
11. Lindén, M. and Möller, P., 2005. Marginal formation of De Geer moraines and their implications to the dynamics of grounding-line recession. *Journal of Quaternary Science*, v. 20, p. 113–133.
12. Ottesen, D. and Dowdeswell, J.A., 2006. Assemblages of submarine landforms produced by tidewater glaciers in Svalbard. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 111, doi:10.1029/2005JF000330.
13. Ottesen, D., Dowdeswell, J.A. and Rise, L., 2005. Submarine landforms and the reconstruction of fast-flowing ice streams within a large Quaternary ice sheet: The 2500-km-long Norwegian-Svalbard margin (57-80°N). *Geological Society of America Bulletin*, v. 117, p. 1033-1050.
14. Rise, L., Bellec, V.K., Ottesen, D., Bøe, R. and Thorsnes, T. 2016. Hill-hole pairs on the Norwegian continental shelf. In: Dowdeswell, J.A., Canals, M., Jakobsson, M., Todd, B.J., Dowdeswell, E.K. and Hogan, K.A. (eds), *Atlas of Submarine Glacial Landforms: Modern, Quaternary and Ancient*. Geological Society, London, *Memoirs*, v. 46, p. 203-204.
15. Winsborrow M., Andreassen K., Hubbard A., Plaza-Faverola A., Gudlaugsson E., Patton H. 2016. Regulation of ice stream flow through subglacial formation of gas hydrates. *Nature Geoscience* 9(5), pp. 1-6.

Исследования седиментосистем Европейской Арктики в 80-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш»

А.А. Клювиткин, Н.В. Политова, А.Н. Новигатский, М.Д. Кравчишина*

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

**e-mail: klyuvitkin@ocean.ru*

Западная часть Евразийской Арктики играет ключевую роль в системе формирования климата Земли. Процессы, определяющие температуру в Арктике, – это одни из наиболее чувствительных элементов окружающей среды. В условиях изменяющегося климата это определяет актуальность получения нового материала для изучения современных условий и процессов осадконакопления и реконструкций климатических изменений на основе комплексных геолого-геохимических и микропалеонтологических исследований на границе взаимодействия Северного Ледовитого океана и Северной Атлантики [Клювиткин и др., 2019; Кравчишина и др., 2019; Лисицын, 2014].

С 31 июля по 26 августа 2020 г. в 80-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» проводились комплексные исследования Европейской Арктики. Работы выполнялись в Норвежском и Баренцевом морях, а также во впадине Нансена, Северный Ледовитый океан (рис. 1).

Основными задачами экспедиции были сопряженные седименто-биогеохимические и геологические исследования системы рассеянное осадочное вещество приводного слоя атмосферы и водной толщи – верхний слой осадка – подстилающая толща донных отложений; количественная оценка процессов и потоков, что является качественно новым этапом в исследовании среды и климата Арктики; получение новых данных о пространственном распределении и вертикальной структуре рассеянного осадочного вещества Норвежского и Баренцева морей; анализ межгодовой изменчивости в зависимости от океанологических и гидрометеорологических условий; оценка степени загрязнения экосистемы морей антропогенными углеводородами.

Выполнена 61 комплексная океанологическая станция, пройдено 4400 морских миль, получены уникальные данные о седиментационной системе Норвежского и Баренцева морей. Выполнен ряд разрезов субширотного и субмеридионального простирания, что позволит оценить сезонный перенос атлантических вод в арктический бассейн, уточнить положение Полярного фронта и его влияние на распределение и состав планктонных фитоценов и, соответственно, на особенности формирования водной взвеси.

Благодаря рекордному отступлению дрейфующих льдов на север проведены биогеохимические и геологические исследования вдоль кромки льда у подножия континентального склона Северного Ледовитого океана на широте 83°18' с. ш. Исследовано обширное цветение кокколитофорид в южной части Баренцева моря.

Выполнены исследования гидрологической структуры и распространения в водной толще гидротермального плюма на вулканическом поле Ян-Майен на юге хребта Мона; изучены структурные особенности строения хребта Мона. Отобраны пробы воды, взвеси, образцы изверженных пород, железо-марганцевые и карбонатные корки.

Исследования основных атмосферных парниковых газов с помощью газоанализатора *G2132-i Picarro Inc.* [Скорород и др., 2016] показали, что в Северной Атлантике фоновые концентрации метана составили 1.8–1.9 ppm. Резкие пики метана величиной до 2.1 ppm были зафиксированы при пересечении осевой части Ян-Майенского трансформного разлома (Н = 2500 м), повторно небольшой пик был зафиксирован на более молодом по геологическому возрасту северном борту этого трансформного разлома. Также был зафиксирован пик метана величиной до 2.0 ppm в районе гидротермального поля Троллвегген, хребет Мона (Н = 550 м).

В желобе Стурфьорд в области распространения холодных метановых сипов [Åström et al., 2016] при фиксации эхолотом в водной толще факела около ста метров высотой на глубине 385–480 м (см. рис. 3) концентрации метана в приводном слое атмосферы плавно повышались до 1.98 ppm. Вдоль восточного побережья Шпицбергена вдоль Земли и бассейна Короля Карла

зафиксировано общее повышение метана до 1.98 ppm. В это время судно пересекало поверхностный гидрологический фронт с падением температуры на 2 °С. В желобе Франц-Виктория также зафиксировано общее повышение метана с отдельными пиками до 2.01 ppm. Интересно отметить, что и вдоль ледовой кромки на 83° с. ш. обнаружены высокие содержания метана, достигавшие 2.02 ppm.

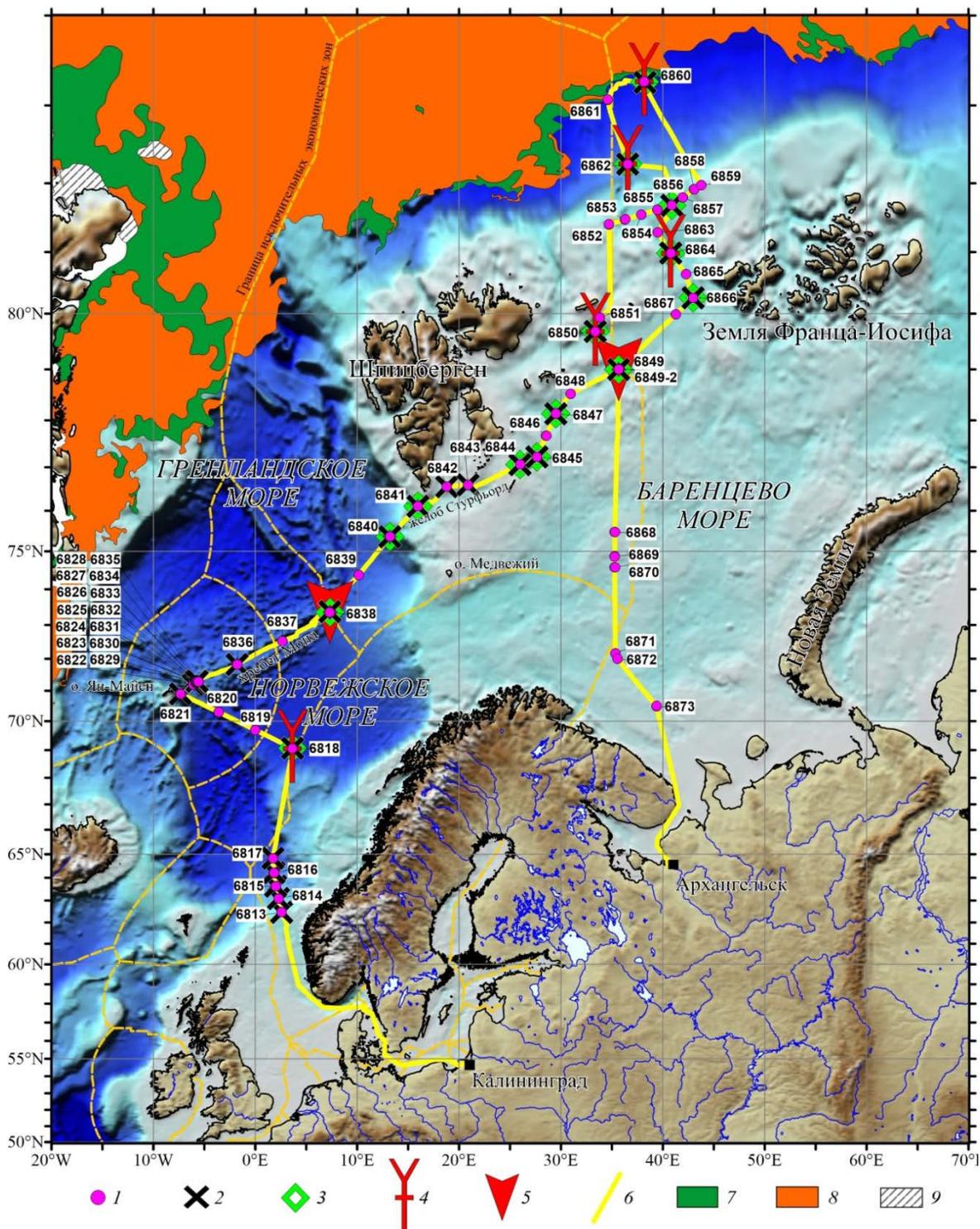


Рис. 1. Маршрут экспедиции и выполненные работы, 80-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш», июль – август 2020 г., с анализом ледовой обстановки на 16–18 августа 2020 г. [http://www.aari.ru/odata/_d0015.php]: 1 – комплексные океанологические станции; 2 – отбор донных осадков ДЧ; 3 – отбор донных осадков МК; 4 – отбор донных осадков ТБД; 5 – подъем / постановка АГОС; 6 – путь судна; 7 – сплоченность льда 1–6 баллов; 8 – сплоченность льда 7–10 баллов; 9 – припай

Гидрооптические и биооптические исследования. Использование проточной системы на ходу судна позволило получить в поверхностном слое по всему маршруту экспедиции непрерывное распределение интенсивностей флуоресценции растворенного органического вещества (РОВ) и хлорофилла (Хл), а также температуры и солёности (рис. 2). Выделены два основных типа поверхностных вод: теплые солёные атлантические и холодные распресненные арктические. Наибольшие значения интенсивностей флуоресценции и показателя ослабления света зарегистрированы в области фронтальных разделов.

Первичная продукция (ПП). Полученные количественные оценки ПП показали, что ее величины в период исследований различались в 130 раз. На трех станциях в Норвежском море интегральная ПП составляла (736 ± 315) $\text{мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$. У острова Западный Шпицберген на станции 6841 ее значения заметно снижались (до $246 \text{мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$). Дальше по маршруту экспедиции в Баренцевом море и Северном Ледовитом океане величины ПП опускались еще ниже. В Баренцевом море наиболее продуктивными оказались воды вблизи восточных островов архипелага Шпицберген ($109\text{--}207 \text{мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$), а также в районе цветения кокколитофорид ($149 \text{мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$). В Северном Ледовитом океане максимальная ПП была измерена вдоль ледовой кромки (352 и $177 \text{мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$).

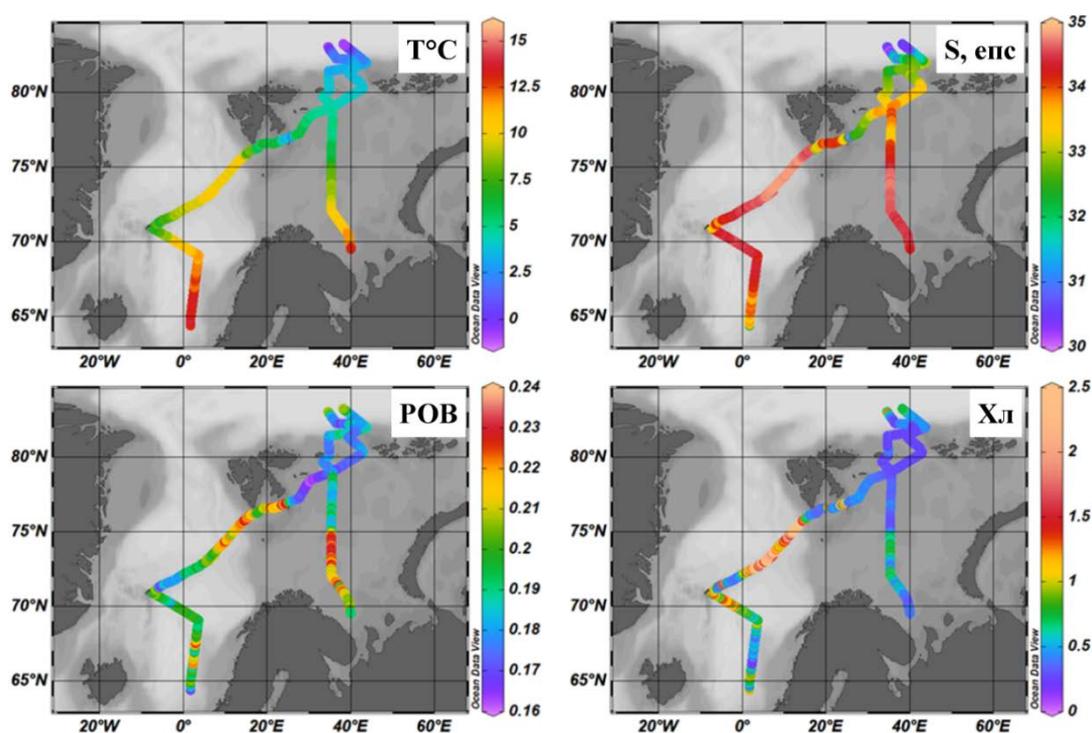


Рис. 2. Распределения температуры (Т), солёности (S) и интенсивностей флуоресценции РОВ и Хл в поверхностном слое вод

Рассеянное осадочное вещество – водная взвесь (ВВ). Массовые концентрации ВВ характеризовались значительной изменчивостью, как по вертикали на станциях, так и по площади, и невысокими значениями, характерными для середины лета приполярных морей. Концентрации ВВ менялись от 0.03мг/л до 1.9мг/л (среднее 0.32мг/л), при этом 75 % значений были менее 0.25мг/л .

Наибольшие концентрации ВВ в поверхностном слое наблюдались на границе льда и в районе развития кокколитофоридного цветения в Баренцевом море. При этом максимумы ВВ в районе цветения приурочены к поверхностному горизонту, а в других районах заглублены до 10–45 м. В целом по вертикали наибольшие концентрации ВВ были приурочены к верхним 20–40 м – деятельному слою. В более глубоких слоях происходило резкое убывание ВВ. На отдельных станциях в придонных горизонтах выявлено наличие нефелоидного слоя с повышенными концентрациями ВВ.

Концентрация хл *a* варьирует от 0.0005 до 13мкг/л (среднее 0.4мкг/л). Наибольшие концентрации наблюдались в зоне прикромочного цветения фитопланктона во впадине Нансена.

Вертикальное распределение хл *a* характеризуется максимумом преимущественно в подповерхностном горизонте (на глубине 20–40 м) и резким убыванием на большей глубине. В целом пики концентраций хл *a* совпадают с пиками концентраций ВВ (за исключением района кокколитофоридного цветения).

Для объемной концентрации взвеси характерны те же закономерности, что и для массовой концентрации. Объемная концентрация взвеси, измеренная лазерным анализатором частиц LISST-Deer, достигла максимальных значений 25 мкл/л (ст. 6873, 25 м) в районе цветения кокколитофорид на юге Баренцева моря.

Вертикальные потоки осадочного вещества. В ходе экспедиции осуществлялись постановка, поиск и подъем временных и ранее поставленных (75-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш», июнь 2019 г. [Клювиткин и др., 2020]) автоматических глубоководных седиментационных обсерваторий (АГОС) с седиментационными ловушками, измерителями течений и профилографами состояния среды.

Первичная обработка проб, собранных на годовой АГОС (ст. 6838, июнь 2019 г. – май 2020 г.), выявила в подповерхностном (500 м) и глубинном (2490 м) слоях четко выраженный синхронный годовой ход потоков вещества. Наибольшие потоки приходятся на июнь – сентябрь 2019 г. с абсолютным максимумом в июле. С декабря 2019 г. по март 2020 г. потоки минимальны, отмечается небольшое увеличение количества осадочного вещества в апреле и мае 2020 г.

На кратковременной АГОС в Баренцевом море (ст. 6849) получены высокие значения потоков с максимумом в придонном горизонте 275 м (327 мг/м²/сут). Несколько ниже поток в подповерхностном слое 100 м (288 мг/м²/сут). Минимум потока выявлен на промежуточном горизонте 195 м (175 мг/м²/сут). При этом наибольшие потоки хлорина отмечаются в глубоководных слоях, достигая своего максимума 390 мкг/м²/сут на 195 м. Содержание феофитина в потоке составило 60–70 %, что указывает на относительно невысокую степень трансформации хлорофилла в процессе осаждения в водной толще.

Геологические исследования. Пробоотбор донных осадков проводился дночерпателем «Океан-50», мультикорером *KUM Mini Muc K/MT 410* и ударной геологической трубкой большого диаметра ТБД по результатам батиметрических работ, оценивался состав и цвет осадков, выполнялось литописание, исследования спектрофотометрическим и магнитометрическим методами. Проведены микропалеонтологические работы по отбору современных бентосных сообществ фораминифер. Одним из ключевых направлений исследования осадков был блок работ в районах срединных океанических хребтов Норвежско-Гренландского бассейна, а также в зонах метановых высачиваний из донных отложений баренцевоморского шельфа. Исследованы холодные метановые сипы к югу от Шпицбергена в желобе Стурфьорд. На южном борту желоба Франц-Виктория на глубинах 260–300 м обнаружены ранее неизвестные газовые сипы с выраженным атмосферным откликом по измерениям газоанализатора *G2132-i Picarro Inc.* Максимальная высота газовых факелов составила 70 м (рис. 3).

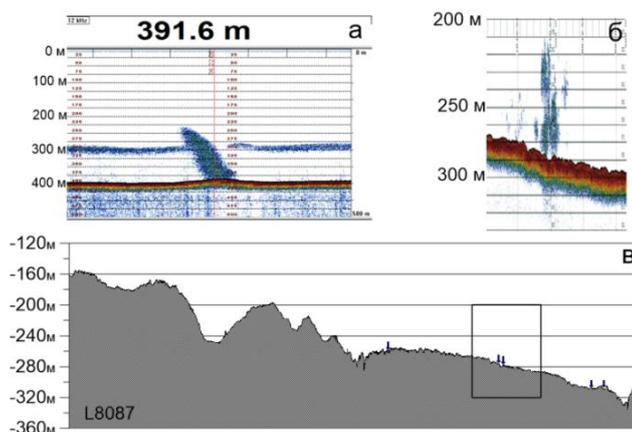


Рис. 3. Фрагменты эхограмм с газовыми факелами в желобе Стурфьорд (а) и на склоне желоба Франц-Виктория (б); положение фрагмента эхограммы на склоне желоба Франц-Виктория показано прямоугольником на батиметрическом профиле (в). Стрелками отмечено положение газовых факелов, зарегистрированных во время рейса

Комплексная интерпретация первичных данных по визуальной литологии отобранных донных осадков, измерению физических параметров (магнитная восприимчивость, характеристики отраженного света *Lighness*, a^* , b^*), а также экспресс-анализ фораминифер позволили построить предварительную стратиграфическую схему колонки, отобранной в Лофотенской котловине Норвежского моря. Колонка АМК-6818 (557 см) вскрывает отложения стандартных изотопно-кислородных стадий (ИКС) 1–9 (рис. 4), охватывая временной интервал последних 330 тыс. лет. Средняя скорость осадконакопления в таком случае составила 1.7 см/тыс. лет, что согласуется с известной для глубоководных районов Норвежско-Гренландского бассейна информацией.

Авторы признательны капитану, команде и всему научному составу за помощь в экспедиции.

Экспедиция проведена в соответствии с планом морских экспедиций на научно-исследовательских судах Минобрнауки России. Финансирование судосуток осуществлялось из средств госзадания «Перевозка пассажиров и (или) грузов при обеспечении научных исследований».

Финансирование участия научной группы обеспечено грантами Российского научного фонда № 20-17-00157 (гидротермальные и термогенные процессы) и 19-17-00234 (эколого-геохимические исследования) и Российского фонда фундаментальных исследований № 19-05-00787 (потoki вещества), 19-05-50090 (микрочастицы).

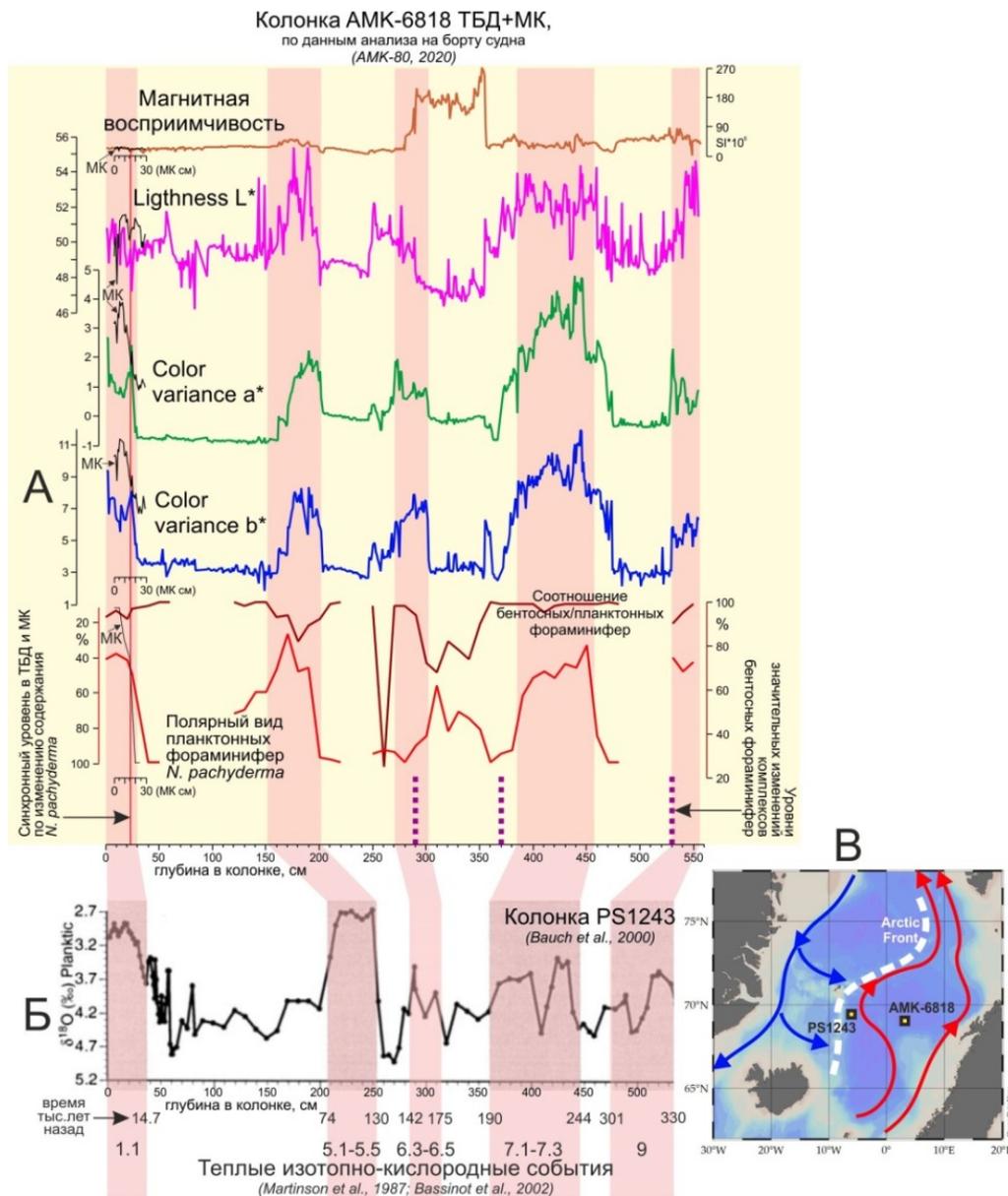


Рис. 4. Предварительная стратиграфия и корреляция колонки АМК-6818 ТБД и МК: А – данные анализа на борту судна; Б – корреляция с опорной колонкой PS1243; В – карта района колонки

В экспедиции принимали участие сотрудники 5 научных организаций: Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (организатор экспедиции), ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова, ФИЦ Институт биологии южных морей им С.О. Ковалевского РАН, Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН. Работы в экспедиции обеспечивали выполнение исследований по 8 темам государственного задания ИО РАН (№ 0149-2019-0007, 0128-2019-0011, 0149-2019-0005, 0149-2019-0013, 0149-2019-0008, 0149-2019-0010, 0149-2019-0006, **0149-2019-0003**), а также ФИЦ Биотехнологии РАН (№ 0104-2019-0011), ИОА СО РАН (№ 0368-2019-0002), ИФА РАН (№ 0129-2019-0002), ИГЕМ РАН (№ 0136-2019-0014), ФИЦ ИнБЮМ РАН (№ 0556-2020-0006).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ключиткин А.А., Кравчишина М.Д., Немировская И.А. и др. Исследование седиментосистем Европейской Арктики в 75-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» // Океанология. 2020. Т. 60. № 3. С. 485–487.
2. Ключиткин А.А., Новигатский А.Н., Политова Н.В., Колтовская Е.В. Исследования потоков осадочного вещества на многолетнем трансокеаническом разрезе в зоне взаимодействия Северной Атлантики и Арктики // Океанология. 2019. Т. 59. № 3. С. 454–465.
3. Кравчишина М.Д., Леин А.Ю., Боев А.Г. и др. Гидротермальные минеральные ассоциации на 71° с. ш. Срединно-Атлантического хребта (первые результаты) // Океанология. 2019. Т. 59. № 6. С. 1039–1057.
4. Лисицын А.П. Современные представления об осадкообразовании в океанах и морях. Океан как природный самописец взаимодействия геосфер Земли // Мировой океан. Т. II. / Отв. ред. Л.И. Лобковский, Р.И. Нигматулин. М.: Научный мир, 2014. С. 331–571.
5. Скороход А.И., Панкратова Н.В., Беликов И.Б., Томпсон Р.Л., Новигатский А.Н., Голицын Г.С. Атмосферный метан и его изотопный состав над морями Российской Арктики по результатам судовых измерений летом и осенью 2015 года // Доклады Академии наук. 2016. Т. 470. № 5. С. 580–584.
6. Электронный ресурс: http://www.aari.ru/odata/_d0015.php.
7. Åström E.K.L., Carroll M.L., Ambrose Jr. W.G., Carroll J. Arctic cold seeps in marine methane hydrate environments: impacts on shelf macrobenthic community structure offshore Svalbard // Marine Ecology Progress Series. 2016. V. 552. P. 1–18.
8. Bauch H.A., Erlenkeuser H., Helmke J.P., Struck U. A paleoclimatic evaluation of marine oxygen isotope stage 11 in the high-northern Atlantic (Nordic seas) // Glob. Planet. Change. 2000. V. 24. P. 27–39.
9. Martinson D.G., Pisias N.G., Hays J.D., Imbrie J., Moore T.C., Shackleton N.J. Age dating and the orbital theory of the ice ages: Development of a high-resolution 0 to 300,000-year chronostratigraphy // Quat. Res. 1987. V. 27. P. 1-30.
10. Bassinot F.C., Waelbroeck C. Shipboard scientific party. IMAGES VII Cruise Report // Les Publications de l'Institut François pour la Recherche et la Technologie Polaires. 2002. No. 1. 435 pp.

Комплексные исследования трансформации гидрологических и биогеохимических режимов Онежского залива Белого моря под влиянием климатических и антропогенных изменений в июле 2020 года

А.В. Толстик¹, Н.Е. Галахина¹, Р.Э. Здоровеннов¹, Т.А. Белевич², А.П. Георгиев¹

¹Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр РАН», Институт водных проблем Севера, Петрозаводск, Россия

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

В период с 3 по 10 июля на Белом море была проведена комплексная экспедиция, состоящая из двух этапов: морские исследования (разрез в Западной Соловецкой салме и разрез в Онежском заливе), исследования в устьевых областях р. Нижний Выг и р. Кемь (рис. 1). Цель экспедиции: выполнение комплексных исследований трансформации гидрологического и биогеохимического режима Белого моря под влиянием приливных процессов на основе методов анализа данных контактных и спутниковых наблюдений, а также математического моделирования. В задачи работы входило: выполнить работы по двум разрезам (Западная Соловецкая салма; Онежский залив), провести синхронные измерения гидрологических характеристик (температура, соленость) и биогеохимических параметров (содержание хлорофилла *a*, концентрация биогенных элементов); определить таксономический состав, численность, биомассу фитопланктона на пяти станциях, включая вертикальное распределение в пределах фотической зоны; выполнить комплексные работы в устьевых областях р. Кемь и р. Нижний Выг.

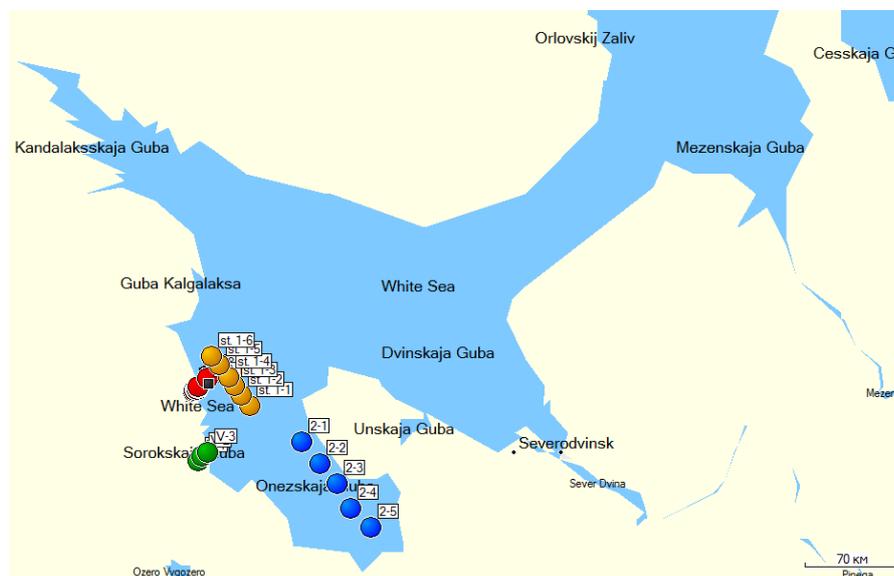


Рис. 1. Район исследований в экспедиции

Измерения гидрофизических параметров производились с помощью зондов *CTD90M Sea & Sun Technology* (Германия) и *RBRConcerto* (Канада). Гидрофизические измерения проводились на всех станциях. На рис. 2 представлено распределение температуры, солености, мутности и хлорофилла *a* в фазу прилива и фазу отлива эстуария р. Кемь.

Комплексные исследования в эстуарии р. Кемь продолжают работы предыдущих лет по темам госзадания ИВПС КарНЦ РАН. Результаты 2020 г. по распределению различных параметров хорошо согласуются с данными, полученными ранее [1]. Так, наиболее выраженная фронтальная зона расположена в районе станций К-3–К-4, на склоне перепада глубин от 1 до

7 м. Распределение температуры, солености, хлорофилла *a* на отливе стратифицировано в яме (К-1–К-4).

Гидрохимические и гидробиологические исследования проводились в устьевых областях рек Нижний Выг и Кемь и на станциях разрезов (1-6, 2-1, 2-3, 2-5) в фазу прилива и фазу отлива. Гидрохимические исследования выполнены на разрезе 2, в устьевых областях р. Нижний Выг (ст. V-1–V-3) и р. Кемь (ст. К-1–К-8) (рис. 1). На химический анализ отобрано 43 пробы воды, из них 2 пробы – речная вода; 7 – из зоны смешения, 34 – морская вода. В пробах воды устьевых областей определен минеральный состав (электропроводность, HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-}), величина pH, содержание органического вещества (ОВ) (цветность, ПО, Сорг, ХПК, гумусовые вещества), биогенные элементы (БЭ) (Si , $P_{\text{мин}}$, $P_{\text{общ}}$, NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , $\text{N}_{\text{общ}}$), микроэлементы (Fe, Mn), взвешенное вещество и загрязняющие вещества (нефтепродукты и тяжелые металлы), а в пробах морской воды – только содержание БЭ. Химические анализы были выполнены в лаборатории гидрохимии и гидрогеологии ИВПС КарНЦ РАН по соответствующим методикам [2].

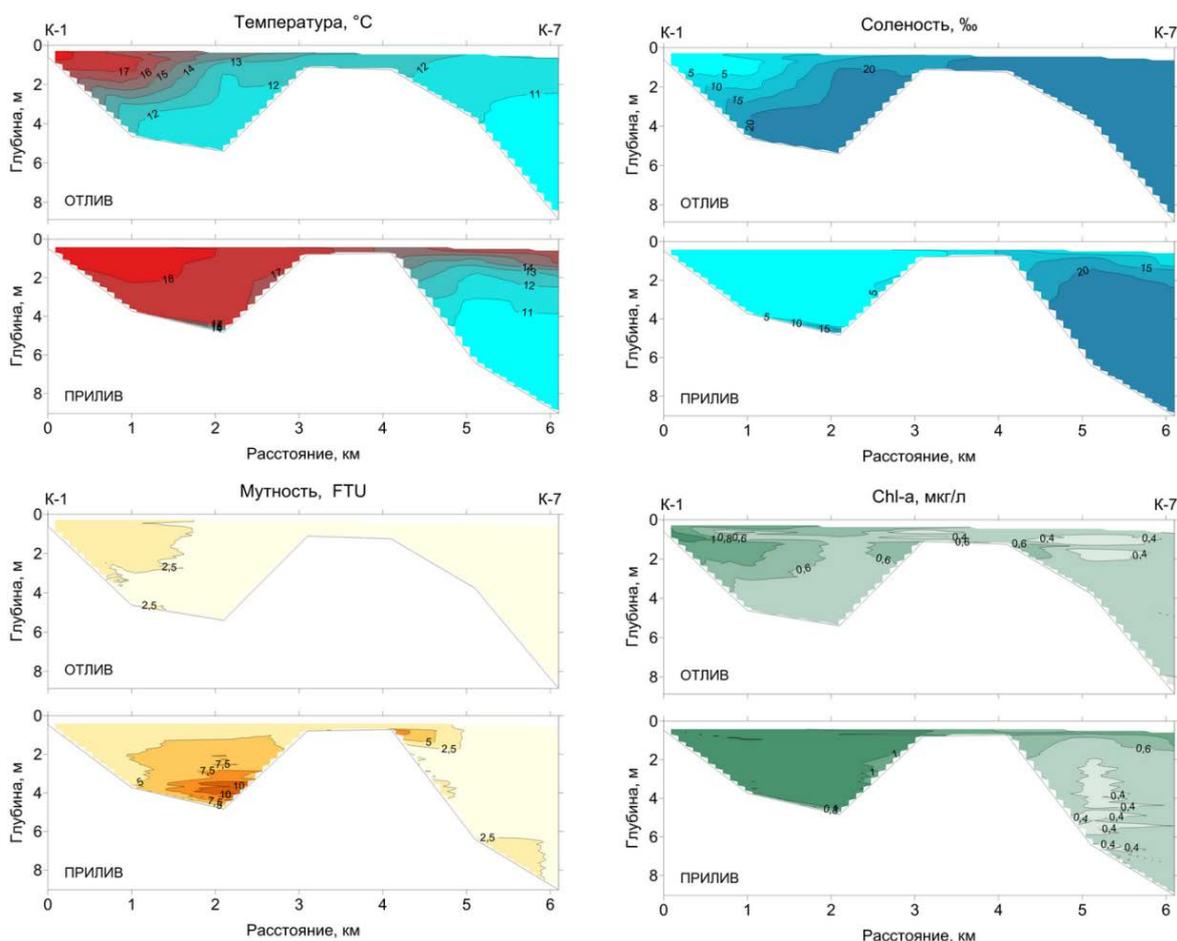


Рис. 2. Распределение температуры, в °С; солености, в ‰; мутности, в FTU; хлорофилла *a*, в мкг/л, в фазу прилива и отлива в эстуарии р. Кемь

Гидробиологические исследования включали в себя отбор проб для оценки видового состава, численности и биомассы фитопланктона (ФП), содержания хлорофилла *a* (ХЛ). Пробы воды для определения концентрации ХЛ и количественных параметров ФП отбирали 5-литровым батометром Нискина с 3-4 горизонтов (поверхностный, над и под пикноклином, придонный). Отбор был произведен на 22 станциях, расположенных в проливе Западная Соловецкая Салма (разрез 1), в юго-восточной части Онежского залива (разрез 2), устьевые области реки Выг (станции V-1–V-3) и реки Кемь (станции К-1–К-8) (рис. 1), всего отобрано и проанализировано 43 пробы на ФП и 71 проба на ХЛ. Отбор проб на разрезах был выполнен дважды – в фазу прилива и в фазу отлива.

Химический состав воды устьевых областей рек Нижний Выг и Кемь

Минеральный состав воды рек Ниж. Выг и Кемь существенно не различается, минерализация составляла 26.5 и 17.0 мг/л соответственно (табл. 1). В ионном составе обеих рек преобладали гидрокарбонат-ионы, ионы магния и натрия, а в р. Ниж. Выг – еще и анионы органических кислот, что свидетельствует о существенном вкладе аллохтонного органического вещества, поступающего с водосборной территории.

Таблица 1. Ионный состав воды устьевых областей рек в июле 2020 г.

Река	$\Sigma_{\text{ион}}$, мг/л	$\Sigma_{\text{кат}}$, ммоль-экв/л	%-экв.	Классификация по Алекину
Ниж. Выг	26.5	0.49	Mg34Na33Ca29K4	HCO ₃ , A _{орг} , Mg, Na
			HCO ₃ 42A _{орг} 34Cl13SO ₄ 11	
Кемь	17.0	0.23	Mg30Na30Ca26K13	HCO ₃ , Mg, Na, Ca
			HCO ₃ 57SO ₄ 26Cl13A _{орг} 4	

Вода исследованных устьевых областей рек существенно отличалась по содержанию фосфора. В соответствии с величиной P_{общ} р. Кемь классифицируется как мезотрофная, р. Ниж. Выг – эвтрофная [3]. В распределении форм азота в воде устьев рек преобладала органическая, тогда как концентрации минеральных форм достаточно низкие (табл. 2), что является характерным признаком поверхностных вод гумидной зоны [4]. Концентрация кремния не превышала 2 мг/л.

Таблица 2. Содержание биогенных элементов в воде рек в июле 2020 г.

Река	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	N _{общ}	P _{мин}	P _{общ}	Si
	мгN/л				мкг/л		мг/л
Ниж. Выг	0.001	0.001	0.002	0.58	16	57	1.2
Кемь	0.004	< 0.001	0.004	0.46	1	13	2.0

Распределение биогенных элементов в устьевых областях рек Ниж. Выг и Кемь в различные фазы имело сходные закономерности (рис. 3). От пресноводной станции к морской наблюдалось уменьшение содержания кремния в устьях обеих рек и P_{общ} в р. Ниж. Выг, что является закономерным, поскольку речной сток отличается повышенными концентрациями этих компонентов, а также отмечается увеличение концентрации N_{общ} за счет преобладания N_{орг}.

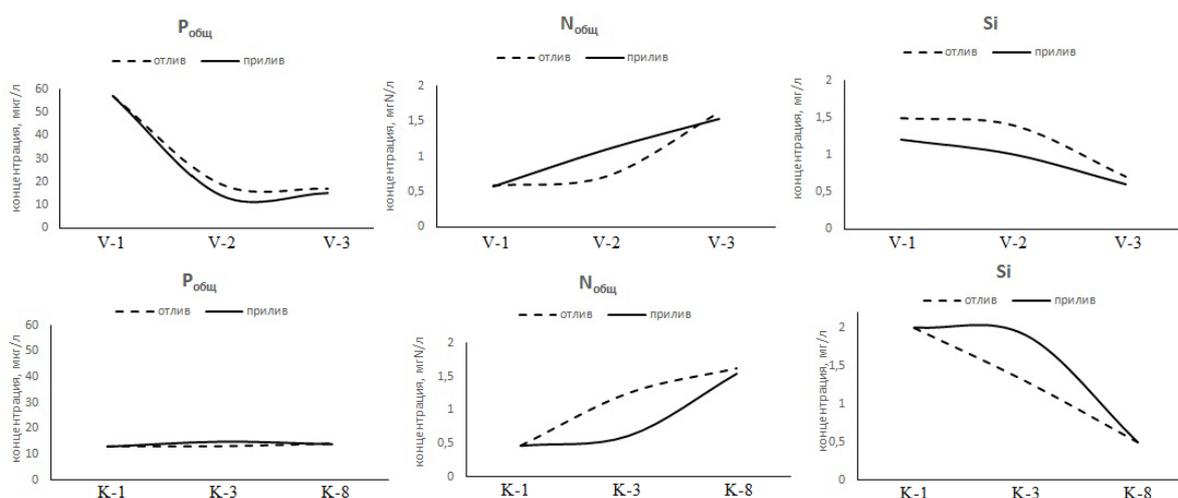


Рис. 3. Распределение БЭ в устьевых областях рек Ниж. Выг (V-1–V-3) и Кемь (K-1–K-8)

Вода устьев рек имела околонейтральную реакцию среды (табл. 3). Существенные различия наблюдались в содержании органического и взвешенного вещества. Так, концентрация $C_{орг}$ в р. Кемь составляла 7.5 мг/л, тогда как в р. Ниж. Выг – 13.6 мг/л, что в 1.8 раза выше. Различия в содержании взвешенного вещества составили 3.8 раза.

Для исследованных рек рассчитана величина гумусности (Hum) по следующей формуле [5]: $Hum = \sqrt{ЦВ \cdot ПО}$, где ЦВ – цветность; ПО – перманганатная окисляемость. Расчетное значение гумусности воды в р. Ниж. Выг составляет 44 ед., что соответствует мезополигумусному классу вод [3], для р. Кемь величина Hum меньше – 22 ед., то есть вода мезогумусная. Относительное содержание гумусовых веществ (ГВ), как основного компонента аллохтонного ОВ, в устьях рек близкое и варьирует в пределах 84–87 %, то есть ОВ в основном природное, поступающее с водосборной территории.

Таблица 3. Органическое и взвешенное вещество и рН в воде рек в июле 2020 г.

Река	ЦВ, град. Pt-Co шк.	ПО, мгО/л	ХПК, мгО/л	$C_{орг}$, мг/л	ГВ, % от общего ОВ	Hum	Взв. в-во, мг/л	рН
Ниж. Выг	122	16.1	36.7	13.6	87	44	10.7	6.7
Кемь	52	9.3	19.4	7.5	84	22	2.8	6.7

В воде исследованных устьевых областей рек выявлено превышение ПДК для рыбохозяйственных водоемов [6] по железу и марганцу, наибольшая концентрация $Fe_{общ}$ наблюдается в р. Ниж. Выг, она составляет 1,48 мг/л. Среди загрязняющих веществ в р. Ниж. Выг отмечается четырехкратное превышение ПДК для рыбохозяйственных водоемов по нефтепродуктам и более чем двукратное по меди [6]. Повышенное содержание $Fe_{общ}$, Mn и Cu является региональной геохимической особенностью вод региона, а не показателем загрязнения.

Таблица 4. Содержание нефтепродуктов, микроэлементов и тяжелых металлов в воде устьевых областей рек в июле 2020 г.

Река	Нефтепродукты	$Fe_{общ}$	Mn	Zn	Pb	Cu	Cd	Ni
	мг/л			мкг/л				
Ниж. Выг	0.20	1.48	0.03	3.4	0.39	2.3	< 0.01	1.4
Кемь	0.04	0.44	0.03	0.8	0.25	0.5	< 0.01	0.5
ПДК [6]	0.05	0.1	0.01	10	6	1.0	5	10

Гидрохимические исследования Онежского залива Белого моря

В воде Онежского залива Белого моря (ст. 2-1, 2-3, 2-5) в фазы отлива и прилива определено содержание биогенных элементов (табл. 6). В целом их распределение в Онежском заливе выглядит достаточно равномерно, за исключением NO_3^- и $P_{мин}$, концентрация которых на глубоководных станциях (ст. 2-1, 2-3) минимальна на поверхности и увеличивается ко дну. Основные изменения концентраций биогенных элементов в фотическом слое связаны с протеканием продукционно-деструкционных процессов, которые обуславливают в весенне-летний период минимальные концентрации минеральных форм азота и фосфора [7]. Полученная картина распределения биогенных элементов в воде Онежского залива в исследуемый период согласуется с характерной фазой развития фитопланктона Белого моря в июле.

Содержание минеральных форм азота и фосфора в июле 2020 г. меньше по сравнению с данными, полученными в сентябре 2019 г., тогда как концентрации $N_{орг}$ и, соответственно, $N_{общ}$

наоборот – выше (табл. 7), что обусловлено протеканием продукционно-деструкционных процессов в морской воде в летний период.

Таблица 6. Концентрация биогенных элементов в воде Онежского залива в июле 2020 г.

Станция	Фаза	Горизонт, м	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	N _{орг}	N _{общ}	P _{мин}	P _{общ}	Si
			мгN/л				мкгP/л		мг/л
2-1	отлив	0.5	0.002	0.007	1.61	1.62	1	17	0.47
		22.0	0.002	0.014	1.78	1.80	2	16	0.44
		30.0	0.002	0.019	1.92	1.94	3	13	0.39
		60.0	0.002	0.020	1.67	1.69	6	15	0.42
	прилив	0.5	0.001	0.002	1.74	1.74	2	15	0.40
		10.0	0.002	0.003	1.83	1.83	3	15	0.42
		30.0	0.001	0.020	1.56	1.58	6	14	0.42
		60.0	0.001	0.017	1.86	1.88	9	19	0.46
2-3	прилив	0.5	0.002	0.004	1.64	1.65	3	17	0.55
		5.0	0.001	0.014	1.54	1.55	3	14	0.53
		10.0	0.001	0.009	1.72	1.73	5	13	0.52
		34.0	0.002	0.019	1.62	1.64	5	15	0.52
	отлив	0.5	0.003	0.005	1.48	1.49	3	13	0.70
		7.0	0.004	0.020	1.61	1.63	6	15	0.61
		15.0	0.003	0.025	1.66	1.69	6	15	0.49
		32.0	0.004	0.025	1.66	1.69	10	17	0.51
2-5	прилив	0.5	0.003	0.013	1.60	1.62	5	14	0.53
		15.0	0.004	0.015	1.62	1.64	7	15	0.53
	отлив	0.5	0.004	0.010	1.67	1.68	4	14	0.49
		14.0	0.003	0.012	1.67	1.68	6	15	0.50

Таблица 7. Содержание биогенных элементов в воде Онежского залива Белого моря в сентябре 2019 и июле 2020 г.

	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	N _{орг}	N _{общ}	P _{мин}	P _{общ}
	мгN/л				мкгP/л	
2019 г.	<u>0.008</u> 0.005-0.011	<u>0.020</u> 0.003-0.029	<u>0.71</u> 0.62-0.81	<u>0.73</u> 0.66-0.84	<u>10</u> 6-11	<u>20</u> 14-29
2020 г.	<u>0.002</u> 0.001-0.004	<u>0.014</u> 0.002-0.0025	<u>1.67</u> 1.48-1.92	<u>1.69</u> 1.49-1.94	<u>5</u> 1-10	<u>15</u> 13-19

Примечание. В числителе – среднее значение, в знаменателе – минимальное и максимальное значения.

Концентрация хлорофилла *a* (ХЛ)

В поверхностном горизонте Западной Соловецкой Салмы (разрез 1) концентрация ХЛ варьировала от 0.47 до 0.59 мг/м³. Средние значения содержания ХЛ в фазу отлива и фазу прилива составили 0.74 ± 0.30 мг/м³ и 0.85 ± 0.41 мг/м³ соответственно и статистически достоверно не различались.

В Онежском заливе (разрез 2) в поверхностном слое концентрация ХЛ соответствовала таковой на разрезе 1 и составила в среднем 0.82 ± 0.37 мг/м³ в фазу отлива и 0.78 ± 0.38 мг/м³ в фазу прилива. Наибольшие значения были выявлены на самой глубокой станции 2-1, расположенной в северной части залива, где в фазу прилива содержание ХЛ варьировало от 1.44

в поверхностном горизонте до 1.48 мг/м^3 на горизонте 10 м. Анализ вертикального распределения ХЛ на станциях разреза, где был проведен соответствующий отбор проб, показал, что с глубиной концентрация ХЛ падает, за исключением уже описанной выше станции 2-1 (рис. 4).

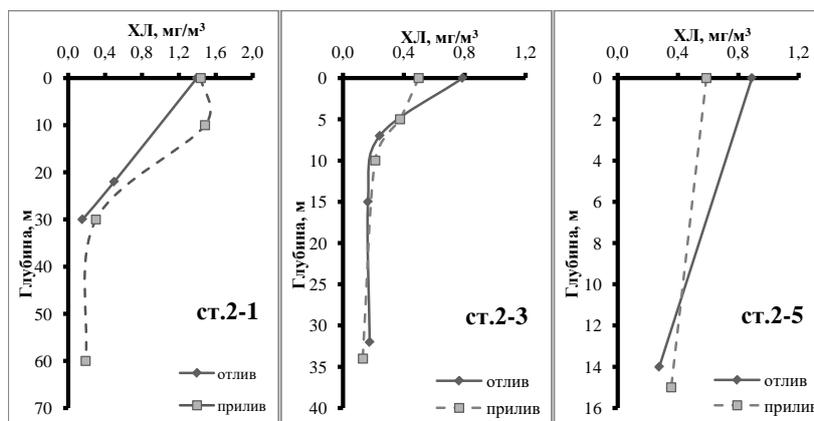


Рис. 4. Вертикальное распределение хлорофилла *a* (ХЛ, мг/м^3) на станциях разреза 2 Онежского залива Белого моря

В устьевой области реки Ниж. Выг максимальная концентрация ХЛ была выявлена в поверхностном слое самой пресноводной станции разреза (V-1) и составила 1.74 мг/м^3 . Средние значения ХЛ в поверхностном горизонте устья в фазы прилива и отлива составили в среднем $1.25 \pm 0.20 \text{ мг/м}^3$ и $1.44 \pm 0.49 \text{ мг/м}^3$ соответственно и статистически достоверно не различались. Концентрация ХЛ падает как по мере продвижения в сторону моря, так и с глубиной.

В эстуарии реки Кемь значения ХЛ были наибольшими из всех исследованных районов. Аналогично с устьевой областью р. Ниж. Выг максимальная концентрация ХЛ была выявлена в поверхностном слое самой опресненной станции (К-1) и составила 2.63 мг/м^3 . Концентрации ХЛ в фазы прилива и отлива составили в среднем $1.28 \pm 1.08 \text{ мг/м}^3$ и $1.61 \pm 1.07 \text{ мг/м}^3$.

Биомасса и видовой состав фитопланктона

Летний фитопланктон исследуемых районов был представлен диатомовыми, динофитовыми, криптофитовыми, диктиоховыми, зелеными, сине-зелеными, хризофитовыми и евгленовыми водорослями. Отмечена также *Ebria tripartita* – водоросль неясного таксономического положения. Зеленые водоросли (20 таксонов) и цианопрокариоты (12 таксонов) были представлены в основном пресноводными формами, которые встречались в устьевых областях района исследования. Наибольшим видовым богатством характеризовались динофитовые (32 таксона) и диатомовые (71 таксон) водоросли. В сообществе фитопланктона Западной Соловецкой Салмы (разрез 1) доминировали диатомеи, их вклад в суммарную биомассу составил 72 % независимо от приливно-отливной фазы. В проливе преобладали центрические диатомовые водоросли родов *Chaetoceros radicans*, *Thalassiosira nordenskioldii* и *Coscinodiscus concinnus*. Фитопланктон Онежского залива (разрез 2) был представлен в основном динофлагеллятами. Вклад динофитовых водорослей в суммарную биомассу фитопланктона на станциях разреза 2 колебался от 44 до 82 %. Исключение составила станция 2-3 в фазу отлива, где в поверхностном слое доля мелких криптофитовых водорослей была сопоставима с вкладом динофлагеллят. В сообществах фитопланктона доминировали водоросли рода *Heterocapsa* – *H. triquetra* и *H. rotundata*.

Структура фитопланктона устьевых областей рек Ниж. Выг и Кемь, существенно отличалась от структуры в Онежском заливе. Помимо вышеперечисленных групп водорослей, выявленных в Онежском заливе, в состав эстуарных фитосообществ входили зеленые и сине-зеленые водоросли. Наибольшим видовым богатством характеризовались динофитовые, диатомовые и зеленые водоросли. На большей части исследованных станций в сообществах преобладали диатомовые. Их вклад в суммарную биомассу ФП в устьевых областях р. Ниж. Выг

и р. Кемь составил в среднем 47 и 38 % соответственно. Максимальная биомасса ФП выявлена на станции V-1, расположенной в распресненной зоне, где цветение пресноводной центрической диатомеи рода *Aulacoseira* определило ее доминирующую роль. На станции V-3, расположенной в мористой части устьевой области, состав доминирующих видов сменяется, в ФП лидирующую роль начинают играть морские виды, такие как *Chaetoceros radicans* и *Heterocapsa rotundata*.

Результаты и выводы

Вода устьевых областей рек Нижний Выг и Кемь близка по ионному составу, но она существенно отличается по содержанию органического вещества, взвешенного вещества, $Fe_{\text{общ}}$ и нефтепродуктов, концентрации которых выше в р. Нижний Выг. Это может быть связано, во-первых, с большей транспортной нагрузкой на этот водоток (как части Беломорско-Балтийского канала), а во-вторых, с особенностями состава вод, поступающих с ее водосборной территории.

В воде устьев рек Нижний Выг и Кемь выявлено превышение ПДК для рыбохозяйственных водоемов по железу и марганцу. Наибольшая концентрация $Fe_{\text{общ}}$ наблюдается в р. Ниж. Выг, она составляет 1.48 мг/л.

Среди загрязняющих веществ в устье р. Ниж. Выг отмечается четырехкратное превышение ПДК для рыбохозяйственных водоемов по нефтепродуктам и более чем двукратное по меди. Повышенное содержание $Fe_{\text{общ}}$, Mn и Cu является региональной геохимической особенностью вод региона, а не показателем загрязнения.

В эстуарии реки Кемь значения хлорофилла *a* были наибольшими из всех исследованных районов. Аналогично с устьевой областью р. Нижний Выг максимальная концентрация хлорофилла *a* была выявлена в поверхностном слое самой распресненной станции (К-1) и составила 2.63 мг/м³.

Летний фитопланктон исследуемых районов был представлен диатомовыми, динофитовыми, криптофитовыми, диктиоховыми, зелеными, сине-зелеными, хризофитовыми и эвгленовыми водорослями.

Структура фитопланктона устьевых областей рек Нижний Выг и Кемь существенно отличалась от структуры в Онежском заливе.

Программа экспедиционных исследований выполнена в полном объеме, цели экспедиции достигнуты.

Работа выполнена в рамках темы Госзадания № АААА-А18-118032290034-5 «Закономерности изменений экосистем Белого моря при интенсификации освоения Арктической зоны региона и под влиянием изменений климата» (ИВПС КарНЦ РАН).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Толстикова А.В., Галахина Н.Е., Здоровеннов Р.Э. Гидрофизические и гидрохимические исследования в эстуарии реки Кемь в сентябре 2019 г // Труды КарНЦ РАН. Серия "Лимнология и океанология". № 4. 2020. С. 21-31. DOI: 10.17076/lim1190.
2. Аналитические, кинетические и расчетные методы в гидрохимической практике / Под ред. П.А. Лозовика, Н.А. Ефременко. СПб.: Нестор-История, 2017. 272 с.
3. Лозовик П.А. Геохимическая классификация поверхностных вод гумидной зоны на основе их кислотно-основного равновесия // Водные ресурсы, 2013. Т. 40, № 6. С. 583-592.
4. Лозовик П.А. Органическое вещество и биогенные элементы в объектах гидросферы. Источники поступления, внутриводоемные процессы образования и трансформации // Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах: Труды VI Всероссийского симпозиума с международным участием. Барнаул, 2017. С. 141-147.
5. Лозовик П.А. Гидрогеохимические критерии состояния поверхностных вод гумидной зоны и их устойчивости к антропогенному воздействию: автореф. дисс. на соиск. уч. ст. доктора хим. наук. М., 2006. 56 с.
6. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (Утв. Приказом Минсельхоза России от 13.12.2016 г. № 552)
7. Чугайнова В.А. Биогенные элементы в водах Белого моря // Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря. Материалы IX международной конференции 11-14 октября 2004 г., Петрозаводск, Карелия, Россия. Петрозаводск, 2005. С. 323-326.

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН

Результаты работ Полярно-альпийского ботанического сада-института по изучению фиторазнообразия, растительности и почв в экосистемах архипелага Шпицберген в 2020 году

Д.А. Давыдов, Г.М. Кашулина, Н.А. Константинова, А.А. Вильнет, Н.Е. Королева,
Л.А. Конорева, Н.М. Коробейникова, Т.И. Литвинова, А.Д. Данилова,
С.В. Чесноков, А.Н. Савченко

Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина Кольского НЦ РАН,
Кировск, Россия

Архипелаг Шпицберген (*Svalbard*) расположен в центральной части полярного бассейна на стыке границ Северного ледовитого океана и его окраинных морей: Гренландского и Баренцева. Территория Шпицбергена характеризуется длительной историей изучения как растительного покрова, так и биоразнообразия фототрофной биоты, при этом отдельные районы являются совершенно неизученными. Комплексное исследование экосистем архипелага Шпицберген сотрудниками Полярно-альпийского ботанического сада-института (ПАБСИ) ведется с 2004 г. и направлено на описание флористического разнообразия, растительности и типов почв в арктических сообществах архипелага. В 2020 г. из-за сложностей, вызванных пандемией коронавирусной инфекции, экспедиционные работы на архипелаге не состоялись, и основное внимание было направлено на обработку ранее собранных материалов.

Флористические исследования выявляют видовой состав мохообразных, лишайников, цианопрокариот и сосудистых растений, анализируют характер распространения видов на Шпицбергене и в Арктике в целом. Целью фитоценологических исследований является выявление общих закономерностей при сравнении группировок пояса гольцовых пустынь и нивального пояса Шпицбергена с гольцовыми пустынями Кольского полуострова. Исследования почв в 2020 г. предусматривали изучение мезоморфологического сложения почвенного профиля серогумусовых почв.

В ходе выполнения научно-исследовательской работы применялись как традиционные, так и современные методы исследования, соответствующие поставленной задаче: растительность изучалась методом геоботанических описаний и классификации по Браун-Бланке, биоразнообразие – маршрутным методом, базирующемся на выявлении локальных флор; идентификация видов проводилась на основе морфолого-анатомических, хемотаксономических и молекулярно-генетических признаков.

В ходе работ в 2020 г. получены следующие результаты. Впервые дана характеристика растительности гольцовых пустынь Хибинских гор в сравнении с нивальным поясом Шпицбергена, выделены три типа растительных группировок: тип с преобладанием мхов (тип *Racomitrium microcarpon*), кустарничково-мохово-лишайниковый тип и кустарничково-мохово-осоковый тип. Данная типология подтверждена результатами ординации *NMS* (индекс качества Сьёренсена) и кластеризации (индекс Брейя). На основании табличной обработки 150 описаний гольцовых и нивальных пустынь Фенноскандии и Шпицбергена сделан вывод о принадлежности сообществ с преобладанием *Luzula arquata* и лишайников в гольцовых пустынях Шпицбергена и Мурманской обл. к одному союзу *Luzulion arcuatae* all. prov. (Elvebakk, 1985) и о необходимости валидации этого союза. В гольцовых пустынях на нефелиновых сиенитах впервые были описаны типичные и гуминовые петроземы, для которых характерен слабо дифференцированный по содержанию элементов профиль, за исключением фосфора, который сосредоточен в органогенных горизонтах. По химическим и физико-химическим свойствам эти почвы близки к сухим торфяным подбурам горно-тундрового пояса. Биологическая активность петроземов ниже или сопоставима с почвами

горной тундры. С усложнением структуры растительного покрова активность микроорганизмов в почвах увеличивается, и органическое вещество почвы становится более стабильным.

По результатам собственных сборов выявлено разнообразие лишайников острова Баренца. На основе этих данных, дополненных литературными указаниями и обработанными гербарными коллекциями, составлен аннотированный список, включающий 204 вида. Восемь видов лишайников с этой территории приводятся впервые для архипелага, 85 – ранее не отмечались на о. Баренца.

Изучено разнообразие лишайников побережья залива Киннвика (о. Северо-Восточная Земля), где выявлено 135 видов. Ранее сведения о биоразнообразии лишайников в данном районе отсутствовали. Впервые для архипелага Шпицберген приведены 3 вида – *Buellia epigaea* (Pers.) Tuck., *Parmelia fraudans* (Nyl.) Nyl. и *Peltigera extenuata* (Nyl. ex Vain.) Lojka (Czernyadjeva et al., 2020).

Выявлена дифференциация видового состава цианопрокариот локальных флор Шпицбергена. С 2004 г. на Шпицбергене изучено 12 локальных флор, из них 4 территории относятся к зоне полярных пустынь, 8 – к тундровой зоне. Самые богатые по числу видов флоры формируются в районах имеющих значительную дифференциацию литологических и орографических условий, а также в районах с преобладанием карбонатных пород. Самые бедные флоры выявлены на однотипных силикатных породах. В целом флоры характеризуются значительной степенью дифференциации видового состава. Наибольшее сходство по набору видов имеют флоры полярных пустынь Северо-Восточной Земли (Давыдов, 2019). Высокие коэффициенты сходства Сьёренсена получены для пар флор залива Иннвика и бухты Сетер (67 %), Иннвики и Мерчисонфиорда (56 %), бухты Сетер и Мерчисонфиорда (56 %). Особняком в ряду флор Северо-Восточной Земли стоит флора восточного берега Рийпфиорда. На территории архипелага Шпицберген описан новый для науки вид цианопрокариот *Nodosilinea svalbardensis* Davydov et Shalygin (Davydov et al., 2020).

Завершено определение образцов печеночников, собранных на острове Земля Принца Карла в 2016 г. На основе этих определений (около 200 образцов из 32 основных местообитаний) и с учетом ранее опубликованных данных подготовлен аннотированный список печеночников, насчитывающий 40 видов, в том числе три арктических подвида, две разновидности, одна форма новые для архипелага и ряд редких на Шпицбергене видов. Выполнена новая комбинация *Trilophozia quinqueidentata* f. *gracilis*. Обсуждены особенности флоры печеночников острова (Konstantinova, Savchenko, 2020). Подготовлен первый выпуск эксикат печеночников архипелага (25 образцов, 20 видов). Для 13 видов приводятся номера GenBank. Восемь видов публикуются в эксикатах для Шпицбергена впервые. Каждый номер представлен 50 образцами (Konstantinova et al., 2020). Обнаружен недавно описанный из Магаданской области вид *Lophozia fuscovirens*. Обосновано предположение, что вид распространен в Арктике значительно шире, чем известно в настоящее время (Konstantinova et al., 2020). На основе сбора 2007 г. с Северо-Восточной Земли описан новый для науки вид *Lophozia svalbardensis* Konstant., Vilnet & Mamontov (Marchantiophyta, Jungermannioptida). Вид характеризуется гетерецией, наличием низкого перигиния, городчато-реснитчатым устьем периантия, толстостенными обесцвеченными клетками устья периантия, бесцветными до слегка розоватыми выводковыми почками, резко контрастирующими с клетками края почко-образующих листьев, двуслойными в основании листьями (Konstantinova et al., 2020).

Изучено мезоморфологическое сложение и свойства подстильно-торфяного горизонта О серогумусовых почв юго-западной части острова Западный Шпицберген. Этот горизонт является одним из основных горизонтов серогумусовых почв, куда поступает и где трансформируется наземная часть растительного опада. Исследования показали, что основным материалом и своеобразным каркасом подстильно-торфяного горизонта О служат отмершие части мхов, которые разлагаются очень медленно и, несмотря на то, что степень их разложения увеличивается с глубиной, они сохраняют целостность и свои морфологические особенности на всю мощность горизонта. Плотность сложения подстильно-торфяного горизонта О наследуется от мохового покрова, плотность которого, в свою очередь, определяется видовым составом мхов и условиями места произрастания. Вторым по значимости источником опада для формирования подстилки являются листья *Salix polaris* Wahlenb. Они располагаются в промежутках между остатками мха.

Химический анализ различных слоев подстильно-торфяного горизонта О показал, что по мере увеличения степени разложения растительных остатков с глубиной значительно уменьшается содержание $C_{орг.}$, общего содержания и обменных форм важных элементов питания (Ca, Mg, K) и Fe. При этом увеличивается общее содержание Si и Al. В отличие от тундровой зоны континентальной части Европы, горизонта О на Шпицбергене свойственно низкое содержание $C_{орг.}$ из-за высокого содержания минеральных частиц за счет пыления оголенных грунтов и склонового перемещения минеральных частиц с водными потоками.

Несмотря на введенные ограничения, связанные с пандемией новой коронавирусной инфекции, получены новые важные результаты, которые внесли существенный вклад в изучение экосистем архипелага Шпицберген.

Настоящее исследование выполнено в рамках темы НИР № 0189-2019-0025, № гос. регистрации АААА-А17-117121120045-5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Czernyadjeva I.V., Ahti T., Boldina O.N., Chesnokov S.V., Davydov E.A., Doroshina G.Ya., Fedosov V.E., Khetagurov Kh.M., Konoreva L.A., Kotkova V.M., Kuzmina E.Yu., Lavrentiev M.V., Liksakova N.S., Nikolayev I.A., Popova N.N., Safronova T.V., Shadrina S.N., Yakovchenko L.S. New cryptogamic records. 6 // *Novosti sistematiki nizshikh rastenii*, 2020. Vol. 54(2). P. 537–557.
<https://doi.org/10.31111/nsnr/2020.54.2.537>
2. Davydov D., Shalygin S., Vilnet A. New cyanobacterium *Nodosilinea svalbardensis* sp. nov. (Prochlorotrichaceae, Synechococcales) isolated from alluvium in Mimer river valley of the Svalbard archipelago // *Phytotaxa*, 2020. Vol. 442(2). P. 61–79. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.442.2.2>
3. Elvebakk A. Higher phytosociological syntaxa on Svalbard and their use in the subdivision of the Arctic // *Nordic Journal of Botany*, 1985. Vol. 5.P. 273–284.
4. Konstantinova N.A., Savchenko A.N. Contribution to the hepatic flora of Svalbard III: Hepatics of Prins Karls Forland (Forlandet nasjonalpark) // *Nova Hedwigia*, 2020. Beiheft 150. P. 179–192.
5. Konstantinova N.A., Savchenko A.N., Vilnet A.A. Hepaticae Svalbardensia Exsiccatae. Fasciculus I. (№№ 1-25) Н.А. Константинова, А.Н. Савченко, А.А. Вильнет (2020) Эксикаты печеночников Шпицбергена. Часть 1 (№№ 1-25) // *Arctoa*, 2020. Vol. 29(1). P. 101–104. <https://doi.org/10.15298/arctoa.29.08>
6. Konstantinova N.A., Vilnet A.A., Mamontov Yu.S. A new species of the genus *Lophozia* (Lophoziaaceae) from the Svalbard Archipelago // *Arctoa*, 2020. Vol. 29. P. 124–134. <https://doi.org/10.15298/arctoa.29.10>
7. Давыдов Д.А. Сравнительная характеристика флор цианопрокариот полярных пустынь и тундр Европы // *Труды Карельского научного центра РАН. Сер. Биогеография*, 2019. № 1. С. 3–21. <https://doi.org/10.17076/bg903>

Проведение стационарных наблюдений за магнитными и оптическими явлениями на архипелаге Шпицберген, исследование геофизических процессов в высокоширотной атмосфере Земли

Б.В. Козелов

ФГБНУ Полярный геофизический институт (ПГИ), Мурманск, Россия

Аннотация

Объектом исследования института по теме является высокоширотная ионосфера и атмосфера Арктической зоны (архипелаг Шпицберген). Непосредственно предметом изучения – геофизические процессы и явления, солнечно-земные связи, а также электромагнитные поля в широком частотном диапазоне.

В обсерватории «Баренцбург» (Шпицберген) Полярный геофизический институт проводит регулярные стационарные наблюдения:

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

В 2020 г., несмотря на пандемию, стационарные наблюдения в обсерватории ПГИ «Баренцбург» проводились в полном объеме. Техническое обслуживание ввиду невозможности выезда летом проведено в ограниченном виде силами находящегося в Баренцбурге сотрудника с использованием телеконференций. Планируемое финансирование получено, плановые закупки комплектующих, материалов, носителей данных для obs. Баренцбург проведены. Осуществлен выезд одного сотрудника (молодой ученый) на НИС «Дальние Зеленцы», однако планируемый заход в Баренцбург не был разрешен. По пути во время рейса велись измерения потоков низкоэнергичных нейтронов мобильным детектором и совместные работы с ММБИ.

За год зарегистрировано и обработано 17.2 Тб научной информации. На основе данных наблюдений, полученных за прошедший и предыдущие годы, проведены фундаментальные научные исследования солнечно-земных связей и процессов в ионосфере и магнитосфере Земли. В отчете также представлено текущее состояние аппаратной базы обсерватории ПГИ «Баренцбург» и описаны проведенные работы по обеспечению функционирования ее инфраструктуры.

Основные научные результаты:

1. Опубликованы первые результаты наблюдений ОНЧ излучений, проведенных на границе полярной шапки во время экспедиции «Трансарктика 2019», организованной ФГБУ «АНИИ». В течение 13 из 26 дней наблюдений на судне «Академик Трёшников» регистрировались авроральные ОНЧ хиссы. Подробно рассмотрен наиболее яркий случай – авроральный хисс 11 апреля 2019 г. Для исследования особенностей его генерации и распространения проведено сравнение результатов регистрации аврорального хисса на судне, в obs. Баренцбург, расположенной на границе полярной шапки на близкой к судну геомагнитной широте, и в obs. Ловозеро и obs. Каннуслехто, расположенных в авроральной зоне. Показано, что рассматриваемый авроральный хисс наблюдается в обеих точках, расположенных на границе полярной шапки, и не наблюдается в авроральной зоне. Полученные результаты свидетельствуют о том, что область выхода таких излучений локальна и ограничена по широте (Пильгаев С.В., Федоренко Ю.В., Клейменова Н.Г., Маннинен Ю., Никитенко А.С., Ларченко А.В., Филатов М.В., Лебедь О.М., Фролов И.Е., Козелов Б.В. Первые результаты ОНЧ-наблюдений во время полярной экспедиции «Трансарктика 2019» // Геомагнетизм и аэрномия. 2020. Т. 60, № 2. С. 216–219. DOI: 10.31857/S0016794020020121).

2. Представлены результаты одновременных наблюдений в авроральной области и в области полярной шапки амплитуд и фаз компонент поля сигналов СДВ-передатчика радионавигационной системы «Альфа». Показано, что в области полярной шапки эти параметры испытывают вариации, нетипичные для спокойных геомагнитных условий. Наблюдаемые

вариации могут быть результатом существования в нижней ионосфере неоднородностей концентрации заряженных частиц.

3. Представлены результаты анализа одновременных наблюдений всплесков ОНЧ аврорального хисса в пространственно-разнесенных точках – Баренцбург (Архипелаг Шпицберген), Ловозеро (Кольский полуостров, Россия) и Каннуслахто (Финляндия). Проведено сравнение результатов наблюдений с результатами моделирования распространения аврорального хисса от области генерации до земной поверхности и в волноводе Земля – ионосфера (Никитенко А.С., Лебедь О.М., Федоренко Ю.В., Маннинен Ю., Клейменова Н.Г., Громова Л.И. Оценка положения и размера области рассеяния аврорального хисса по данным высокоширотных наблюдений в пространственно-разнесенных точках // Известия РАН. Серия физическая. 2021. Т.3 (в печати)).

4. К рядам температуры воздуха на ГМО «Баренцбург» были применены комплекс специальных статистических тестов (*SNHT*, Буишанда, Петтитта и Фон-Ноймана), призванных обнаружить структурные сдвиги в рядах данных. Показано, что, несмотря на переносы метеорологической площадки в Баренцбурге в 1978 и 1984 гг., принятые в климатологии тесты не показывают признаков нарушения методической однородности в рядах температуры воздуха (средней месячной, среднемесячной минимальной и максимальной). Ряды температуры воздуха на ГМО «Баренцбург» можно использовать для решения задач региональной и глобальной климатологии за весь период наблюдений с 1932 г.

5. Создан композитный ряд среднемесячных значений приземной температуры воздуха для метеостанции «Баренцбург». Для периода с 1911 г. доля оригинальных (измеренных) значений ПТВ в созданном композитном ряду превышает 75 %, что является максимально возможным числом для любой другой реконструкции подобных рядов на Шпицбергене. Показано, что ряд в Баренцбурге, восстановленный до 1911 г., более правильно соответствует многолетней картине пространственного распределения температуры на Шпицбергене, чем широко используемый в научной литературе восстановленный ряд на МС *Svalbard Airport* (Демин В.И., Иванов Б.В., Ревина А.Д. Восстановление ряда приземной температуры воздуха на Российской станции в поселке «Баренцбург» (Шпицберген) // Российская Арктика. 2020. № 9. С. 30–40. DOI: 10.24411/2658-4255-2020-12093).

6. По результатам метеорологических измерений в Баренцбурге обнаружены синхронные и противофазные изменения температуры и относительной влажности воздуха. Снижение относительной влажности до 60 % менее характерно для направлений ветра из секторов, с которых Баренцбург прикрыт горами с отметками от 200 до 500 м. Вариации создаются переваливанием воздуха через орографический барьер с его последующим опусканием на подветренной стороне (фёнами). Предложен критерий для выделения феновых явлений на Шпицбергене.

Об авторе:

Козелов Борис Владимирович, д.ф.-м.н., директор ФГБНУ Полярный геофизический институт (ПГИ)

**Тезисы Кольского филиала ФИЦ ЕГС РАН
к отчетной конференции о результатах выполнения
экспедиционных исследований в 2020 году**

**«О сейсмических и инфразвуковых проявлениях
тектонической и ледниковой активности
в районе архипелага Шпицберген в 2020 году»**

А.В. Федоров, В.Э. Асминг, С.В. Баранов, И.С. Федоров

*Кольский филиал Федерального исследовательского центра
«Единая геофизическая служба РАН», Апатиты, Россия*

Аннотация

Основной целью работ, проводимых Кольским филиалом ФИЦ ЕГС РАН на архипелаге Шпицберген в 2020 г., была регистрация сейсмической и акустической (инфразвуковой) эмиссии, связанной как с тектоническими землетрясениями, так и с процессами деструкции криосферы Земли. Решались задачи развития программно-аппаратных средств и методов регистрации сейсмических и инфразвуковых сигналов, связанных с разрушением криосферы архипелага Шпицберген, развития методологических основ дистанционного геофизического контроля наиболее опасных типов деструктивных процессов в криосфере.

По результатам непрерывных наблюдений в 2020 г. составлены подробные каталоги обнаруженных сейсмических событий и проведен детальный анализ полученных данных, составлены карты площадного распределения эпицентров выявленных событий, выделены и отражены на картах пространственные кластеры проявлений тектонической и ледниковой сейсмичности.

В результате анализа данных региональной сети сейсмического мониторинга была выявлена квазипериодическая последовательность сейсмических событий в районе пос. Нью-Оллесунн, начавшаяся в декабре 2019 г. Проведено детальное исследование данной последовательности, выявлена ее связь с массивными подвижками тела ледника Бломстранд.

Продолжены наблюдения импульсных акустических сигналов в инфразвуковом диапазоне.

Сейсмический мониторинг

Сейсмический мониторинг проводился на двух уровнях детализации: региональный – мониторинг землетрясений на территории архипелага и окружающих акваторий северной Атлантики, локальный – наблюдения за слабой сейсмической активностью вблизи российского поселка Баренцбург и одноименного угольного рудника.

В связи с ограничительными мерами на перемещение людей, принятыми Российской Федерацией и Королевством Норвегия с целью противодействия новой коронавирусной инфекции, в 2020 г. не состоялись полевые работы по временным наблюдениям за активностью криосферы архипелага. По той же причине не были выполнены регламентные работы по обслуживанию аппаратуры сети сейсмических и инфразвуковых станций на архипелаге. При этом стоит отметить, что к дате составления отчета поломок оборудования сбора и передачи данных на станциях ФИЦ ЕГС РАН не происходило. Станции работали в полностью автоматическом режиме, данные передавались в информационно-обрабатывающий центр в г. Апатиты в режиме близком к реальному времени, где происходила их обработка.

В 2020 г. системами автоматического обнаружения и локации было выделено более 30 000 сейсмических событий в диапазоне магнитуд от – 0.6 до 4.5.

Сильнейшее за отчетный период землетрясение региона произошло 27 августа 2020 г. в 12:56:49 по UTC в месте с координатами 78.3 с. ш., 8.016 в. д. к западу от о. Западный Шпицберген и было приурочено к океаническому хребту Книповича. Магнитуда составила 4.5 единиц ($m_l = 4.5$). Эпицентр данного землетрясения располагался в 170 км от поселка Баренцбург, населением подземные толчки не ощущались и опасности для объектов инфраструктуры не представляли.

В 2020 г. отмечено лишь одно землетрясение, ощущавшееся жителями пос. Баренцбург. Данное событие произошло 14 сентября 2020 г. в 20:49 UTC (22:49 по местному времени). Эпицентр землетрясения располагался в 16 км к юго-западу от поселка, событие имело магнитуду 3.5 ед. ($m_l = 3.5$). По данным, собранным в ходе опроса населения, землетрясение ощущалось как единичный резкий толчок, предваряемый низкочастотным гулом. Интенсивность колебаний в поселке не превышала 4 балла (по шкале MSK-64), что характеризуется такими внешними проявлениями, как легкое дребезжание и колебание посуды и предметов внутри помещений. Соответственно, к каким-либо разрушениям колебания такой интенсивности привести не могут.

Карта эпицентров зарегистрированных в районе архипелага Шпицберген сейсмических событий с магнитудами более 1 ($m_l \geq 1$) представлена на рис. 1.

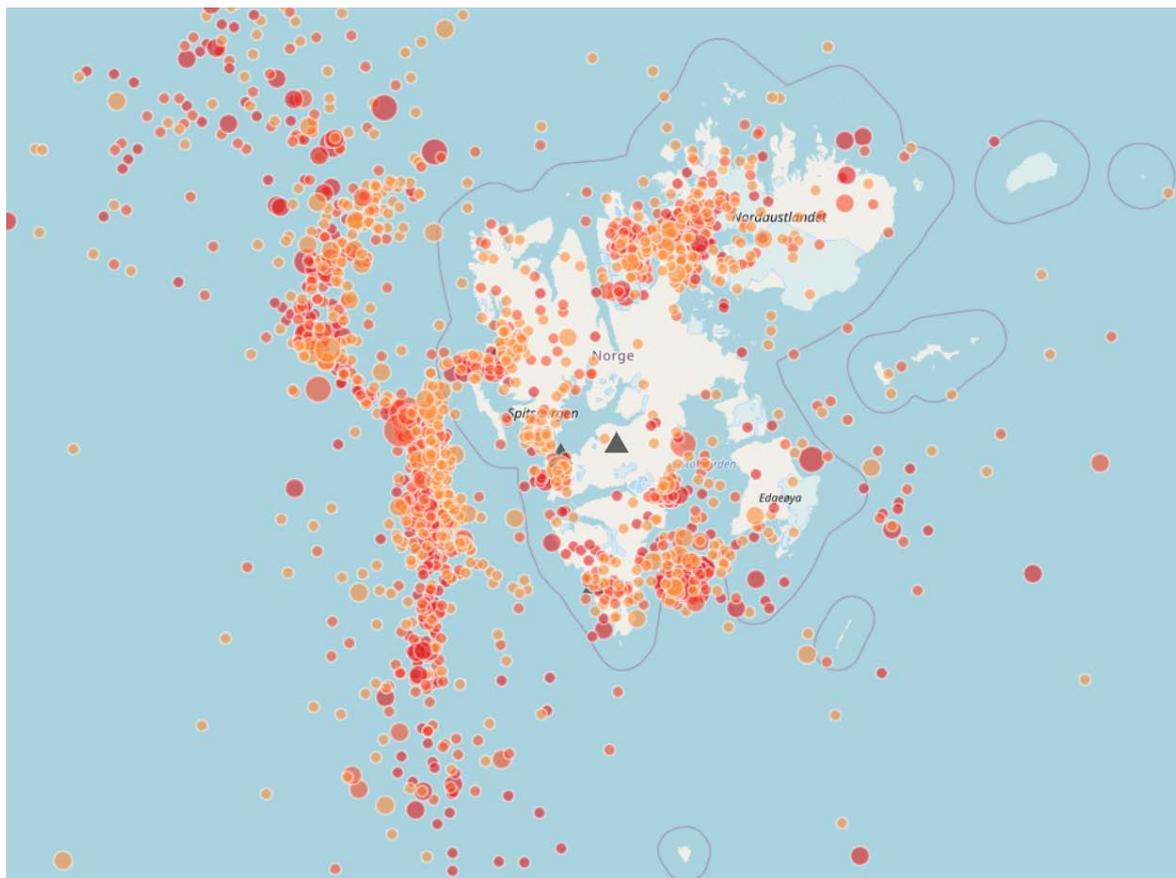


Рис. 1. Землетрясения, зарегистрированные Шпицбергенской сетью сейсмических станций в районе исследований в 2020 г., с локальной магнитудой (m_l) больше 1

Ввиду огромного числа сейсмических событий, зарегистрированных Шпицбергенской сетью станций (более 30 000), обработка всего массива записей человеком крайне трудоемка, поэтому ручному анализу и уточнению эпицентральных характеристик были подвергнуты сейсмические события только с $m_l > 2$. Остальные события анализировались с теми параметрами, какие были получены автоматической системой обнаружения и локализации NSDL [1].

В 2020 году продолжались работы по непрерывному мониторингу района размещения угольной шахты рудника Баренцбург ГТ «Арктикуголь». Мониторинг указанного района выполнялся по данным двух сейсмических станций КоФ ФИЦ ЕГС РАН, установленных на удалении 2–4 км от западного фланга шахтного поля. Несмотря на большое количество сейсмических событий, отмеченных в данной области, магнитуды их не превышали 1.

На рис. 2 показано распределение количества сейсмических событий, обнаруженных вблизи рудника Баренцбург за первые 10 месяцев 2020 г., по месяцам года, дням недели и часам суток.

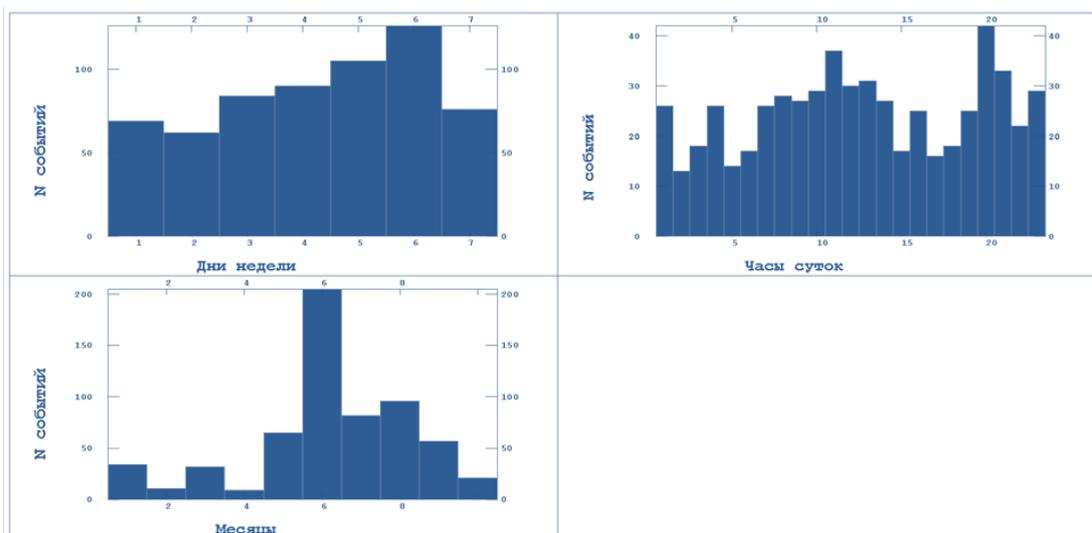


Рис. 2. Распределение количества сейсмических событий, обнаруженных вблизи рудника Баренцбург за первые 10 месяцев 2020 г., по месяцам года, дням недели и часам суток

На рис. 3 приведена диаграмма распределения количества сейсмических событий, зарегистрированных в районе рудника Баренцбург за период 2015–2020 гг.

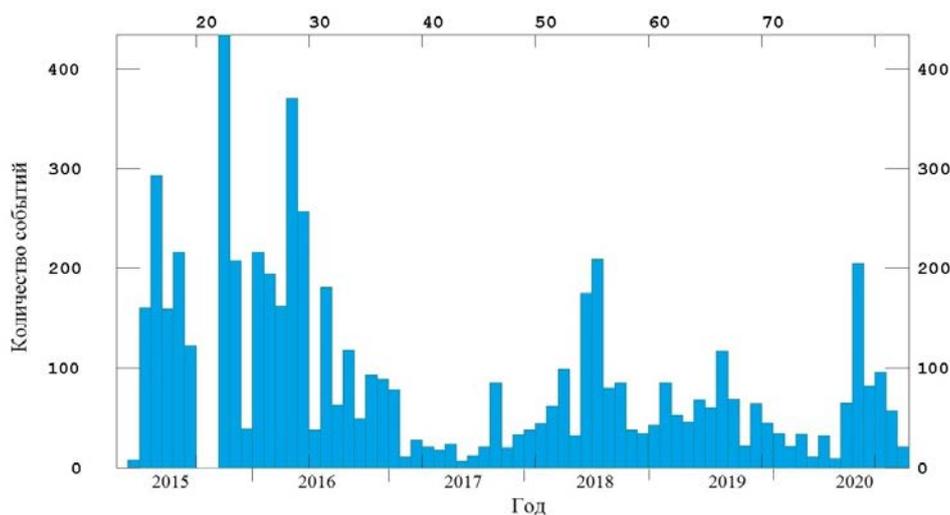


Рис. 3. Распределение количества сейсмических событий, зарегистрированных в районе рудника Баренцбург за период 2015–2020 гг.

Анализ рис. 3 показывает, что уровень сейсмической активности вблизи рудника в 2020 г. примерно соответствует показателям предыдущего года, но при этом значительно уступает интенсивности сейсмического процесса в 2015–2016 гг., что возможно является следствием вариаций интенсивности добычи угля на предприятии.

Нетипичная последовательность слабых сейсмических событий в районе пос. Нью-Олесунн

С 2015 г. обработка данных сети сейсмических станций архипелага ведется в автоматическом режиме с применением интеллектуального программного комплекса обнаружения и локации сейсмических событий – NSDL [1]. В январе 2020 г. при анализе данных автоматической обработки за декабрь 2019 г. сотрудниками КоФ ФИЦ ЕГС РАН была обнаружена активизация слабой сейсмичности в районе ледника Бломстранд, расположенного в 14 км к северо-востоку от пос. Нью-Олесунн, в котором расположена сейсмическая станция Кингсбей (KBS). Локация обнаруженных событий показана на рис. 4.

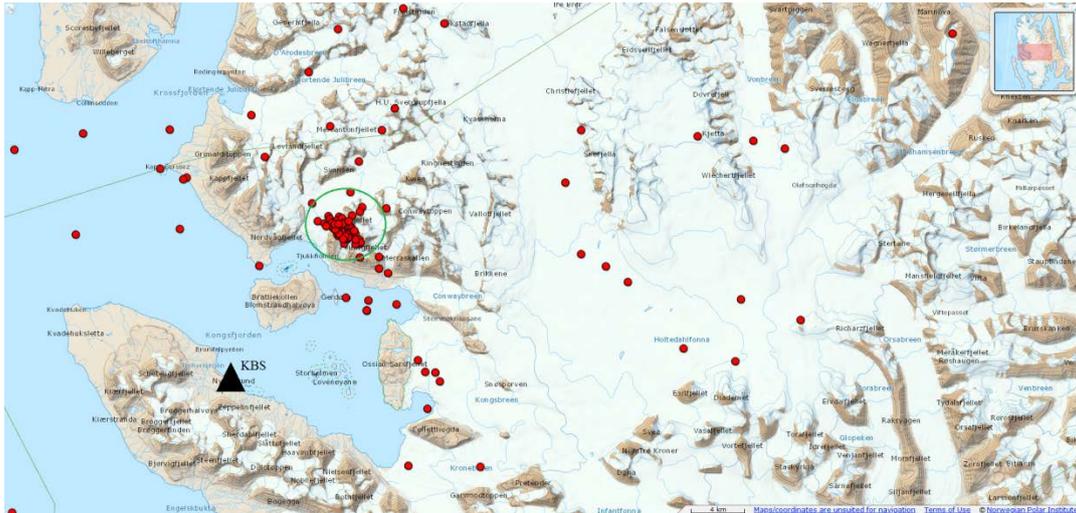


Рис. 4. Карта эпицентров сейсмических событий, обнаруженных системой автоматического мониторинга вблизи ледника Бломстранд

Данная сейсмическая последовательность привлекла к себе внимание в первую очередь очень плотным потоком событий. На рис. 5 приведен трехчасовой фрагмент записи сейсмической станции KBS. Импульсные сигналы на записи представляют собой локальные сейсмические события, пример типичной волновой формы такого события приведен на рис. 6.

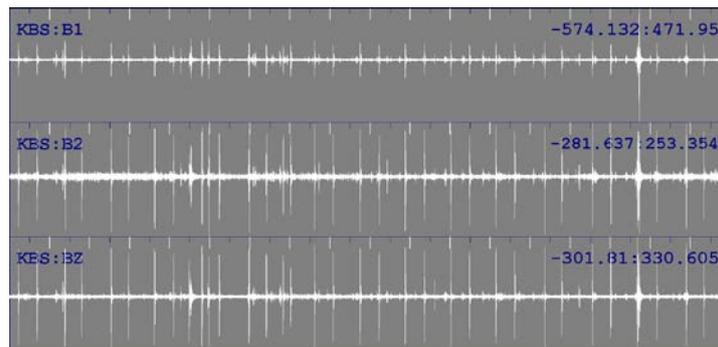


Рис. 5. Трехчасовая запись сейсмической станции KBS

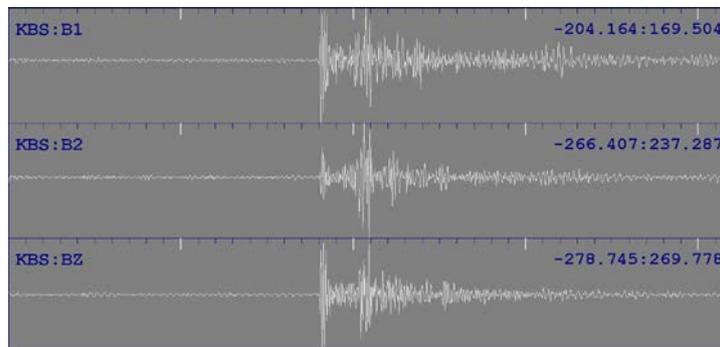


Рис. 6. Пример записи типичного сейсмического события последовательности в районе ледника Бломстранд

Детальный анализ записей сейсмической станции KBS выявил некоторые особенности развития данной последовательности, которые привлекают к ней особое внимание и порождают вопросы о природе ее генерации.

Так, при анализе записей была отмечена высокая степень сходства волновых форм отдельных сейсмических событий. Расчет коэффициентов корреляции для десятка записей

сейсмических событий из случайной выборки показал, что значения данного параметра достигают 0.9. С учетом высокой корреляции записей сейсмических событий, составляющих сейсмическую последовательность, было принято решение для потоковой обработки данных с целью получения полного каталога сейсмических событий использовать кросскорреляционный детектор [2]. Принцип действия такого детектора заключается в поиске в непрерывной записи сейсмической станции фрагментов с высоким значением корреляции с имеющимися образцами записей. Таким образом, были обработаны записи сейсмической станции KBS за весь 2019 г. и первые 6 месяцев 2020 г. Результирующий каталог включил в себя более 6000 событий.

Анализ полученного каталога показал, что данная последовательность началась 2 декабря 2019 г. с резкого «включения» и продлилась до 31 декабря, когда так же резко «выключилась» (рис. 7). В остальные месяцы 2019 и 2020 гг. в данном районе отмечались лишь одиночные сейсмические события. Анализ временного распределения сейсмических событий в последовательности показал наличие доминирующего интервала между событиями, близкого к 300 с. При этом каких-либо закономерностей в распределении количества событий по дням недели и по часам суток выявлено не было. Амплитуда событий постепенно возрастала со временем, достигнув своего максимума и плато примерно на 20-й день.

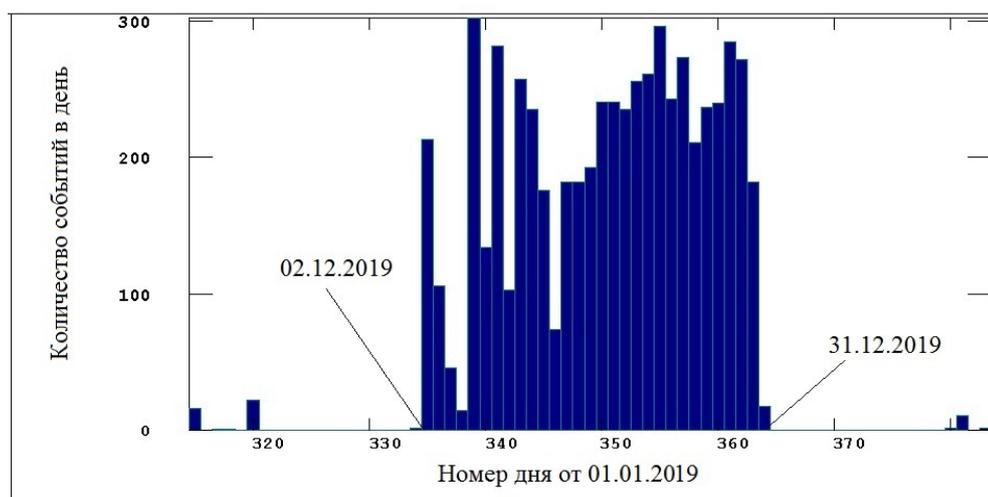


Рис. 7. Распределение количества обнаруженных сейсмических событий по дням

Высокая корреляция записей сейсмических событий в последовательности свидетельствует об идентичности механизма, порождающего данные события, и о пространственной близости их гипоцентров.

Проведенный при помощи ведущего научного сотрудника ИГ РАН А.Ф. Глазовского анализ космических снимков спутника *Sentinel-2* показал крупномасштабный выброс ледового материала в залив, начавшийся во второй половине декабря 2019 г.

Таким образом, в результате рутинного мониторинга архипелага Шпицберген обнаружена последовательность слабых сейсмических событий, характеризующаяся следующим набором черт:

- резкое включение и выключение процесса длительностью 30 дней;
- высокое подобие записей отдельных сейсмических событий;
- наличие доминирующего интервала между событиями (псевдопериодичность);
- компактная локализация эпицентров;
- возрастание амплитуды событий со временем;
- отсутствие закономерностей в распределении по часам суток и дням недели.

Анализ космоснимков целевого района выявил связь наблюдаемой сейсмичности с последующим выбросом ледового материала в воды залива, в результате чего можно проассоциировать наблюдаемую сейсмическую последовательность с движением тела ледника по ложу.

Инфразвуковые наблюдения

В 2020 г. мониторинг инфразвукового поля на архипелаге Шпицберген выполнялся сейсмо-инфразвуковой группой «Баренцбург Б» (*BRBB*).

Сейсмо-инфразвуковой комплекс (СИЗК) «Баренцбург Б» состоит из сейсмической станции и трех акустических датчиков – низкочастотных микрофонов МРА-201, расположенных в вершинах равнобедренного треугольника (рис. 8). СИЗК осуществляет регистрацию сейсмических полей в диапазоне частот от 0.01 до 50 Гц и акустических полей в диапазоне частот от 1 до 20 Гц. Такое количество акустических датчиков является минимально необходимым для определения по разности приходов когерентного сигнала на каждый микрофон азимута на источник и скорости подхода фронта инфразвуковой волны.

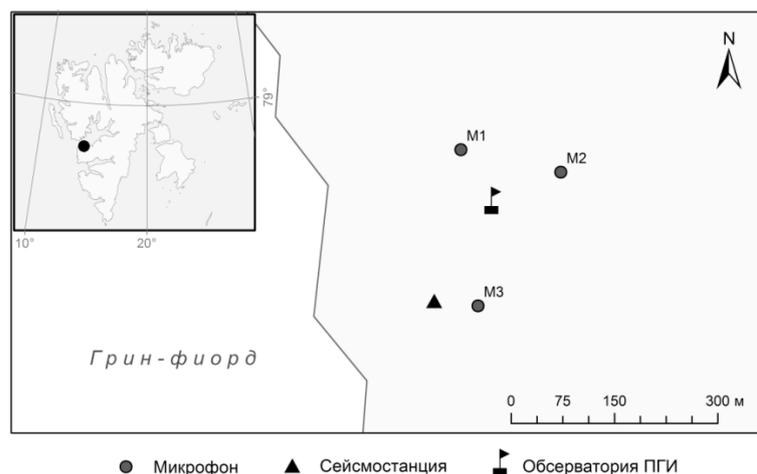


Рис. 8. Географическое местоположение и расположение компонент СИЗК *BRBB*

Данные с СИЗК *BRBB* по каналам *Internet* передаются в РИОЦ «Апатиты» Кольского филиала ФИЦ ЕГС РАН для обработки в режиме времени близком к реальному. Обработка инфразвуковых данных осуществляется с помощью специально разработанных алгоритмов [3], учитывающих сложные метеорологические условия арктического побережья (резкая смена направления и скорости ветра, помехи от прибойных волн).

За период с 1.01.2020 по 01.11.2020 г. зарегистрировано 767 инфразвуковых событий, из них 566 слабых (отношение сигнал/шум < 5), 138 средних (сигнал/шум от 5 до 10) и 63 сильных (сигнал/шум > 10). Распределение количества обнаруженных инфразвуковых событий по месяцам года показано на рис. 9. Как и в предыдущие годы, рост числа акустических событий на Шпицбергене начинается в период установления устойчивых положительных температур воздуха. Сопоставление месячных вариаций количества инфразвуковых событий и температуры воздуха по данным метеостанции в Беренцбурге [4] показывает, что между этими параметрами имеется четкая связь: при возрастании температуры, увеличивается количество инфразвуковых событий. Такое поведение характерно для ледотрясений [5, 6]. Таким образом, мы фиксируем акустические проявления процесса деструкции тел ледников, инициированного ускорением движения ледников в результате изменения гидрологического режима из-за увеличения потока талых вод [7].

На рис. 9 приведены гистограммы распределения количества обнаруженных инфразвуковых событий различной интенсивности (различного *SNR*) по азимутам направления на источник.

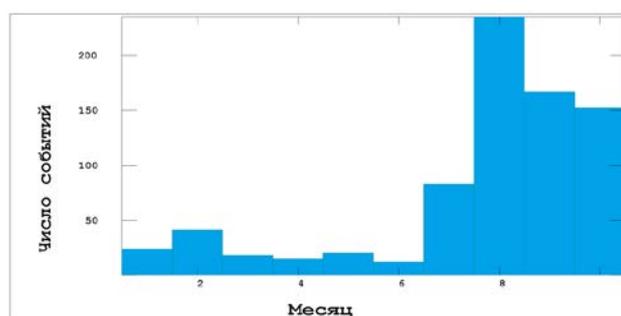


Рис. 9. Распределение количества зарегистрированных инфразвуковых событий на группе *BRBB* по месяцам 2020 г.

Как и в предыдущие годы, максимальное количество инфразвуковых событий регистрируется в летне-осенний период, когда активизируются процессы разрушения ледниковых тел. Распределение обнаруженных событий по азимутам на источник показано на рис. 10.

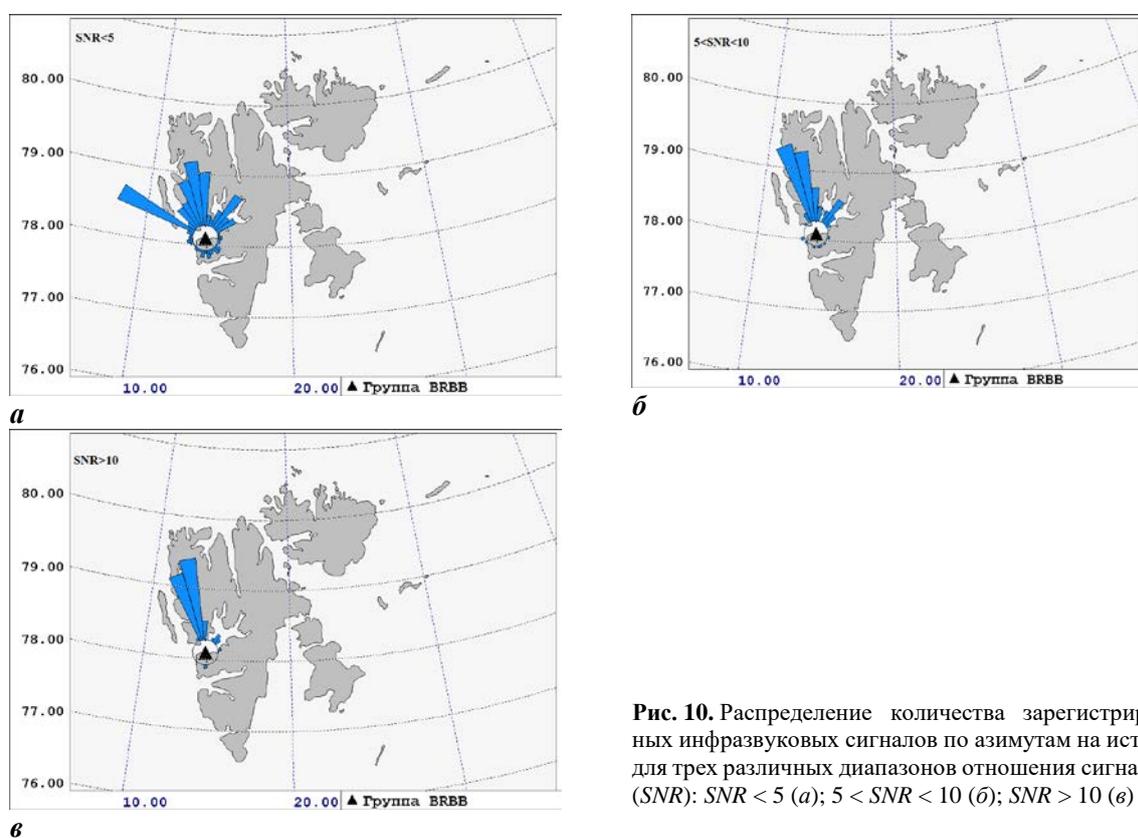


Рис. 10. Распределение количества зарегистрированных инфразвуковых сигналов по азимутам на источник для трех различных диапазонов отношения сигнал/шум (*SNR*): $SNR < 5$ (*а*); $5 < SNR < 10$ (*б*); $SNR > 10$ (*в*)

Анализ рис. 10 показывает, что в 2020 г. во всех диапазонах отношения сигнал/шум зарегистрированных акустических событий доминируют направления на север, где находятся ближайшие крупные и активные ледники. В распределении слабых акустических событий ($SNR < 5$) заметен локальный максимум для северо-западного направления. Анализ событий с этого направления показал, что по ряду признаков эти сигналы могут характеризоваться как микробаромы – колебания порожденные штормовой активностью в Северной Атлантике.

В связи с введением в эксплуатацию в 2020 г. новой программы детектора инфразвуковых событий *QACD* появилась возможность в автоматическом режиме обнаруживать сигналы, азимуты прихода которых изменяются с течением времени (движущиеся источники). Так, за 2020 г. на инфразвуковой группе *BRBB* были зарегистрированы два сигнала, в которых азимуты на источник менялись на 10 градусов, и один сигнал, в котором азимут менялся на 11 градусов. При этом в одном из случаев со временем менялся не только азимут, но и скорость подхода волны (кажущаяся скорость), что связано с геометрией распространения

сигнала. Более высокие, чем скорость звука, значения кажущейся скорости говорят о подходе акустической волны на группу датчиков с некоторым углом относительно земной поверхности. Изменение скорости распространения со временем может свидетельствовать либо об изменении высоты источника, либо о движении источника на высокой (возможно сверхзвуковой) скорости в сторону инфразвуковой группы. Пример записи такого события представлен на рис. 11.

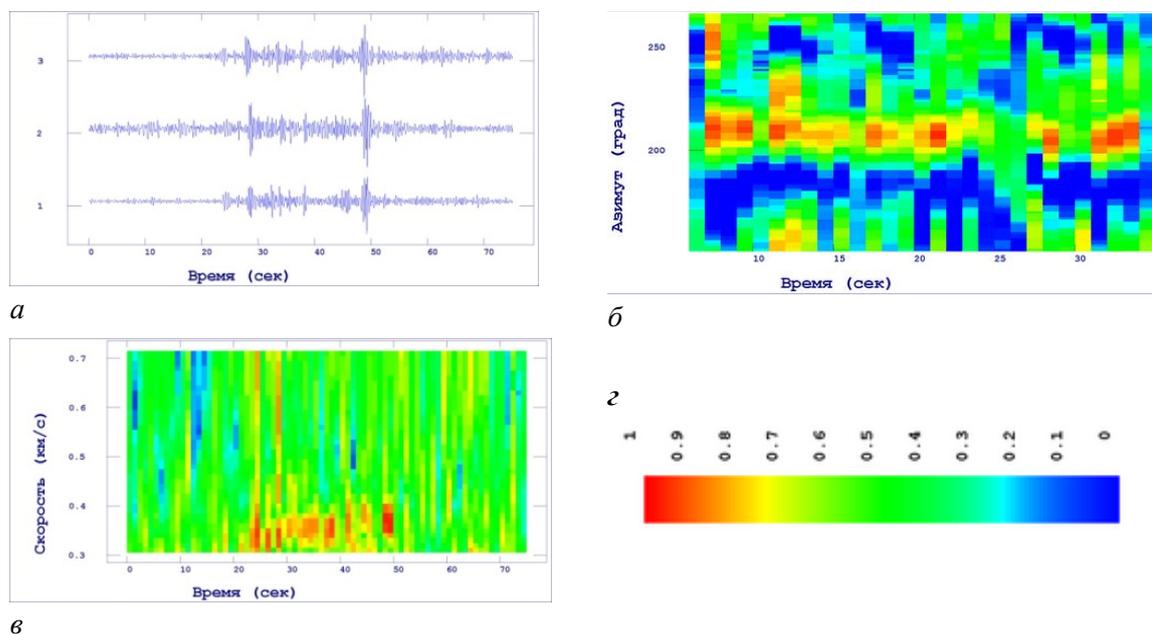


Рис. 11. Запись длительного акустического события, зарегистрированного инфразвуковой группой *BRBB* (*а*); диаграмма взаимной корреляции записи каналов группы в зависимости от азимута на источник (*б*); диаграмма взаимной корреляции записей каналов группы в зависимости от кажущейся скорости (*в*); соответствие цвета и значения взаимной корреляции сигналов на диаграммах *б* и *в* (*г*)

Высокие значения взаимной корреляции на рис. 11, *б* и *в* отражают наиболее вероятные значения азимута на источник и кажущейся скорости распространения сигнала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фёдоров А.В., Асминг В.Э., Евтюгина З.А., Прокудина А.В. Система автоматического мониторинга сейсмичности Европейской Арктики // Сейсмические приборы. 2018. Т. 54. № 1. С. 29–39. DOI: 10.21455/si2018.1-3
2. Gibbons S.J., Ringdal F. The detection of low magnitude seismic events using array-based waveform correlation // Geophysical Journal International. 2006. Vol. 165, issue 1. P. 149–166. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2006.02865.x>
3. Асминг В.Э., Баранов С.В., Виноградов А.Н., Виноградов Ю.А., Федоров А.В. Использование инфразвукового метода для мониторинга деструкции ледников в арктических условиях // Акустический журнал. 2016. Т. 62, № 5. С. 582–591. DOI: 10.7868/S0320791916040031
4. Weather archive in Barentsburg. URL: https://rp5.ru/Weather_archive_in_Barentsburg (дата обращения: 05.12.2020).
5. Виноградов Ю.А., Асминг В.Э., Баранов С.В., Федоров А.В., Виноградов А.Н. Сейсмоинфразвуковой мониторинг деструкции ледников (пилотный эксперимент на архипелаге Шпицберген) // Сейсмические приборы. 2014. Т. 50, № 1. С. 5–14.
6. Vinogradov A., Asming V., Baranov S., Fedorov A., Vinogradov Yu. Joint seismo-infrasound monitoring of outlet glaciers in the Arctic: case study of the Nordenskiöld outlet glacier terminus near Pyramiden (Spitsbergen) // 16th International Multidisciplinary Scientific Geo Conference SGEM 2016. Book 1. Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining. Conference Proceedings. Vol. III. Hydrology, Engineering Geology; Geotechnics, Applied and Environmental Geophysics, Oil and Gas Exploration. Albena, Bulgaria, 30 June – 6 July, 2016. Sophia: STEF92 Technology, 2016. Pp. 521-528. DOI: 10.5593/SGEM2016B13
7. Willis I.C. Interannual variations in glacier motion — A review: Progress in Physical Geography. 1995. V. 19. P. 61–106. DOI: 10.1177/030913339501900104

Итоги 50-го рейса НИС «Академик Сергей Вавилов» в Северную Атлантику в августе – сентябре 2020 года

С.В. Гладышев, А.В. Гавриков, В.С. Гладышев

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

Введение

Экспедиция на НИС «Академик Сергей Вавилов» выполнялась в рамках долгосрочной программы ИО РАН по изучению климата океана. Эта программа стартовала в 1997 г. с выполнения трансатлантического STD разреза вдоль 59.5° с. ш. Этот разрез является базовым разрезом программы и с 2002 г. выполняется ежегодно. В 50-м рейсе НИС «Академик Сергей Вавилов» пересечение Северной Атлантики между Шотландией и южной оконечностью Гренландии было выполнено в 20-й раз. Наблюдения по климатической программе океана постоянно расширяются. С 2004 г. начали выполняться наблюдения за течениями на станциях, а с 2009 г. – и по ходу движения судна. ИО РАН регулярно проводит сбор биологических и геологических данных на трансатлантическом разрезе, а также исследования взаимодействия океана и атмосферы. Если в 2002–2005 гг. основной разрез состоял из 40 гидрологических станций от поверхности до дна, то в настоящее время стандартный разрез состоит из 78 станций. Их количество увеличилось за счет уменьшения расстояния между станциями в 1.5 раза, измерений на шельфе Гренландии и учащенных наблюдений (через 2–10 миль) в районе западного пограничного Восточно-Гренландского течения.

В 2011 г. произошло существенное расширение программы климатических наблюдений за счет регулярного выполнения трех разрезов вдоль Гренландско-Шотландского хребта, в самом узком и мелководном месте северной части Северной Атлантики. Работы на трех разрезах от Гренландии до Шетландских островов занимают всего 6 сут, и, таким образом, ИО РАН получает практически одномоментную картину водообмена между Северной Атлантикой и Западной Арктикой. Северные разрезы программы, как правило, состоят из 59 гидрологических станций. С 1997 по 2020 г. по климатической программе было выполнено 26 экспедиций на судах ИО РАН.

Полученные данные позволяют отслеживать глубокую конвекцию в море Ирмингера, эволюцию основных водных масс, а также структуру и изменчивость субполярного круговорота Северной Атлантики.

Оплата судосуток в экспедиции осуществлялась за счет средств Миннауки РФ, участие специалистов финансировалось из средств госзадания № 0149-2019-0002 и средств грантов РФФИ №18-05-00194 и №.20-35-70025.

Маршрут экспедиции

В 50-м рейсе НИС «Академик Сергей Вавилов» программа климатических наблюдений была расширена за счет двух квазимеридиональных разрезов вдоль хребта Рейкьянес и к югу от Фарерских островов до 59.5° с.ш. (рис. 1). Этими разрезами мы замкнули основные глубоководные бассейны Северной Атлантики (море Ирмингера, Исландский бассейн и проход Роколла) для раздельного расчета баланса потоков тепла, массы и количества движения в каждом из них.

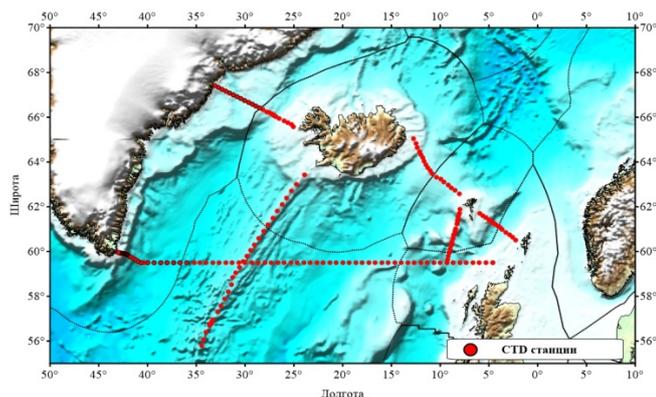


Рис. 1. Положение гидрологических станций в 50-м рейсе НИС «Академик Сергей Вавилов» в августе – сентябре 2020 г.

Разрез вдоль хребта Рейкьянес повторил наблюдения французских океанологов, выполненных в 2015 г. для оценки переносов через хребет. Этот разрез был начат несколько севернее, но также включил учащенные наблюдения в проходе Байт (*Bight Fracture Zone*). На восточном квазимеридиальном разрезе был подробно исследован перенос через канал Фарерской банки.

Цели и задачи экспедиции

Основная цель климатической программы и экспедиции на НИС «Академик Сергей Вавилов» – исследование Атлантической ветви глобального конвейера (АВГК) как единой системы.

Для выполнения основной цели необходимо решение следующих задач:

1. Исследование структуры и интенсивности всех компонент (теплых и холодных звеньев) АВГК, пересекающих границу между Арктикой и Северной Атлантикой.
2. Исследование временной изменчивости отдельных компонент АВГК.
3. Сравнительный анализ изменчивости звеньев АВГК на границе Арктики и Северной Атлантики и на 59.5° с. ш.
4. Мониторинг глубоководной конвекции в море Ирмингера, которая играет определяющую роль в пространственно-временной эволюции круговорота Ирмингера.

Глубокая конвекция в море Ирмингера

Наблюдения на трансатлантическом разрезе вдоль 59.5° с. ш. показали, что в XXI в. наблюдалось два периода в развитии глубокой конвекции в море Ирмингера. С 2002 по 2007 г. конвекция была очень слабой до глубин 300 м. Этот период был прерван в 2008–2009 гг., когда конвекция усилилась до 800–1000 м. Период глубокой конвекции начался в 2012 г., а с 2015 по 2017 г. в море Ирмингера наблюдалась аномально глубокая конвекция. Аномально глубокая конвекция – уникальное событие, которое наблюдается раз в 20–25 лет. Начало глубокой конвекции обусловило переход Северной Атлантики из теплого и соленого в холодное и пресное состояние. Наблюдения в 2020 г. показали, что период аномально глубокой конвекции закончился, так как на разрезе было обнаружено несколько очагов конвекции глубиной около 800–900 м. Глубина конвекции определялась по насыщению вод растворенным кислородом. Дальнейший анализ должен показать, имеет ли данная конвекция локальное или адвективное происхождение.

Водообмен через Исландско-Фарерский проход (ФИП)

ФИП является центральным и самым широким проходом между Гренландией и Шетландскими островами, который разделяет глубоководную часть Норвежского моря и Исландский бассейн Северной Атлантики. Его ширина составляет около 445 км. Исследование водообмена между Арктикой и Северной Атлантикой через этот проход началось более 100 лет назад (*Knudsen, 1898*), а всесторонний и до сих пор не устаревший обзор по этой тематике и большую библиографию можно найти в работе *Hansen and Osterhus, 2000*.

Водообмен через ИФП происходит за счет меандрирующих струй в «меандрирующем режиме» и возможен вдоль всего прохода. Водообмен контролируется рельефом дна и активно модифицируется полем ветра. Такой характер водообмена в верхнем слое подтверждается траекториями подповерхностных дрейфтеров, в огромном количестве запущенных исследователями разных стран (*Valdimarsson and Malmberg, 1999, Orvik and Nilner, 2003, Rossby et al., 2009*). Современные оценки показывают, что ИФП является самым важным проходом (помимо Датского и Фареро-Шетландского проливов) по объему вод, поступающих из Северной Атлантики в Арктику (3.8 ± 0.5 Св), но через него поступает минимальный объем арктических вод в Северную Атлантику (-0.4 ± 0.3 Св) (*Osterhus et al., 2019*). Причем последняя оценка статистически не достоверна. Исследования водообмена через ИФП очень важны для изучения прежде всего верхнего (теплого) звена АВГК, а также для изучения регионального климата, например, эволюции Исландско-Фарерского фронта – границы между водами Северной Атлантики и Арктики, который является зоной высокой биологической продуктивности и, следовательно, зоной активного рыбного промысла.

Вместе с тем в ИФП нет стационарной мониторинговой системы слежения за водообменом. Постановка измерителей течений на всем протяжении ИФП с разрешением порядка 10 миль слишком затратна.

Осреднение данных 17 разрезов ИО РАН, включающих разрез, выполненный в 2020 г., показало существование двух теплых и соленых ядер теплого звена АВГК (рис. 2), которые ассоциируются с двумя областями квазипостоянного переноса этих вод через ИФП в Арктику. Потенциальная температура (θ) и соленость (S) каждого из 17 разрезов интерполировались на стандартную сетку с разрешением $0.005 \sigma_\theta$ по вертикали и 10 км по горизонтали. После осреднения на стандартной сетке значения потенциальной плотности были конвертированы в глубину. Восточная область расположена западнее Фарерских островов между $7^\circ 30' - 10^\circ 00'$ з. д., а западная находится между $11^\circ 20' - 12^\circ 40'$ з. д. Подповерхностный слой восточной области в среднем на 0.5°C теплее и на 0.04 епс соленее, что подтверждает перенос МСАВ с запада на восток вдоль южного склона ИФП. T,S анализ показал, что термохалинные характеристики вод ИФП находятся в диапазоне T,S характеристик вод, расположенных между южной и центральной струями Северо-Атлантического течения (САТ) (рис. 3). На 59.5° с. ш. южная струя САТ обгибает плато Хаттон-Рокколл с востока, а центральная струя САТ с запада.

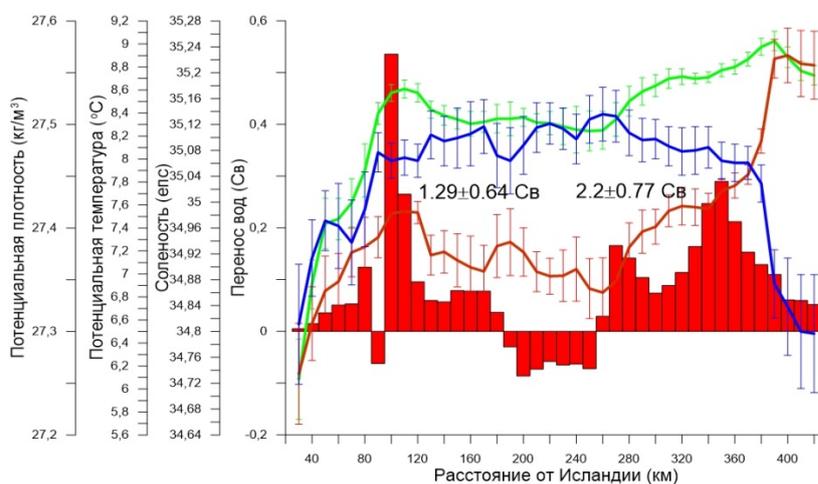


Рис. 2. Среднеголетний перенос теплых вод ($\sigma_\theta < 27.8 \text{ kg/m}^3$) через ИФП в 2011–2018 гг. (красные столбцы). Средняя потенциальная температура вдоль разреза ИО РАН показана красной линией; среднеголетняя соленость – зеленой линией; среднеголетняя потенциальная плотность – синей линией. Вертикальными линиями показаны стандартные отклонения рассчитанных характеристик

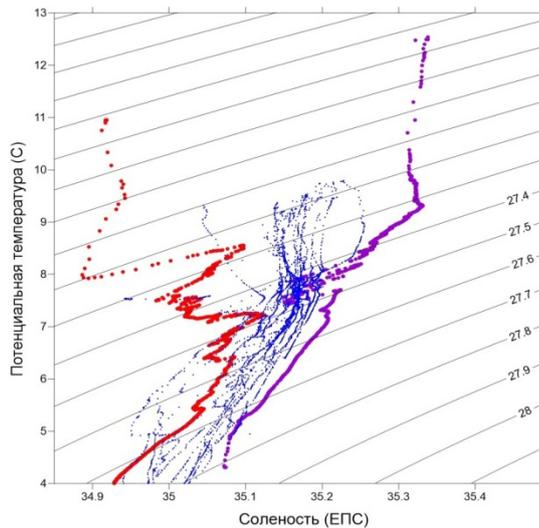


Рис. 3. T,S кривые вод ИФП в 2016 г. (показаны синим цветом). Для сравнения T,S кривая центральной струи САТ показана красным, а южной струи САТ – фиолетовым

Перенос холодных вод через ИФП незначителен и составляет 0.3 ± 0.3 Св.

Водообмен через Фареро-Шетландский канал (ФШК)

ФШК является самым восточным, узким и глубоким проходом между Гренландией и Шетландскими островами, который соединяет глубоководную часть Норвежского моря с Исландским бассейном и проходом Роколла в Северной Атлантике. Его ширина составляет около 310 км. Основная особенность термохалинной структуры ФШК состоит в том, что самые теплые и соленые воды (САВ) расположены в восточной части канала и на шельфе Шетландских островов. Особенно хорошо ядро этих вод прослеживается в поле солёности. Эти воды переносятся в ФШК южной ветвью Северо-Атлантического течения (САТ), а также Склоновым течением. Западная часть канала заполнена модифицированными северо-атлантическими водами (МСАВ). Вся глубоководная котловина заполнена норвежскими промежуточными и донными водами (НПВ и НДВ). Придонный слой вод толщиной 400–500 м имеет отрицательную температуру.

Границы водных масс были определены при помощи объемного T,S анализа. Поскольку все водные массы, заполняющие ФШК, имеют конвективное происхождение, их ядра представлены максимальными значениями в определенных интервалах температуры и солёности (рис. 4). Для потенциальной температуры был выбран базовый интервал $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, для солёности – 0.01 епс. Границы водных масс определялись по линии процентного содержания 0.5% в поле температуры (рис. 4, а). Данный метод позволил выделить границы ядер САВ и МСАВ, а также верхнюю границу НПВ. Граница между водными массами НПВ и НДВ принималась по *Hansen and Osterhus* (2000).

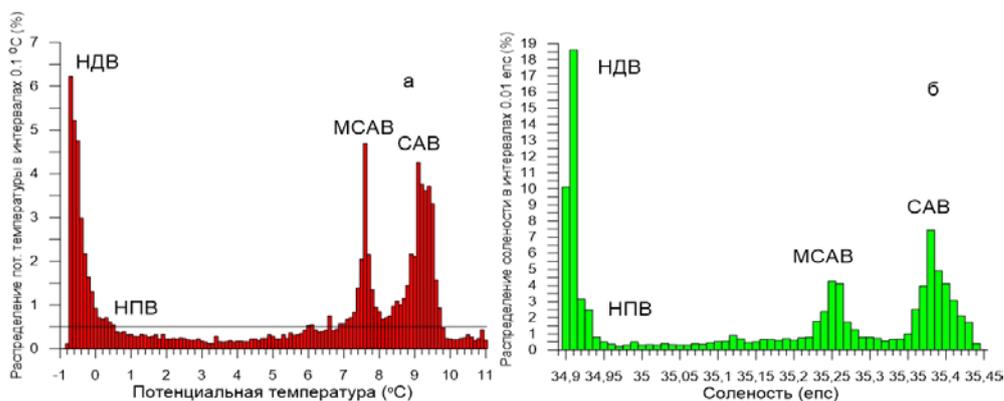


Рис. 4. Распределение (а) потенциальной температуры и (б) солёности на разрезах в ФШК в интервалах 0.1 ° и 0.01 епс. Черная линия (а) отбивает границы САВ, МСАВ и верхнюю границу НПВ

Ядра водных масс, определенные по данной методике, занимают около 76 % площади сечения ФШК. МСАВ – 25.5 ± 5 % и САВ – 19.9 ± 7.9 % доминируют в проливе, занимая около 45 % его площади, воды нижнего звена АВГК, представленные НПВ (14.7 ± 2.3 %) и НДВ (15.2 ± 3 %) в среднем заполняют не более 30 % канала.

Основным источником атлантических вод в ФШК являются воды прохода Роколл, которые переносятся на север южной ветвью САТ и Склоновым течением.

Средний перенос верхнего звена АВГК в Арктику через ФШК по нашим расчетам составляет 2.7 ± 0.4 Св и до десятых Св совпадает с долгопериодными (более 20 лет) измерениями переносов атлантических вод при помощи заякоренных измерителей течений. По нашим данным обнаружена рециркуляция МСАВ в ФШК (рис. 5). Эти воды переносятся в пролив Фарерским течением и попадают в Норвежское море через ФИП. Далее они огибают Фарерские острова с севера. Средний поток МСАВ южного направления равен 0.6 Св. Смешиваясь с более теплыми водами южнее ФШК, эти воды возвращаются в Норвежское море в восточной части ФШК (западный максимум переноса в центральной части канала). МСАВ, попадающие в канал с севера, имеют самую низкую температуру и соленость (7.3 °С, 35.19 епс). Восточнее рециркуляционной струи расположена еще одна струя более теплых и соленых МСАВ (8.0 – 8.1 °С, 35.26 епс), которые попадают в ФШК из района банки Хаттон-Роколл. Средний перенос этих вод составляет 0.8 Св (рис. 5). И, наконец, самая восточная и самая теплая и соленая струя – это продолжение южной ветви САТ и Склонового течения на выходе в Норвежское море. Это классическая фронтальная струя, которая разделяет МСАВ и САВ в ФШК. Средний переток вод в Норвежское море на шельфе Шетландских островов равняется 0.2 Св.

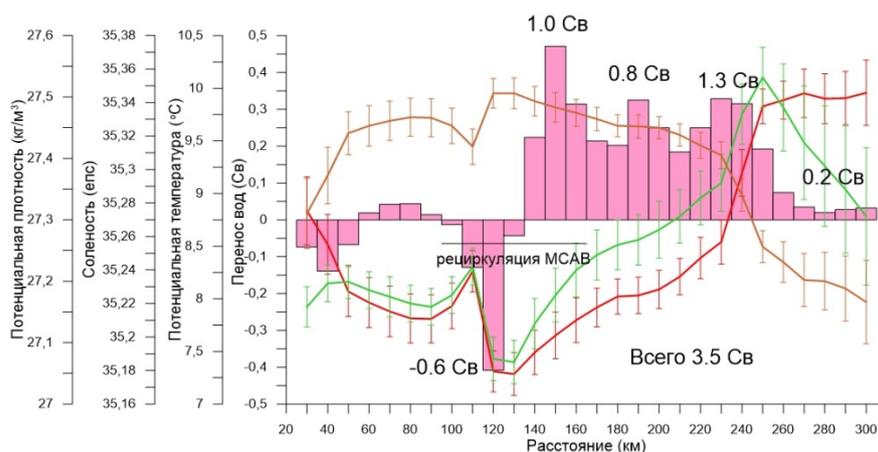


Рис. 5. Среднегодовое перенос вод верхнего звена АВГК ($\sigma_\theta < 27.8$ кг/м³) через ФШК 2011–2018 гг. (розовые столбцы). Средние потенциальные температуры САВ и МСАВ вдоль разреза ИО РАН показаны красной линией, среднегодовое соленость – зеленой линией, среднегодовое потенциальная плотность – коричневой линией. Вертикальными линиями показаны стандартные отклонения рассчитанных характеристик. Цифрами показаны величины переносов воды в Св

Средний перенос холодных арктических вод в Атлантику составляет -1.5 ± 0.2 Св, что является нижней границей результата, полученного по данным долгосрочных измерений течений на буйковых станциях в канале Фарерской банки, так называемого кинематического переноса (-2.0 ± 0.3 Св). Некоторое увеличение переноса вод в последнем случае можно объяснить вовлечением вод на верхней границе потока. На рис. 6 показана горизонтальная структура потока холодных вод. Перетекание в Атлантику сконцентрировано в восточной части ФШК. Резкий подъем температуры и соленость вдоль склонов канала свидетельствует об интенсивном перемешивании теплых и холодных вод при их пересечении ФШК. В центральной части канала температура и соленость плотных вод в значительной степени однородна.

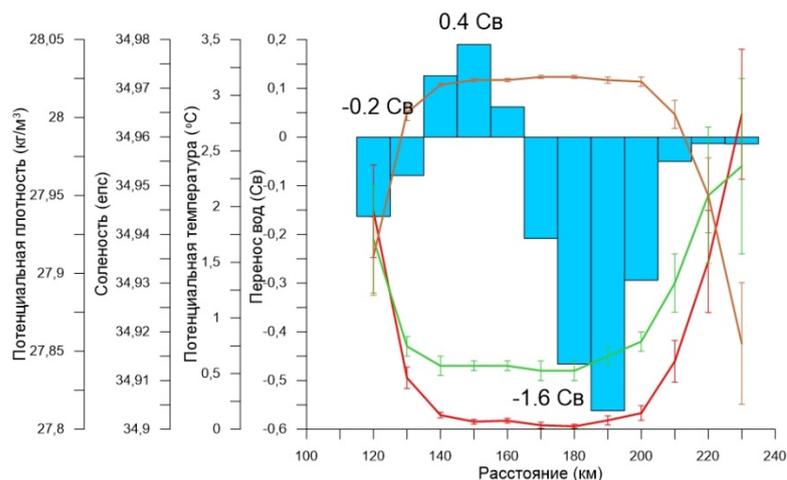


Рис. 6. Среднеголетний перенос вод нижнего звена АВГК ($\sigma_{\theta} > 27.8 \text{ кг/м}^3$) через ФШК 2011–2018 гг. (синие столбцы). Средние потенциальные температуры НПВ и НДВ вдоль разреза ИО РАН показаны красной линией; среднеголетняя соленость – зеленой линией; среднеголетняя потенциальная плотность – коричневой линией. Вертикальными линиями показаны стандартные отклонения рассчитанных характеристик. Цифрами показаны величины переносов воды в Св

В ФШК обнаружено сильное распреснение САВ, пропорциональное интенсивному распреснению МСАВ в ФИП.. С 2016 по 2018 г. средняя соленость САВ упала на 0.1 εps, с 35.3 до 35.2 εps. Средняя соленость НДВ более стабильна. С 2013 по 2015 г. соленость увеличилась на 0.008 εps, однако в следующие три года она вернулась к значениям 34.903–34.904 εps.

Среднеголетний баланс переноса вод верхнего звена АВГК в северо-восточной Атлантике

Используя расчеты среднеголетних переносов вод через 59.5° с. ш., ИФП и ФШК по данным ИО РАН была построена карта баланса переносов вод в северо-восточной Атлантике для верхнего звена АВГК, потенциальная плотность которого меньше $27.8 \sigma_{\theta}$. Полученный результат представлен на рис. 7. В среднем через разрез 59.5° с. ш. восточнее хребта Рейкьянес перетекает на север в летний период 14.3 Св теплых и соленых вод. Из них 2.7 Св уходит в Норвежское море через ФШК, а 3.5 Св через ИФП. В Исландском бассейне рециркулирует и возвращается на юг -4.8 Св. Оставшиеся воды пересекают хребет Рейкьянес и уходят в море Ирмингера, этот поток по нашим расчетам равен 3.3 Св. Для сравнения: единственные прямые измерения переносов через хребет Рейкьянес были выполнены французскими исследователями (4.5 Св) и опубликованы в работе *Petit et al.* 2018.

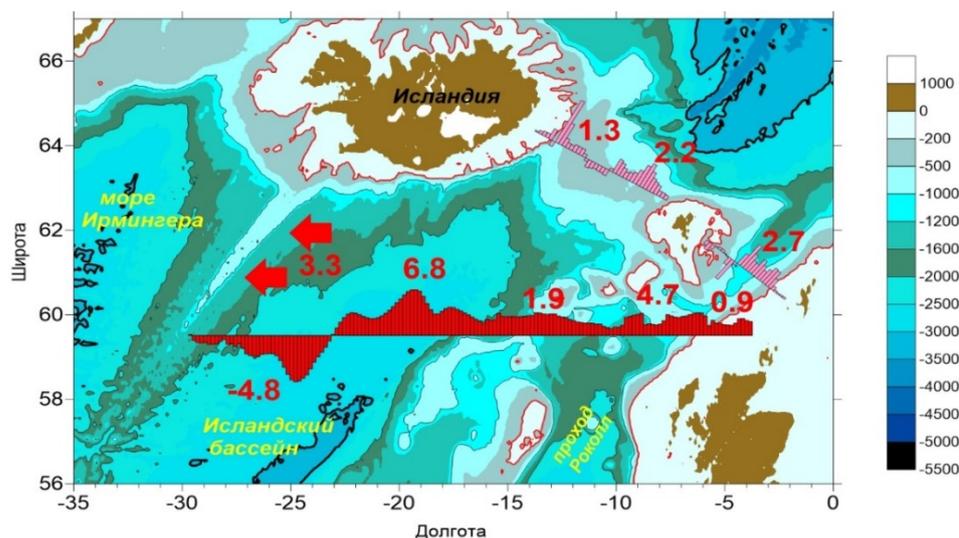


Рис. 7. Среднеголетний баланс переноса вод верхним звеном АВГК ($\sigma_{\theta} < 27.8 \text{ кг/м}^3$) в восточной части Северной Атлантики (восточнее хребта Рейкьянес) по данным ИО РАН 2006–2020 гг.

Апробация нового подхода в измерении состояния морской поверхности в экспедиции НИС «Академик Сергей Вавилов»

Состояние морской поверхности характеризует величину обмена энергией между океаном и атмосферой. Обмен энергией, в свою очередь, играет ключевую роль не только в формировании погоды, но и является определяющим для климата планеты в целом. Поэтому важно как можно более достоверно представлять себе механизмы формирования различных условий морской поверхности и ее отклика на формирование турбулентных потоков тепла и импульса на границе океан – атмосфера. Чтобы понимать эти механизмы, необходимы наблюдения, в качестве которых принято использовать данные программы судовых наблюдений VOS (*Voluntary Observing Ship*). Этот проект продолжается более 100 лет и является стандартом де-факто для климатологов. Однако не следует забывать, что визуальные наблюдения являются субъективными и, как следствие, неточными. Кроме того, последнее время происходит устойчивое уменьшение судов VOS. Мы предлагаем новый подход в измерении морского волнения, который не только значительно увеличит точность измерений, но и дополнительно расширит количество измеряемых параметров и позволит проводить измерения автоматически.

Для этого мы предлагаем использовать систему *IceVision*, разработанную компанией «Морские комплексы и системы» (<https://www.mcs.ru>). Эта система изначально была создана для оперативного определения ледовой обстановки, однако может быть переконфигурирована для оценки морской поверхности. *IceVision* подключается к судовому навигационному радару в пассивном режиме и анализирует сигналы, пришедшие от непосредственно от поверхности моря. Результатом является двумерная картина состояния морской поверхности за каждый оборот радара в терминах силы сигнала. Чтобы перевести силу сигнала в высоту волны необходимо провести большое количество одновременных прямых измерений, что и было сделано в экспедиции № 50 на НИС АСВ. Для валидации измерений *IceVision* использовались измерения волномерным бумом *Spotter*. Измерения бумом являются наиболее точными из доступных на настоящий момент. Однако, в отличие от измерений при помощи радара, они могут проводиться только когда судно находится в дрейфе. Разработанная система потенциально может быть использована как альтернатива программе VOS, однако для того, чтобы иметь возможность продолжить ряд наблюдений VOS, необходимо провести тщательную валидацию с визуальными наблюдениями.

В 50-й экспедиции на НИС АСВ наблюдения за состоянием волнения проводились метеорологическим отрядом, состоявшим из 5 человек: измерения при помощи *IceVision* (как на гидрологических станциях, так и попутные), прямые измерения волномерным бумом *Spotter* (часовой дрейф раз в сутки только на гидрологических станциях) и визуальные наблюдения всеми членами отряда одновременно (каждую гидрологическую станцию в светлое время суток). Предварительный результат показал, что данные *IceVision* хорошо согласуются с прямыми измерениями (рис. 8), однако это происходит при условии наличия шероховатости на поверхности моря. Для более точной оценки требуется накопление статистики в будущих экспедициях.

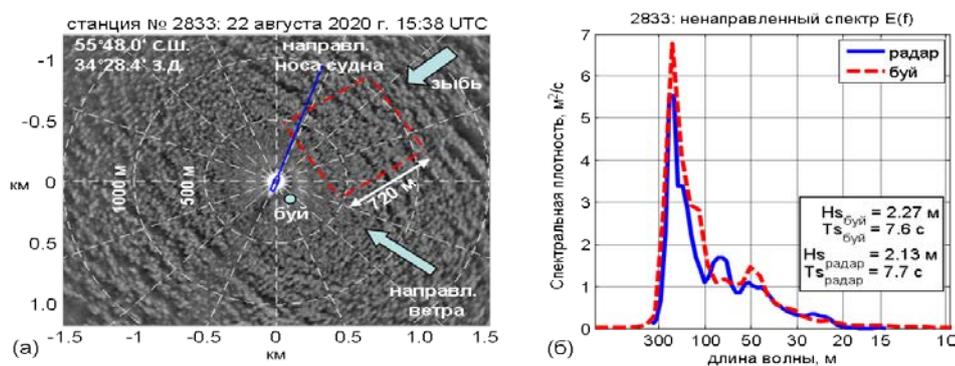


Рис. 8. Фрагмент радиолокационного (РЛ) изображения на станции № 2833 (а) (север находится сверху, контуром в центре и линией показаны текущая ориентация судна, квадратом обозначена область обработки РЛ сигнала); сравнение частотного ненаправленного спектра $E(f)$ по данным радара и буя для станции № 2833 (б)

СЗЧ ТИХОГО ОКЕАНА И ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЕ МОРЯ

Изучение изменений климата и среды северной части Тихого океана, результаты экспедиции на НИС «Академик М.А. Лаврентьев», рейс № 91

А.А. Босин, А.В. Артемова, Ю.П. Василенко

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток,
Россия*

14 ноября – 11 декабря 2020 г.

Научные работы экспедиции выполнялись в рамках госзаданий ТОИ ДВО РАН и УНИФ ДВО РАН.

Участники экспедиции – сотрудники ТОИ ДВО РАН и ТИБОХ ДВО РАН.

Основными целями экспедиции были:

изучение изменений климата и среды дальневосточных морей и северной части Тихого океана в прошлом для понимания текущего состояния и прогноза влияния возможных будущих изменений природной среды на социальное и экономическое развитие региона.

Виды и последовательность выполнения работ:

– получение новых данных о структуре верхней части осадочного чехла и строении акустического фундамента с помощью высокоразрешающих сейсмоакустических исследований;

– исследование современной гидрологии вод в районах работы экспедиции, что подразумевает исследование структуры водных масс в осенний период для указанного региона;

– отбор и первичная обработка образцов донных отложений, включая образцы поверхностных осадков и осадочные керны. Подготовка образцов осадка для последующего лабораторного анализа;

– сравнение полученных результатов с данными предыдущих экспедиций в районе исследований;

– попутные исследования на переходах между районами и станциями;

– проточная система для регистрации температуры, солености, содержания хлорофилла, содержания растворенного кислорода и рН в поверхностном слое воды.

Объем выполненных работ:

Программа экспедиция рейса № 91 выполнялась в режиме каботажного плавания, в ИЭЗ РФ.

Район исследований: Дальневосточные моря и северная часть Тихого океана.

Продолжительность составила 28 сут (с 14 ноября по 11 декабря 2020 г.). Начальник экспедиции – Босин Александр Анатольевич, к.г.н. Начало экспедиции в п. Петропавловск-Камчатский, завершение в п. Владивосток.

Основные результаты экспедиции:

Отработаны отдельные полигоны Тихого океана, Японского и Берингова морей, был получен уникальный геологический, океанологический и биологический материал.

Выполнены работы на 48 комплексных станциях, получены 761.3 км высокоразрешающих сейсмоакустических профилей.

Пополнена коллекция кернов морских донных отложений. Собран сетными и батометрическими ловами уникальный материал современного планктона. Собран многочисленный материал для микробиальных, микологических и генетических исследований, в том числе для секвенирования ДНК и впоследствии выделения ферментов для целей биотехнологии. Также будущие исследования токсинов из добытых в рейсе морских организмов представляют большой интерес с точки зрения разработки новых обезболивающих препаратов для людей.

Впервые для тихоокеанского района вблизи Камчатки были получены уникальные материалы, которые позволят провести более полную реконструкцию природной среды и климата всей северной части Тихого океана и дальневосточных морей в прошлом с периодичностью тысячелетий, столетий и декад, и выявить причины и механизмы глобальных изменений климата.

По просьбе Правительства Камчатского края и Российской академии наук научная группа экспедиции провела работу у восточного побережья Камчатки, где в октябре 2020 г. произошла экологическая катастрофа: отобраны пробы планктонных и бентосных организмов и гидробионтов, исследованы гидрологические особенности толщи воды и придонной обстановки, геохимические условия. Особое внимание уделено донным отложениям. Для понимания периодичности, истории и характера подобных явлений отобраны керны донных осадков – своеобразных летописей событий прошлого, благодаря которым станет ясно, происходили ли подобные экологические катастрофы ранее.

Также в рейсе проводится образовательная деятельность для студентов ДВФУ и молодых специалистов, участвующих в экспедиции, прочитаны лекции и непрерывно идет обучение новейшим и классическим методам исследований.

На борту в условиях судовых лабораторий были проведены первичные литологические, литофизические, микропалеонтологические, микробиологические и геофизические исследования, направленные на изучение и оценку степени реакции морской среды на происходившие в прошлом и идущие сейчас климатические изменения, в том числе и как отклик на растущую хозяйственную деятельность в регионе.

Также особенно ценными достижениями изучения материалов рейса станут данные о вулканической активности дальневосточного региона и изучение влияния вулканизма на климат земли.

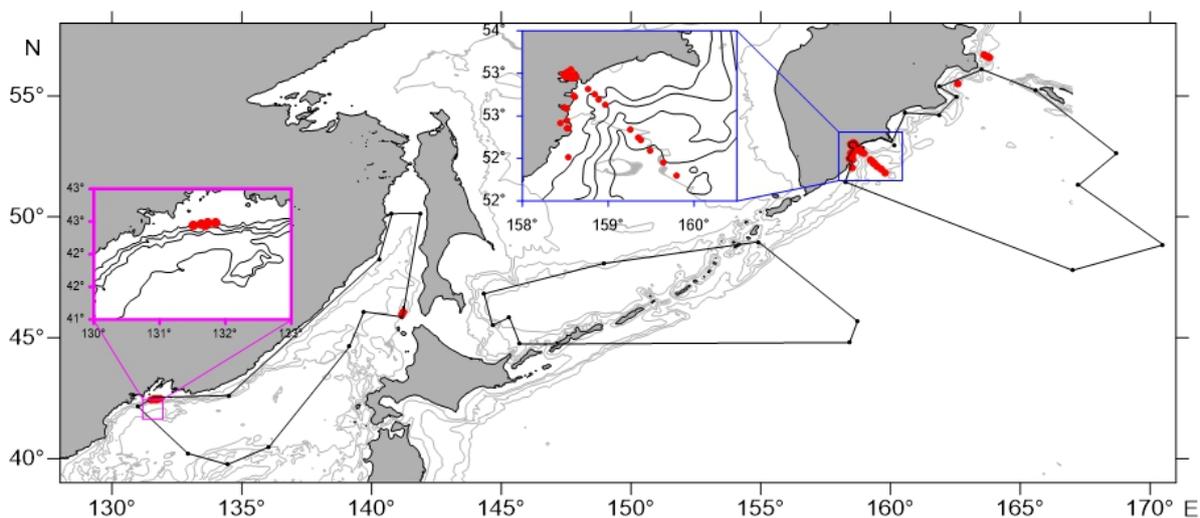


Рис. 1. Станции геологических и океанологических работ, выполненных в экспедиции № 91

Комплексные геолого-геофизические и океанографические исследования в Японском море на НИС «Академик М.А. Опарин», рейс № 61

М.Г. Валитов^{1}, Р.Б. Шакиров¹, Н.С. Лу¹, А.А. Легкодимов¹, Т.С. Якимов¹, А.К. Окулов¹, А.Л. Пономарева¹, М.А. Бовсун^{1,2}, В.В. Калинин¹, К.О. Балданова^{1,2}, В.А. Буланов¹, И.В. Корсков¹, В.Ю. Калгин¹, Д.С. Максеев¹, Т.Н. Колпащикова¹*

¹ Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, Россия

² Дальневосточный федеральный университет, Школа естественных наук, Владивосток, Россия

*e-mail: valitov@poi.dvo.ru

Экспедиционный сезон 2020 г. был сильно осложнен охватившей весь мир новой коронавирусной инфекцией COVID-19. Международная экспедиция с участием научных сотрудников Лаборатории газовых гидратов Университета Мэйдзи (г. Токио, Япония), планировавшаяся начаться в конце апреля согласно Плану морских экспедиционных исследований, была перенесена, как и многие другие экспедиции. Экспедиция состоялась с 17 ноября по 10 декабря 2020 г. на НИС «Академик Опарин» (рейс № 61). К сожалению, сложившаяся сложная эпидемиологическая ситуация не позволила иностранным коллегам принять личное участие в экспедиции.

Основной целью экспедиции являлось выполнение комплексных геолого-геофизических, газогеохимических, микробиологических и океанографических исследований, направленных на изучение условий и механизмов формирования Японского моря, Татарского пролива и корреляции распространения газо-флюидных потоков с сетью тектонических разломов.

В ходе экспедиции решались следующие задачи:

- изучение аномальных геофизических полей как основы для исследования глубинной структуры, характера тектонических деформаций подстилающего фундамента;
- поиск и изучение донных газовых потоков;
- оценка перспектив поисков газогидратов;
- оценка потоков метана и ртути на интерфейсе вода – атмосфера;
- выявление особенностей распределения и генезиса аномальных газогеохимических полей;
- изучение литологического, минералогического и химического состава донных отложений и их характеристик;
- измерение распределения и динамики атомарной ртути в приводном слое атмосферы;
- регистрация гидролого-гидрохимических параметров поверхностных вод с помощью проточной системы по ходу движения судна;
- изучение микробиологической генерации и окисления углеводородных газов в осадках;
- изучение аутигенной минерализации в донных отложениях, поиск индикаторов минеральных ресурсов;
- изучение химического состава органического вещества донных отложений, поиск биомаркеров углеводов;
- изучение химического состава поровых вод осадочных отложений;
- исследования рассеяния звука на мелкомасштабных неоднородностях водной толщи океана на различных глубинах;
- измерения коэффициентов поглощения звука и нелинейного акустического параметра воды в верхнем слое океана.

Экспедиционные исследования проводились в двух районах: в северной части Татарского пролива и в северной части Японского моря. В пределах первого района было отработано 2 полигона, в пределах второго – 5 (рис. 1).

Комплекс методов во время движения судна включал гравиметрические исследования, непрерывное акустическое зондирование водной толщи, магнитометрию, регистрацию температуры и солености в поверхностном слое по маршруту движения судна. На станциях осуществлялось геологическое опробование донных отложений гравитационными трубками для

определения их вещественного, газогеохимического и бактериального состава. В период проведения всех работ выполнялись атмосферические измерения содержания паров ртути.

За время экспедиции выполнено более 3600 погонных миль акустического зондирования, 2780 миль гравиметрической и магнитометрической съемки. Геологическое опробование донных осадков произведено на 53 станциях. Поднято 46 кернов донных отложений, общей длиной около 110 метров. Отобрано более 700 проб на измерение концентрации углеводородных газов, гелия и водорода, с поверхности керна отобрано 180 проб на микробиологический анализ. Из проточной системы, измеряющей в режиме реального времени температуру и соленость, отобрано 219 проб на анализ газовой составляющей в приповерхностном слое моря. Отобрано и проанализировано 357 шлихов шлама керна осадочных отложений.

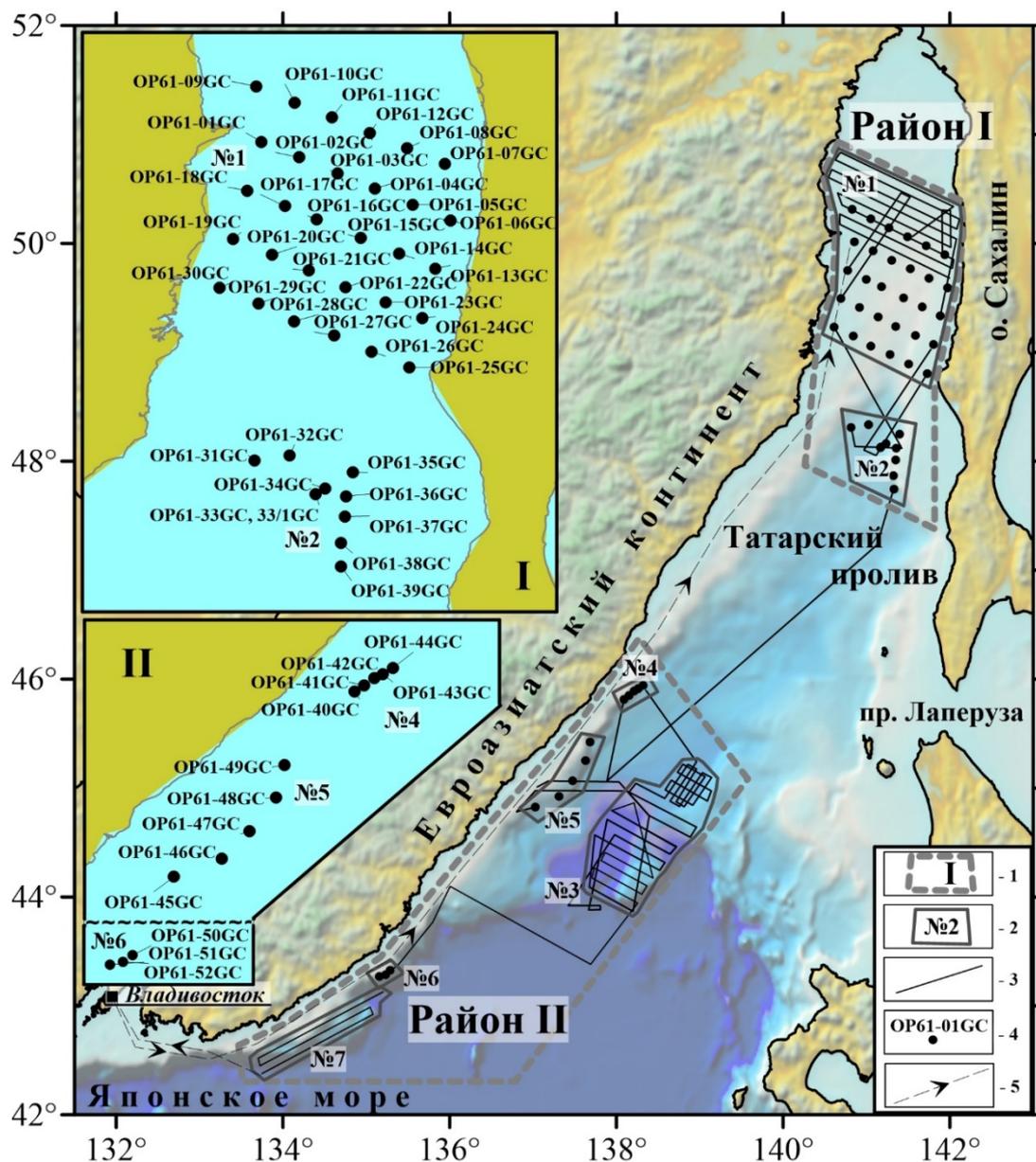


Рис. 1. Карта-схема маршрута исследования и расположения районов работ в рейсе № 61 НИС «Академик Опарин», 17 ноября – 10 декабря 2020 г.: 1 – районы работ и их номер; 2 – полигоны работ и их номер; 3 – профили геофизической съемки; 4 – геологические станции и их номер; 5 – маршрут движения судна

В результате было получено распределение магнитного и гравитационного полей в северной части Татарского пролива (рис. 2), в районе обширной осадочной депрессии, имеющей максимальную мощность накопленных осадочных отложений, что не только

позволило увеличить исследованную нами ранее акваторию (полигон № 1), но и дало новый материал для физико-геологического моделирования глубинного строения этого региона. Подробно закартирована новая, судя по интенсивным аномалиям магнитного поля, вулканическая гора на полигоне № 3, обнаруженная на окраине бордерленда о. Хоккайдо в 85-м рейсе (2019 г.) «НИС Академик М.А. Лаврентьев» по этой же исследовательской программе [1].

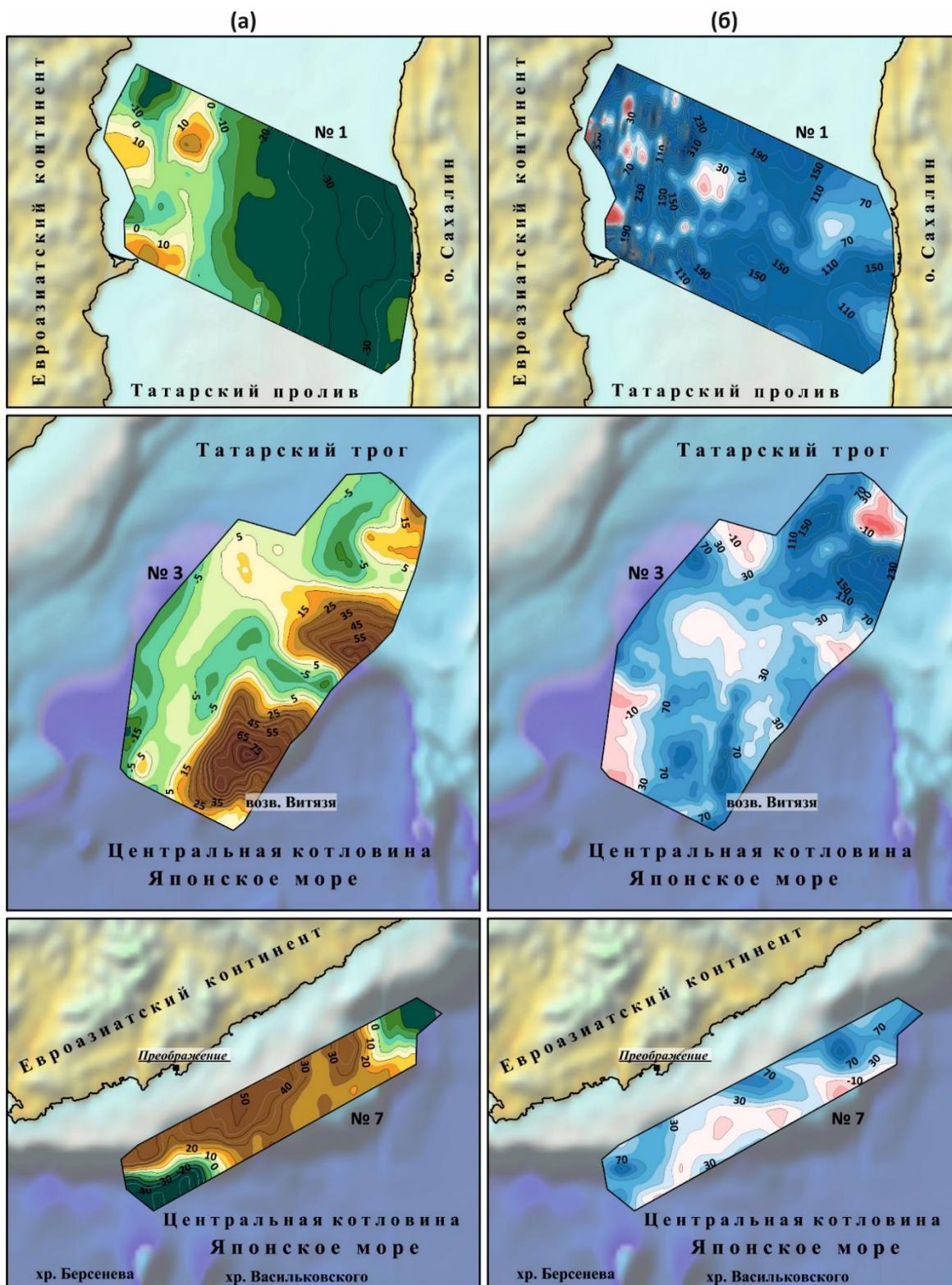


Рис. 2. Результаты геолого-геофизических исследований 61-го рейса НИС «Академик Опарин»: а – гравиметрия; б – магнитометрия. Положение полигонов показано на рис. 1

По результатам гидроакустических исследований получены данные о рассеянии звука в верхнем слое моря, обусловленные мелкомасштабными неоднородностями (планктон, турбулизованные слои, пузырьки). Обнаружены две придонные акустические аномалии, связанные, вероятно, с возможным выходом газов в Татарском проливе и в Японском море (рис. 3).

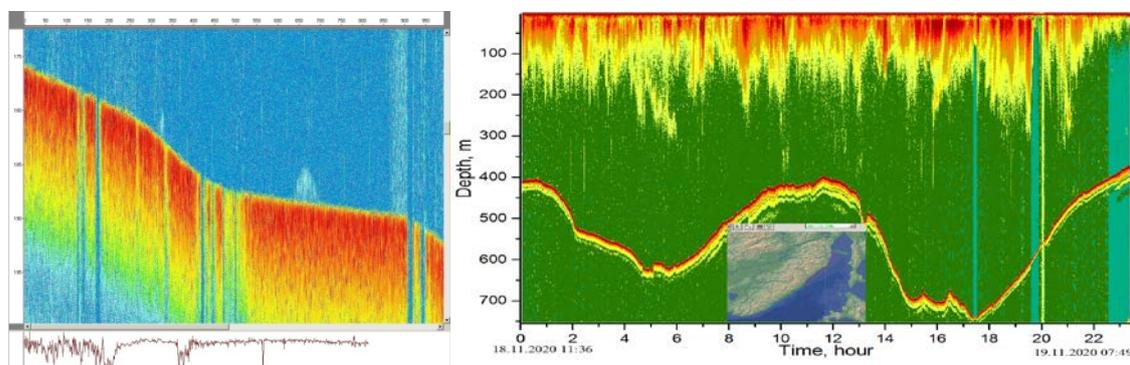


Рис. 3. Придонная акустическая аномалия (слева) и обратное рассеяние звука (справа) на гидроакустической записи

CWT-анализ позволил более наглядно увидеть потенциальные регионы источники, которые оказывали влияние на содержание газообразной элементарной ртути ($Hg(0)$) в приземной атмосфере в ходе рейса. В ходе рейса концентрации $Hg(0)$ изменялись в диапазоне от 0,49 до 1,83 $нг/м^3$, среднее составило 1,06 $нг/м^3$ ($N = 575$). Это значение было ниже как фонового диапазона Северного полушария (1,3–1,6 $нг/м^3$ [2]), так и большинства средних рейсовых значений, которые ранее были зарегистрированы в Японском море в летний период (рис. 4).

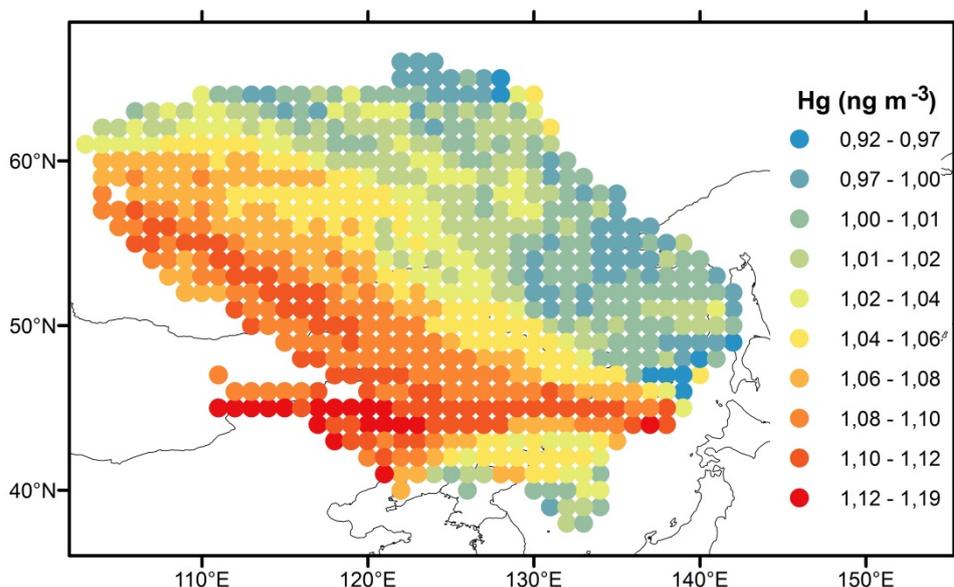


Рис. 4. Значения по данным CWT-анализа траекторий, взвешенных по концентрациям ртути, которые наблюдались в 61-м рейсе НИС «Академик Опарин»

В ходе экспедиции отбор осадка выполнялся на полигонах 1, 2, 4–6. В результате обнаружены новые и детализированы уже известные аномальные газогеохимические поля – индикаторы углеводородных скоплений, многочисленные проявления аутигенной минерализации (сульфиды, карбонаты, бариты) в осадочных отложениях до горизонта 4 м ниже морского дна. В центральной части Татарского пролива в новом районе севернее мыса Сюркум найден слой осадков почти черного цвета из-за обильного проявления гидротроилитовой минерализации, которая маркирует восстановительные условия с низким содержанием кислорода и потоки восстановленных газов.

В районе континентального склона северного Приморья обнаружен очень красивый крупный бежево-медовый светлого оттенка кристалл минерала глендонит, какие еще не встречались в Японском море (рис. 5). В целом обнаружили целую коллекцию аутигенных минералов под названием икаит, мелких глендонитовых кристаллов, карбонатные округлые конкреции с глендонитами внутри, очень много сульфидов, хорошо сформированные кристаллы барита, в том числе в ассоциации с сульфидами. Сульфиды обнаружены разных цветов: латунно-желтые, серые, коричнево-оранжевые, черные. Фактически найден новый район на континентальном склоне Приморского края (акватория в районе Амгу) с уникальной аутигенной минерализацией. Много образцов отобрано на микробиологические исследования.



Рис. 5. Обнаруженный в 61-м рейсе НИС «Академик Опарин» глендонит

В экспедиции отбирались пробы поровых вод, которые будут проанализированы на содержание основных ионов (Cl, SO₄, Na, K, Mg, Ca), для оценки потока метана на основе анализа сульфат иона. Также будут определены микроэлементы (Li, Sr и др.) для оценки вклада глубинных источников флюида. Специальной задачей является определение концентраций йода и изотопного маркера Йод-129 для характеристики источников метана. Для определения генезиса углеводородных газов анализируются соотношения CH₄/(C₂H₆ + C₃H₈) и ^{δ13}C. В образцах карбонатов будут выполнены датирования на основе анализа радиоактивного углерода ¹⁴C и уран-ториевое датирование.

В экспедиции собрана ценная коллекция бентосной фауны и инфавны, особенно много разнообразных червей, которые живут на разных горизонтах ниже дна и моллюски. Возможно, наблюдалась необычная экосистема в гравийно-галечниковых отложениях, которые перекрыты плотным слоем песка с илом (около 20–30 см). Слой галечника тянется с континента на склон, и, вероятно, в этом слое существуют благоприятные гидрогеологические условия для существования определенных видов живых организмов. Гравийно-галечниковые отложения, захороненные ныне под более тонкозернистыми и плотными осадками, содержат внутри фауну и простираются относительно далеко в море по направлению от Сихотэ-Алиня к острову Сахалин. Подобные необычные экосистемы известны для озера Байкал.

Для исследования палеоокеанологических характеристик и построения хроностратиграфической модели отобраны образцы осадков на изучение микроводорослей (бентосные диатомеи, фораминиферы), а также образцы углеродсодержащих объектов (древесина, остатки скелета рыб, раковины, фораминиферы). Диатомовая стратиграфия служит

основой для обсуждения изменения циркуляции поверхностных и придонных вод в течение последнего гляциального максимума. Будут определены стабильные изотопы кислорода в карбонатах ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) в целях палеоокеанографии и стабильные изотопы углерода ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) для оценки палео-флуктуаций активности метановых потоков. Необходимо отметить, что аналитические исследования будут выполняться совместно учеными ТОИ ДВО РАН, Университета Мэйдзи и Университета Чиба (Япония).

В итоге исследований за 5 лет комплексной геолого-геофизической съемкой покрыта почти вся площадь в пределах экономзоны РФ в северной части Японского моря. На будущее планируется изучение обнаруженных аномальных участков, новых возвышенностей и других особенностей и исследование российской части Японского моря.

Полученные данные являются важным вкладом в развитие морских научных геолого-геофизических исследований Российской академии наук в Дальневосточных морях РФ. Стоит отметить, что половину научного состава экспедиции составляли молодые ученые – сотрудники в возрасте до 35 лет, среди которых было два студента и четыре аспиранта, а средний возраст всех участников экспедиции составил 40 лет. Ребята получили бесценный опыт проведения морских научных исследований и, что важно, подкрепили теоретические знания практикой.

Научный состав благодарит капитана дальнего плавания С.С. Склярова и экипаж за помощь в успешном выполнении запланированных в экспедиции исследований. Отдельная благодарность УНИФ и Минобрнауки РФ за содействие в решении вопросов организации экспедиции.

Экспедиционные работы проведены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Госзадания ТОИ ДВО РАН: №№ АААА-А17-117030110032-3, АААА-А17-117030110035-4, АААА-А19-119122090009-2, АААА-А17-117030110040-8 и грантов РФФИ 18-05-00153А, 18-35-00047.мол_а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комплексные геолого-геофизические, газогеохимические и океанографические исследования в Японском море и Татарском проливе в 85-ом рейсе НИС "Академик М.А. Лаврентьев" / Валитов М.Г., Ли Н.С., Яцук А.В., Прошкина З.Н., Пономарева А.Л., Калинин В.В., Плетнев С.П., Марьина Е.Н., Обжиров А.И., Шакиров Р.Б., Швалов Д.А., Бовсун М.А. // Тихоокеанская геология. 2020. Т. 39, № 3. С. 104–109. DOI: 10.30911/0207-4028-2020-39-3-104-109
2. Atmospheric mercury concentrations observed at ground-based monitoring sites globally distributed in the framework of the GMOS network / Sprovieri F., Pirrone N., Bencardino M. [et al.] // Atmos. Chem. Phys. 2016. Vol. 316. P. 11915–11935. DOI: 10.5194/acp-16-11915-2016

Исследования в Гамовском каньоне Японского моря

В.В. Мордухович^{1, 2}

¹Национальный научный центр морской биологии имени А. В. Жирмунского ДВО РАН,
Владивосток, Россия

²Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия
vvtora@mail.ru

Залив Петра Великого Японского моря – одна из наиболее изученных акваторий дальневосточных морей России, характеризующаяся высоким видовым богатством (порядка 4000 видов организмов (Адрианов, Кусакин, 1998)) и одновременно очень высокой интенсивностью антропогенной деятельности. Мониторинговые исследования в водах залива ведутся регулярно, однако охватывают они преимущественно прибрежные экосистемы на глубинах до 200–400 м. В то же время на шельф в Японском море приходится менее 25 % площади (Ларина, 1968). Современное развитие морской техники (например, дистанционного зондирования, автономных и телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (АНПА, ТНПА) значительно расширяет возможности исследований глубоководных экосистем. С 2011 г. НИЦМБ ДВО РАН с использованием различных ТНПА проводит исследования глубоководных экосистем залива Петра Великого с целью детального описания особенностей морфологии и геологического строения морского дна, состава, структуры и распределения донной фауны (Григорьева, Ивин, 2015). Особый интерес при этом представляют глубоководные каньоны, являющиеся основными центрами осадочного материала на континентальных окраинах (Oliveria et al., 2007), имеющие огромное значение в качестве основных каналов для переноса органического углерода (Heussner et al., 1996; Puig et al., 2003) и макрофитов (Vetter and Dayton, 1999) с побережья или шельфа на батиметрические и абиссальные глубины, а также характеризующиеся высоким разнообразием мест обитания и, как следствие, высокими биологическим разнообразием и биомассой сообществ (Rowe et al., 1982; Ramirez-Llodra et al., 2008, 2010).

Экспедиционные исследования были направлены на изучение глубоководной фауны Гамовского каньона с использованием научного оборудования подводного телеуправляемого аппарата (ТПА) *Comanche (SUB-Atlantic)*, Великобритания) и преследовали решение следующих ключевых задач:

- изучение биологического разнообразия глубоководного бентоса;
- исследование пространственной структуры сообществ;
- изучение структуры и морфологии дна и донных осадков, выявление объектов антропогенного происхождения.

В ходе экспедиции выполнено 5 погружений ТНПА «Команч-18» в диапазоне глубин от 350 м до 3000 м (рис. 1). Общая продолжительность погружений составила 23 ч 47 мин, из которых 9 ч 19 мин проведены на дне, для которых велась постоянная видеозапись глубоководных экосистем.

Полученные результаты подтвердили предварительные данные о выраженной пространственной структуре сообществ Гамовского каньона. На глубине 3000 м на мягких грунтах наблюдаются наименьшие значения плотности поселения и таксономического разнообразия макро- и мегафауны. На глубинах 350–800 м выявлены закономерные изменения в биоценозах вдоль батиметрического градиента, между восточным и западным склонами, мягкими и твердыми субстратами. При этом и в составе, и в структуре сообществ, и в особенностях распределения отдельных таксонов выявлены новые особенности. В частности, визуальная оценка свидетельствует о намного большем числе видов глубоководных (более 400 м) *Demospongia*, чем было известно ранее для залива Петра Великого (1 вид – *Clathria lambei*) (Ходаковская, 2005). Кроме того, показано значительное распространение в каньоне эпибентосных трахимедуз (*Trachymedusae*) с плотностью поселения до 10 экз./м². Отсутствие данных об этой группе для залива Петра Великого и в целом для континентального склона Японского моря, по всей видимости, обусловлено недостатками используемых ранее орудий лова.

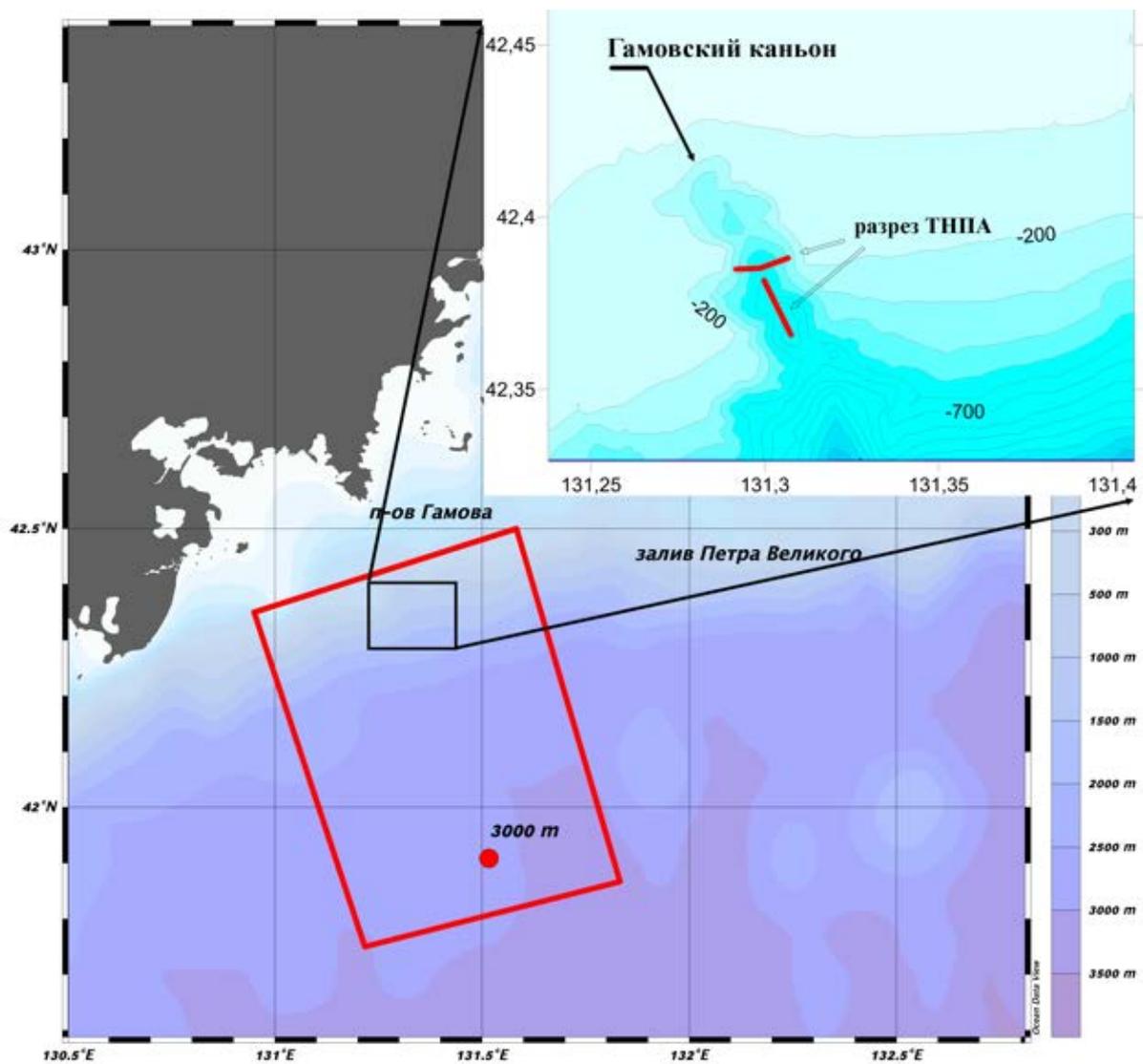


Рис. 1. Карта-схема района работ

В целом наибольшие плотности поселения и таксономическое разнообразие отмечены на крупных валунах, скалистых участках, где формируются сообщества, полностью покрывающие субстрат, состоящие из брахиопод, офиур (в том числе крупные *Gorgonocephalus*), полихет, губок, асцидий, голотурий *Psolidae*, октокораллов, среди подвижных форм здесь многочисленны морские ежи *Strongylocentrotus* sp., часто встречаются голожаберные моллюски *Tritonia* sp., гастроподы *Buccinidae* и *Onchidiopsis* sp., креветки, морские лилии *Heliometra* sp. (рис. 2, А–В).

На глубине 608 м обнаружены хорошо выраженные «пятна» бактериальных матов (рис. 2, 3), а рядом с некоторыми и раковины двустворчатых моллюсков. Известно, что на подобных глубинах, при наличии холодных высачиваний, могут формироваться характерные сообщества восстановительных экосистем с облигатными хемосимбиотрофами, в частности представителями семейств *Vesicomysidae*, *Solemyidae*, *Thyasiridae*. Ранее такие сообщества в российских водах Японского моря не были выявлены.

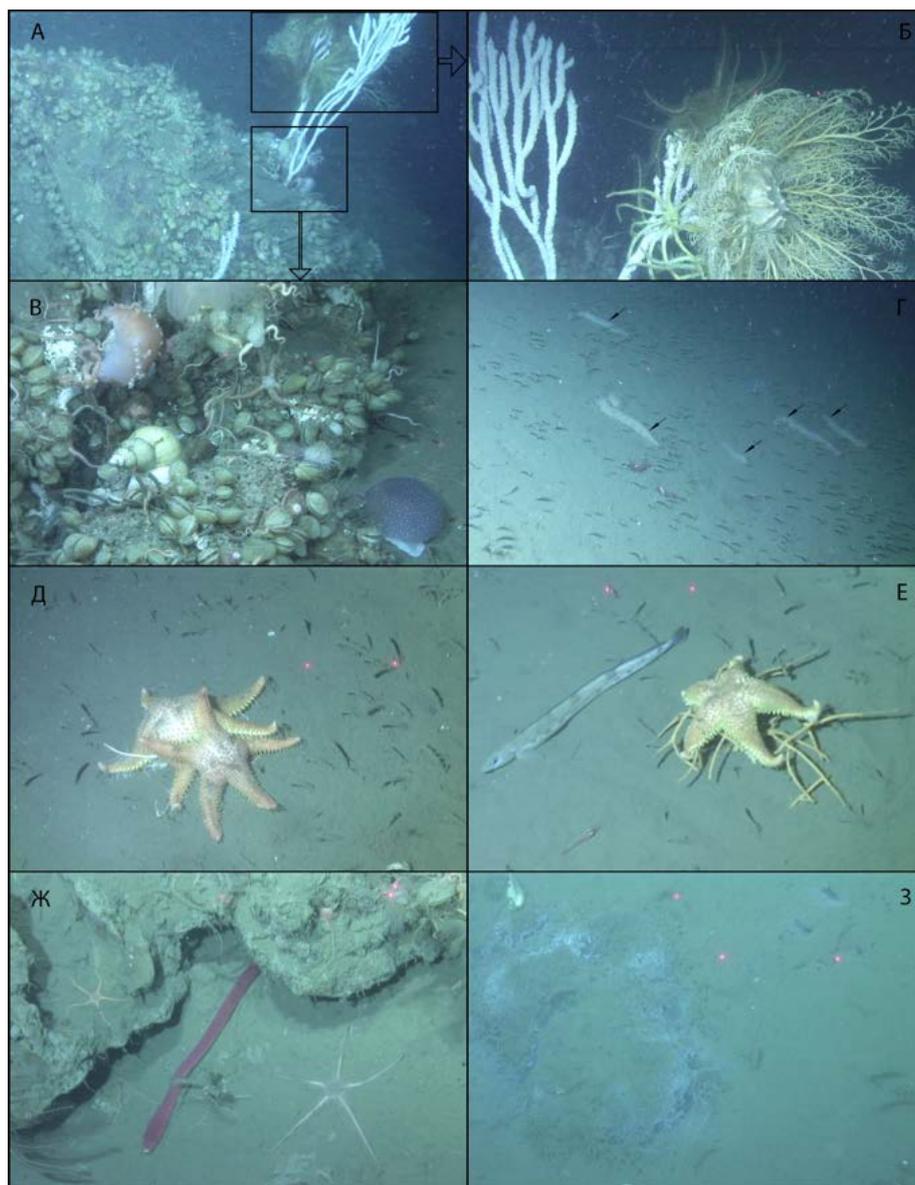


Рис. 2. Сообщество твердых субстратов, глубина около 750 м (А–В); сообщество мягких грунтов равнинных участков каньона, глубина 774 м (Г) (стрелками указаны голотурии *Synallactes* sp.); морские звезды (Д, Е), атакующие морскую лилию (Д) и губку (Е), глубина около 700 м; крупная немертина, глубина около 650 м (Ж); бактериальные маты, глубина 608 м (З)

Близость густонаселенных районов южного Приморья, высокая интенсивность морского транспорта и добычи морских биологических ресурсов определяют высокую нагрузку на сообщества залива Петра Великого, в том числе и на максимальных глубинах. В ходе выполнения всех разрезов на всех глубинах обнаружены различные антропогенные объекты. Очень часто встречаются различные части снастей для промысла морских биологических ресурсов (дель, ловушки, канаты), также распространены автомобильные шины, банки и т. д. (рис. 3). Очевидно, что сообщества каньона испытывают серьезное антропогенное воздействие, связанное как с поступлением поллютантов в виде растворенных и взвешенных веществ, так и непосредственно различных антропогенных объектов. Полноценные исследования антропогенного воздействия на глубоководные сообщества российских вод Японского моря в настоящее время отсутствуют. Оценка этого воздействия и его последствий требуют разработки программы комплексных исследований. Гамовский каньон представляется одним из наиболее удобных модельных полигонов для проведения долговременных мониторинговых работ в широком диапазоне глубин, от кромки шельфа до абиссали.



Рис. 3. Разнообразные антропогенные объекты в Гамовском каньоне

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Адрианов А. В., Кусакин О. Г. Таксономический каталог биоты залива Петра Великого Японского моря. - Владивосток: Дальнаука, 1998. 350 с.
- 2 Григорьева Н.И., Ивин В.В. Подводные исследования большого Гамовского каньона (район залива Петра Великого, Японское море) // Тихоокеанская геология. 2015. Т. 34. №1. С. 103-108.
- 3 Ларина Н.И. Расчет площадей Тихого океана, его морей и ряда котловин // Океанология. 1968. Т. 8. Вып. 4. С. 646-658.
- 4 Ходаковская А.В. Фауна губок (Porifera) залива Петра Великого Японского моря // Биология моря, 2005, том 31, № 4, с. 251-255
- 5 Heussner S., Calafat A., Palanques A. Quantitative and qualitative features of particle fluxes in the North-Balearic Basin / in: EUROMARGE-NB Final Report, edited by: Canals, M., Casamor, J. L., Cacho, I., Calafat, A. M., and Monaco, A., MAST II Programme, EC, 1996. Vol. II. P. 41-66.
- 6 Oliveira A., Santos A.I., Rodrigues A., Vitorino J. Sedimentary particle distribution and dynamics on the Nazare canyon system and adjacent shelf (Portugal) // Mar. Geol., 2007. Vol. 246. P. 105-122.
- 7 Puig P., Ogsto A. S., Mullenbach B.L., Nittrouer C.A., Sternberg R.W. Shelf-to-canyon sediment transport processes on the Eel Continental Margin (Northern California) // Mar. Geol., 2003. Vol. 193. P. 129-149.
- 8 Ramirez-Llodra E., Ballesteros M., Company J.B., Dantart L., Sard'a F. Spatio-temporal variations in the diversity, biomass and abundance of bathyal invertebrates in the Catalan Sea (Western Mediterranean) // Mar. Biol., 2008. Vol. 153. P. 297-309.
- 9 Ramirez-Llodra E., Company J.B., Sard'a F., Rotllant G. Megabenthic diversity patterns and community structure of the Blanes submarine canyon and adjacent slope in the Northwestern Mediterranean: a human overprint? // Mar. Ecol., 2010. Vol. 31. P. 167-183.
- 10 Rowe G.T., Polloni P.T., Haedrich R.L. The deep-sea macrobenthos on the continental margin of the northwest Atlantic Ocean // Deep-Sea Res., 1982. Vol. 29. P. 257-278.
- 11 Vetter E.W., Dayton P.K. Organic enrichment by macrophyte detritus and abundance patterns of megafaunal populations in submarine canyons // Mar. Ecol.-Prog. Ser., 1999. Vol. 186. P. 137-148.

**Комплексные исследования
северо-западных прибрежных акваторий
Японского и Охотского морей в период с 9 по 24 сентября 2020 года
(59-й рейс НИС «Академик Опарин»)**

П. Я. Тищенко

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И.Ильичева
Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия
e-mail: ttravel@poi.dvo.ru*

Предварительные научные результаты экспедиции можно сформулировать следующим образом:

I. В Японском море установлены автономные буйковые станции долговременных наблюдений для выполнения измерений океанографических параметров в рамках мониторингового проекта *NEAR-GOOS* для оценки межгодовой изменчивости характеристик вод моря и интенсивности взаимодействия шельфа и открытой части моря в области формирования даунвеллинга/апвеллинга и вихрей синоптического масштаба в северо-западной части моря.

II. В Охотском море в заливе Академии выполнены 69 гидролого-гидрохимических станций, на которых получены следующие результаты:

а) на каждой станции получены вертикальные профили следующих параметров морской воды: температуры, электропроводности (солености), мутности, флюоресценции хлорофилла *a*, флюоресценции желтого органического вещества (*CDOM*), растворенного кислорода, ФАР; отобраны пробы воды для анализа на гидрохимические параметры: кислород, соленость, содержание биогенных веществ (аммоний, нитриты, нитраты, фосфаты, силикаты, общий азот, общий фосфор), рН, общую щелочность, содержание растворенного органического вещества, гумусового вещества; обработаны пробы на гидробиологические характеристики: концентрацию хлорофилла, концентрацию / видовой состав фитопланктона и зоопланктона; измерена глубина видимости диска Секки и получены профили фотосинтетически активной радиации;

г) рассчитаны величины парциального давления углекислого газа для акватории залива Академии, которые указывают, что залив является в целом стоком атмосферного углекислого газа; поверхностные воды основной части залива пересыщены кислородом, а его кутовая часть недосыщена по отношению к атмосферному кислороду и пересыщена по отношению к атмосферному углекислому газу;

д) обнаружены высокие концентрации хлорофилла *a* в двух противоположных областях залива Академии – в северной части залива и в кутовой части Ульбанского залива;

е) установлены области высоких концентраций биогенных веществ – придонные воды в северной части залива Академии и в кутовой части Ульбанского залива.

Проведенные работы позволят проверить наши результаты и гипотезы, полученные в предыдущих экспедициях, и установить новые особенности процессов и явлений, не упоминаемые до настоящего времени в литературе по Японскому морю и в акватории Шантарского архипелага.

Исследование состояния и динамики вод северо-западной части Японского моря в осенне-зимний период на НИС «Академик Опарин», рейс № 62

**В.Б. Лобанов*, А.Ф. Сергеев, Е.Н. Марьина, И.А. Прушковская, А.М. Колтунов,
В.А. Горячев, В.В. Калинин, С.А. Зверев, А.Ю. Юрцев, Н.Б. Лукьянова, Д.А. Юрикова,
С.П. Кукла, Д.С. Максеев, Т.С. Якимов, Г.А. Крайников, И.А. Коржиков, А.Э. Леусов,
С.Г. Сагалаев, П.Ю. Семкин, П.П. Тищенко, П.Я. Тищенко, Е.М. Шкирникова,
М.Г. Шевцова, К.А. Апарина, А.А. Рюмина, О.И. Загаруйко, Э.А. Акулова,
Е.А. Юрикова, К.С. Федорова, Р.В. Чичкин**

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева
Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия
e-mail: lobanov@poi.dvo.ru

Экспедиционный рейс НИС «Академик Опарин» № 62, проводившийся в период 14–29 декабря 2019 г., был организован Тихоокеанским океанологическим институтом им. В. И. Ильичева для исследования межгодовой и короткопериодной изменчивости характеристик вод Японского моря в связи с изменениями климата и растущей антропогенной нагрузкой, а также для изучения структуры и динамики вод северной части моря, процессов продукции и деструкции органического вещества, распределения биогенных элементов, планктона, естественных и искусственных изотопов, метана и других химических параметров в начале зимнего периода. Руководитель экспедиции – с. н. с. ТОИ ДВО РАН А.Ф. Сергеев.

Работы выполнялись в рамках госзадания ТОИ ДВО РАН на 2020 г. по темам № 3 «Исследование основных процессов, определяющих состояние и изменчивость океанологических характеристик дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана» (0271-2016-0005) и № 6 «Влияние природных и антропогенных факторов на биогеохимические процессы и состояние биоты в морских экосистемах» (0271-2016-0006), а также международным программам «Исследование окраинных морей Азии КРИМС/ПАЙСИС (CREAMS/PICES)» Северотихоокеанской организации по морским наукам (PICES) и «Глобальная система наблюдения океана для региона северо-восточной Азии (NEAR-GOOS)» ВЕСТПАК МОК-ЮНЕСКО.

В задачи экспедиции входило выполнение океанографических измерений и отбор проб воды для гидрохимических анализов и зоопланктона вдоль разрезов климатического мониторинга международных программ CREAMS (132°20' в. д.) и NEAR-GOOS (134°00' в. д.), съемка синоптических вихрей у южного побережья Приморского края и подъем двух автономных донных станций (АДС), а также регистрация содержания метана в поверхностном слое моря и содержания ртути в приводном слое атмосферы вдоль маршрута судна (рис. 1).

Из-за штормовой погоды судну часто приходилось уходить из района работ и укрываться в прибрежной зоне от залива Владимира до зал. Петра Великого. Тем не менее основная часть программы экспедиции была успешно выполнена. Всего сделано 37 станций с СТД-зондированием, из них 23 станции с отбором проб воды от поверхности до дна, 12 станций с СТД-зондированием до 1200 м на разрезе через вихрь, отобрано 6 проб на радиоактивный изотоп водорода – тритий. На 20 станциях взято 35 проб зоопланктона. Измерение ртути в приводном слое атмосферы проводилось вдоль всего маршрута судна, а измерение ее потока между морем и атмосферой было выполнено на 2 станциях в открытой части моря и 3 прибрежных. Отбор проб вод для определения содержания метана проводился также вдоль всего маршрута судна с интервалом 3 ч, всего отобрано 102 пробы.

Гидрохимические анализы включали определение на борту содержания растворенного кислорода, биогенных элементов, рН и щелочности (по 334 пробы), а также отбор и консервацию проб на определение солености, хлорофилла *a* и гуминов (по 162 пробы).

В качестве основных предварительных результатов экспедиции можно выделить следующее:

1. По данным мониторинговых разрезов показан продолжающийся рост температуры придонных вод Центральной глубоководной котловины Японского моря, связанный с ослаблением

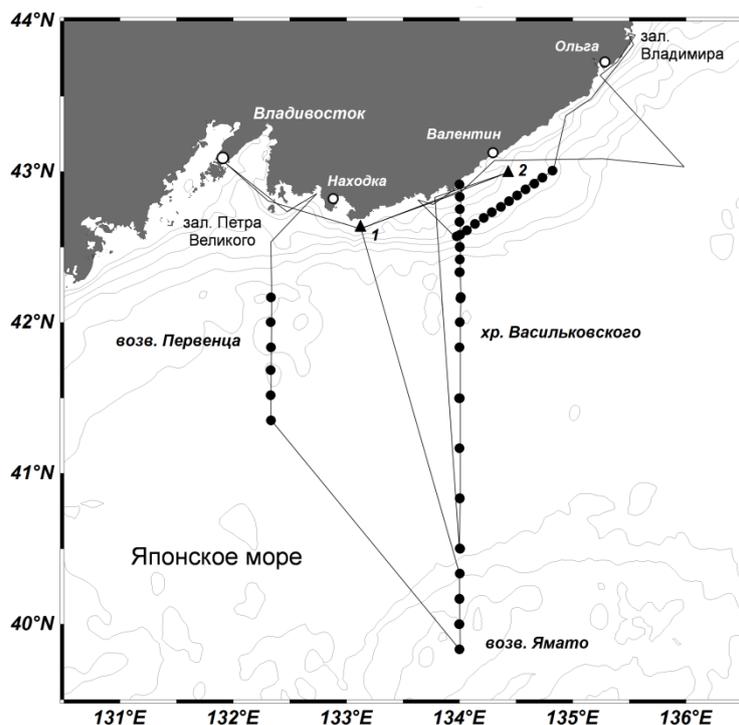


Рис. 1. Схема работ экспедиции ТОИ ДВО РАН на НИС «Академик Опарин» (рейс № 62) в северо-западной части Японского моря в декабре 2020 г. (черными точками показано положение океанографических станций, треугольниками – положение АДС)

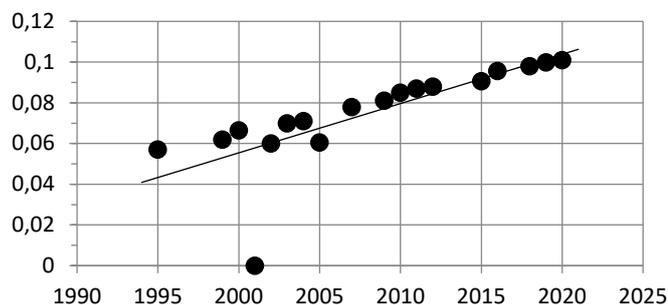


Рис. 2. Межгодовая изменчивость температуры воды в придонном слое 3000–3500 м в Центральной котловине Японского моря. Показан линейный тренд 0.0018 °C/год за период 1995–2020 гг.

конвекции. Отмечается уменьшение скорости роста с 0.0018 °C/год за весь период наблюдений с 1995 по 2020 г. до 0.0016 °C/год за последние 10 лет (рис. 2).

2. Подтверждено, что развитие апвеллинга в области циклонического круговорота северо-западной части моря в осенне-зимний период обеспечивает более интенсивное охлаждение поверхностного слоя вод. Показано влияние топографического эффекта – привязанность апвеллинга к подводным возвышенностям Первенца и Васильковского, над которыми установлен подъем вод, распространяющийся до поверхностного слоя и обусловленный циклонической завихренностью.

3. Детальная съемка антициклонического вихря у юго-восточного побережья Приморского края позволяет изучить особенности структуры его водных масс (рис. 3). Ниже поверхностного ядра, сформированного теплыми водами низкой солености (33.67–33.75 есп), обнаружено вторичное внутритермоклинное ядро вод пониженной солености (34.03–34.04 есп) в слое 120–190 м, что отражает сложный характер трансформации вихря в процессе эволюции. Аномалии в области вихря прослеживаются до дна (450 м).

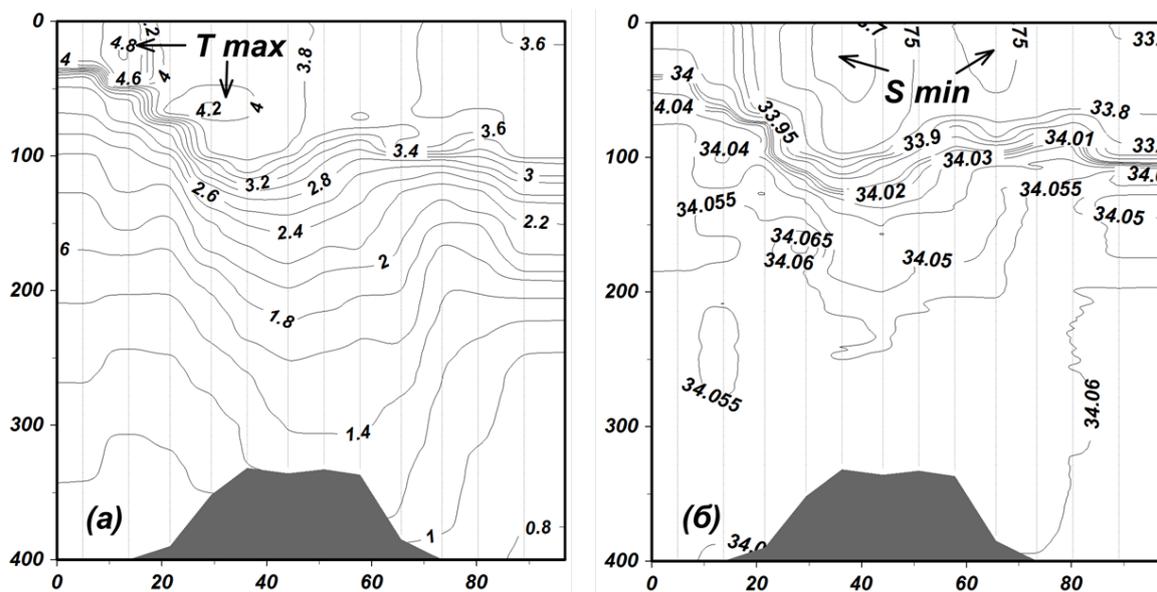


Рис. 3. Вертикальное распределение температуры воды (°C) (а) и солёности (епс) (б) на разрезе через антициклонический вихрь на кромке шельфа Приморья. По вертикали глубина в м, по горизонтали – расстояние в км. Вертикальные линии – СТД-зондирования. Показаны области экстремальных значений температуры и солёности

4. Подняты две автономные донные станции с доплеровскими профилографами течений и датчиками океанографических параметров, установленные на кромке шельфа на глубинах около 100 м в районе г. Находки и пос. Валентин (рис. 1) в начале сентября 2020 г. Предварительный анализ данных показывает изменения циркуляции вод и температуры в осенне-зимний период – переход от бароклинной структуры Приморского течения в конце летнего сезона к баротропной осенью, развитие апвеллинга, его релаксацию и периодические аномалии, обусловленные влиянием синоптических вихрей.

5. Предварительные анализ видового разнообразия, распределения и количественных характеристик зоопланктона Японского моря указывает на неравномерность распределения отдельных групп, которые могут являться маркерами течений. Наибольшее видовое разнообразие и максимальная численность в планктоне наблюдаются вблизи возв. Ямато. В пробах, отобранных в декабре, зоопланктон представлен в основном зимующими стадиями, следовательно, полученные данные позволят охарактеризовать жизненные циклы видов, которые являются основным источником питания промысловых планктоноядных рыб: крупные копеподы родов *Calanus*, *Eucalanus*, *Neocalanus*, *Metridia*, *Pareuchaeta*.

6. Измерения ртути показали, что в зимний период перенос воздушных масс из загрязненных районов Китая оказывает значительное влияние на ее содержание в приземной атмосфере над Японским морем. В целом зимние концентрации оказались выше, чем осенне-зимние (октябрь 2019 г.), что, возможно, обусловлено сжиганием большего количества топлива в зимний период. Максимальные значения потока ртути из моря в атмосферу зарегистрированы в более теплых и соленых водах центральной части Японского моря, минимальные потоки – в более холодных и менее соленых прибрежных водах Приморского края.

7. Полученный массив данных о содержании метана в поверхностных водах Японского моря в зимний период позволит совместно с накопленными данными предыдущих съемок оценить пространственную неоднородность потоков метана и их связь с тектоническими структурами.

8. Многолетний мониторинг радиоактивного загрязнения моря показывает, что концентрации радиоактивного водорода (трития) вышли на фоновый уровень 1–1.5 ТЕ (третиевых единиц) и последние годы практически не изменяются, что свидетельствует об очищении атмосферы от бомбового трития периода термоядерных испытаний.

В экспедиции участвовало 25 человек, в том числе 19 молодых ученых (рис. 4).



Рис. 4. Научный состав экспедиции НИС «Академик Опарин», рейс № 62

Комплексные исследования состояния морских экосистем восточно-арктических и дальневосточных морей в 60-м рейсе НИС «Академик Опарин»

А.Н. Чаркин^{1}, П.Ю. Семкин¹, К.Н. Кособоков², Т.А. Гуленко¹,
В.Л. Семин², А.С. Ульяновцев², Г.Д. Колбасова³, Д.А. Юрикова³, П.П. Тищенко¹,
А.Э. Леусов¹, С.П. Кукла¹, С.А. Зверев¹, П.Я. Тищенко¹, Т.Ю. Орлова⁴, Т.В. Морозова⁴*

¹ Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, Россия

² Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, Москва, Россия

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

⁴ Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, Россия

*e-mail: charkin@poi.dvo.ru

Дестабилизация экосистем морского шельфа в настоящее время носит глобальный характер в связи с возросшими темпами освоения прибрежной зоны. В последние десятилетия на фоне новых экономических и политических вызовов значительно возросла актуальность исследования арктических и дальневосточных морей России. С одной стороны, эти исследования направлены на получение информации о ресурсном потенциале региона, в том числе связанные с реализацией уже стартовавших промышленных проектов, с другой стороны, морские исследования необходимы для контроля состояния местных экосистем. Важность исследования данного региона возрастает на фоне современных климатических изменений, так как Арктика и Север Дальнего Востока играют важную роль в климатической системе планеты и являются наиболее чувствительной ее частью.

Основной целью экспедиции являлось выявление особенностей геологического строения восточно-арктического шельфа России и процессов, протекающих как внутри его, так и на его поверхности, отражающих влияние совокупности факторов эндогенного и экзогенного генезиса, и выяснение роли разгрузки субмаринных грунтовых вод в формировании сукцессии биоценозов в губе Чаунская (Восточно-Сибирское море), а также оценка влияния современных климатических изменений и растущей антропогенной нагрузки на состояние морских экосистем восточно-арктических и дальневосточных морей. Одной из целей экспедиции также являлась оценка экологической обстановки в Чаунской губе после старта работы первой в мире плавучей АЭС «Академик Ломоносов» в порту города Певек.



Рис. 1. Подводный измерительный комплекс Smart Fish на палубе НИС «Академик Опарин» перед спуском в водную толщу Чаунской губы

В экспедиции решался широкий круг задач по изучению геологического строения шельфа, особенностей современных осадочных процессов, гидрологических условий и оценки состояния экосистем. При этом при подготовке экспедиции особое внимание было уделено разработке новых высокопроизводительных методов и приборов для поиска гидрологических и радиохимических аномалий, так как одной из главных задач экспедиции было обнаружение субмаринных грунтовых источников, поиск которых в столь короткий срок экспедиции невозможен обычными океанографическими и геохимическими методами. В результате к началу экспедиции совместно с СКБ «МАМИ» был создан экспериментальный образец (рис. 1) подводного измерительного роботизированного комплекса *Smart Fish*, способного в разных сканирующих режимах (в режиме придонного или вертикального зондирования) на ходу судна измерять соленость, температуру, растворенный кислород и гамма-спектр.

В период с 26 сентября по 11 ноября 2020 г. согласно Плану морских экспедиционных исследований Министерства науки и высшего образования Российской Федерации была выполнена экспедиция в Восточно-Сибирское (Чаунская губа и прилегающий к ней шельф) и дальневосточные моря России. Экспедиция состояла из двух этапов. Первый этап включал исследования в Восточно-Сибирском море, в Чаунской губе и прилегающих районах морской акватории. Во втором этапе экспедиции первоначально планировалось выполнить исследования в Японском море, но в связи с возникшей в период проведения экспедиции экологической катастрофой у восточного побережья Камчатки было оперативно принято решение провести экстренные исследования данного района, предварительно согласовав их с необходимыми государственными структурами. Исследования в Японском море были перенесены на 62-й рейс НИС «Академик Опарин».

На первом этапе было выполнено 106 океанографических станций, из них 47 станций комплексных (рис. 2, Полигон 1) с отбором проб на гидрохимические, гидробиологические, седиментологические и геохимические параметры. Были проведены непрерывные измерения температуры, солености, содержания растворенного кислорода, и гамма-спектра на восьмиметровой глубине по ходу следования судна с помощью буксируемого подводного аппарата *Smart Fish*. Регистрация данных, времени и координат производилась с дискретностью 2 с. В результате по каждому гидрологическому параметру было проведено более 0.5 млн измерений с получением тонкой структуры динамики вод. Параллельно со *Smart Fish* второй косой так же велась магнитная съемка. Для исключения регионального влияния на магнитные измерения с судна в городе Певек была организована вариационная станция со вторым магнитометром.

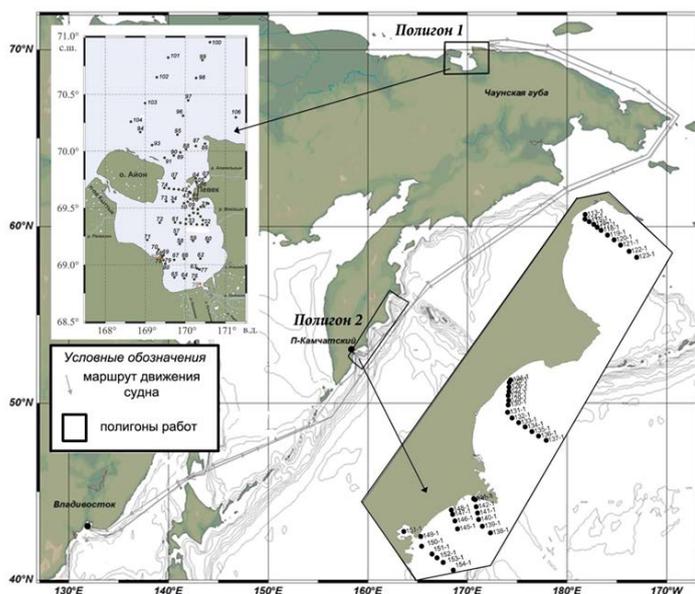


Рис. 2. Карта-схема движения судна, расположения полигонов и океанографических станций в экспедиции 60-го рейса НИС «Академик Опарин»

По результатам работ на арктическом шельфе экспедицией впервые были обнаружены субмаринные термальные источники (экспедицией дано имя данным источникам – «Опаринские

источники» в честь судна первооткрывателя). Данное открытие стало возможно благодаря подводному аппарату *Smart Fish*, локализовавшему участок разгрузки по температуре (рис. 3), солености, растворенному кислороду. Данные об активности растворенных короткоживущих изотопов ^{224}Ra подтвердили, что причиной термогалинной аномалии в Чаунской губе является именно субмаринная разгрузка термальных вод (рис. 3). Также предварительно установлено, что данные гидротермы могут являться источником растворенного железа и марганца, участвующих в формировании огромных по площади залежей железомарганцевых конкреций в юго-западной и центральной частях акватории Чаунской губы.

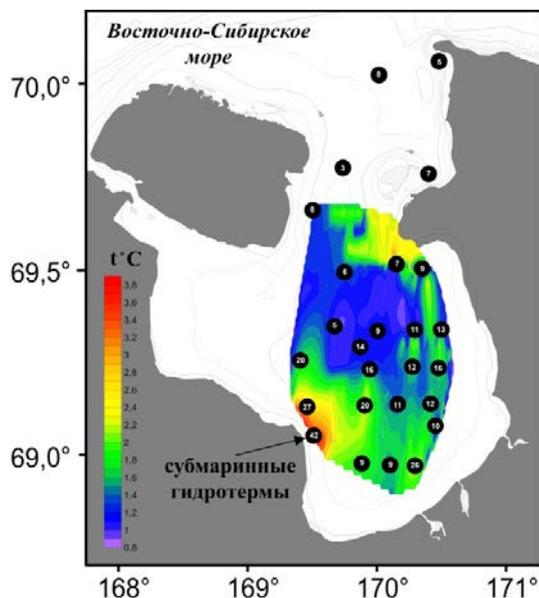


Рис. 3. Распределение температуры на восьмиметровом горизонте акватории Чаунской губы на основе данных датчика температуры комплекса *Smart Fish*. В черных шарах показана активность растворенных изотопов ^{224}Ra (в распадах в минуту)

Как и в 80-х гг., наибольшее обилие зообентоса было отмечено в восточной части губы. Здесь же отмечались и большие размеры, и масса особей по сравнению с другими частями. В связи с ограничениями по глубине из-за осадки судна (отсутствие работ на глубинах менее 10 м), поселения мидий на мелководьях в восточной части не попали в наши пробы, были отмечены только единичные ювенильные экземпляры. В западной части (в местах температурных аномалий) были отмечены массовые поселения мидий на макрофитах (в основном друзы молоди). Такие же массовые количества молодых мидий на багрянках были отмечены и в тралах из самой южной части губы. Таким образом, поселения мидий в Чаунской губе на данный момент находятся в хорошем состоянии и активно размножаются, заселяя в том числе глубины, на которых их ранее не отмечали – 10–11 м (!) (при том, что характерные глубины поселения мидий, отмеченные в работах 1980–1990 гг., – до 4 м [1] – вообще не вошли в район наших работ).

Сообщества Чаунской губы в целом демонстрировали нехарактерные для прибрежных экосистем Арктики видовое богатство и высокую продуктивность. Авторы, ранее исследовавшие Чаунскую губу, связывали этот факт с особенностями климатического и гидрологического режима водоема. Так, С.В. Василенко (1994) показывает более высокую степень сходства фауны кумовых раков Чаунской губы с фауной Чукотского моря и побережья Камчатки по сравнению с прилежащими районами Арктики и связывает это случшим прогревом вод, который позволил тепловодным видам, расселившимся вдоль арктического побережья во время последнего потепления, сохраниться здесь после похолодания. Однако обнаружение на акватории Чаунской губы гидротермальных источников позволяет предположить, что именно наличие зон разгрузки теплых грунтовых вод явилось фактором, определившим богатство и своеобразие видового состава и высокую продуктивность этого водоема.

Таким образом, можно говорить о том, что комплексная экспедиция рейса № 60 на НИС «Академик Опарин» решила полувековую загадку возникновения уникальных теплолюбивых биоценозов в Чаунской губе, открытых и описанных исследователями ЗИН АН СССР [1].

Во втором этапе экспедиции исследовались причины и последствия предполагаемой экологической катастрофы у восточного побережья Камчатки, случившейся, по данным СМИ, в конце сентября – начале октября прошлого года в Авачинском заливе.

В заливах Камчатский, Кроноцкий и Авачинский были выполнены три разреза от берега в сторону Тихого океана, включающих комплексные и гидрологические станции (рис. 1). Вдоль Халактырского пляжа, где предположительно, по данным СМИ, был зафиксирован максимальный урон экосистемам от экологической катастрофы, были выполнены измерения с помощью подводного комплекса *Smart Fish*.

На данный момент большая часть отобранных проб воды и биоматериала исследуется в лабораториях институтов, подведомственных Минобрнауки, по некоторым из них уже имеются результаты. В частности, по одной из версий причиной экологической катастрофы мог быть сероводород, поступивший в прибрежную зону из глубинных районов в результате сильного апвеллинга. По результатам наших исследований, во всех трех заливах в поверхностных донных осадках не было обнаружено следов подвижных сульфидов, следы пребывания глубинных бескислородных вод мы не обнаружили также и по данным гидрологического зондирования. Единственная станция с высоким содержанием подвижных сульфидов и органического углерода была обнаружена в Авачинской бухте, на рейде порта Петропавловск-Камчатский. Отмечено большое число трубок цериантарий (по несколько на дночерпатель), значительное число содержало мертвых полуразложившихся *Ceriantharia*. Живых организмов зообентоса отмечено не было. Наиболее вероятной причиной развития эвтрофикации в данном месте является отсутствие очистных систем в городе и бесконтрольный слив продуктов жизнедеятельности человека в бухту. По остальным версиям работа продолжается, в том числе ведется работа по исследованию качественного и количественного состава цист динофитовых водорослей из поверхностных морских осадков (версия «красных приливов»).

Большинство станций в прибрежной зоне Камчатского полуострова (Камчатский, Кроноцкий, Авачинский заливы) было выполнено на мелком песке или крупном песке с гравием. Наиболее характерной формой на песке были неправильные морские ежи. При этом наличие большого количества молодежи ежей и двустворок и обилие в планктоне личинок двустворок и гастропод позволяет говорить о хорошем состоянии сообществ. На крупном песке/гравии отмечены сообщества с преобладанием мелких полихет *Protodrilus* sp., *Levinsenia* cf. *gracilis*, спионид (*Spiophanes* cf. *bombyx*, *Spio* sp.), типичные для таких грунтов.

Все предусмотренные план-программой основные задачи экспедиции выполнены полностью. Получены новые знания о причинах возникновения и текущем состоянии Чаунского рефугиума. По горячим следам исследованы причины и последствия предполагаемой экологической катастрофы у восточного побережья Камчатки. Проведены испытания подводного измерительного комплекса *Smart Fish*, сыгравшего ключевую роль в первом этапе экспедиции. Разгрузка субмаринных термальных вод в губе Чаунская была обнаружена комплексом *Smart Fish* в течение суток. Ранее их не могли обнаружить классическими океанографическими методами в нескольких многосуточных экспедициях. Данное обстоятельство подтверждает высокую производительность и экономическую эффективность данного устройства и делает его перспективным для решения самого широкого круга прикладных и фундаментальных задач.

Экспедиционные работы проведены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках Госзадания ТОИ ДВО РАН: АААА-А20-120011090005-7, АААА-А17-117030110039-2; Госзадания ИО РАН: 0149-2019-0006, грантов РНФ (19-17-00058, 19-77-10044) и РФФИ (проект №18-05-70047, 18-05-00559, 18-05-60214).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экосистемы и фауна Чаунской губы и сопредельных вод Восточно-Сибирского моря: Сб. науч. тр. / [Ред. А. Н. Голиков]. СПб.: ЗИН, 1994. 150 с.

Онлайн-лекторий «Арктический плавучий университет»

А.А. Сабуров, Л.Н. Драчкова, О.В. Минчук, У.К. Гапурова

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия

Плавучие университеты как особая форма обучения важны потому, что студенты не просто получают практические навыки, но вместе с ведущими учеными и специалистами вовлечены во все стадии научно-исследовательского процесса: от постановки проблемы до подготовки публикаций.

Одним из значимых проектов в формате плавучих университетов является «Арктический Плавучий университет» – научно-образовательная морская экспедиция на борту научно-исследовательского судна «Профессор Молчанов».



Рис. 1. Научно-исследовательское судно «Профессор Молчанов» в экспедиции «Арктический Плавучий университет-2019» у Шпицбергена



Рис. 2. Обсуждение вопросов после лекции в экспедиции «Арктический Плавучий университет – 2019»



Рис. 3. Участники экспедиции «Арктический Плавающий университет – 2019» во время высадки в поселке Пирамида, Шпицберген

Экспедиции реализуются Северным (Арктическим) федеральным университетом имени М.В. Ломоносова совместно с Росгидрометом ежегодно с 2012 г. при поддержке Русского географического общества. Район проведения экспедиции – западный сектор Российской Арктики (акватория Баренцева, Карского и Белого морей), включая трассу Северного морского пути.

С 2012 г. состоялось 12 рейсов «Арктического плавучего университета», в которых приняли участие 624 человека. В экспедициях участвовали представители 30 российских и 33 зарубежных научных организаций и университетов. Широкое международное участие в экспедициях Арктического плавучего университета способствует развитию межкультурного диалога между исследователями и студентами из арктических и приарктических государств, а также продвижению российского научного, историко-культурного и природного наследия в Арктике. За 274 дня экспедиция прошла 38 580 миль. По итогам экспедиций опубликовано 49 научных работ, в том числе статьи в высокорейтинговых журналах и сборники студенческих публикаций.

В условиях пандемии прежний формат проведения экспедиции Арктического плавучего университета с широким международным участием стал невозможен, в связи с чем было принято решение провести образовательную программу в онлайн-формате. Таким образом, традиционный курс лекций от специалистов по арктической тематике, проводящийся на борту «Профессора Молчанова» в ходе рейса АПУ, был расширен и проведен в формате онлайн-лектория «Арктический плавучий университет» с 15 июня по 7 июля 2020 г., в рамках которого состоялось 13 занятий.

Открытый онлайн-лекторий стал уникальной возможностью для всех интересующихся познакомиться с Арктикой ближе. Лекторий позволил охватить большую аудиторию, заинтересовать, привлечь к изучению Арктики всех, независимо от возраста, образования и профессии. Для преподавателей и ученых такой формат стал возможностью поделиться результатами и новыми идеями, а для слушателей – возможностью познакомиться с Арктическим регионом, с историей его освоения и географией, узнать о климате, его изменении и почему Арктику называют «кухней погоды». Лекторы также рассказали слушателям об уникальности арктических экосистем, биоразнообразии высоких широт, об особенностях арктических морей и туризме.

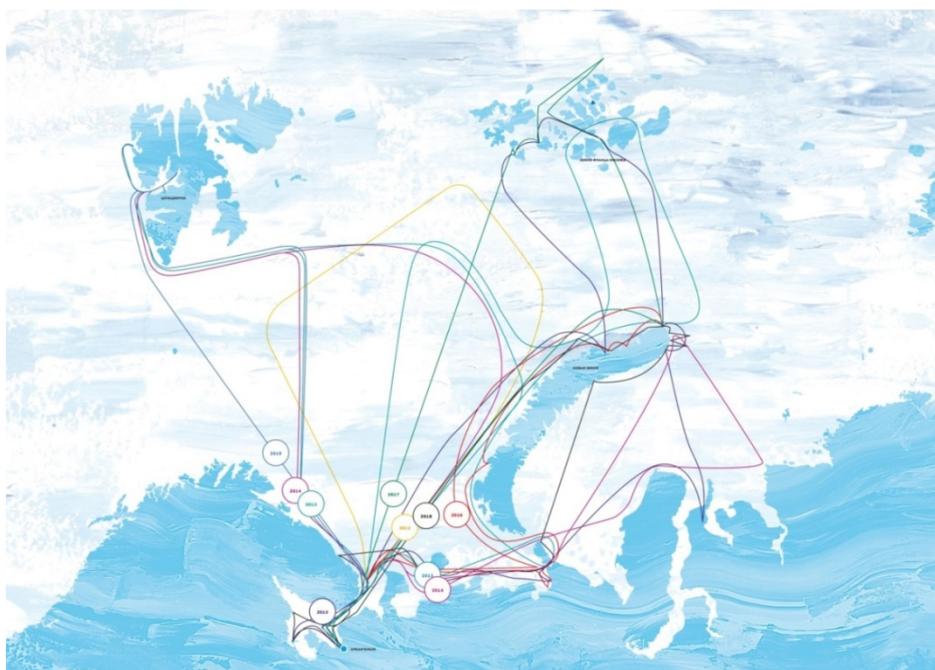


Рис. 4. Карта маршрутов экспедиций «Арктического плавучего университета»



Рис. 5. Лекция А.А. Сабурова, директора Арктического центра стратегических исследований, на онлайн-лектории «Арктического плавучего университета – 2020»

Лекторами стали преподаватели и научные сотрудники САФУ, вузов и научно-исследовательских организаций России – участники проекта «Арктический Плавучий университет», сотрудники национального парка «Русская Арктика», сотрудники ФГБУ «Северное УГМС», сотрудники зарубежных образовательных учреждений.

Всего в течение месяца состоялось 13 лекций, посвященных вопросам изучения, освоения и сотрудничества в Арктике:

1. Сабуров Александр Алексеевич, Драчкова Людмила Николаевна (Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова): «Знакомьтесь – “Арктический Плавучий Университет”»;
2. Зайков Константин Сергеевич (Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова): «Российская политика в Арктике»;

3. Сергунин Александр Анатольевич (Санкт-Петербургский государственный университет): «Перспективы международного сотрудничества в Арктике»;
4. Кунников Андрей Васильевич (Национальный парк «Русская Арктика») и Драчкова Людмила Николаевна (Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова): «Арктический туризм: мифы и реальность»;
5. Кондратов Николай Александрович (Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова): «Изменяющийся климат Арктики»;
6. Тысячнюк Мария Сергеевна (Университет Висконсин-Мэдисон, США): «Ресурсы Арктики и коренные народы: распределение нефтяной ренты»;
7. Грипас Ольга Евгеньевна (Северное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды): «Сотрудничество Севгидромета и Арктического плавучего университета»;
8. Титова Марина Владимировна (Музей художественного освоения Арктики имени А. А. Борисова): «Арктические экспедиции художника А.А. Борисова»;
9. Драчкова Людмила Николаевна (Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова): «Мониторинг историко-культурных и природных объектов западной части Российской Арктики»;
10. Покровская Ирина Владимировна (Институт географии Российской академии наук): «Изменение биоты Баренцева моря (на примере птиц) под воздействием климата»;
11. Меркулов Виктор Александрович (Арктический и антарктический научно-исследовательский институт): «Океанографические исследования в высокоширотной Арктике»;
12. Нехаев Иван Олегович (Санкт-Петербургский государственный университет): «Влияние климатических изменений на распространение морских животных Арктики: что не так с нашими знаниями?»;
13. Тулаева Светлана (Российская академия народного хозяйства и государственной службы): «Экономика коренных народов в Арктических регионах: между рынком и традицией».

Во время онлайн-лектория слушатели изучили историко-культурное и природное наследие Арктики с заведующим кафедры географии и гидрометеорологии САФУ Людмилой Драчковой, познакомились с изменениями арктического климата с доцентом кафедры географии и гидрометеорологии САФУ Николаем Кондратовым, а также оценили влияние климатических изменений на живые организмы Баренцева моря со старшим научным сотрудником кафедры прикладной океанологии Иваном Нехаевым. С Ириной Покровской, ведущим научным сотрудником Института географии РАН, слушателям удалось понаблюдать за удивительным миром арктических птиц, а с Виктором Меркуловым, ведущим инженером отдела океанологии ААНИИ, – познакомиться с работой океанологов в высокоширотной Арктике. Особый интерес вызвала лекция сотрудника Университета Висконсина-Мэдисона (США) Марии Тысячнюк, посвященная вопросу распределения нефтяных благ среди коренных народов Арктики. Проблемы и перспективы экономики коренных народов раскрыла в своей лекции доцент кафедры сравнительных политических исследований РАНХиГС Светлана Тулаева. Об участии Севгидромета в организации экспедиций «Арктического Плавучего университета» рассказала Ольга Грипас, руководитель Центра мониторинга загрязнения окружающей среды ФГБУ «Северное УГМС». Самым необычным, но очень интересным слушатели признали выступление научного сотрудника Музея художественного освоения Арктики Марины Титовой на тему «Арктические экспедиции художника А.А. Борисова».

Занятия прошли в формате онлайн-лекций на платформе ZOOM с одновременной трансляцией. Записи лекций размещены для просмотра на странице «Арктического Плавучего университета» на платформе Youtube.

На протяжении всего Лектория работал виртуальный класс, где слушатели знакомились с историей экспедиционного проекта, выполняли задания арктической викторины, пытались разгадать тайну «земли Санникова», найти сходства событий и героев романа В. Каверина «Два капитана» с реальными арктическими экспедициями, а также объяснить природу «черемуховых

холодов». Таким образом, слушатели смогли выполнить предложенные практические задания в форме тестов и викторин. Активные участники получили сертификаты и подарки.

В работе лектория приняли участие более 100 участников из России, Беларуси, Таджикистана, Туркмении, США, Финляндии. Большинство участников отметили удобный онлайн-формат лектория и высокую квалификацию преподавателей, подчеркнули актуальность проекта и выразили желание принять участие в экспедициях «Арктического Плавучего университета». Опыт Лектория будет использован в разработке программы дорейсовой подготовки для будущих участников АПУ. Также для всех желающих лекции доступны в записи на канале «Арктического Плавучего университета» по ссылке: https://www.youtube.com/channel/UCf9ZJ_q9RMAySh_8O4zddmg.

Об авторах:

Сабуров Александр Алексеевич, директор Арктического центра стратегических исследований

Драчкова Людмила Николаевна, заведующая кафедрой географии и гидрометеорологии

Минчук Олег Викторович, старший преподаватель кафедры социальной работы и социальной безопасности

Гапурова Умидахон Кабылжановна, ассистент кафедры географии и гидрометеорологии

**Плавучий университет ИО РАН:
итоги исследования прибрежных береговых течений
и особенностей водообмена между мелководной береговой лагуной
и прилегающей морской акваторией в 2020 году**

Н.Б. Степанова^{1,2}, А.А. Осадчиев^{1,2}, И.П. Медведев^{1,2}, К.П. Сильвестрова¹,
С.А. Мысленков^{1,3}, А.Ю. Медведева^{1,3}, В.О. Муравья¹, Б.В. Чубаренко¹*

¹*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия*

²*Московский физико-технический институт, Москва, Россия*

³*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

*e-mail: stepanova.nb@ocean.ru

Прибрежная научно-образовательная практика была проведена в 2020 г. (16–29 августа 2020) под руководством 8 научных сотрудников из Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук (ИО РАН). Она традиционно проходила в г. Балтийске (Калининградская область) с непосредственным участием сотрудников и использованием оборудования Атлантического отделения ИО РАН. Прибрежная научно-образовательная практика является одним из важных этапов подготовки студентов по программе «Плавучий университет ИО РАН», которая включает также ежегодную научную школу и отдельные морские экспедиции. В практике 2020 г. приняли участие 12 студентов из четырех вузов Российской Федерации: МФТИ, МГУ имени М.В. Ломоносова, СПбГУ, РГТМУ.

В ходе практики в рамках полевых работ и использования численных моделей изучались: 1) особенности водообмена между Калининградским (Вислинским) заливом и прилегающей акваторией Балтийского моря; 2) колебания уровня залива и моря с учетом влияния атмосферных процессов; 3) условия формирования разрывных течений в прибрежной зоне моря и 4) ветровое волнение.

По данным натурных и спутниковых измерений изучены затоки вод Балтийского моря в Калининградский (Вислинский) залив. Установлена связь ветровой обстановки с процессом водообмена между заливом и морем. Показано, что активные затоки соленых морских вод в залив происходят при ветрах западного и северо-западного направления. Сток опресненных вод залива в море и формирование плюма заливных вод в морской акватории, напротив, происходит при сильных юго-восточных ветрах или в моменты ослабления северо-западных ветров, сопровождаясь релаксацией нагона в акватории залива.

Изучена динамика проникновения морских вод в Калининградский (Вислинский) залив, отдельно рассмотрены затоки в его наиболее глубоководную часть – судоходный Калининградский морской канал (КМК). Установлена связь с особенностями рельефа дна в заливе и КМК, получены численные оценки скорости распространения затекающих морских вод. В периоды затоков в КМК формируется устойчивая двуслойная стратификация: солоноватые морские воды – в придонном слое, распресненные воды залива – в поверхностном слое. В мелководной части залива втекающие морские воды распространяются на меньшее расстояние и в основном вдоль узких желобов на дне. Граница между морскими и заливными водами в заливе близка к вертикальной, благодаря чему заток морских вод более подвержен влиянию ветра, чем в глубоководном канале.

Проведено исследование структуры и изменчивости плюма заливных вод, формирующегося в результате стока опресненных вод Калининградского (Вислинского) залива в Балтийское море. Показано, что толщина, площадь и направление распространения плюма определяются местным ветровым воздействием. Исследована тонкая термохалинная структура внешней границы плюма. Получена оценка интенсивности латерального перемешивания между плюмом и окружающими морскими водами.

В течение практики студенты обучались обработке и анализу временных рядов наблюдений на примере данных измерений уровня моря в Калининградском (Вислинском) заливе и на морском побережье Калининградской области. Были выполнены установка и подъем придонных датчиков гидростатического давления, обработка и первичный анализ их данных. Для изучения влияния баротропного водообмена на внутренние колебания залива

использовались одновременные ряды наблюдений длиной порядка 6–10 лет с частотой измерения в 1 ч. Залив является фактически изолированным бассейном, соединяющимся с Балтийским морем через узкий Балтийский пролив, который выполняет роль низкочастотного фильтра, пропускающего долгопериодные и демпфирующего высокочастотные колебания уровня моря. Показано, что низкочастотные колебания проникают в акваторию залива практически неискаженными, тогда как высокочастотные сильно ослабевают и формируются уже внутри залива. При помощи численного моделирования были рассчитаны собственные колебания уровня залива, построены карты основных мод и рассчитаны амплитуды приливных колебаний (на основе ежечасных данных). Рассмотрены ситуации штормовых нагонов в Калининграде и получены статистические оценки влияния атмосферного давления и ветра.

Для исследования условий формирования разрывных течений на морском побережье Балтийской косы было выбрано 2 тестовых полигона: один из полигонов выбран по спутниковым снимкам, другой в ходе сбора информации от местных жителей. При помощи эхолота и рейки сделана подробная батиметрическая съемка одного из полигонов. Для выбора времени эксперимента ежедневно проводился анализ прогностических полей ветра и волнения. Во время практики проведено 3 эксперимента с запуском плавучих лагранжевых частиц, движение которых фиксировалось с помощью видеосъемки с использованием квадрокоптера, и дрейфтеров с *GPS*-позиционированием. Течение при высотах волн до 1 м имело пульсирующий характер. Показано, что скорости течения, направленного от берега, достигали 85 см/с, что согласуется с оценками предыдущих исследований. По результатам анализа траекторий движения частиц было установлено наличие компенсационного оттока вод в сторону моря в приглубых промоинах в береговом баре, а также возвратного поверхностного течения, однако ни в одном из экспериментов не было полностью замкнутой циркуляционной ячейки. Таким образом, извилистая форма линии уреза и кратковременная изменчивость ветро-волновых условий приводит к нестабильности по пространству и времени течения в прибрежной зоне, что подтверждается траекториями движения лагранжевых частиц.

Было проведено моделирование ветрового волнения для всей акватории Балтийского моря, а также проведены измерения в прибрежной зоне в районе Балтийской косы. С помощью спектральной волновой модели *SWAN* был проведен ретроспективный анализ параметров ветрового волнения (для ноября 2016 г. и июня 2020 г.), а также осуществлялся оперативный прогноз на период полевых работ.

Для ретроспективного анализа полей ветрового волнения (ВВ) использовались входные данные о ветре из реанализа *ERA-5* и *NCEP/CFRSR*. Данные о рельефе были взяты из базы данных *BSBD* (шаг 500 м) и эхолотных промеров в районе Балтийской косы, выполненных сотрудниками АО ИО РАН. Были получены: значительная высота волн H_s , период T , длина волны W и энергетические спектры с шагом по времени 1 ч. Рассчитанные H_s и T волн сравнивались с данными измерений буя *Datawell*, установленного в 2016 г. в районе Пионерска, а в 2020 г. – с данными акустического ультразвукового волнографа *LogALevel* с платформы Д-6. Спектры ВВ были получены с помощью преобразования Фурье (методом Уэлча). Были проанализированы шторма (для этих серий данных). На основе анализа временной изменчивости H_s и T , пространственного распределения параметров ВВ и спектров для разных стадий развития волнения (на этапе роста волн, во время максимального развития и после него), статистических характеристик ВВ был сделан вывод об адекватном воспроизведении используемой моделью параметров ВВ (коэффициент корреляции для обоих периодов составил 0,8). Модель сглаживает острые пики и спектры и в среднем завышает значения по H_s , а по T – занижает. Отдельной задачей было сравнение расчетов, полученных с использованием данных по ветру из различных реанализов (*ERA-5* и *CFRSR*). Было получено, что для шторма с большими высотами волн лучшее совпадение дает реанализ *CFRSR*, для более слабого шторма *ERA-5*. Зона максимального волнения по данным реанализа *CFRSR* более обширна, по сравнению с *ERA-5*.

С помощью модели *SWAN* также выполнялся оперативный прогноз ветрового волнения в районе проведения работ. Прогнозные данные были сравнены с данными реанализа, получены карты разницы высот волн. Данные прогноза также сравнивались с данными метеостанции г. Балтийск. В районе исследования разница между высотами волн прогноза и реанализа составила от 0 до 0,2 м. Прогнозируемое направление распространения волн и реальное совпадали.

В прибрежной зоне была установлена волновая рейка для измерения параметров ветрового волнения. Производилась видеосъемка рейки при помощи фотокамеры, установленной на

штативе. С использованием программы *MatLab* выполнена раскадровка и обработка видеоизображения. Граница уровня моря для каждого кадра определялась на основе специального алгоритма, основанного на разной интенсивности цвета морской воды и волномерной рейки. В результате были получены данные об изменении уровня моря и волнограммы.

По итогам работ студенты под руководством научных наставников (авторов данных тезисов) представили основные результаты исследований на научных конференциях и опубликовали 19 тезисов в сборниках трудов IX Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование» – *MARESEDU*, 63-й Всероссийской научной конференции МФТИ и Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2020».

Работы в рамках научно-образовательной программы «Плавучий университет ИО РАН» выполнялись в 2020 г. при поддержке Фонда целевого капитала МФТИ, Центра морских исследований МГУ, Фонда поддержки кафедры океанологии МГУ. Сбор данных проведен в рамках государственных заданий 0149-2019-0003, 0149-2019-0004, 0149-2019-0005, 0149-2019-0011, 0149-2019-0013.

Помимо работ научной практики в 2020 г. в морских экспедициях Института океанологии проводили исследования 10 студентов программы «Плавучий университет ИО РАН». В экспедиции в Северную и Южную Атлантику, Арктику и Балтийское море студенты отбирались на основе конкурса среди участников прошлых мероприятий программы или направлялись в рейс совместно с научными руководителями.

Реконструкция динамики и деградации ледяного покрова Восточной Арктики и северо-западной части Тихого океана как индикатора разномасштабных климатических перестроек в плейстоцене – голоцене и основы для разработки

Ю.П. Василенко, Е.А. Янченко, А.А. Босин

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток,
Россия*

Экспедиционные исследования проводились на борту НИС «Академик М.А. Лаврентьев» рейс № 90 в период с 05.09.2020 по 13.11.2020. Экспедиция организована Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Тихоокеанским океанологическим институтом им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук (ТОИ ДВО РАН). Кроме сотрудников ТОИ ДВО РАН, в экспедиции принимали участие ученые из Федерального государственного бюджетного учреждения науки Тихоокеанского института биоорганической химии им. Г.Б. Елякова ДВО РАН (ТИБОХ ДВО РАН) и студенты Школы естественных наук Дальневосточного федерального университета (ДФУ). С зарубежной стороны дистанционно участвовали ученые Первого института океанографии Министерства природных ресурсов (ПИО МПР) КНР. Сложившаяся сложная эпидемиологическая ситуация в мире в связи с распространением вируса *COVID-19* не позволила организовать личное участие иностранных коллег в экспедиции. При этом работы, выполняемые в рейсе, проводились с учетом интересов ПИО МПР КНР. С китайскими коллегами были согласованы районы планируемых работ, количество геологических станций и образцов донных отложений, отбираемых для совместного изучения в лабораториях российско-китайского Центра изучения океана и климата (ТОИ ДВО РАН и ПИО МПР КНР). Эти работы предусмотрены Соглашением между Правительством РФ и Правительством КНР о сотрудничестве в области исследования и использования Мирового океана от 27.03.2003 г. Соглашением о международном сотрудничестве между Первым Институтом Океанографии Министерства природных ресурсов Китая, КНР (ПИО МПР) и ТОИ ДВО РАН от 05 июля 2018 г.

Основная цель экспедиции:

Комплексные исследования в системах «литосфера – гидросфера – атмосфера» морей Арктического и Тихоокеанского бассейнов на разных временных масштабах, обеспечивающие обобщение данных о глобальных и региональных колебаниях климата и создание прогнозов развития различных параметров среды, необходимые для хозяйственного освоения Арктического и Тихоокеанских регионов.

Задачи:

- 1) получение качественных ненарушенных осадочных разрезов в Восточно-Арктическом регионе, охватывающих весь четвертичный период или значительную его часть, на участках акватории с относительно высокими скоростями осадконакопления, незатронутых или слабо подверженных перемешиванию бентическими организмами и склоновыми процессами;
- 2) поиск участков дна с ненарушенной седиментацией, умеренными и высокими скоростями осадконакопления с помощью геофизического и сейсмоакустического профилирования на участках акваторий морей Берингова, Чукотского, Восточно-Сибирского, Лаптевых;
- 3) получение актуальных сведений о современном состоянии природной среды (температура и соленость водных масс, показатели биопродуктивности, ледовый режим) в целях мониторинга климатической обстановки и возможного использования при последующих реконструкциях палеосреды и других исследованиях Арктического региона;

4) гидрологические, гидрохимические и гидробиологические исследования приповерхностных морских вод на пути следования судна и профилирование водной толщи в ключевых точках полигонов.

План-программа работ предусматривала проведение исследований в пределах акваторий восточного сектора Арктики и Берингова моря. Благоприятная ледовая обстановка позволила провести исследования в наиболее труднодоступных районах Северного Ледовитого океана. Однако вследствие возникших в ходе работ неполадок со спуско-подъемным оборудованием стало невозможным проведение исследований в глубоководных районах, в частности в Беринговом море. В итоге, комплекс экспедиционных работ был сосредоточен в наиболее актуальных и перспективных для исследований районах хребта Ломоносова (Северный Ледовитый океан), в Восточно-Сибирском море и интересном с точки зрения современной флюидной активности районе грабен-рифтовой системы Чукотского моря (каньон Геральд).

Предварительные результаты:

1. Проведены высокоразрешающие сейсмоакустические исследования Арктического региона (2059 км профилей; рис. 1), в результате которых были получены новые данные о строении верхней части осадочных отложений. В силу малой изученности района подводного хребта Ломоносова (рис. 1, Полигон 1), полученные сейсмоакустические разрезы являются уникальными и позволят существенно дополнить знание и понимание строения и процессов развития данной структуры, что является немаловажным с точки зрения геополитических интересов Российской Федерации в Восточной Арктике. Данные геофизические разрезы также дают важную информацию о строении осадочных отложений и послужат основой для дальнейших палеоокеанологических исследований этого района. Совместные сонарные и сейсмоакустические исследования подводного каньона Геральд (рис. 1, Полигон 3) позволили получить комплексную информацию о всей толще осадочного чехла до акустического фундамента с высокой детализацией осадочных тел.

2. Пополнена коллекция донных отложений из Чукотского и Восточно-Сибирского морей, района подводного хребта Ломоносова, в том числе из ранее неизученных районов вышеуказанных акваторий. Отобран уникальный материал ненарушенного поверхностного слоя осадков. На борту в условиях судовых лабораторий были проведены первичные литологические, литофизические и микропалеонтологические исследования, направленные на изучение и оценку степени реакции морской среды на происходившие в прошлом и идущие сейчас климатические изменения, в том числе и как отклик на растущую хозяйственную деятельность в регионе.

3. Получен субширотный осадочный разрез через южную часть хребта Ломоносова (рис. 1, Полигон 1; рис. 2). Этот район является перспективным для исследования последнего ледникового цикла в силу близости расположения к материку и высоких скоростей осадконакопления. Изучение полученного разреза позволит существенно дополнить знания об условиях среды восточного сектора Арктики и истории развития ледниковых покровов на прилегающих территориях в данные периоды. Особенно это важно для максимума последнего оледенения – периода 11.7–28 тыс. лет назад, информация о котором отсутствует в осадках значительной части Северного Ледовитого океана.

4. Выполнен комплекс детальных геологических исследований в зоне современной рифтовой активности – районе каньона Геральд (Чукотское море) (рис. 1, Полигон 3). Получены относительно мощные разрезы голоценовых осадков, которые позволят изучить изменения океанологических и климатических условий. Полученный материал содержит уникальную информацию, необходимую для исследования изменений среды всего восточного сектора Арктики за последние 11.7 тыс. лет.

5. С помощью оригинальной фотоустановки (пат. № RU 2 741 268 C1) на борту судна выполнено определение цветовых характеристик для 48 кернов донных осадков суммарной мощностью более 174 м (максимальная длина керна 5.9 м) (рис. 2). В результате впервые получены высококачественные фотоснимки с цифровым разрешением цветоопределения

в пределах 118 пикс/см, откалиброванные по 24 цветовым эталонам. Сопоставление с данными замеров колориметра показали явное преимущество фотоустановки в фиксировании цвета и текстурно-структурных особенностей осадка. Развитие методики позволит вывести цветометрические исследования в морской геологии на новый, более высокий уровень, в том числе в целях литостратиграфии.

6. В шести новых точках в пределах Восточно-Сибирского и Чукотского морей (рис. 1, Полигон 2 и 3, соответственно станции LV90-4, LV90-5, LV90-6, LV90-27, LV90-30 и LV90-44 с глубинами 57–104 м) с помощью коробчатого пробоотборника вместе с донными осадками подняты ЖМО, всего около 100 образцов. Это псевдоморфозы по органическим остаткам, конкреции, корочки, пропитка глинистых плиток и комков. Рудное вещество сложено светло-желтыми, оранжевыми, коричнево-бурыми землистыми агрегатами оксидов/гидроксидов железа в тонкой смеси с глинистым веществом (лимонит) и темно-коричневыми до черного плотными, иногда почковидными агрегатами оксидов/гидроксидов марганца. Мощность рудного вещества может достигать 8 мм, но обычно составляет 1–2 мм и менее. ЖМО являются продуктом диагенеза. Они формировались на разных уровнях верхнего коричневого (окисленного) горизонта донных осадков толщиной до 5–6 см с тяготением к границе вода – дно при немаловажной роли биотурбации. ЖМО – наиболее распространенный вид рудных минеральных образований арктического шельфа. Изучение специфики строения и вещественного состава полученных образцов в условиях лаборатории позволит уточнить их рудный потенциал, расширит теоретические представления о постседиментационных преобразованиях осадочной толщи в регионе.

7. Получен массив гидрологических и биологических данных для характеристики водных масс, которые после окончательной обработки позволят дополнить комплексную характеристику состояния и изменчивости структуры и динамики водных масс изученных акваторий.

8. Выполнен большой объем попутных непрерывных измерений парниковых газов и гидрометеорологической информации в системе вода – атмосфера, позволяющий в пределах траектории движения судна оценить фактическое содержание и количественные потоки метана на границе вода – атмосфера в морях Дальнего Востока и Восточной Арктики.

9. Проведено изучение газонасыщенности и распределения метана и углеводородных газов (УВГ) в донных отложениях Восточно-Сибирского и Чукотского морей, что позволяет проводить детальный анализ газоматеринских источников.

10. В отдельных отобранных представительных ядрах хребта Ломоносова, центральной части Восточно-Сибирского моря и в каньоне Геральд (Чукотское море) обнаружены аномальные и повышенные концентрации метана и УВГ, позволяющие говорить о наличии восходящей миграции эпигенетических газов.

11. Отобраны пробы микробиологических образцов из всех ядер геологических станций для детальных исследований процессов газоокисления и газогенерации в осадочных отложениях и изучение видового состава микробного сообщества. Для исследования парагенетических особенностей отобрана коллекция образцов осадка для детальных геохимических, минералогических, гранулометрических и хромато-масс-спектрометрических видов анализов.

Освещение экспедиции в средствах массовой информации:

Проведение экспедиции и ее результаты были освещены в репортажах на федеральных и местных каналах: ДВ Орбита 1 канал, Новости на «России-24», Канал ОТВ; в печатных изданиях: Информационное агентство России ТАСС, Независимое информационное агентство «Интерфакс», Деловая газета «Взгляд», официальный печатный орган Правительства Российской Федерации «Российская газета» и в сети интернет: Информационный портал «Корабел.ру», «ВКонтакте», Twitter, Instagram, FB, «Одноклассники», Yandex Zen, FaceBook, видеохостинг YouTube.

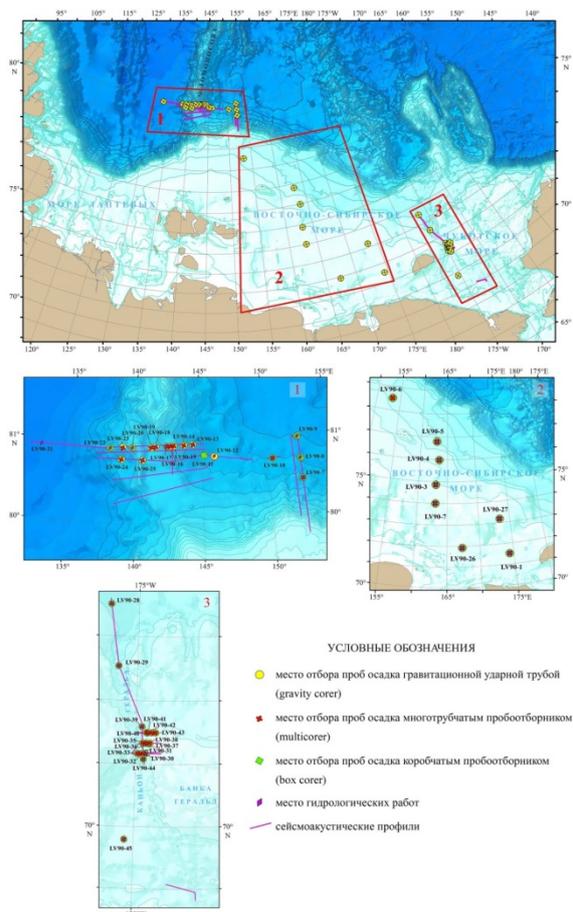


Рис. 1. Район исследований с указанием местоположения станций

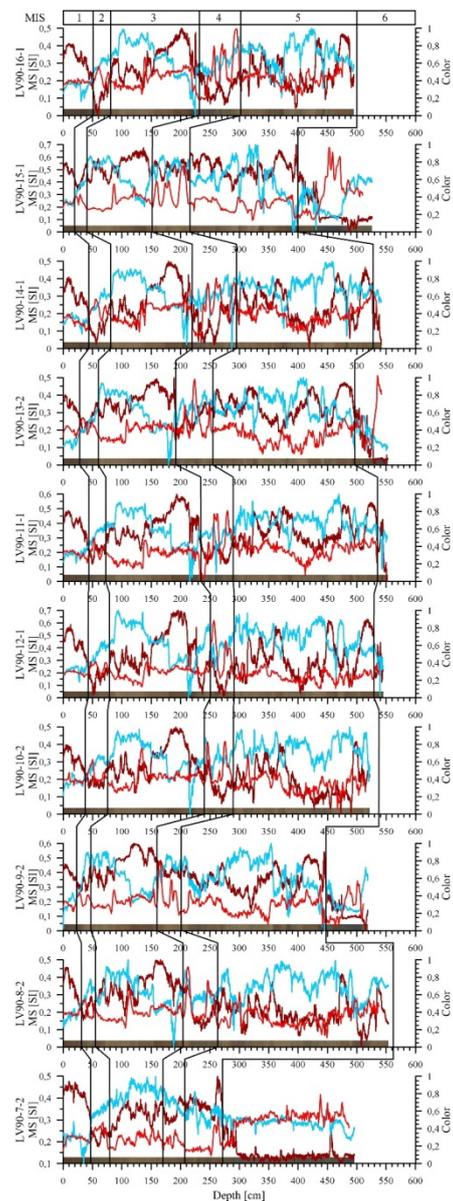


Рис. 2. Предварительная стратиграфия кернов, разрез через южную часть подводного хр. Ломоносова. Красная линия – изменение магнитной восприимчивости (MS) по длине керна. Фотографии и цветовые характеристики получены при использовании оригинальной фотоустановки ТОИ ДВО РАН: *L – голубая линия; *a – бордовая линия

САФУ в международной экспедиции на НИС «Академик Мстислав Келдыш», рейс 82

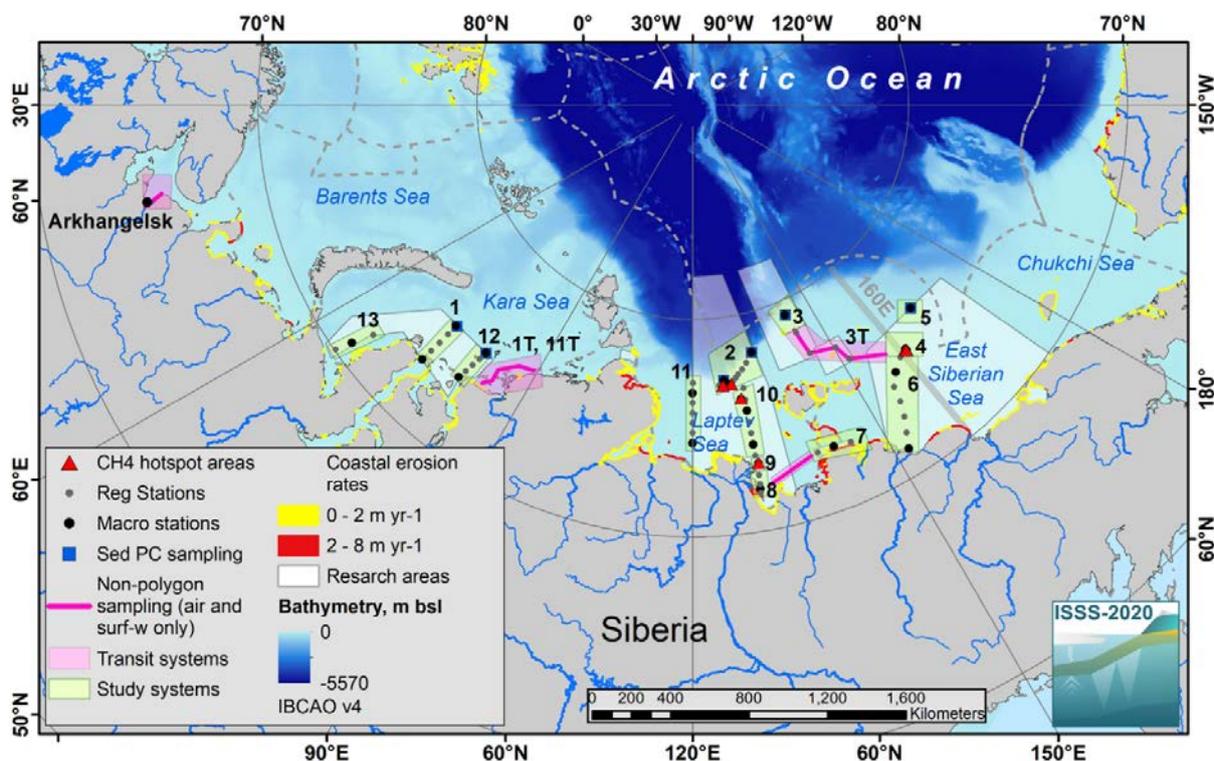
*А.Ю. Кожевников, Д.Е. Лахманов, Т.Б. Лактин,
Н.В. Ульяновский, Д.С. Косяков, Д.И. Фалёв, А.В. Малков*

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова активно участвует в проведении научных работ по оценке распространения токсикантов в объектах окружающей среды Арктического региона. Данные исследования соответствуют Программе фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 годы) «1.4.3.2. Высокотехнологичные подходы и методы для мониторинга и контроля окружающей среды».

С этой целью нами в настоящий момент выполняются работы, основной целью которых является выполнение целевого и нецелевого скрининга загрязняющих веществ и получение данных о загрязнении окружающей среды в высоких широтах стойкими органическими загрязнителями и тяжелыми металлами. Анализ проб объектов окружающей среды выполняется в ЦКП НО «Арктика» САФУ. Для этого в ходе международной экспедиции произведен отбор проб различных объектов окружающей среды, а в лабораториях ЦКП НО «Арктика» САФУ проводятся дальнейшие работы для получения конечного результата.

Необходимо отметить, что группа САФУ была лишь одной из групп, выполнявших работы на борту судна в составе большой экспедиции – единственной международной морской экспедиции, проведённой в 2020 г. Общее количество научных сотрудников на борту судна было 70 человек, включая большую группу из Стокгольмского университета. Главной целью программы ISSS является исследование взаимосвязей между криосферой, климатом и углеродом на обширном шельфе Восточной Сибири в Северном Ледовитом океане. В центре внимания экспедиции ISSS-2020 – одна из самых больших открытых проблем в науке об изменении климата: понимание подводных и прибрежных таяний вечной мерзлоты, обрушения гидратов и процессов, которые приводят к выбросам сильнодействующих парниковых газов, таких как метан, двуокись углерода и закись азота.



Сотрудники САФУ в рамках общей деятельности экспедиции сосредоточены на выполнении своих более узких целей. Произведен отбор проб донных отложений и поверхностной воды для последующего целевого и нецелевого скрининга на наличие органических ксенобиотиков методами масс-спектрометрии высокого (нецелевой скрининг) и низкого (целевой скрининг) разрешения. Произведен отбор проб придонной воды в местах пузырьковой эмиссии метана для последующего нецелевого скрининга на наличие сероорганических соединений методами масс-спектрометрии высокого (нецелевой скрининг) разрешения. Произведен отбор проб воздуха для последующего нецелевого скрининга на наличие органических ксенобиотиков методами масс-спектрометрии высокого разрешения. Произведен отбор проб поверхностной воды для последующей разработки методики определения ряда тяжелых металлов методом рентгеновской спектроскопии полного внешнего отражения. Разработан подход к определению V, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb и Bi в морской воде. Проведены работы по постановке методики определения стойких органических загрязнителей и полиароматических углеводородов и методики детектирования легколетучих органических соединений. Полиароматические углеводороды определяются двумя методами – газовой хроматографией с масс-детектированием и жидкостной хроматографией. Применение двух методов позволяет надежно детектировать ксенобиотики, исключая ложноположительные результаты. В настоящий момент мы можем констатировать нахождение следовых количеств данных ксенобиотиков в донных отложениях арктических морей.

Донные осадки западной части Восточно-Сибирского моря

Е.А. Гусев^{1}, А.А. Крылов¹, Я.Д. Яржембовский¹, Д.В. Элькина¹,
Е.С. Новихина¹, Н.А. Костромина¹, А.Ю. Комаров¹, Д.А. Горбунов¹,
А.В. Бочкарев¹, В.Ю. Захаров¹, А.С. Савин², А.В. Крылов³, А.Ю. Гуков⁴, А.С. Волосникова⁴*

¹ФГБУ «ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербург, Россия

²АО «ПМГРЭ», Ломоносов (Санкт-Петербург), Россия

³ФГБУ «ВСЕГЕИ», Санкт-Петербург, Россия

⁴Якутское управление по гидрометеорологии и мониторингу природной среды, пос. Тикси, Россия

*e-mail: gus-evgeny@yandex.ru

Восточно-Сибирское море является до сих пор самым слабоизученным из арктических морей России. Виной тому его удаленность от обжитых мест и значительная ледовитость, которая год от года меняется. В 2018 г. большая часть Восточно-Сибирского моря была блокирована дрейфующим льдом, что усложнило геологосъемочные работы ФГБУ «ВСЕГЕИ» на листах R-55, 56, 57, 58, 59, 60 [8]. Кроме того, на центральную часть Восточно-Сибирского моря до сих пор отсутствует кондиционная батиметрическая карта, точки измерения глубин иногда располагаются на расстоянии 20–100 км друг от друга.

Экспедиционные работы, проведенные силами ФГБУ «ВНИИОкеангеология» в 2020 г. в западной части Восточно-Сибирского моря, выполнялись на научно-экспедиционном судне «Михаил Сомов», принадлежащем Северному УГМС (г. Архангельск). Геологосъемочных работ с судна ранее не проводилось, поэтому для донного пробоотбора экипажем была подготовлена система кранов и оттяжек, позволяющая выводить за борт и проводить спуско-подъемные операции с пробоотборным оборудованием.



Рис. 1. Научно-экспедиционное судно «Михаил Сомов» (ФГБУ «Северное УГМС»)

Район работ находится между 72° и 76° с. ш. и обычно характеризуется очень сложной ледовой обстановкой. В 2020 г. район был полностью открыт, и дрейфующих льдов не было встречено за все время проведения экспедиции.

С 30 сентября по 7 октября 2020 г. в районе работ была выполнена 81 станция донного пробоотбора. Погода в целом была благоприятная, только 1 октября был шторм и работы были прерваны на несколько часов. В остальное время экспедиционный состав круглосуточно работал в две смены. Днем станции выполнялись с ковшом и грунтовой трубкой, ночью – только ковшом. Использовались ковш VanVin объемом 30 л и прямоточная гравитационная трубка длиной 3 м. На борту судна из донных осадков отобраны пробы на гранулометрический, минералогический, геохимический, спорово-пыльцевой, микрофаунистический, экологический анализы. Кроме того, отобраны и заморожены пробы на содержание органического вещества, раковины морских моллюсков для датирования отложений и пробы для анализа газов, содержащихся в осадках.

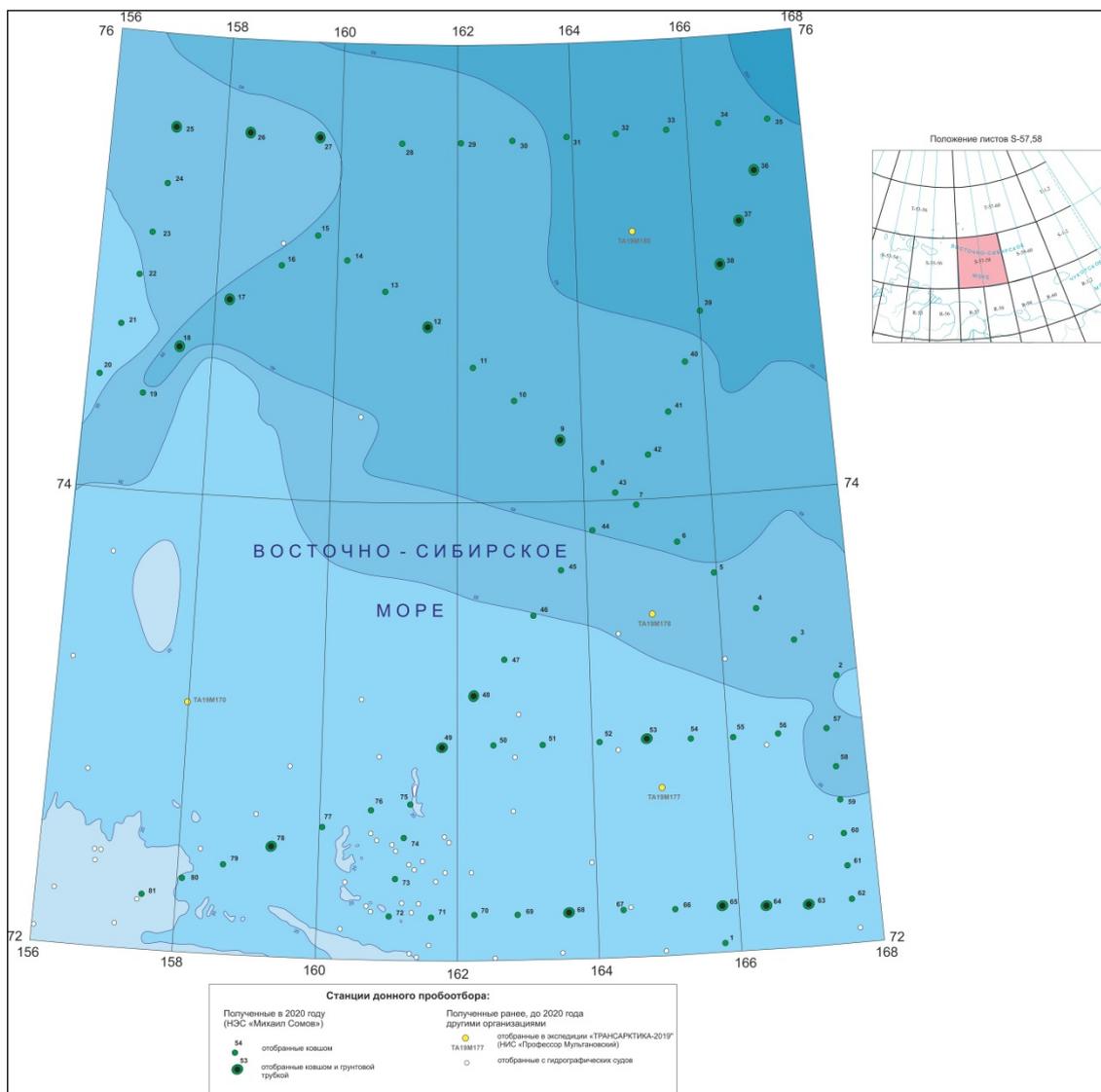


Рис. 2. Схема расположения станций донного опробования в пределах листов S-57,58 (показаны зелеными кружками). Данные предшественников показаны белыми и желтыми точками

Результаты работ

В результате проведения полевых геологосъемочных исследований охарактеризовано строение дна Восточно-Сибирского моря в рамках листов S-57, 58 Госгеолкарты-1000 по всей их площади. Район работ изучен с такой детальностью впервые. Ранее здесь выполнялись только геологические станции, отстоящие друг от друга на расстояние от 20 до 300 км с борта гидрографических судов. Лишь несколько станций отобрано не так давно силами ТОИ ДВО РАН [1] и в экспедиции «Трансарктика-2019» [7].

Рельеф внешней части шельфа Восточно-Сибирского моря, за пределами полигона исследований, в значительной степени расчленен. Здесь наблюдаются рытвины, ложбины и долинообразные понижения, на эхолотных профилях фиксируется «пила» [5]. Мощность морских голоценовых осадков там весьма незначительна, местами не превышает 0.5 м. Голоценовые пелиты перекрывают сильно уплотненные сухие глины. Многими эти глины принимаются за морену, а рытвины и ложбины объясняются как результаты деятельности плейстоценового ледника. Вместе с тем глины содержат фораминиферы, редкие раковины морских моллюсков (*Portlandia arctica*) и характеризуются значительным содержанием рассеянного органического вещества [5]. Для датирования отложений колонки AF-0729, отобранной в 2007 году с борта НЭС «Академик Федоров» и вскрывшей плотные глины, был применен метод избыточного ^{230}Th . Разница в возрасте между двумя комплексами осадков –

поверхностными голоценовыми илами и залегающими на глубине 0.5 м переуплотненными глинами – составляет ~ 172 тыс. лет, соответственно, вычисляется и продолжительность стратиграфического перерыва в разрезе [5]. Поэтому возраст морских глин определяется как среднеплейстоценовый (?).

При проведении работ в 2020 г. нам не удалось вскрыть древние плотные глины, однако совершенно незначительная глубина проникновения грунтовой трубки наводит на мысль о распространении этих глин и в районе работ. Только в палеодолине р. Индигирки мощность морских голоценовых пелитов увеличивается до нескольких метров. Это зафиксировано как по нашим данным 2020 г., так и западнее, по колонке ТА19М-169 [7]. Также обращает на себя внимание практически полное отсутствие на площади работ донного каменного материала – как в поверхностных пробах, так и в кернах грунтовых трубок. При наличии перемытого материала морены, как это часто предполагается, эти обломки должны были бы присутствовать. Тугопластичные и полутвердые глины в экспедиции 2020 г. были вскрыты трубками нашими коллегами из ВСЕГЕИ в районе острова Новая Сибирь [9].

В районе работ в 2020 г. донное опробование выполнено геологическим отрядом ВНИИОкеангеология на 81 станции. Плейстоцен-голоценовые осадки, вскрытые трубкой и ковшом, представлены в основном алеврито-пелитовыми осадками, иногда с примесью песка. На нескольких станциях в кернах были обнаружены раковины морских моллюсков. Такие колонки будут в дальнейшем опорными, по моллюскам будут выполнено AMS радиоуглеродное датирование для определения возраста отложений и определения скоростей четвертичного осадконакопления. На нескольких станциях встречены железо-марганцевые конкреции (рис. 3).



Рис. 3. Железо-марганцевые конкреции (корки), отобранные с поверхностных осадков Восточно-Сибирского моря. Станция МС-2034К

В ходе выполнения работ были проведены измерения магнитной восприимчивости по 14 колонкам донных морских осадков, отобранным грунтовой трубкой. Магнитная восприимчивость отложений измерялась по ненарушенной поверхности колонок при помощи сенсорного прибора *MS2E, Bartington* с интервалом 2.5 см. Во время измерений *MS2E* проводилась корректировка значений магнитной восприимчивости для того, чтобы исключить температурный дрейф оборудования. Пересчет значений магнитной восприимчивости осуществлялся с использованием программного обеспечения *Multisus, Bartington*. На рис. 4 приводятся результаты измерений по четырем колонкам, где пик магнитной восприимчивости, выявленный в трёх колонках на разных глубинах, может послужить одним из корреляционных признаков в ходе дальнейшего изучения материала. Такие пики обычно отражают скопление в осадках минералов тяжелой фракции, которые труднее переносятся волновыми процессами и морскими течениями и могут свидетельствовать об активной гидродинамике во время отложения этих интервалов.

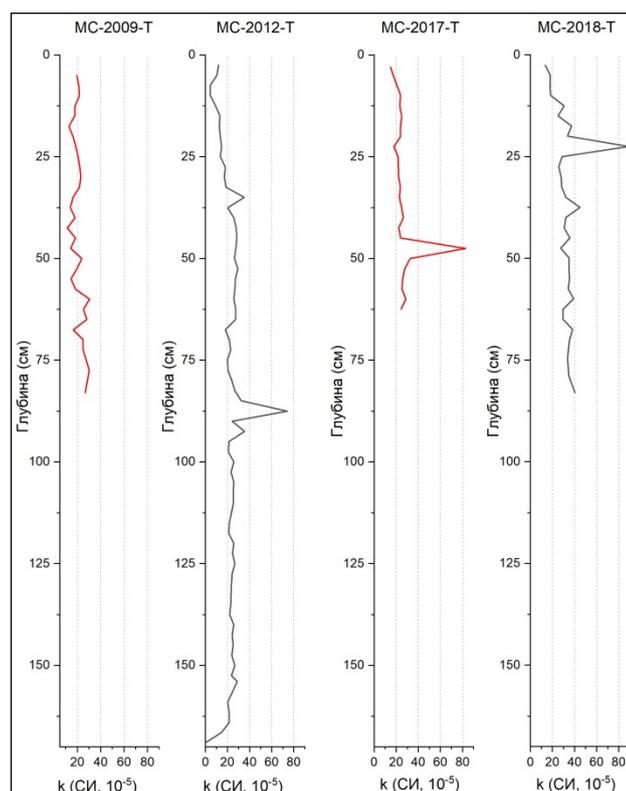


Рис. 4. Результаты измерений магнитной восприимчивости (k) по колонкам МС-2009-Т, МС-2012-Т, МС-2017-Т и МС-2018-Т

Также из колонок МС-2012-Т и МС-2036-Т был осуществлён отбор образцов для последующего проведения палеомагнитных измерений. Отбор образцов производился методом сплошного отбора при помощи стеклянных цилиндров диаметром от 2.1 до 2.5 см, высотой от 2 до 2.3 см и внутренним объемом около 7.2 см³. Цилиндры вдавливались в ненарушенный осадок по всей длине колонок. Ориентирование цилиндров проводилось относительно координат колонок. После извлечения цилиндры очищались от лишнего осадка, оборачивались в полиэтиленовую плёнку и далее для предотвращения высыхания осадка до проведения измерений были отданы на хранения в холодильник при средней температуре + 4–5 °С. Всего из двух колонок было отобрано 110 образцов.

Из кернов трубок были отобраны палеонтологические образцы – в основном это раковины морских моллюсков. В пробе со станции МС-2036Т встречены раковины и их обломки без конхиолинового слоя, тонкие и толстые, неокатанные, плотные, иногда с пятнами ожелезнений, сохранность раковин от хорошей до средней, значительно fossilized и могут иметь неоплейстоценовый возраст. В пробах из остальных станций раковины и обломки моллюсков нефossilized или слабоfossilized, хрупкие, с сохранившимся конхиолиновым слоем, вероятно, имеют голоценовый возраст. Наиболее распространены *Portlandia arctica* (Gray), *Hiatella arctica* (Linnaeus), *Macoma brota* (Dall), кроме того, встречаются: *Pandora glacialis* (Leach), *Astarte montagui* (Dillwyn), *Buccinum cyaneum* Bruguiere, *Musculus niger* (Gray), *Serripes groenlandicus* (Mohr), *Clinocardium ciliatum* (Fabricius), *Liocyma cf. fluctuosa* (Gould), *Axinopsida cf. orbiculata* (Sars), *Similipecten sp.*, *Nuculana sp.*, *Mya sp.*

Кроме образцов для исследования геологических характеристик осадков, с поверхности дна были отобраны пробы зообентоса. В лабораторных условиях осадки были промыты с помощью сит с минимальной ячейкой 1 мм. Отмытые организмы фиксировались 70 % этанолом. Пробы обработаны в Комплексной лаборатории мониторинга природной среды в Тикси. Новые исследования позволяют выяснить структуру донных биоценозов труднодоступных участков восточно-арктического шельфа, более 8 месяцев в году покрытых льдом. Наибольшее распространение на шельфе Восточно-Сибирского моря имеет биоценоз *Portlandia siliqua* [2]. В центральной части полигона исследования он обнаружен на 39 станциях, в том числе на 2, 4, 8–10, 13, 14, 13,15, 20–22, 27–29, 33, 40, 45–51, 54, 61–66, 69, 73–81 ст. [4]. Развитие этого биоценоза

в Восточно-Сибирском море, как и широкое распространение его в соседнем море Лаптевых [3] связано с характером распределения донных осадков по глубинным уровням. Основная часть шельфа, за исключением узкой прибрежной зоны, является областью доминирования пелитовых осадков, среди которых основное место занимают тонкодисперсные глинистые илы с малым количеством примесей более крупных фракций. Такие илы выстилают поверхность дна обширных подводных равнин на некотором удалении от берега в области открытой части шельфа. Главная их характерная черта – высокое содержание наиболее тонкой субколлоидной фракции. Биоценоз портландии занимает илистые местообитания, глинисто-илистые, реже илисто-песчаные. Плотность поселений макробентоса на разных станциях изменяется от 510 (на ст. 4) до 2680 (ст. 46) экз./м², биомасса – от 26.0 (на ст. 21) до 190 г/м² (на ст. 9). Характерными видами являются двустворчатые моллюски – детритофаги *P. siliqua*, *Thyasira gouldi*, изоподы *Saduria sabini*. В пробах присутствовали кумовые раки *Diastylis borealis*, *Brachydiastylis resima*, бокоплавы *Onisimus sp.*, *Monoculodes borealis*, *Arrhys phyllonux*, амфиподы, немертины, оболочники и полихеты (рис. 5).

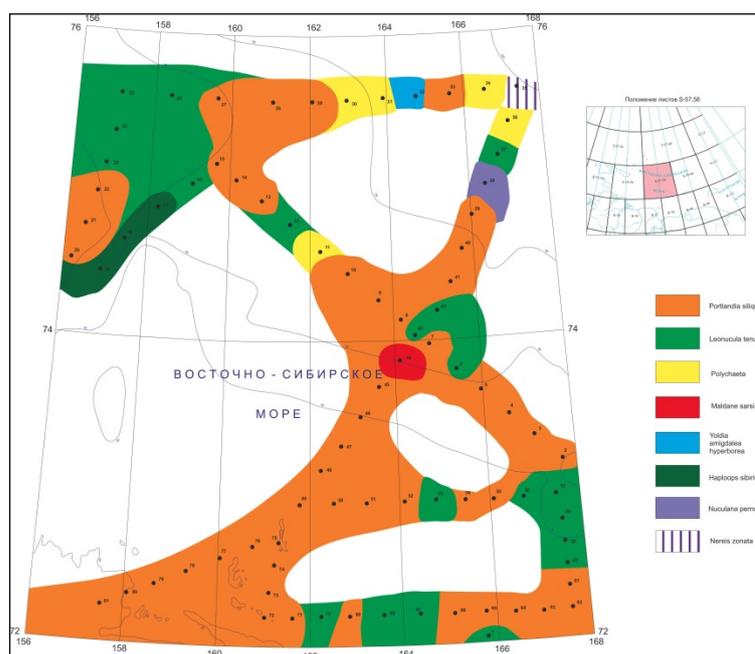


Рис. 5. Распределение донных биоценозов в западной части шельфа Восточно-Сибирского моря

В пределах подводного ландшафта равнин преобладающей пелитово-алевритовой аккумуляции в центральной части полигона исследований на глубинах 10–50 м преобладают 3 типа урочищ: песчанисто-илистых равнин, илистых равнин и глинисто-илистых впадин. Фации характеризуются доминированием в биоценозах двустворчатых моллюсков *L. tenuis*, *P. siliqua*, в урочищах глинисто-илистых впадин биоценозы отличаются доминированием инфауны, зарывающихся в грунт беспозвоночных. По типу питания это детритофаги, безвыборочно заглатывающие грунт. В структуре популяции моллюска портландии доминируют особи с длиной раковины от 16 до 20 мм. На участках с песчанистым илом доминируют моллюски и гидроиды, на илах – сипункулиды и полихеты. На 19 станциях (1, 7, 12, 16, 17, 19, 23, 24, 26, 37, 42, 56–60, 72, 73) обнаружен биоценоз *Leonucula tenuis*, существующий в диапазоне глубин от 23 до 58 м в условиях поверхностной арктической водной массы. В составе биоценоза обнаружены моллюски, изоподы, кумовые раки, гидроиды. Другие биоценозы с доминированием двустворчатых моллюсков отмечены на ст. 40 на глубине 48 м (*Nuculana pernula*) и на ст. 32, где обнаружен биоценоз *Yoldia amigdalea hyperborea*. Вблизи материкового склона в бентосе доминируют полихеты *Nereis zonata* (ст. 35 на глубине 91 м), *Maldane sarsi* (ст. 44 на глубине 44 м), на ст. 30 в биоценозе *Polychaeta* доминируют несколько видов многощетинковых червей. Донный биоценоз амфипод *Haploopsis sibirica* существует на ст. 18 на глубине 43 м.

Часть результатов полевых исследований, выполненных в 2020 г., уже представлялась на Ученом Совете ФГБУ «ВНИИОкеангеология», а также на конференции в Санкт-Петербурге [6]. Работа выполнена по Государственному заданию ФГБУ «ВНИИОкеангеология». Сотрудники ФГБУ «ВНИИОкеангеология» сердечно благодарят экипаж и капитана НЭС «Михаил Сомов» за обеспечение выполнения работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астахов А.С., Акуличев В.А., Дарьин А.В., Калугин И.А., Лю Я., Бабич В.В., Босин А.А., Вологина Е.Г., Плотников В.В. Ледовые условия чукотского моря в последние столетия: реконструкции по седиментационным записям // Доклады Академии наук. 2018. Т. 480. № 4. С. 485-490. doi:10.7868/S0869565218160211
2. Гуков А.Ю., Дударев О.В., Семилетов И.П., Чаркин А.Н., Горшкова Я.С. Особенности распределения биомассы макробентоса и донных биоценозов в южной части Восточно-Сибирского моря // Океанология. 2005. Т.45. №. 6. С. 889-896.
3. Гуков А.Ю. Экология донных биоценозов моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря. Автореф. докт.дисс. Якутск. 2013. 40 с.
4. Гуков А.Ю., Волосникова А.С. О распределении донных биоценозов в центральной части шельфа Восточно-Сибирского моря // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2020. Выпуск 7. С. 49-51. doi:10.24411/2687-1092-2020-10707
5. Гусев Е.А., Зинченко А.Г., Бондаренко С.А., Аникина Н.Ю., Дервянко Л.Г., Максимов Ф.Е., Кузнецов В.Ю., Левченко С.Б., Жеребцов И.Е., Попов В.В. Новые данные о рельефе и четвертичных отложениях внешнего шельфа Восточно-Сибирского моря // Геология и геоэкология континентальных окраин Евразии. Вып. 4. М.: ГЕОС, 2012. С. 58-68.
6. Гусев Е.А., Крылов А.А., Яржембовский Я.Д., Элькина Д.В., Новихина Е.С., Костромина Н.А., Комаров А.Ю., Горбунов Д.А., Бочкарев А.В., Захаров В.Ю. О первых результатах проведения морских геологосъемочных работ масштаба 1:1 000 000 в рамках листов Государственной геологической карты РФ S-57,58 (Восточно-Сибирское море) // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2020. Выпуск 7. С. 52-59. doi:10.24411/2687-1092-2020-10708.
7. Кассенс Х., Талденкова Е.Е., Шманяк А.В., Крылов А.А., Гусев Е.А., Махотин М.С. Морские геологические и палеоокеанологические исследования в Восточно-Сибирском море в рамках 4-го этапа экспедиции «Трансарктика-2019» // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2020. Выпуск 7. С. 234-243. doi:10.24411/2687-1092-2020-10737.
8. Рябчук Д.В., Прищепенко Д.В., Ковалева О.А., Жамойда В.А., Григорьев А.Г., Сергеев А.Ю., Буданов Л.М., Нестерова Е.Н., Дронь О.В. Литология поверхностных отложений Восточно-Сибирского моря по результатам геологического картирования акваториальной части листов R-56–60 // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2020. Выпуск 7. С. 188-197. doi:10.24411/2687-1092-2020-10729
9. Сергеев А.Ю., Буданов Л.М., Ковалева О.А., Рябчук Д.В., Неевин И.А. Особенности геологического строения и генезиса подводных гряд шельфовой зоны Восточно-Сибирского моря (обрамление о. Новая Сибирь) // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2020. Выпуск 7. С. 198-205. doi:10.24411/2687-1092-2020-10730.

Экосистемы морей Сибирской Арктики – 2020: Карское море (81-й рейс научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш»)

М.В. Флинт

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

81-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш» продолжал многолетнюю программу экспедиционных исследований «Морские экосистемы Сибирской Арктики», которую Институт океанологии РАН ведет, начиная с 2007 г.

Сроки проведения экспедиции 27.08.2020 – 25.09.2020 г. В экспедиции приняли участие 76 ученых из институтов Российской академии наук (ИО РАН, ИГЕМ РАН, ГЕОХИ РАН, ИГ РАН, ТОИ ДВО РАН), НИЦ «Курчатовский институт», МГУ, ВНИРО Росрыболовства, специалисты МЧС России.

Получены новые данные о пространственно-временной изменчивости термохалинной структуры вод в Карском море в год с аномально ранним освобождением бассейна от сезонного льда. В западном трогом желоба Св. Анны выявлено контурное течение, ядро которого образуют теплые воды атлантического происхождения. Течение формирует мощный склоновый фронт, который ограничивает распространение опресненных речным стоком вод на север. Область склонового фронта характеризуется высоким pCO_2 в воде и приводной атмосфере и потоком углекислого газа из атмосферы в океан. Первые наблюдения на перешейке между Новоземельской впадиной и западным трогом желоба Святой Анны установить наличие течений со скоростями до 50 см/с, играющих ключевую роль в водообмене между Карским бассейном и глубоководными районами Арктики,

Получены оценки уровня интегральной первичной продукции в Карском море характерного для текущей климатической ситуации – в среднем 91 мгС/м² в день (55–181 мгС/м² в день). Установлено, что наиболее интенсивно процесс утилизации первичной продукции в экосистеме происходит в локальных скоплениях зоопланктона в области континентального склона – до 30 % биомассы фитопланктона ежедневно. Впервые в Карском море обнаружены личинки мойвы, что связано с теплыми климатическими условиями весны – лета 2020 г.

Проведены исследования динамики развития популяции недавнего вида-вселенца в Карском море краба стригуна *Chionocetes opilio* и его воздействия на экосистему в разных районах бассейна. Максимальные концентрации опилио связаны с заливами Новой Земли. Воздействие хищного вселенца привело к существенному уменьшению обилия и разнообразия нативной донной фауны в бассейне. Наличие личинок икротосных самок свидетельствует о формировании собственной популяции краба карского происхождения. В Карском море самки краба опилио не достают больших размеров, что является результатом низкой кормовой базы.

Проведены измерения концентрации метана (CH₄), углекислого газа (CO₂), водяного пара (H₂O) в приводной атмосфере. Концентрация CH₄ изменялась от 1.92 ppm до 2.17 ppm, концентрации CO₂ – от 389 до 445 ppm. Максимум концентрации CH₄ был связан с процессами выноса воздушных масс из северных материковых районов территории России.

Установлен высокий уровень взаимодействия экосистем заливов восточного берега Новой Земли (Степового, Цивольки, Русанова и Благополучия), содержащих крупные захоронения радиоактивных отходов, с Карским бассейном, что может привести к широкому распространению радиоактивного загрязнения в случае естественного или антропогенного нарушения целостности могильников.

Получены оценки состояния защитных оболочек и утечек радиоактивного загрязнения двух наиболее радиационно опасных объектов захоронений в Карском море, подъем и утилизацию которых декларировала Россия в период своего председательства в Арктическом совете (2021–2023 гг.) – АПЛ К-27 и экранной сборки реактора атомного ледокола «Ленин». Установлена целостность корпусов обоих объектов. Радиационное обследование в целом не обнаружило значимых следов техногенных радионуклидов, в частности ¹³⁷Cs и ⁶⁰Co, что позволяет констатировать отсутствие влияния объектов захоронений радиоактивных отходов на загрязнение морской среды.

Исследования седиментосистем Европейской Арктики. Задачи и результаты проведения комплексной прибрежно-морской научной экспедиции ИО РАН «Черное море – 2020»

А.Г. Зацепин, С. Б. Куклев

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

Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН (г. Москва) совместно со своим Южным Отделением (г. Геленджик) при поддержке Минобрнауки РФ провел комплексную научную экспедицию в территориальных водах российской части Черного моря в июне – декабре 2020 г. на МНИС БМП-74 «Ашамба» (100 выходов) и катере «Мери Фишер» – МНИС «Профессор Лонгинов» (20 выходов). Экспедиционные исследования были направлены на изучение фундаментальных вопросов взаимодействия экосистем шельфовой зоны и глубоководных районов бассейна, а также на анализ состояния черноморской экосистемы в условиях глобального изменения климата. Задачи экспедиции включали физические, химические, литодинамические и биологические исследования прибрежной зоны Черного моря и являлись продолжением цикла регулярных многолетних исследований начатых в 1999 г. Исследования были направлены на решение задач Государственного задания ИО РАН (темы №№ 0149-2019-0003, 0149-2019-0004, 0149-2019-0005, 0149-2019-0006, 0149-2019-0008, 0149-2019-0009, 0149-2019-0010, 0149-2019-0011, 0149-2019-0014), проектов РФФИ (№№ 18-05-20146, 18-05-80049, 18-05-00333, 18-05-80035, 19-45-230004, 19-45-230002, 19-44-230035, 19-45-230012, 19-05-00459, 19-05-00580, 19-05-00041, 19-55-80004), проектов РНФ (№№ 20-17-00060, 20-17-00167) международных проектов (UNDP/IRN и EMBLASPlus).

Цикл ежегодно повторяющихся экспедиционных работ на МНИС «Ашамба» позволил выявить ряд климатических тенденций в функционировании прибрежной черноморской экосистемы. Глобальное потепление вызвало рост температуры и солености воды в верхнем 150–200 м слое моря. Для восточной части Черного моря выявлен рост среднегодовой мощности ветрового волнения.

Крайне желательно достоверно представлять дальнейшую реакцию черноморской экосистемы на климатические изменения. Поэтому систематическое изучение влияния изменяющихся климатических условий в регионе на биотические и абиотические составляющие экосистемы Черного моря остается актуальной задачей современного комплексного научного исследования. Эта задача в рамках настоящих экспедиционных исследований решается путем проведения регулярного круглогодичного экологического мониторинга состояния морской среды.

Важным элементом программы экспедиционных исследований является поддержание функционирования гидрофизического полигона, развернутого в северо-восточной части Черного моря (далее – Полигон «Геленджик»). Информация, получаемая на полигоне, позволяет решать следующие задачи:

- исследовать субмезомасштабную и короткопериодную изменчивости динамики вод шельфа, ее реакцию на атмосферные воздействия и мезомасштабную изменчивость течений в глубоководной зоне моря;
- выполнять проверку адекватности использования спутниковых данных для расчета концентрации хлорофилла на основе сопоставления результатов расчета с данными измерения на полигоне;
- отработать методики измерения и оперативной передачи данных, а также проверить надежность автономных измерительных станций;
- проводить испытание новых измерительных и вспомогательных устройств;
- обеспечивать рядами данных регулярных гидрофизических измерений другие направления программы экспедиционных исследований.

Новым шагом в развитии комплексных гидрофизических исследований в 2020 г. стало внедрение в практику исследований совместных измерений профилей скорости течения с помощью буксируемого ADCP и гидрологической структуры путем периодических CTD-

зондирований на ходу или в дрейфе судна (МНИС «Ашамба») с высоким пространственно-временным разрешением. При этом *CTD*-зондирования производятся от поверхности моря до его придонного слоя. Важность проведения одновременных измерений такого рода обусловлена, с одной стороны, недостаточной изученностью влияния субмезомасштабных вихрей на гидрологическую структуру и процессы вертикального перемешивания. С другой стороны, перспективный аспект быстрых совместных *ADCP*- и *CTD*-съемок связан с тем, что в ходе измерений их данные в режиме реального времени могут автоматически записываться на судовой сервер. Его коммутация с передающим устройством позволит в дальнейшем оперативно транслировать данные измерений в береговой центр сбора информации и далее ассимилировать их в математические модели, осуществляющие диагностические и прогностические расчеты состояния морской среды. Таким образом, освоенный метод проведения измерений в перспективе может рассматриваться как одно из средств оперативной океанографии, развитие которой является одной из основных задач, решаемых на черноморском Полигоне «Геленджик» ИО РАН.

В 2020 г. продолжены исследования техногенных загрязнений в воде и донных отложениях в районе Геленджика, в частности в Геленджикской и Голубой бухтах. Показано, что процесс формирования и трансформации очагов техногенных загрязнений в береговой зоне моря тесно связан с расположением крупных водостоков, частотой и интенсивностью поступления через них загрязняющих веществ, а также с интенсивностью водообмена прибрежной зоны с открытым морем.

Были проведены успешные испытания новых автономных зондирующих аппаратов – стационарной и мобильной станций вертикального зондирования, разработанных в рамках проекта Программы фундаментальных исследований РАН в 2017–2019 гг., новой версии зонда-профилографа «Аквалог», в котором батарея электропитания и электронный модуль управления размещены в отдельных прочных герметичных контейнерах, в отличие от прежней версии, в которой батарея и электронный модуль были установлены в одном корпусе. По результатам испытаний определены направления совершенствования конструкций автономных зондирующих аппаратов.

Продолжен ежегодный мониторинг зообентоса, проводимый ИО РАН на двух разрезах с 2001 г. (пос. Дивноморское и б. Инал) на глубинах 20–30 м. Кроме того, впервые после кризиса черноморской экосистемы конца XX в. было проведено определение границ обитания многоклеточного зообентоса на северо-восточном побережье Черного моря в двух биотопах: заповедник Утриш и Голубая бухта. Был продолжен сбор донной фауны для выявления распространения крупноразмерных видов и видов с низкой плотностью поселений, а также проведена молекулярная диагностика их видовой принадлежности.

Выполнены исследования содержания форм серы (сероводород, сульфат, тиосульфат, сульфит, элементная сера) для определения масштабов сульфатредукции и окисления сероводорода в Черном море, а также исследования поведения микроэлементов (молибден, вольфрам и ванадий) на границе аэробной и анаэробной зон Черного моря для определения их геохимического поведения в условиях сорбции взвешенными оксигидроксидами железа (III) и марганца (IV) и при последующем их растворении в анаэробной зоне. Вопрос получения новых данных по распределению восстановленных форм серы в верхней части анаэробной зоны Черного моря решался двумя независимыми методами.

Выполнены определения концентраций пластикового мусора и микропластика в воде и в донных осадках в районе п. Дивноморское и Геленджикской бухты и исследование связи загрязнения пластиком со структурой гидрофизических полей в прибрежной зоне. Полученные данные находятся в процессе анализа.

Продолжены исследования пространственно-временной изменчивости структуры и функционирования пелагической экосистемы, а также факторов, определяющих эти изменения. Решались задачи изучения степени взаимодействия/изоляции шельфовых и глубоководных пелагических экосистем, оценки влияния климатических условий на состав, обилие и жизненные циклы ключевых компонентов биоты.

Продолжено изучение желетелого планктона, как черноморских видов (медуза *Aurelia aurita*), так и вселенцев (гребневики *Mnemiopsis leidyi* и *Beroe ovata*), а также зоопланктона и ихтиопланктона (икры и личинок рыб), в Голубой и Геленджикской бухтах и на разрезах в шельфовой зоне и в зоне континентального склона Черного моря. Изучение видов-вселенцев

в прибрежных пелагических сообществах включало в себя исследование динамики их межгодовой численности и влияния на зоо- и ихтиопланктон.

Важным направлением черноморских экспедиционных исследований ИО РАН является изучение литодинамических процессов, в особенности на тех участках Черноморского побережья, где они происходят активно. К таким участкам относятся Анапская пересыпь и Бакальская коса. В 2020 г. в пределах Анапской пересыпи проведены два цикла экспедиционных работ и один цикл – на Бакальской косе. Программа экспедиций включала в себя сухопутные (аэрофотосъемку, маршрутные исследования, отбор проб для гранулометрического и минерального анализа, исследования эоловых процессов и др.) и морские работы (изучение подводного рельефа, изучение характеристик течений, отбор проб). Задачей ежегодных мониторинговых экспедиционных наблюдений было получение новых натуральных данных для изучения эволюции крупных морских береговых форм.

Поскольку МНИС БМП-74 «Ашамба» и катер «Мери Фишер» (МНИС «Профессор Лонгинов») являются небольшими судами, одновременное проведение комплексных исследований, включающих в себя широкий спектр физических, химических, биологических и литодинамических работ, не представляется возможным. В силу этого экспедиционная работа подразделяется на отдельные этапы и выполняется в виде ряда рейсов с частичной или полной заменой научного состава после каждого рейса.

В связи с ограничительными карантинными мерами проведение морских экспедиционных работ удалось начать только в июне 2020 г. Последние выходы были выполнены в декабре 2020 г. К сожалению, не удалось выполнить некоторые экспедиционные работы, намеченные на зимне-весенний период. Запланированное для проведения этих этапов судовое время было использовано для выполнения работ на других этапах экспедиции.

По программе исследований за отчетный период в общей сложности было выполнено **100** экспедиционных выходов на МНИС БМП-74 «Ашамба» (рис. 1). Для выполнения работ по этапу № 14 использовалось МНИС «Профессор Лонгинов» (рис. 2), на котором в общей сложности выполнено **20** экспедиционных выходов.

Карта районов работ и маршруты передвижения судов изображены на рис. 3.



Водоизмещение – 27 тонн. Вместимость – 2 члена экипажа и 8 сотрудников.

Рис. 1. Бот моторный промысловый (БМП) – 74 «Ашамба»



Рис. 2. МНИС «Профессор Лонгинов»

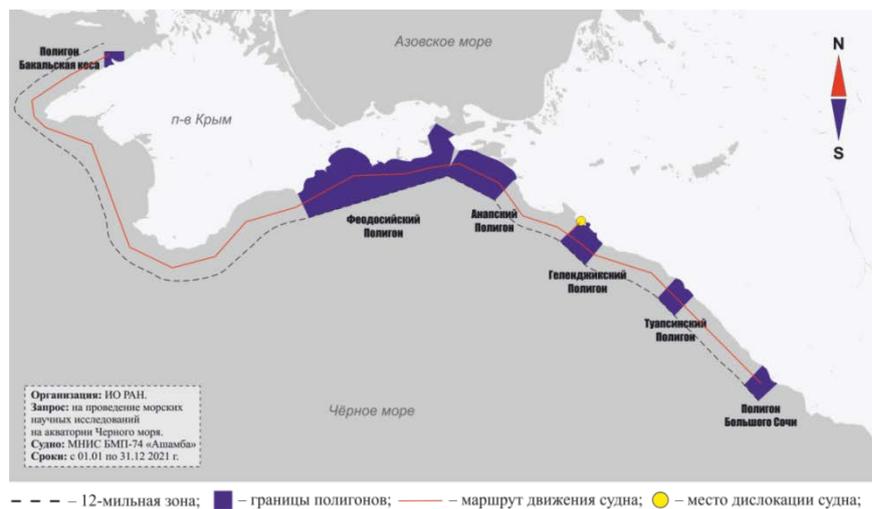


Рис. 3. Карта районов работ и маршруты передвижения судов

Предварительные результаты

1. Установлено, что после теплой зимы 2019–2020 гг. холодный промежуточный слой (ХПС), в своем классическом определении как слой воды с температурой менее $8\text{ }^{\circ}\text{C}$, в 2020 г., как и в предыдущие годы (2018–2019 гг.), не был сформирован. Значение температурного минимума в слое ХПС выросло до $8.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (для сравнения в 2018 и 2019 гг. он составлял 8.2 и $8.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ соответственно).

2. По данным геленджикской ГМС, отмечено аномально низкое количество осадков: с начала января по октябрь включительно выпало всего лишь 374 мм осадков – абсолютный рекорд с начала наблюдений. Для сравнения, в 2019 г. за тот же период выпало 449 мм осадков, в 2018 г. – 688 мм, в 2017 г. – 602 мм. При этом в 2020 г. с начала марта по конец апреля выпало всего 4 мм осадков, примерно столько же выпало за август.

3. Установлено, что начиная с 2010 г. в северо-восточной части Черного моря наблюдается выраженный рост солености в верхнем 150–200 м слое, в среднем около 0.05–0.06 psu ежегодно. Соответственно, за десятилетний период соленость в этом слое увеличилась на 0.5–0.6 ‰. При этом изменения солености практически отсутствовали на глубинах 250 м и ниже.

4. Выявлен рост температуры в водных слоях, расположенных ниже условного ХПС. В частности, «нижняя» изотерма $8.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ поднималась ежегодно на 11 м – от средней глубины 242 м в 2010 г. до 119 м в 2020 г. Совместные изменения солености и температуры привели к соответствующим изменениям плотности воды. В результате этого толщина кислород-содержащего слоя (слой от поверхности до горизонта 15.85 условной плотности) также изменилась: со 145 м в 2010 г. до 127 м в 2020 г.

5. В 2020 г. продолжена отработка методов и средств оперативной океанографии, в частности проведения «быстрых» судовых съемок заданной акватории. Натурный эксперимент включал в себя пространственную судовую съемку поля течения на акватории Полигона «Геленджик» с помощью доплеровского акустического профилографа *ADCP WH 600*, установленного в шахте судна, с одновременным измерением гидрологических и гидрохимических (содержание кислорода) параметров *CTD*-зондом *Idronaut*. При этом данные измерений передаются на борт судна в онлайн режиме и записываются на бортовые ПК. Имеется возможность их оперативной передачи в центр сбора и обработки информации по мобильной или радиосвязи.

6. На Полигоне «Геленджик» внедрены в практику регулярные гидрофизические измерения, проводимые с помощью стационарной станции автоматического вертикального зондирования на основе донной лебедки. Станция обеспечивает периодическое измерение профилей температуры с помощью датчиков температуры и давления, размещенных в обтекаемом плавучем корпусе (зонде), который зондирует водную толщу от придонного слоя до поверхности водоема. Данные измерений, передаваемые с зонда в процессорный модуль донной лебедки по тонкому кабелю, оперативно транслируются в береговой коммуникационный центр с помощью проложенного по дну моря оптоволоконного кабеля. По этому кабелю осуществляется также электропитание станции. В последующем планируется дооснащение ее

плавучего корпуса, датчиком скорости звука, а также биооптическими и гидрохимическими датчиками с целью использования донной лебедки для регулярного комплексного экологического мониторинга морской водной среды.

7. В 2020 г. превышение нормы ПДК техногенных загрязнений в морской водной среде на ближнем шельфе в районе г. Геленджика зафиксировано для железа, марганца, свинца и пестицидов (ХОП). Остальные определяемые загрязняющие вещества находились в воде в концентрациях ниже ПДК. Наиболее высокий фон содержания техногенных загрязнений наблюдался в плохо вентилируемых водах Геленджикской бухты для нефтепродуктов, фенола, железа, марганца, цинка и β -ГХЦГ. Исследования техногенных загрязнений показывают, что уровень содержания некоторых металлов, нефтепродуктов, фенолов в несколько раз выше в Геленджикской бухте, характеризующейся плохой вентиляцией и высокой рекреационной нагрузкой, по сравнению с другими прибрежными водами, включая Голубую бухту.

8. В донных отложениях Геленджикской бухты выше нормы допустимых концентраций (ДК) зафиксированы значения для γ -ГХЦГ, Σ ДДТ, ДДД, ДДЭ и суммы пестицидов Σ ХОП. Содержание остальных техногенных загрязнений (ТЗ) находилось в пределах существующих норм. В донных осадках Голубой бухты превышение ДК по содержанию ТЗ не зафиксировано. В целом следует отметить, что для донных осадков Геленджикской бухты характерен значительно повышенный фон содержания ТЗ, по сравнению с Голубой бухтой. Разница наблюдаемых концентраций ЗВ между двумя бухтами (Сгел/Сгол) составляет, например: для кадмия в 3.9 раза, цинка в 2 раза, свинца – 1,5, кобальта – 2.4, хрома – 3 раза, DDE в 4.4 раза, DDT в 3.6 раза.

9. Продолжены исследования распределения восстановленных форм серы в верхней части анаэробной зоны Черного моря. Глубина ежегодного мониторинга водной толщи составляет 600 м. Концентрации сероводорода относительно плотности и солёности практически неизменны на протяжении шести лет наблюдения (2014–2020 гг.). Концентрация кислорода в окисленном слое морской воды существенно не изменилась с 2017 г., когда произошла последняя интенсивная зимняя конвекция. Ко времени написания отчета полученные пробы полностью не обработаны.

10. Проведено определение хлорности с высокой точностью относительно стандарта морской воды *IAPSO (Practical Salinity 34.993)* и рассчитана зависимость кондуктометрической солёности от хлорности для Черного моря. Хлорность, полученная в ходе экспедиции, будет в дальнейшем построена относительно концентрации сульфата для оценки его дефицита, создаваемого за счет сульфатредукции.

11. Засушливое лето 2020 г. и, как следствие, сокращение берегового стока биогенных элементов вызвало снижение концентрации автотрофного фитопланктона на внутреннем шельфе северо-восточной части Черного моря. Возможно, по этой же причине максимум фитопланктона в течение всего лета и ранней осени располагался на глубинах 30–40 м, что значительно ниже среднегодовых значений для этого периода. В свою очередь, это существенным образом могло повлиять на пищевые условия растительного зоопланктона, обитающего в верхних слоях моря и негативно отразиться на всех уровнях пищевой цепи, включая личинок рыб.

12. Предварительные результаты исследования гребневиков-вселенцев свидетельствуют, что интенсивность размножения и встречаемость взрослых особей *Beroe ovata* уменьшилась, тогда как *Mnemiopsis leidy* активно размножался в прибрежных водах до конца октября. Однако в ноябре численность *Mnemiopsis leidy* была совершенно незначительна. Этот результат свидетельствует, что в текущем году даже небольшой популяции *Beroe ovata* было достаточно, чтобы подавить развитие популяции *Mnemiopsis leidy*. И еще один предварительный позитивный вывод: популяция *Beroe ovate*, вероятно, может регулировать свою численность. При отсутствии пищи популяция прекращает расти и постепенно элиминирует, а оставшиеся особи нового поколения уходят на глубину, где переживают неблагоприятные условия.

13. Показано увеличение числа видов двусторчатых моллюсков в 2 раза в биоценозе венусового песка Геленджикской бухты в 2020 г. по сравнению с 2003 г., что предположительно связано со снижением пресса хищных желтелых на личиночный пул.

14. По данным долговременного мониторинга (2000–2020 гг.) в б. Инал можно говорить о достижении некоторого нового стационарного состояния структуры сообществ макрозообентоса до глубины 20–30 м. В период после 2010 г. эта структура испытывает существенно меньшие колебания по сравнению с колебаниями начала 2000-х гг.

15. Показано, что структура бентоса на верхней границе постоянного пикно-халоклина строго коррелирует с кислородным режимом. При этом основным фактором, определяющим обеднение сообществ с глубиной, является общая продолжительность периодов гипоксии, а фактором, определяющим нижнее положение границы бентоса, является общая продолжительность периодов аноксии.

16. По результатам измерения профилей скорости течения в акватории Бакальской косы установлено, что поток, формирующий баланс наносов, был направлен из Каркинитского залива в открытое море. В районе пролива (между северной оконечностью косы и островом) наблюдалось течение со скоростью порядка 0.2 м/с. Течение из пролива направлено на юг вдоль западного побережья косы с характерной скоростью 0.1–0.2 м/с.

17. Выявлены особенности топографии акватории Бакальской косы. Отмечено отсутствие корреляции элементов рельефа между ее западной и восточной частями. Западная часть акватории характеризуется наличием песчаных отмелей. Глубина моря у ее береговой линии нарастает более плавно, чем в восточной части. Основной морфоструктурой этой части акватории является отмель. Восточная часть акватории характеризуется резким свалом глубины вблизи береговой линии. На глубине 6 м он переходит в плавный перегиб. Выявлена тенденция смещения гребней подводных валов в восточном направлении на участках дистальной части косы и острова.

18. Построены цифровые модели рельефа береговой зоны Анапской пересыпи. Выделено до трех субпараллельных подводных валов, сложенных песчаным материалом минерального и биогенного происхождения. Валы ярко выражены в центральной части Анапской пересыпи. В северной части третий подводный вал становится меньше по высоте, а в южной существует только один подводный вал. В плане валы повторяют очертания береговой линии.

19. С помощью среднечастотных и низкочастотных профилографов с излучателями типа «бумер» и «спаркер», соответственно, обнаружено палеорусло р. Ашамба и ее палеоприток. Сделано предположение, что в настоящее время они играют роль своеобразного коллектора для звукопрозрачной субстанции, которая под действием силы тяжести и воздействия волн, медленно стекает с площади дна бухты в палеорусло, и палеоприток и движется по ним к более глубоким областям морского дна. Это предположение нуждается в дальнейшей проверке.

По результатам экспедиционных исследований, выполненных в предыдущие годы в 2020 г. опубликовано более 50 научных статей в журналах и других периодических изданиях, индексируемых в базах данных РИНЦ, WoS и Scopus.

Форс-мажорные обстоятельства, требующие принятия незамедлительных мер

1. Оборудование Полигона «Геленджик» ежегодно несет ущерб из-за незаконного тралового рыболовства. В начале 2020 г. была утрачена трехсекционная термокоса, установленная на глубине 86 м. В конце ноября 2020 г. произошла утрата многомодемной донной станции на глубине 28 м подсоединенной к оптоволоконному кабелю. Были также утрачены измерительные приборы, подключенные к этой станции, такие как термокоса и донный ADCP. Восстановление этой станции, изготовление и приобретение новых приборов, потребует значительных средств и времени.

2. Всеми участниками экспедиции отмечено крайне неудовлетворительное состояние научного и вспомогательного оборудования МНИС «Ашамба». Периодические поломки все чаще приводят к простоем судна и срыву сроков выполнения экспедиционных работ. Необходим капитальный ремонт/замена: судовых лебедок, тросовых систем, электрооборудования судна, дизель-генератора, главного двигателя судна, системы привода винта судна, лебедки якорной системы. Капитальный ремонт судна требует существенного финансирования (~ 10 млн рублей) и временных затрат. В сложившейся ситуации считаем целесообразным приобретение нового судна типа МНИС «Ашамба». Ориентировочная стоимость – 35 млн рублей. В отсутствие вышеуказанных финансовых средств продолжение многолетних экспедиционных исследований шельфово-склоновой зоны Черного моря может стать проблематичным.

Необходимость организационного развития и методической унификации количественных сборов и анализа микропластика

А. П. Педченко^{1}, Я. Ю. Блиновская², М. В. Гаврило^{3,4}, Г. А. Кантаков⁵*

¹ФГБНУ «ВНИРО», Москва, Россия

²ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, о. Русский, Россия

³ФГБУ «АНИИ», Санкт-Петербург, Россия

⁴Ассоциация «Морское наследие: исследуем и сохраним», Санкт-Петербург, Россия

⁵НПО «ДЭКО», Южно-Сахалинск, Россия

*e-mail: pedchenko@vniro.ru

Обоснована необходимость унификации методов сбора и обработки проб для оценки загрязнения вод микропластиком. Предложено широкое использование нейстонных сетей, оборудованных счетчиками протока воды, показавших эффективность их использования, возможность обеспечить количественную оценку загрязнения вод и сравнение данных разных съемок. Учитывая современный уровень и глобальность проблемы содержания микропластика в водных средах, отмечена необходимость координации межведомственных исследований микропластика под эгидой РАН РФ. Предложено проведение оценки загрязнения вод микропластиком по стандартной сетке станций в рамках масштабных комплексных съемок на акваториях морей, крупных озер, водохранилищ и рек, что позволит выявить динамику концентрации микропластика в биотопах.

Известно, что к микропластику [1] относятся пластиковые частицы, а также полимерные волокна и нити размерностями условно от $0.05 \cdot 10^{-4}$ м до $0.5 \cdot 10^{-2}$ м. Нижняя размерная граница частиц микропластика (далее – МП) дискутируется в литературе и строго не определена [1, 2, 3].

Исследования МП начаты в конце 1960-х гг. с поиска причин гибели альбатросов. Близкие по времени публикации российских исследователей касаются МП и также начаты орнитологами в 1980-е гг. (Командорские острова, Тихий океан). В современных дискуссиях экспертов мирового уровня тема МП обсуждается в постановке вопроса: «Чрезвычайная ли это угроза морским экосистемам или все-таки преувеличение?» Тем не менее в исследованиях МП достигнут ряд важных результатов.

В первую очередь установлены основные источники поступления микропластика в океан: речной сток, адвекция течениями [4], конвекция [5], атмосферные переносы [6], судоходство, рыболовство, аквакультура и другие локальные антропогенные источники. Выявлены 5 зон концентрации МП планетарного масштаба. Начаты специализированные работы по оценке загрязнения МП вод морей и их заливов, литорали, гидробионтов и птиц.

Обзор научных публикаций по исследованиям МП показывает разнообразие методов отбора проб и подходов по их обработке, используемых для оценки загрязнения вод микропластиком [2]. Проведение исследований отбора и анализа проб нестандартизированными методами приводит к разбросу количественных оценок и некорректности сравнения данных о загрязнении вод МП.

Авторы придерживаются позиции проведения сбора проб ловами нейстонной сетью со счетчиками протока воды, что позволяет количественно оценить концентрации и размерности МП в морях и океанах. Мониторинг загрязнения вод микропластиком, реализованный нейстонными сетными сборами на акватории морей доказал свою эффективность. Так, данные количественных сетных уловов с расчетом концентрации МП на км², выполненные в конце 1980-х гг., оказались сопоставимы с результатами оценки загрязнения акватории залива Аляска в 2019 г. [7, 8]. Оценки оказались состоятельны по методикам сбора, что указывает на возможность их использования повторно и осуществления на иных водных объектах. Это дает основание предположить, что именно количественный метод сетных ловов с использованием счетчиков станет основой научной оценки концентрации МП в морях Российской Федерации как единый методический подход для широкого круга задач –

от мониторинговых до специализированных исследований. Важно отметить, что включение в эти работы сборов на литорали, бентали и орнитологических исследований улучшит оценку степени пластикового загрязнения вод региона и ее динамику при повторных отборах.

Авторы убеждены, что исследования МП в морях и пресноводных водных объектах страны требуют значительно больших усилий, чем «грантовый уровень» инициативных проектов, с необходимостью координации межведомственных работ под эгидой РАН, учитывая современный уровень и глобальность проблемы МП в водных средах.

География отечественных исследований микропластика разбросана. Районы исследований условно можно разделить на несколько групп с учетом уязвимости их экосистем, площади водных объектов, природно-ресурсного потенциала и степени изученности загрязнения микропластиком.

В первую группу включены моря Тихого океана и Европейского Севера, граничащие с наиболее загрязненными участками Мирового океана, поскольку здесь сосредоточены основные промысловые ресурсы России, для которых загрязнение микропластиком может изменить экологию трансграничных, анадромных и прибрежных видов гидробионтов. Во вторую – моря Российской Арктики, восстановление от загрязнения которых будет проходить весьма длительное время после разгрузки МП сибирскими реками и/или в результате его поступления на их акватории с потоками атлантических и тихоокеанских вод. В третью группу могут быть включены внутренние моря, крупные озера и водохранилища, имеющие уникальную экологию и важное хозяйственное значение, загрязнение которых также мало изучено.

Активное исследование загрязнения морей Арктики в последние годы [9–13] не выявило наличия зон повышенных концентраций или накопления МП на континентальном шельфе в Российском секторе Арктики, существование которых предсказано модельными расчетами.

Новые данные по трансфертам МП внутри биотопов морских экосистем позволяют утверждать, что 90 % микропластика попадает в бентосные сообщества и выводится из оборота [14, 15]. Биологические механизмы, влияющие на распределение и динамику микропластика на акваториях, в частности роль сезонных всплесков фитопланктона [16], обрастание, включая микробное, а также потребление гидробионтами [17], изучены недостаточно. Исследование этих механизмов в трансфертах МП в водных экосистемах видится очередной и неотложной задачей на перспективу.

Авторы считают принципиально важным проведение оценки загрязнения МП в рамках масштабных комплексных съемок по повторяющейся во времени сетке станций в границах водных объектов (море, озеро, водохранилище, река), что позволит выявить динамику концентрации МП в биотопах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Richard C. Thompson, Ylva Olsen, Richard P. Mitchell, Anthony Davis, Steven J. Rowland, Anthony W. G. John, Daniel McGonigle, Andrea E. Russel (2004) Lost at Sea: Where Is All the Plastic?//Science.Vol.304.7 May 2004.p.838.
2. GESAMP (2015). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment. (Kershaw, P. J., ed.). (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 90.P.96.¶https://ec.europa.eu/environment/marine/good-environmental-status/descriptor-10/pdf/GESAMP_microplastics%20full%20study.pdf
3. Зобков М.Б., Есюкова Е.Е. Микропластик в морской среде: обзор методов отбора, подготовки и анализа проб воды, донных отложений и береговых наносов // Океанология. 2017. Т. 58. № 1. С. 149-157. DOI: 10.7868/S0030157418010148
4. Lebreton L.C.-M., Greer S.D., Borrero J.C.2012. Numerical modelling of floating debris in the world's oceans//In Marine Pollution Bulletin. Volume 64, Issue 3. pp.653-661, ISSN 0025-326X, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.10.027>
5. Kane I.A., Clare M., Miramontes E., Wogelius R., Rothwell J., Garreau P., Pohl F.(2020).Microplastic distribution on the seafloor depends on more than surface accumulation patterns.Science. JUN 2020. pp.1140-1145.
6. Evangeliou, N., Grythe, H., Klimont, Z. et al.(2020). Atmospheric transport is a major pathway of microplastics to remote regions. Nat Commun 11, 3381. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17201-9>
7. Robert H. Day, David G. Shaw and Steven E. Ignell. 1990. THE QUANTITATIVE DISTRIBUTION AND CHARACTERISTICS OF NEUSTON PLASTIC IN THE NORTH PACIFIC OCEAN 1985-1988// NOAA 1990.
8. Mathias Egger, Rein Nijhof, Lauren Quiros, Giulia Leone, Sarah-Jeanne Royer, Andrew C McWhirter, Gennady A Kantakov, Vladimir I Radchenko, Evgeny A Pakhomov, Brian P V Hunt and Laurent Lebreton. 2020. A spatially variable scarcity of floating microplastics in the eastern North Pacific Ocean. // Environmental Research Letters, Volume 15, Number 11 <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abb4f>

9. Grøsvik BE, Prokhorova T, Eriksen E, Krivosheya P, Horneland PA, Prozorkevich D. Assessment of marine litter in the Barents Sea, a part of the joint Norwegian-Russian ecosystem survey.// *Front. Mar. Sci.*, 06 March 2018 | <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00072>
10. Педченко А.П., Блиновская Я.Ю. Трансарктическая экспедиция ВНИРО: Результаты исследований микропластика в Арктических морях в 2019 г. // *Инновационные научные исследования: теория, методология, практика* // Сборник статей Международной научно-практической конференции. Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». 2020. – с. 203-205
11. Педченко А.П., Блиновская Я.Ю., Кантаков Г.А., Гаврило М.В. ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОПЛАСТИКА В ПРИБРЕЖНО-МОРСКОЙ ЗОНЕ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА И СЕВЕРНОЙ ПАЦИФИКИ. // *Труды IX Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2020)» Том III (III): Тверь: ООО «ПолиПРЕСС». 2020. С. 336-340.*
12. Yakushev, E., Gebruk, A., Osadchiv, A. et al. Microplastics distribution in the Eurasian Arctic is affected by Atlantic waters and Siberian rivers. *Commun Earth Environ* 2, 23 (2021). <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00091-0> Published 03 February 2021.
13. Иванова Л.В., Соколов К.М., Харитоновна Г.Н. Тенденции загрязнения пластиком акваторий и побережья Баренцева моря и сопредельных вод в условиях изменения климата // *Арктика и Север*. 2018 № 32 С. 121–145. DOI: 10.17238/issn2221-2698.2018.32.121
14. Yakimets, I., D. W. Lai and M. Guigon (2004). Effect of photo-oxidation cracks on behaviour of thick polypropylene samples.//*Polymer Degradation and Stability* 86 (1).pp.59-67.
15. Cooper, D. A., Corcoran, P. L. (2010). Effects of mechanical and chemical processes on the degradation of plastic beach debris on the island of Kauai, Hawaii.//*Marine Pollution Bulletin*, 60 (5). pp 650-654.
16. Long M., Moriceau B., Gallinari M., Lambert C., Huvet A., Raffray J., Soudant P. (2015). Interactions between microplastics and phytoplankton aggregates: Impact on their respective fates. *Marine Chemistry*. 175. 39-46. 10.1016/j.marchem.2015.04.003.
17. Savoca M.S., McInturf A.G., Hazen E.L. (2021) Plastic ingestion by marine fish is widespread and increasing. *Glob Change Biol*. 2021; 00: 1–12. <https://doi.org/10.1111/gcb.15533>

Об авторах:

Педченко Андрей Петрович, к.г.н., доцент, ведущий научный сотрудник Российского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), pedchenko@vniro.ru

Специализация: Геоэкология, морские науки, изучение влияния природных и антропогенных факторов на биологические ресурсы морей Мирового океана, а также пресноводные экосистемы

Блиновская Яна Юрьевна, д.т.н., профессор, ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Blinovskaya@hotmail.com

Специализация: экологическая безопасность, инженерная защита окружающей среды, экологический мониторинг, производственный экологический контроль

Гаврило Мария Владимировна, к.б.н., ведущий научный сотрудник ФГБУ «АНИИ», Руководитель комиссии по природному наследию, Ассоциация «Морское наследие: исследуем и сохраним», m_gavrilo@mail.ru

Специализация: зоология, морская биология, биоразнообразие Арктики, ОВОС, воздействие человека на морские экосистемы, морские особо охраняемые территории, орнитология

Кантаков Геннадий Афанасьевич, к.г.н., Генеральный директор НПО «ДЭКО», npodeco@gmail.ru

Специализация: биологическая океанография, технические средства морских измерений, высокоточные методы измерений морской биоты, загрязнений и океанологических параметров

The demand for organizational development and methodological unification of quantitative collections and analysis of microplastic

Andrey P. Pedchenko^{1*}, Yana Yu. Blinovskaya², Maria V. Gavrilo^{3,4} and Gennagiy A. Kantakov⁵

¹All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia

²Far Eastern Federal University, Russkiy island, Vladivostok, Russia

³Arctic and Antarctic Research Institute, Saint Petersburg, Russia

⁴Association "Maritime Heritage: explore and sustain", Saint Petersburg, Russia

⁵NGO "DEKO", Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

*E-mail: pedchenko@vniro.ru

The necessity of unification of methods of collection and processing of samples for the assessment of water pollution by microplastics is justified. The widespread use of neuston networks equipped with water flow meters has been proposed, which have shown the effectiveness of their use, the ability to provide a quantitative assessment of water pollution and comparison of data from different surveys. Taking into account the current level and global nature of the problem of microplastics content in aquatic environments, the need for coordination of interdepartmental research of microplastics under the auspices of the Russian Academy of Sciences was noted. It is proposed to assess water pollution with microplastics using a standard grid of stations within the framework of large-scale complex surveys in the Seas, large lakes, reservoirs and rivers, which will reveal the dynamics of the concentration of microplastics in biotopes.

Brief information about authors:

Andrey P. Pedchenko, PhD of Geographical Science, Associate Professor, Leading researcher of the Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), *pedchenko@vniro.ru*

Area of expertise: Geo-ecology, marine science, study of the impact of natural and anthropogenic factors on biological resources of the World's ocean seas, as well as freshwater ecosystem

Yana Yu. Blinovskaya, Doctor of Technical Sciences, Professor, Far Eastern Federal University, *Blinovskaya@hotmail.com*

Area of expertise: Environmental safety, engineering environmental protection, environmental monitoring, industrial environmental control

Maria V. Gavrilov, PhD in Biological Sciences, Leading researcher of the Arctic and Antarctic Research Institute, Leader of the Open Ocean Project of the Association Maritime Heritage

Area of expertise: zoology, marine biology, Arctic biodiversity, EIA, human impacts on marine ecosystems, marine specially protected areas, ornithology

Gennady A. Kantakov, PhD of Geographical Science, FEEC Ltd. "DECO", *npodeco@gmail.ru*

Area of expertise: biological oceanography, equipment and tools in oceanography; sea biota, anthropogenic litter, oceanological cutting edge methods measurements

ЧЕРНОЕ, АЗОВСКОЕ, КАСПИЙСКОЕ МОРЯ

Экспериментальные исследования изменчивости океанологических полей Черного и Азовского морей в 2020 году

С.К. Коновалов, Ю.В. Артамонов, А.В. Гармашов*, Н.А. Орехова, А.А. Латушкин

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

*garmashov@mhi-ras.ru

В 2020 г. Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН» (ФГБУН ФИЦ МГИ) было проведено 3 комплексных экспедиции на НИС «Профессор Водяницкий» (113, 114 и 115-й рейсы) в пределах черноморской экономической зоны РФ. Схемы выполненных станций представлены на рис. 1.

Совместно с ФГБУН ФИЦ МГИ в экспедициях участвовали представители Института биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН (ФИЦ ИнБЮМ), Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН (ИО РАН), Института природно-технических систем (ИПТС), Азово-Черноморского филиала ФГБНУ «ВНИРО» (АзНИИРХ).

Сроки проведения экспедиций:

113-й рейс: 4 июня – 29 июня 2020 г.;

114-й рейс: 15 сентября – 10 октября 2020 г.;

115-й рейс: 27 ноября – 17 декабря 2020 г.

Общая продолжительность четырех рейсов – 73 сут.

В экспедициях проведен комплексный мониторинг состояния гидрологических, гидрохимических, метеорологических, гидрооптических и биологических характеристик вод Черного моря.

Общий объем выполненных работ в 2020 г.:

- 394 комплексных океанологических станции;
- 425 зондирований *CTD*-зондами;
- 379 зондирований измерителем течений *Workhorse Monitor 300 kHz ADCP*;
- 3034 химических анализа проб воды (в том числе на растворенный кислород, сероводород, рН, щелочность, TCO_2 , биогенные элементы (нитраты, нитриты, аммоний, силикаты, фосфаты), взвешенное вещество, бериллий-7, радий-226, 228, торий-234);
- 294 измерения метеопараметров;
- 212 измерений вертикального распределения показателя ослабления света;
- 158 зондирований спектральным погружным автономным флюориметром.

Предварительные результаты

Гидрологические исследования. Геострофические расчеты, инструментальные измерения течений по данным трех съемок показали наличие сезонного сигнала в изменении скорости Основного Черноморского течения (ОЧТ), наибольший перепад динамических высот через ОЧТ наблюдался в период осенне-зимней съемки (ноябрь – декабрь), когда, согласно климатическим данным, ОЧТ усиливается. Синоптическая изменчивость в поле течений проявилась в интенсивном меандрировании ОЧТ и формировании циклонических круговоротов у южных границ съемок и антициклонических круговоротов с прибрежной стороны ОЧТ. Наиболее интенсивным являлся Севастопольский антициклон, который наблюдался в период летней съемки (в июне), когда ОЧТ по климатическим данным ослабевает.

В распределениях термохалинных характеристик сезонный сигнал лучше прослеживался в поле температуры приповерхностного слоя. Максимальные значения температуры ($> 27^\circ\text{C}$) наблюдались у Кавказского побережья в период осенней съемки, минимальные (8°C) в период зимней съемки в Феодосийском заливе. В поле солёности интенсивная синоптическая изменчивость стока речных пресных вод и выноса азовских вод через Керченский пролив практически экранировала сезонный сигнал в общем диапазоне изменчивости солёности.

Сезонные изменения проявились в распределении глубин залегания нижней границы верхнего квазиоднородного слоя и слоя максимальных вертикальных градиентов температуры.

Так, минимальный диапазон изменчивости глубины залегания нижней границы ВКС (26 м) наблюдался в период летней съемки (июнь, 113-й рейс), когда ОЧТ по климатическим данным ослабевает, максимальный (105 м) – в период осенне-зимней съемки (ноябрь – декабрь, 115-й рейс), когда ОЧТ усиливается.

Синоптическая изменчивость наиболее четко проявилась в виде отдельных пятен с максимальными глубинами залегания нижней границы ВКС, которые преимущественно приурочены к прибрежным районам съемки. Появление этих пятен связано с меандрированием ОЧТ и образованием антициклонических вихрей. Вместе с тем их количество, интенсивность и положение заметно изменяются от съемки к съемке, что в целом не противоречит представлению о наличии сезонного сигнала в интенсивности синоптической изменчивости. Кроме того, необходимо отметить, на структуру синоптического поля измеренных параметров существенно влияет последовательность выполнения съемок, которая из-за погодных условий и административных ограничений не всегда была одинаковой.

Поскольку глубинные воды Черного моря содержат сероводород, а граница его распространения близка к залеганию изопикнической поверхности 16.2, особую актуальность приобретает мониторинг положения этой изопикнической поверхности. В распределении глубин залегания ядра ХПС и изопикны 16.2 усл. ед. (верхней границы сероводородной зоны) сезонные изменения в 2020 г. практически не проявились. Диапазон изменчивости обоих параметров во всех съемках был практически одинаков и колебался в пределах 80–90 м. Синоптическая изменчивость в распределении и глубин залегания ядра ХПС и изопикны 16.2 усл. ед., как и в случае глубины залегания нижней границы ВКС, проявлялась в виде областей повышенных значений этих параметров в зонах антициклонических меандров и круговоротов, образующихся на северной периферии ОЧТ.

В южной части всех съемок на северных перифериях крупномасштабных циклонических круговоротов Черного моря отмечались минимальные значения глубины ядра ХПС и изопикны 16.2 усл. ед., которые мало изменялись в течении года. Для глубины залегания ядра ХПС они составляли 40–45 м, для глубины изопикны 16.2 усл. ед. – 85–95 м.

Анализ распределений основных гидрологических параметров (геострофических скоростей Основного Черноморского течения, глубин залегания нижней границы верхнего квазиоднородного слоя, максимума вертикального градиента температуры, ядра холодного промежуточного слоя, верхней границы сероводородной зоны) показал, что сезонный сигнал наиболее четко проявился в верхнем квазиоднородном слое. В результате влияния синоптической и межгодовой изменчивости на показатели гидрологических параметров, полученные в 2020 г., распределения отличаются от климатических данных и результатов съемок предшествующих лет. В частности, в отличие от климатических данных, наблюдалось увеличение температуры в ядре холодного промежуточного слоя. Несмотря на отмечаемые различия, величины гидрологических характеристик в период съемок 2020 г. не выходили за пределы естественной природной изменчивости, поэтому динамические и гидрологические процессы способствовали нормальному развитию гидрохимических и биооптических процессов и, как результат, экологической ситуации в районах исследований в Черном и Азовском морях.

Гидрохимические исследования. Задачей отряда биогеохимии моря в 113-м рейсе было изучение распределения радионуклидов бериллия-7, радия-226, 228, тория-234 в поверхностном слое вод Черного моря. Изотопы Радия-226, 228 используются как трассеры потоков пресных вод, торий-234 – как трассер потоков взвешенного органического вещества, бериллий-7 – для валидации модели его распределения и эволюции поля. Были отобраны 24 поверхностные пробы объемом 2 м³.

В 114-м и 115-м рейсах основными целями были изучение гидролого-гидрохимических и биогеохимических свойства морских вод и донных отложений в прибрежной, шельфовой и глубоководной частях Черного моря для оценки состояния экосистемы Черного моря в наблюдаемых условиях изменения климата и антропогенного воздействия; изучение природного цикла и его трансформация для компонентов карбонатной системы.

Были отобраны пробы воды, донных отложений, измерено $p\text{CO}_2$ в приводном слое атмосферы.

По данным, полученным в 114-м рейсе, установлено, что в сентябре – октябре 2020 г. концентрации кислорода в поверхностных водах Черного моря находились в пределах 245–255 мкМ, что соответствовало 100–105%-ному насыщению, это согласуется с данными многолетних наблюдений. На вертикальном профиле кислорода (рис. 1) выделяется

подповерхностный максимум содержания кислорода, где концентрации на глубине залегания изопикнической поверхности $\sigma_t = 14.0 \text{ кг/м}^3$ достигали 350 мкМ. Уменьшение содержания кислорода отмечено ниже изопикнической поверхности $\sigma_t = 14.0 \text{ кг/м}^3$, рядом с которой должен начинаться хемоклин.

На гидрохимических разрезах положение нижней границы субкислородной зоны (содержание сероводорода 3 мкМ) практически одинаково, она проходит в пределах изопикн $\sigma_t = 16.15\text{--}16.20 \text{ кг/м}^3$ (разница между ними в шкале глубин составляет около 10 м).

Верхняя граница субкислородной зоны (содержание кислорода 10 мкМ) в сентябре – октябре 2020 г. на «вековом» разрезе в среднем располагалась на глубине залегания изопикнической поверхности $\sigma_t = 15.75 \text{ кг/м}^3$, приподнимаясь до глубины залегания $\sigma_t = 15.65 \text{ кг/м}^3$ в мористой части разреза, на керченском разрезе изооксигена 10 мкМ была расположена на глубине залегания изопикны $\sigma_t = 15.8 \text{ кг/м}^3$, незначительно приподнимаясь по мере приближения к прибрежной части.

Получены данные по вертикальному профилю компонентов карбонатной системы (рН и общей щелочности). Выявлены локальные пространственные минимумы и максимумы значений общей щелочности. Подтверждена консервативность вертикального распределения.

Проведены прямые измерения равновесного парциального давления углекислого газа в поверхностном слое вод северной части Черного и Азовского морей и содержания углекислого газа (CO_2) в приводном слое атмосферы. Отмечен рост средних значений концентрации CO_2 в атмосфере с 420 до 440 мкатм, в среднем на 5 %. В то же время, несмотря на смену сезонов и предположительный переход от эвазивных условий к инвазивным, характерный для изучаемого региона, во всех случаях было зафиксировано превышение парциального давления углекислого газа ($p\text{CO}_2$) в воде относительно соответствующих концентраций в атмосфере.

Гидрооптические исследования. В последние годы основные усилия оптиков МГИ были направлены на разработку и создание новой аппаратуры по обновлению приборов гидрооптического комплекса для проведения подспутниковых экспериментов по верификации космических сканеров цвета, решения океанологических задач биооптического направления и мониторинга водных экосистем. В частности, был создан зондирующий спектрофлуориметр, позволяющий определять видовой состав и концентрацию фитопланктона, а также концентрацию растворенного органического вещества в морской воде. С использованием этого прибора в экспедициях 2020 г. удалось получить данные о пространственном распределении биооптических характеристик в отдельных районах Черного и Азовского морей. Это дало возможность получать детальную информацию о вертикальной стратификации растворенных и взвешенных в морской воде веществ синхронно со спутниковыми съемками о цвете поверхностных вод, что, в свою очередь, позволит получать информацию о экологическом состоянии исследуемых акваторий.

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

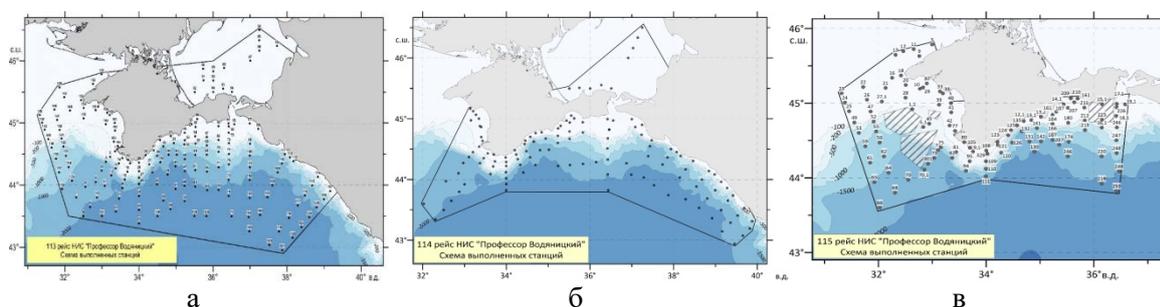


Рис. 1. Станции, выполненные в 113-м (а), 114-м (б) и 115-м (в) рейсах НИС «Проф. Водяницкий» в 2020 г.

Обнаружение ктенофоры *Beroe ovata* Bruguère, 1789 в Каспийском море

В.В. Саяпин^{1*}, В.Б. Ушивцев²

¹Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, Россия

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

*ssc-ras@ssc-ras.ru

Введение

Гребневик-вселенец *Beroe ovata* Bruguère, 1789 (Ctenophora, Beroida) относится к хищникам, питающимся исключительно гребневиками отряда Lobata. В Черном и Азовском морях этот вид является единственным естественным врагом другого вида ктенофор-вселенцев – *Mnemiopsis leidy* (Agassiz, 1865) (Ctenophora, Lobata). Вселение последнего в Черное море привело к резкому сокращению запасов кормового зоопланктона и замещение его желетельными организмами, доля которых, в углеродном выражении выросла в 4 раза, с 10 до 40 % [1]. На пике развития *Mnemiopsis leidy* в Черном море им ежедневно выедалось до 7 % наличной биомассы и до 50 % ежесуточной продукции кормового зоопланктона, что привело к устойчивому снижению биомассы зоопланктона [2]. В 1992–1998 гг. среднеголетняя биомасса кормового мезопланктона оказалась на порядок меньшей, чем она была до вселения *M. leidy* (2.6 мг/м³ вместо 65 мг/м³) [3]. В конце 90-х гг. прошлого столетия этот вид проник и в Каспийское море [1, 4–6], где в отсутствие естественных врагов достиг большой численности и подорвал кормовую базу промысловых пелагических рыб.

B. ovata впервые был зарегистрирован в Черном море в 1997 г., вспышка численности наблюдалась в 1999 г. Вселение *B. ovata* оказало позитивное воздействие на экосистемы Черного и Азовского морей. Благодаря ему структура и концентрация мезопланктона начали восстанавливаться. Среднеголетняя биомасса кормового мезопланктона в 1999–2001 гг. увеличилась до 14 мг/м³, т. е. примерно в 5 раз по сравнению с предыдущим периодом [3]. Количество *M. leidy* в Черном море в период с 1999 по 2005 г. снизилось на порядок [7]. В 2010–2014 гг. также значительно сократилась доля *M. leidy* от общей углеродной биомассы черноморского желетелого макрозоопланктона (7 %), по сравнению с 2005–2009 гг., когда доля этого вида достигала 33 % от общей биомассы [8].

Параллельно с освоением Черного моря *B. ovata* вселился в Азовское. Первоначально этот вид отмечался в прикерченском районе, но впоследствии он начал заселять практически все море, включая в отдельные годы устьевую и центральную части Таганрогского залива. Однако достоверных данных о вселении *Beroe ovata* в Каспийское море не было.

Материал и методы

Материал для данной работы собирали в ходе совместного рейса ЮНЦ РАН и Каспийского филиала ИО РАН на НИС ПТР «Денеб» в период с 5 по 13 ноября 2020 г. Работы проводились в западной части Каспийского моря от авандельты Волги до траверза пгт. Мамедкала. Отбор проб желетелого макропланктона выполняли методом вертикального траления от дна до поверхности с помощью конусной сети ИКС-80 (газ № 15) с диаметром входного отверстия 80 см. На каждой из станции, в зависимости от погодных условий, проводили 2–3 траления, полученные результаты усредняли. Сырая биомасса гребневиков измерялась объемным методом в мерном цилиндре или, при малом общем объеме, с помощью медицинских шприцев объемом 1–5 см³.

Размер особей определялся в прозрачной кювете линейкой, с точностью до 1 мм. Параллельно с отбором проб сетью с помощью бортового телеметрического комплекса проводили подводные наблюдения за вертикальным распространением гребневиков в толще воды от дна до поверхности [9, 10].

Результаты

В пробах желетелого макропланктона отобранных в северо-западной части среднего Каспия нами было отмечено значительное количество особей *Beroe ovata* Bruguère, 1789. Этот вид был отмечен нами на 8 станциях (№ 1–6, 9, 13) в районе исследований, при этом он был представлен не единичными особями. Биомасса *B. ovata* колебалась в широких пределах – от 0.28 до 1.73 г/м³. В собранных нами пробах присутствовали особи разных размеров от 2.0 до 25.00 мм, основная часть была представлена мелкими особями размером 2.0–5.0 мм. Более крупные экземпляры

длиной 10.0–25.0 мм встречались единично. Присутствие в пробах разноразмерных особей с преобладанием мелких, вероятно, свидетельствует о размножении *Beroe ovata* в данном районе в период исследований.

Вероятно, исследованный нами район является северной границей распространения этого вида, о чем свидетельствует относительно небольшая биомасса и некрупные размеры.

Четкой зависимости между величинами биомассы *B. ovata*, соленостью и температурой воды на исследованных нами станциями не было выявлено.

На большинстве станций, на которых присутствовал *Beroe ovata*, наблюдалось снижение биомассы его кормового объекта – *M. leidyi*. Исключение составляют станции № 4 и 13. Возможно, с вселением *Beroe ovata* в Каспийском море сложились условия для повторения сценария взаимодействия популяций двух гребневиков, имевшего место в Азово-Черноморском бассейне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шушкина Э.А., Виноградов М.Е. Изменение планктонного сообщества открытых районов Черного моря и воздействие на него гребневика мнемипсиса (1978 -1989)// Изменчивость экосистемы Черного моря: естественные и антропогенные факторы, Москва, Наука, 1991, С. 248-260
2. Виноградов М.Е., Шушкина Э.А., Булгакова Ю.В., Серобаба И.И. Выедание зоопланктона мнемипсисом и пелагическими рыбами в Черном море// Океанология, 1995, Т. 35, № 4, стр.569-574
3. Лебедева Л.П., Шушкина Э.А., Виноградов М.Е., Лукашева Т.А., Анохина Л.Л. Многолетняя трансформация структуры мезозоопланктона северо-восточного побережья Черного моря под воздействием гребневиков-вселенцев // Океанология. 2003. Т. 43. № 5. С. 710-715.
4. Гребневик *Mnemiopsis leidy* в Азовском и Черном морях: биология и последствия вселения / Под научной ред. д.б.н., проф. С.П. Воловика.- Ростов н/д. БКИ. 2000. 500 с.
5. Камакин А.М., Студеникина Ю.Б., Степенова Л.В., Рубцова Е.Г. Сезонное распределение *Mnemiopsis leidy* в Каспийском море в 2001 году // Науч. бюл. Каспийского Плавучего Ун-та. 2002. Астрахань. КПУ. Вып. 3. С. 42-46.
6. Ivanov V.P., Kamakin A.M., Ushivtsev V.B., Shiganova T.A., Zukova O.A., Aladin N.V., Susan I., Wilson S.I., Harbison G.R. & Dumont H.J. Simultaneous invasion of the Caspian Sea by two jellies *Mnemiopsis* and *Aurelia* // J. of Invasion In: "Biological Invasions." 2000. Kluwer Academic Publishers, Printed in the Neterlands. 2. P. 255-258
7. Мирзоян З.А., М.Л. Мартынюк М.Л., Вязун Е.В. Особенности развития *Beroe ovata* и *Mnemiopsis leidy* в Азовском море в современный период // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна (2004-2005гг).,г. Ростов-на-Дону, 2006. С. 136-148.
8. Арашкевич Е.Г., Луппова Н.Е., Никишина А.Б., Паутова Л.А., Часовников В.К., Дриц А.В., Подьмов О.И., Романова Н.Д., Станичная Р.Р., Зацепин А.Г., Куклачев С.Б., Флинт М.В. Судовой экологический мониторинг в шельфовой зоне Черного моря: оценка современного состояния пелагической экосистемы // Океанология. 2015. Т. 55. №6. С. 964-970.
9. Виноградов М.Е., Флинт М.В., Шушкина Э.А. Исследование вертикального распределения мезопланктона с использованием подводного обитаемого аппарата «Аргус»// Современное состояние экосистемы Черного моря. М: Наука. 1987.С. 172-186.
10. Камакин А. М., Ушивцев В.Б. и др., Вертикальное распространение популяции гребневика *Mnemiopsis leidy* в Каспийском море //Тр. КаспНИРХа. Рыбохозяйственные исследования на Каспии: Результаты НИР за 2003 г. 2004. Астрахань: Из-во КаспНИРХа, С. 191-198.

Экспедиционная деятельность ЮНЦ РАН на НИС «Профессор Панов» и НИС «Денеб» в Азовском, Черном и Каспийском морях в 2020 году

С.В. Бердников, Д.А. Бухмин, Г.Е. Гуськов, К.С. Григоренко, А.В. Клещенко,
А.Ю. Московец, К.В. Кренева, Е.П. Олейников, В.С. Рыбцова, А.И. Савикин,
В.В. Саяпин, М.С. Шевченко, О.В. Степаньян*

Федеральный исследовательский центр
«Южный научный центр Российской академии наук»
*berdnikov@ssc-ras.ru

В оперативном управлении Федерального исследовательского центра «Южный научный центр Российской академии наук» (ЮНЦ РАН) находятся два научно-исследовательских судна – «Денеб» и «Профессор Панов». Работы выполнялись в рамках «Разрешения на проведение морских научных исследований» № ДН-09-15/3», выданного Министерством науки и высшего образования РФ от 26.12.2019 г., «Разрешения на добычу (вылов) водных биологических ресурсов» №30 2020 04 4905 от 7.10.2020 г., выданного Волго-Каспийским территориальным управлением Федерального агентства по рыболовству.

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

«Морские биогеосистемы юга России и их водосборы в условиях аридного климата, хозяйственного освоения и современных геополитических вызовов» (№ гр. АААА-А18-118122790121-5);

«Палеоэкологические и биогеоценотические изменения в морских и наземных экосистемах южных регионов Северной Евразии как отражение глобальных событий позднего кайнозоя» (№ гр. 01201363186);

«Оценка современного состояния, анализ процессов формирования водных биоресурсов южных морей России в условиях антропогенного стресса и разработка научных основ технологии реставрации ихтиофауны, сохранения и восстановления хозяйственно-ценных видов рыб» (№ гр. 01201354245);

«Разработка методов геоинформационного моделирования морских и наземных экосистем Юга России» (№ гр. 01201363188).

ЮНЦ РАН провел в 2020 г. 4 морские экспедиции на НИС «Денеб» продолжительностью 100 судосуток и 4 морские экспедиции НИС «Профессор Панов» продолжительностью 70 судосуток. Морские экспедиции НИС «Денеб» охватывали акваторию Азовского, Черного и Каспийского морей в пределах территориального моря Российской Федерации.

Район исследований НИС «Денеб» в 2020 г.



Рейс, №	Район работ	Период
1	Нижний Дон	15-28 сентября
2	Азовское, Черное моря	5-25 октября
3	Нижний Дон, Цимлянское вдхр, Волга, Каспийское море	29 октября – 25 ноября
4	Азовское море	26 ноября – 25 декабря



**Выполнено ТЭО
4 экспедиции
(100 судосуток)
сентябрь-декабрь**

Район исследований НИС «Профессор Панов»



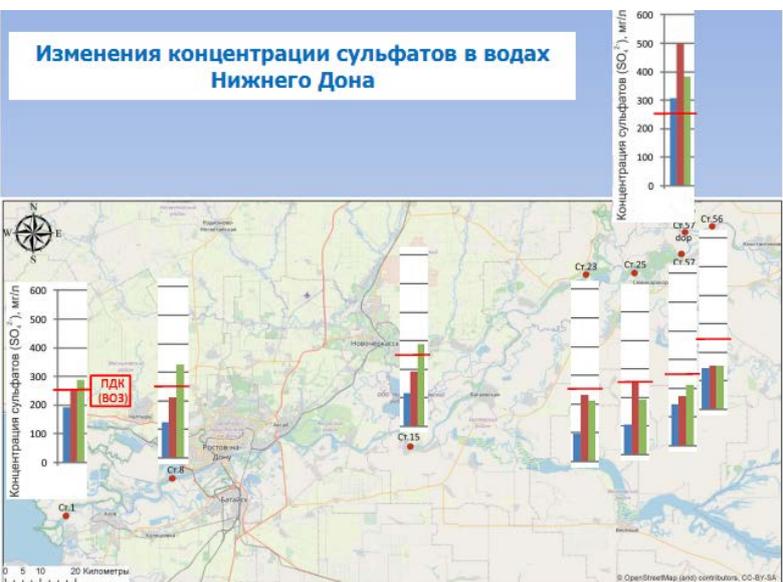
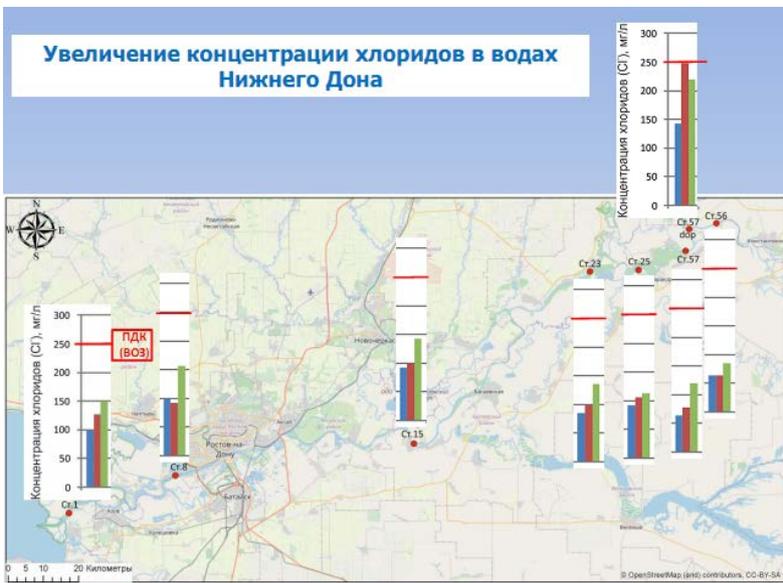
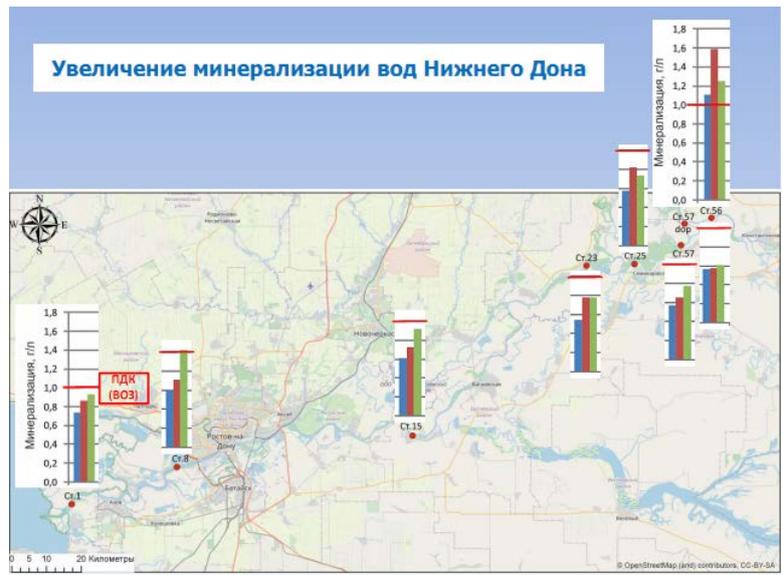
Комплексные исследования включали: метеорологические наблюдения, изучение гидролого-гидрохимических параметров, донных осадков, особенностей пространственного распределения планктона, бентоса и ихтиофауны. При отборе проб воды использовали глубоководный пробоотборный комплекс карусельного типа, состоящий из 12 батометров и гидрологического зонда *SBE19plus V2* (пр-во США), гидрологические зонды *SBE-19*, *CTD-60M* и измеритель параметров течения *AANDERAA RCM 9 LW*. В связи с пандемией и ограничениями эпидемиологического плана, а также ремонтом «в класс» двух судов, исследования на НИС «Денеб» и НИС «Профессор Панов» были начаты в осенний период (сентябрь) и продолжились до конца декабря 2020 г.

Сводная таблица изученности морских и водных экосистем Юга России в ходе экспедиционных работ ЮНЦ РАН в 2020 г.

Показатель	Итого (станций):
Метеорология	2292
Гидрология	260
Гидрохимия	276
Непрерывные измерения температуры и солености	6348
Фитопланктон	118
Зоопланктон	122
Зообентос	53
Ихтиология	14
Орнитология	19
Хлорофилл	114
Микропластик	10
Взвешенное вещество	186
Растворенное органическое вещество	91
Первичная продукция	35
Растворенный кислород в воде	180

Предварительные результаты работ в 2020 году

Гидролого-гидрохимическое состояние Нижнего Дона на исследованном участке претерпело изменение вследствие маловодности. Зафиксировано увеличение электропроводности вод Нижнего Дона и рост доли сульфатов и хлоридов в ионном составе.

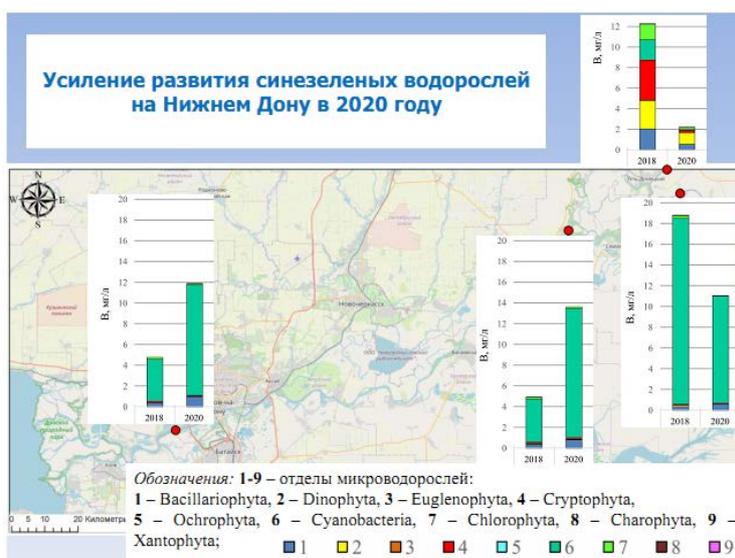


Кроме того, выполненные экспедиционные исследования позволили уточнить влияние основных притоков Дона – Северского Донца, Сала и Маныча на гидрохимический режим реки в условиях сильного маловодья. Отмечено возрастание их роли в поступлении окрашенного растворенного органического вещества, растворенного органического углерода и ионного стока.

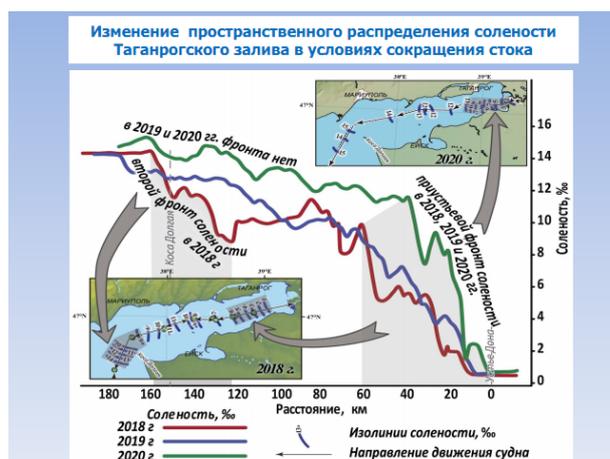


В нижнем течении р. Дон, находящемся под влиянием Цимлянского водохранилища и зависящем от попусков воды из него, в 2020 г. представители цианобактерий (синезеленых водорослей) достигали значений биомассы 1.6–16 мг/л, численности 2.0–16.4 млн кл./л, вызывая «цветение» воды. Такое развитие цианобактерий объясняется пониженной водностью Дона и повышенными концентрациями биогенов во время летне-осенней межени маловодного 2020 г.

Данное предположение о том, что, помимо сложившихся в русле реки благоприятных условий для развития цианобактерий, большое влияние оказывает непосредственное поступление фитомассы с водными массами Цимлянского водохранилища, косвенно подтверждается наблюдениями за развитием фитопланктона в крупнейшем притоке р. Дон – р. Северский Донец и рукавах дельты, где на протяжении указанного временного отрезка наблюдений, вне зависимости от водности Дона, сохраняется соотношение и доминирование других групп фитопланктона.



Усиление адвекции черноморских вод в Азовское море, вызванное понижением стока Дона, привело к значительному осолонению моря и устьевой области Дона.



На поверхности моря обычными являются значения, превышающие 15 ‰, в районе Керченского пролива наблюдаются значения, превышающие 16 и даже 17 ‰.



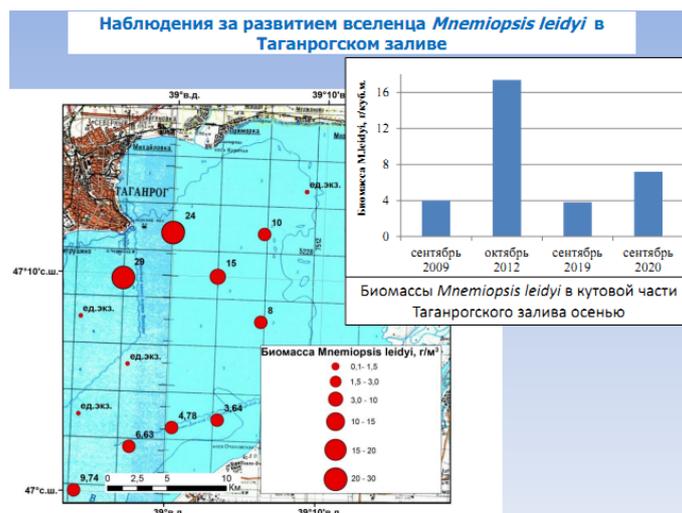
В период 2001–2020 гг. впервые непосредственно в дельте Дона при отсутствии нагонов фиксируется солёность более 1 ‰ на поверхности. Инструментально подтверждено продолжающееся осолонение Азовского моря: значения солёности более 16 ‰ наблюдаются в поверхностном слое Азовского моря, в 30 км севернее Керченского пролива. Слабосоленоватые воды (2–4 ‰) долговременно располагаются в авандельте Дона либо непосредственно заходят в протоку Старый Дон.



Были выполнены исследования сезонной популяции *Mnemiopsis leidyi* (Agassiz, 1865) в Таганрогском заливе в осенний период 2020 г. В северной части залива граница подходила почти до границ авандельты, что, вероятно, связано с процессом осолонения Азовского моря. В южной части, в районе впадения основного русла р. Дон, она проходила значительно западнее. В северной и центральной части исследованной акватории биомасса гребневика была выше, чем в южной.

Размеры большинства пойманных особей колебались в пределах 3–5 мм. Особи большего 9 (до 7 мм) и меньшего (1–2 мм) размера встречались единично.

При сравнении результатов, полученных в период исследований, с данными прошлых лет видно, что биомасса мнемииписа в кутовой части Таганрогского залива в сентябре 2020 г. несколько превосходит показатели 2009 и 2019 гг., полученные в аналогичные периоды в этом же районе, хотя не достигает значений октября 2012 г.



Исследование азовоморской сезонной популяции *Mnemiopsis leidyi* (Agassiz, 1865), проводившееся в первой половине декабря 2020 г., показало, что в раннезимний период этот вид встречался на всей исследованной акватории водоема, за исключением Таганрогского залива. Его биомасса была невелика. Максимальные ее значения наблюдались в прикерченском районе моря, в особенности в Темрюкском заливе, что, вероятно, связано с более высокой температурой воды в этой части моря.

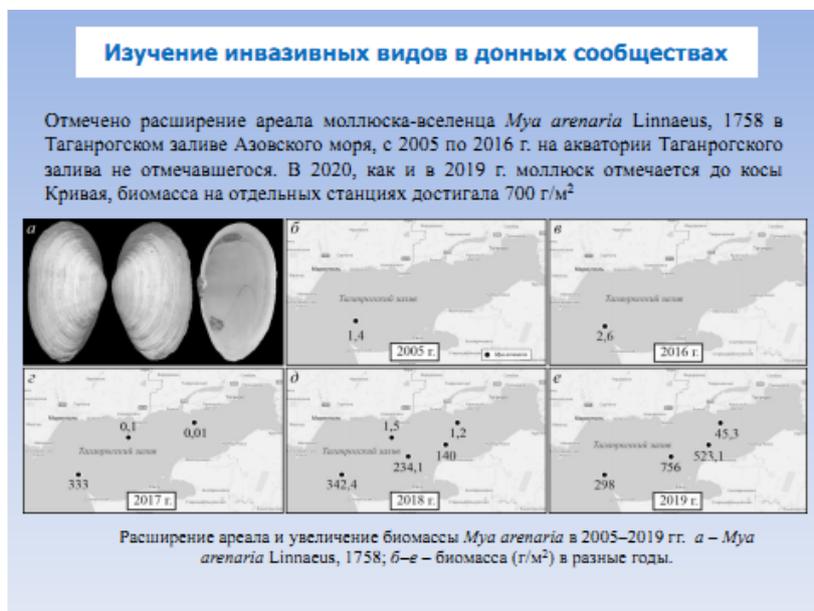
На большинстве станций этот вид был представлен особями размером 1–3 мм. Более крупные экземпляры отмечались единично в прикерченском районе. Мелкие особи, доминировавшие в пробе, могут быть как молодью, так и остановившимися в росте по причине неблагоприятных условий (низкая температура, плохая кормовая база и т. д.). Редкость в пробах относительно крупных, способных к активному размножению экземпляров делает более вероятным второй вариант.



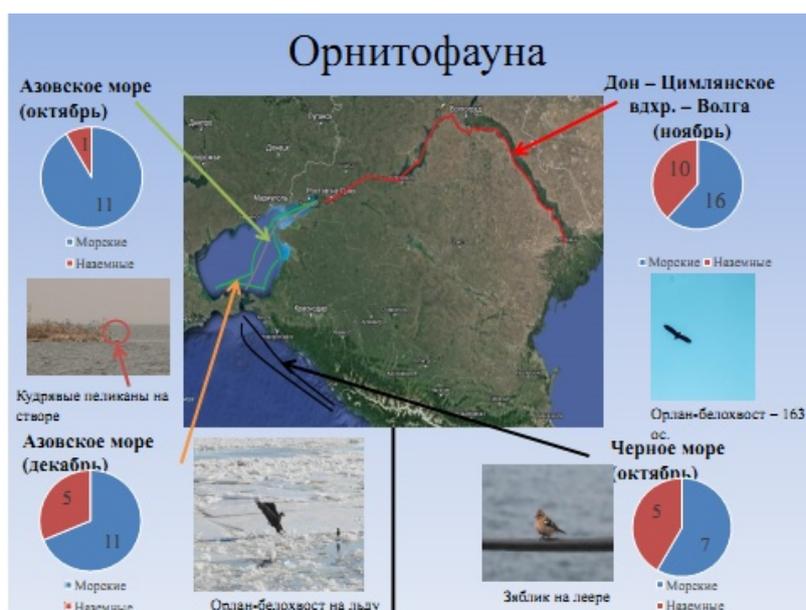
Исследование азовоморской сезонной популяции *Mnemiopsis leidyi* (Agassiz, 1865) проводившееся в первой половине декабря 2020 г. показало, что в раннезимний период этот вид встречался на всей исследованной акватории водоема, за исключением Таганрогского залива. Его биомасса была невелика. Максимальные ее значения наблюдались в прикерченском районе моря, в особенности в Темрюкском заливе, что вероятно связано с более высокой температурой воды в этой части моря.

На большинстве станций этот вид был представлен особями размером 1-3 мм. Более крупные особи отмечались единично, в прикерченском районе

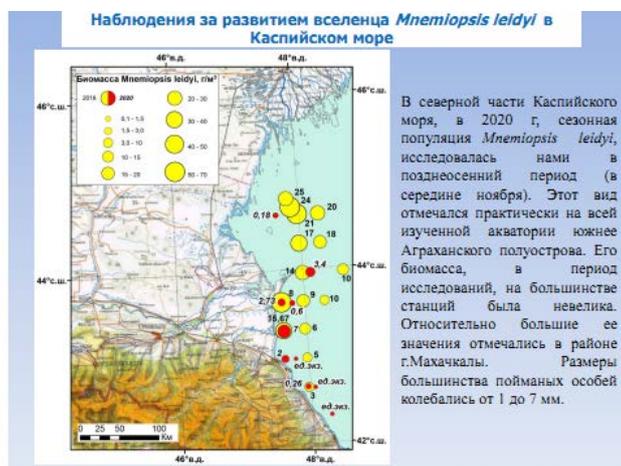
Отмечено расширение ареала моллюска-вселенца *Mya arenaria* Linnaeus, 1758 в Таганрогском заливе Азовского моря, с 2005 по 2016 г. на акватории Таганрогского залива не отмечавшегося. В 2020 г., как и в 2019 г., моллюск отмечается до косы Кривая, биомасса на отдельных станциях достигала 700 г/м². В Таганрогском заливе в 2003 г. моллюск отмечался только в самой западной его части. К настоящему времени ареал *M. arenaria* занимает большую часть Таганрогского залива, такие изменения связаны с постепенным увеличением солености, отмечающимся в этой акватории начиная с 2009 г. *M. arenaria* прекрасно адаптирован к заморам и придонному дефициту кислорода – явлениям, характерным для Азовского моря.



В 2020 г. масштабные наблюдения за орнитофауной проводились в Черном и Азовском морях, по рекам Дон и Волга, на территории Цимлянского водохранилища с борта судна ПТР «НИС Денеб». Уникальность данных наблюдений заключается в их продолжительности, работе на большой акватории, включающей моря, две реки и водохранилище, в течение позднесеннего и зимнего периода в различных погодных условиях.



Исследования системы Дон – Волга и Каспийского моря включали проведение комплексных работ. В северной части Каспийского моря позднесенний период (в середине ноября) 2020 г. была исследована сезонная популяция *Mnemiopsis leidyi*. Этот вид отмечался практически на всей изученной акватории южнее Аграханского полуострова. Его биомасса в период исследований на большинстве станций была невелика (за исключением района г. Махачкалы), а размеры большинства пойманных особей колебались от 1 до 7 мм.



Изучены динамика величины и состава уловов, биологических показателей промысловых рыб в подрайонах Южного района Волжско-Каспийского рыбохозяйственного бассейна: Волго-Каспийском (Астраханская область), Северо-Западном (Калмыкия) и Терско-Каспийском (Дагестан) в XXI в.

Сравнение биологических показателей промысловых рыб Волго-Каспийского (данные ЮНЦ РАН) и Терско-Каспийского подрайонов (литературные сведения) дает основания подвергнуть пересмотру традиционные представления о популяционном составе рыб Северного Каспия.

В ходе экспедиционных исследований ЮНЦ РАН впервые в северо-западной части среднего Каспия был отмечен в ноябре 2020 г. вид-вселенец – хищная ктенофора *Beroe ovata* Bruguière, 1789. *Beroe ovata* был отмечен на 8 станциях, северная граница распространения вида примерно совпадала с границами северного Каспия. Его биомасса колебалась в широких пределах – от 0,28 до 1,73 г/куб. м. Собранные особи разных размеров от 2 до 25 мм свидетельствуют о размножении *Beroe ovata* в данном районе в период исследований. На большинстве станций этот вид встречался совместно со своим основным пищевым объектом – ктенофорой *Mnemiopsis leidyi* (Agassiz, 1865), также являющимся вселенцем в Каспийском море. Обнаружение в Каспийском море в естественных условиях значительного количества размножающегося *Beroe ovata* позволяет предположить формирование в водоеме популяции этого вида.



В рейсах принимали участие студенты и магистранты ВУЗов Юга России (Южный федеральный университет, Донской государственный технический университет, Астраханский государственный технический университет).

Морские исследования ЮНЦ РАН были подробно освещены в СМИ. По федеральным каналам («Россия-1», «Россия-24», «Радио России») прошло 5 новостных сюжетов, опубликовано 6 статей («Поиск», «Российская газета», ТАСС, РИА «Новости», News.ru). В региональных СМИ показано 5 видеосюжетов (Дон ТР, Дон 24, Первый Ростовский) и опубликовано 5 статей (печатные издания «Аргументы и факты на Дону», «Академия», «Вечерний Ростов», «Молот», «Наше Время»).

Исследования на Черноморском гидрофизическом подспутниковом полигоне: к новым спутниковым технологиям

***Ю.Ю. Юровский**, *В.А. Дулов*, *В.В. Малиновский*, *А.Е. Кориненко*,
М.В. Юровская, *Е.В. Скиба***

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

**e-mail: yuurovsky@gmail.com*

Черноморский гидрофизический подспутниковый полигон – подразделение Морского гидрофизического института РАН – является уникальным объектом научной инфраструктуры, созданным для калибровки и валидации различного рода спутниковых приборов, предназначенных для дистанционного зондирования океана. В число типичных задач, решаемых на подспутниковом полигоне, входят: получение достоверных натуральных данных для дальнейшего сопоставления со спутниковыми измерениями, оценка ошибок спутниковых методов измерений, отработка методик восстановления параметров морской среды по сигналам дистанционного зондирования. В докладе представлены результаты работ по изучению взаимодействия электромагнитных волн микроволнового диапазона с морской поверхностью. В первую очередь данные исследования направлены на развитие теоретической базы, необходимой для создания спутниковых скаттерометров следующего поколения – доплеровских скаттерометров. В отличие от обычных ветровых/волновых спутниковых скаттерометров, доплеровские измерители способны напрямую определять кинематические свойства поверхности, что дает ключ к прямым измерениям скорости течений в Мировом океане. К преимуществам такого продукта, по сравнению с безальтернативным на сегодняшний день альтиметрическим способом восстановления течений, относятся высокое пространственное разрешение, отсутствие «слепой» зоны вблизи экватора, определение полного вектора течения (не только геострофической составляющей). Соответственно, внедрение данной технологии в будущем позволит перейти к детальному изучению субмезомасштабной динамики океана, уточнить механизмы вертикального обмена в океане, а также на границе океан – атмосфера и в конечном счете улучшить качество прогноза погоды и климата. В результате проведенных исследований создана модель доплеровского сдвига частоты радиолокационного сигнала, рассеянного морской поверхностью, для наиболее подходящего для скаттерометрических наблюдений миллиметрового диапазона радиоволн. Определены вклады ветровых волн и их обрушений в доплеровский сдвиг морской поверхности. На основе натуральных наблюдений продемонстрирована возможность восстановления скорости поверхностного течения по доплеровским радиолокационным измерениям.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ № 0555-2021-0003.

Гидробиологические исследования ФИЦ ИнБЮМ на НИС «Профессор Водяницкий» в 2020 году

*Н.В. Бурдиян, В.С. Муханов, Н.Ю. Мирзоева, С.В. Алемов, Т.Я. Чурилова,
Т.Н. Климова, О.В. Машукова, И.В. Логоминова*

*Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени
А.О. Ковалевского РАН» (ФИЦ ИнБЮМ), Севастополь, Россия*

В 2020 г. на НИС «Профессор Водяницкий» (судовладелец ФИЦ ИнБЮМ) в акватории Чёрного и Азовского морей (работы проводились в пределах территориальных вод и исключительной экономической зоны Российской Федерации) проведено три рейса (113, 114 и 115-й, охватывающие соответственно летний, осенний и зимний периоды) общей продолжительностью 73 судосутки. В ходе экспедиций получены новые данные по основным направлениям научной деятельности ФИЦ ИнБЮМ. Часть экспедиционных данных, полученных в 113-м и 114-й рейсах, и весь экспедиционный материал 115-го рейса находятся в обработке. В настоящее время получены следующие результаты.

Планктонные исследования. В 114-м рейсе отобран материал и проведен анализ трофической и вертикальной структуры зоопланктонного сообщества в раннеосенний период года. Определено, что в верхнем перемешанном слое круглосуточно присутствовали массовые виды планктонных копепод: *Acartia clausi*, *Centropages ponticus*, *Paracalanus parvus* и *Oithona davisae*. Теплолюбивые виды, такие как *C. ponticus* и *O. davisae*, предпочитали главным образом слой с температурами около 20 °С, тогда как численности эвритермных *A. clausi* и *O. davisae* достигали десятков и даже сотен экземпляров и в слое под термоклином. Циклопоидная копепода *O. similis* встречалась в основном под термоклином, в меньших количествах – в оксиклине и была совсем малочисленна – в субкислородном слое, за исключением ст. 276 в 9:45 и 248 в 17:00, когда копеподитные стадии были многочисленны и в нижнем слое с минимумом кислорода. Однако этот факт требует дополнительного изучения. Основу глубоководного комплекса зоопланктонного сообщества составляла каляноидная копепода *Calanus euxinus*, способная к суточным миграциям большого размаха и интенсивности (Виноградов, Шушкина, 1980). Популяция этого вида была представлена взрослыми копеподитными стадиями и самками. На всех станциях в любое время суток численности младших стадий (C1-C4) не превышали 10 экз./м³. В светлое время основные скопления стадий C5 и половозрелых самок концентрировались в нижнем слое вблизи сероводородной зоны с критически низким содержанием растворённого кислорода (до 105 экз./м³). Ночью часть популяции калянуса (C5) поднималась и распределялась по всему столбу воды, однако около половины особей оставались в субкислородном слое и, вероятно, представляли ту часть популяции, которая находилась в диапаузе и не питалась. При этом почти все самки калянуса поднимались в слой термоклина в ночное время. Самцы встречались в пробах в единичных количествах. Характер распределения *Pseudocalanus elongatus* с глубиной был сходным. Ночью старшие стадии и самки (а, возможно, и самцы) мигрировали под термоклин, во второй слой, однако в вечернее время (21:00) большая часть популяции, в отличие от калянуса, располагалась в слое оксиклина

В период экспедиционных исследований (июнь 2020 г.) видовой состав и численность ихтиопланктона соответствовали началу летнего нерестового сезона. В Азовском море икра была представлена только хамсой, а личинки – хамсой и пелагической иглой. Средняя численность икры составила 463 экз./м², личинок – 8 экз./м². В Чёрном море идентифицированы икра и личинки 26 видов рыб из 18 семейств. Средняя численность икры составила 29 экз./м², личинок – 3 экз./м². В пробах доминировала икра хамсы (73 %), ее нерест результативен: личинки хамсы составляли 22 % от общей численности личинок всех встреченных видов. Наибольшая численность и видовое разнообразие икры и личинок рыб отмечены в западном секторе исследований в третьей декаде июня. Средняя численность икры достигала 80 экз./м², личинок – 8 экз./м². Максимальная численность: 274 экз./м² и 20 экз./м² соответственно. В обозначенном районе определена наиболее благоприятная ситуация по питанию и размерно-весовым характеристикам личинок рыб. Минимальная численность пелагической икры (4 экз./м²) выявлена в восточном секторе (от Нового света до Керченского пролива), где в период

исследований наблюдался апвеллинг. Количество видов в ихтиопланктоне и индексы разнообразия сопоставимы с июньскими данными 2017 г. (95-й рейс), когда было отмечено запаздывание летнего гидрологического сезона.

В период экспедиционных исследований (с 15 сентября по 8 октября 2020 г.) видовой состав и численность ихтиопланктона соответствовали концу летнего нерестового сезона. В Азовском море ихтиопланктон в пробах уже отсутствовал. В Черном море идентифицированы 19 видов рыб (8 видов икры и 13 видов личинок) из 12 семейств. Средняя численность икры составляла 19 экз./м², личинок – 7 экз./м². Максимальная численность икры и личинок хамсы наблюдалась у берегов Кавказа (икры 290 экз./м², личинок – 118 экз./м²), где температура воды в море у поверхности соответствовала летнему гидрологическому сезону и достигала 25 °С. На шельфе отмечен нерест 12 видов теплолюбивых и 4 видов умеренноводных рыб. Средняя численность икры составляла 24 экз./м², личинок – 6 экз./м². В глубоководных районах исследований видовой состав представлен 4 видами теплолюбивых и 3 видами умеренноводных рыб. Средняя численность икры составляла 16 экз./м², личинок – 8 экз./м². Доминировали икра и личинки хамсы: на шельфе их доля составляла 87 и 77 %, в глубоководных районах – 98 и 87 % соответственно. Как у Крымского полуострова, так и у берегов Кавказа в ихтиопланктоне идентифицировано по 13 видов икры и личинок рыб. У Крыма средняя численность икры составляла 13 экз./м², а в районе Кавказа – 31 экз./м². Несмотря на более высокую численность икры в районе Кавказа, средняя численность ее личинок сопоставима с таковой в районе Крымского полуострова, что, по всей видимости, связано с высокой долей мертвой икры в пробах, которая у Крыма не превышала 50 %, а у Кавказа – 70 %. Благодаря большому количеству видов для осеннего гидрологического сезона, а также высокой степени доминирования хамсы в пробах, индексы разнообразия ихтиопланктона оказались сопоставимы с таковыми в июле – августе 2019 г. (108-й рейс).

В 113-м рейсе мобильным эхолотом *Lowrance* проведены акустические измерения. На основании последних оценено распределение индекса биомассы зоопланктона и рыб в деятельном слое Чёрного моря в летний сезон. Выявлено, что наибольшие значения индекса отмечены в шельфовых районах, а наименьшие – в центральных районах Черного моря, что частично подтверждается историческими данными зоопланктонных и ихтиопланктонных сетных ловов.

Мониторинг китообразных. В ходе 113-го рейса получены новые данные, существенно дополняющие и расширяющие уже имеющиеся сведения о пространственно-временном распределении черноморских дельфинов. Собрано 110 часов аудиозаписи с регистрацией подводной акустической активностью дельфинов. Сделано более 5 тыс. фотографий дельфинов и около 15 минут видеозаписей. Всего зарегистрировано 298 встреч дельфинов, из них 273 – белобочки (ориентировочный средний численный состав групп обычно 8–10 особей и 10–20 особей); 20 – афалины (группы ориентировочной численностью от 4 до 10 особей); 5 – морские свиньи (азовки) – одиночные особи и отдельные пары.

Молисмологические исследования. Проблема нефтяного загрязнения остаётся актуальной как для Азово-Черноморского региона в целом, так и для Крымского побережья в частности. Получены новые данные по содержанию нефтяных углеводородов (НУ) в морской воде и донных отложениях прибрежных акваторий Азово-Черноморского региона России. Результаты, по определению НУ в поверхностном слое морской воды, свидетельствуют о том, что в целом экологическая обстановка по нефтяному загрязнению в регионе остается стабильной. При этом имеется ряд акваторий, в которых регулярно (на протяжении последних 3 лет) фиксируются НУ в превышающих нормативы количествах – в частности, в акваториях, прилегающих к крупным портовым городам (Севастополь, Новороссийск, Керчь) и Керченском предпроливье. Кавказское побережье в меньшей степени испытывает воздействие нефтяного загрязнения, по сравнению с крымским. Несмотря на то, что в настоящее время содержание данного поллютанта в водах далеко от опасных для человека и гидробионтов количеств, мониторинг данного показателя необходим в связи с возрастающей антропогенной нагрузкой на рекреационные зоны крымского и кавказского побережья. В донных отложениях исследуемой акватории, за исключением прибрежной зоны Севастополя (содержание НУ – 59 мг/100 г), концентрация НУ не превышала 50 мг/100 г. Определена концентрация хлороформ-экстрагируемых веществ (ХЭВ), показывающая общее количество загрязнителей органического происхождения в донных отложениях (существует пять уровней загрязнения донных отложений по критерию содержания

в них ХЭВ). Полученные данные по концентрации ХЭВ (от 20 до 225 мг/100 г) в донных отложениях прибрежной акватории Крымского побережья можно отнести к I–III уровням загрязнения. Максимальные концентрации ХЭВ отмечены в донных отложениях прибрежной акватории г. Севастополя (225 мг/100 г), южной части Азовского моря (125 мг/100 г) и м. Тарханкут (120 мг/100 г). Бактерии, осуществляющие деструкцию нефтяных углеводов (УОБ) в поверхностном слое воды, выделены в 100 % микробиологических проб, отобранных в 113-м рейсе. Численность УОБ варьировала в широком диапазоне: от 1 до 4500 кл./мл. Высокий деструкционный потенциал УОБ отмечен в большинстве проб воды: в 53 % проб показатели численности УОБ колебалась от 95 до 4500 кл./мл. Максимум зафиксирован в районе Карадага, высокие значения УОБ наблюдались как на ближайших перед Карадагом станциях, так и в Феодосийском заливе. Единичные показатели (1–3 кл./мл) выделены только в акватории б. Ласпи и на траверзе Ялты. Полученные показатели численности УОБ в июне в целом превышают декабрьские показатели численности УОБ. Помимо сырой нефти, в качестве единственного источника углерода и энергии было использовано дизельное топливо (солярка). Результаты исследований показали, что только в пробе, отобранной перед входом в балаклавскую бухту, УОБ активнее росли на соляре, чем на нефти. В части проб не наблюдался рост бактерий на соляре. УОБ высеяны из всех проб донных отложений, отобранных с глубин от 10 до 723 м. Наибольшая численность УОБ ($2.5 \cdot 10^3$ кл./г) определена на ст. 26.1 (побережье Кавказа, глубина 723 м). Наименьшие показатели высеяны в районе Керченского предпроливья (ст. 18.1). Результаты июньских наблюдений показали высокую численность УОБ во всех отобранных пробах. Способность углеводородокисляющих бактерий к деструкции дизельного топлива (солярка) отмечена не во всех пробах донных отложений. Наибольший показатель численности УОБ, использовавших дизельное топливо как единственный источник углерода и энергии, наблюдали в акватории б. Ласпи.

Биофизические исследования. В судовой лаборатории во время 114-го рейса проведено экспериментальное исследование влияния нефтепродуктов (машинное масло в концентрации 1; 2.5 и 5 ПДК) на параметры биолюминесценции гребневика-вселенца *Beroe ovata*. Эксперимент проведен на 400 активных неповрежденных экземплярах размером 18–50 мм. Анализ данных показал, что воздействие нефтепродуктов вызывает ингибирование амплитуды биолюминесцентного сигнала как при механической, так и при химической стимуляции. При концентрациях ниже 5 ПДК увеличивается длительность сигнала более чем на 10 %, но уменьшается максимальная амплитуда на 50–70 %. Наибольшее отличие параметров биолюминесцентного сигнала от контроля наблюдали у группы, находившейся в растворе с концентрацией нефтепродуктов 1 ПДК. Первые 15 минут нахождения экземпляров *Beroe ovata* в растворе с концентрацией нефтепродуктов 5 ПДК сопровождалось спонтанными кратковременными световыми вспышками. Нахождение в растворе с такой концентрацией более часа приводило к значительному снижению подвижности гребных пластин гребневиков и опусканию экземпляров на дно емкости с раствором.

Исследования пространственно-временной изменчивости поля биолюминесценции показали, что в глубоководных районах Черного моря выявлено два типа пиков биолюминесценции: ночное свечение фитопланктона в поверхностных слоях и дневное свечение, предположительно, зоопланктона в слоях обедненной кислородом воды у редоксклина. В районе Восточного континентального склона в июне 2020 г. верхний дневной пик биолюминесценции находился на глубине 21 м (среднее значение $118.15 \cdot 10^{-12}$ Вт·см⁻²·л⁻¹), а второй пик находился на глубине 90 м (среднее значение $50.66 \cdot 10^{-12}$ Вт·см⁻²·л⁻¹). Повторные измерения биолюминесценции на той же станции показали, что в середине ночи второй пик на глубине 90 м исчез. Обловы планктонной сетью Богорова – Расса показали, что в середине дня в слое 80–90 м были сосредоточены ктенофоры *Pleurobrachia pileus* и *Mnemiopsis leidyi*. В течение многих десятилетий считалось, что интенсивное свечение вод Черного моря определяется только фитопланктонными микроводорослями динофлагеллятами, интенсивно светящимися выше термоклина. Результаты данной работы демонстрируют, что в течение суток ниже термоклина также существует биолюминесценция, которая была зарегистрирована вблизи редоксклина. Установлено, что суточная динамика этого свечения происходит с обратной амплитудой относительно того, что наблюдается на поверхности. Это указывает на то, что в Черном море существует не описанное ранее явление: дневное свечение вблизи редоксклина происходит в фазе, противоположной поверхностной.

Биооптические исследования. С целью исследования закономерностей пространственного распределения концентрации хлорофилла *a* и фотосинтетических характеристик фитопланктона в период вертикальной стратификации вод в ходе летней экспедиции выполнены измерения спектральных биооптических показателей вод Азово-Черноморского бассейна. Важным показателем продуктивности и качества вод является концентрация основного фотосинтетически активного пигмента фитопланктона – хлорофилла *a*. Концентрация последнего в поверхностном слое Черного моря в летний период варьировала незначительно. Однако в пределах зоны фотосинтеза отмечены разные вертикальные профили концентрации хлорофилла *a*: положение максимума профиля в пределах эвфотического слоя различалось между станциями. На основе результатов экспедиционных исследований вертикальной изменчивости основных фотосинтетических характеристик фитопланктона – спектральных показателей поглощения света пигментами фитопланктона и квантовой эффективности фотосинтеза будет проведен анализ влияния факторов среды на характер вертикального распределения концентрации пигментов и фотосинтетических характеристик, определяющих формирование первичной продукции фитопланктона в летний период в Черном море.

Радиобиологические и токсикологические исследования. Проведенные в 113-м и 114-м рейсах исследования показали, что радиохимическое качество поверхностных вод Черного и Азовского морей в отношении радиоактивного (^{137}Cs , ^{90}Sr) и химического загрязнения (ртуть) является удовлетворительным. Установлено, что в поверхностных водах Черного моря за последние 5 лет наблюдается уменьшение объемной активности ^{137}Cs (в 1.1–1.7 раза) независимо от района исследования. Диапазон концентраций ^{137}Cs находится в пределах $(8.8 \pm 1.7) - (13.3 \pm 0.6)$ Бк·м⁻³. Уровни вмешательства (УВ) в соответствии с нормами радиационной безопасности (11 Бк·кг⁻¹) и контрольные уровни (КУ) по экологическому критерию для морских вод ($1.8 \cdot 10^2$ Бк·л⁻¹) не превышены. Отмечено периодическое поступление растворенного ^{90}Sr из района Днепровско-Бугского лимана, что объясняет превышение концентраций данного радионуклида в поверхностной морской воде северо-западных и глубоководных районов Черного моря, по сравнению с доаварийными уровнями в 1.2–1.6 раза, которое ранее нивелировалось гидрологическими процессами. Выявлено, что в акваторию Азовского моря ^{90}Sr также поступает с водами реки Днепр, стекающими из Херсонской области после закрытия СКК. При этом концентрации ^{90}Sr в морской воде за весь период исследования не превышали контрольные уровни по экологическим критериям (1.68 Бк·л⁻¹). Концентрация общей формы ртути в поверхностных водах Черного и Азовского морей была ниже ПДК (100 нг·л⁻¹). Растворенная форма ртути в морской воде преобладала над взвешенной. Наибольшие показатели концентрации ртути (65 нг·л⁻¹) отмечены в районе Керченского предпроливья в осенний период, а в Азовском море, соответственно, в летний период (59 нг·л⁻¹). Содержание хлорорганических соединений (ХОС) в июне 2020 г. в воде черноморских прибрежных районов Крыма не превышало ПДК для морской воды (10 нг/л) г., за исключением концентрации суммы 6 индикаторных конгенов полихлорбифенилов (ПХБ) на станции в районе г. Алушты. Начиная с 2010 г. в воде Черного моря в прибрежных районах Крыма наблюдается тренд снижения концентрации $\Sigma\text{ДДТ}$. Последние три года относительно низкие уровни этих ХОП уже существенно не меняются и, по-видимому, поддерживаются эмиссией из вторичных источников и с атмосферными переносами из накопленных ранее запасов пестицидов. Тренда снижения содержания ПХБ в воде не наблюдается.

Исследована суточная динамика содержания метана в кислородном слое мелководного и глубоководного районов Черного моря. Выявлено (июнь 2020 г.), что максимальное значение концентрации CH_4 (84 нмоль·л⁻¹) для глубоководной станции в 2 раза превышает определенный максимум для мелководного района. Поверхностный горизонт на обеих станциях характеризовался невысокими ($0-16$ нмоль·л⁻¹) значениями концентрации CH_4 . Для мелководной станции водная толща воды была насыщена метаном с концентрационными максимумами в течение суток в слоях между 20 и 30 м. Только в ночные часы максимумы содержания CH_4 находились в придонном слое. Динамика распределения CH_4 на глубоководной станции характеризовалась постепенным заглублением концентрационного максимума в вечерние часы и близкими к нулевым значениями концентрациями в утреннее и дневное время.

Работа выполнена в рамках государственных заданий ФИЦ ИнБЮМ: № 0828-2019-0006 «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем», № 0828-2019-

0002 «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана», № 0828-2019-0003 «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом», № 0828-2019-0005 «Структурно-функциональная организация, продуктивность и устойчивость морских пелагических экосистем», № 0556-2019-0006 «Изучение пространственно-временной организации водных и сухопутных экосистем с целью развития системы оперативного мониторинга на основе данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий», № 0556-2019-0009 «Изучение фундаментальных физических, физиолого-биохимических, репродуктивных, популяционных и поведенческих характеристик морских гидробионтов», № 0828-2019-0004 «Исследование механизмов управления продукционными процессами в биотехнологических комплексах с целью разработки научных основ получения биологически активных веществ и технических продуктов морского генезиса», № 0556-2019-0007 «Фундаментальные исследования популяционной биологии морских животных, их морфологического и генетического разнообразия» и № 0828-2019-0002 «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана».

Прибрежные экосистемы Юго-Западного Крыма: состояние морской среды и биоты

*В.С. Муханов, Б.Е. Аннинский, Ю.Г. Артёмов, А.Б. Боровков, В.Е. Гиразосов,
А.Д. Губанова, Е.П. Карпова, О.В. Кривенко, Д.Н. Куцын, Л.В. Малахова, Т.В. Малахова,
В.И. Мальцев, А.В. Мельник, Н.В. Миронова, Т.В. Панкеева, П.С. Подрезова,
Б.Б. Пономарев, И.Г. Сидоров, М.И. Силаков, А.П. Стецюк, А.В. Темных, О.А. Трощенко,
А.Н. Ханайченко, Т.Я. Чурилова*

*Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени
А.О. Ковалевского РАН» (ФИЦ ИнБЮМ), Севастополь, Россия*

В 2020 г. малый научный флот Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН» (ФИЦ ИнБЮМ) пополнился дополнительной единицей – СМБ-40 «Виктория». Это позволило существенно нарастить объем экспедиционных исследований, несмотря на длительный простой судов в период карантина. Всего было проведено 142 экспедиции в прибрежных районах Крымского полуострова на маломерных судах «Виктория» (66 выходов), «Калкан» (28 выходов) и ЯЛПЛ-6 «Аквариум» (48 выходов). Районы работ охватывали прибрежную акваторию Севастополя от м. Айя до п. Кача, включая бухты города (б. Казачья, б. Камышовая, б. Круглая, б. Карантинная, б. Южная, б. Севастопольская до устья р. Черной) и район расположения биотехнологического комплекса института. Основная задача экспедиций в рамках государственного задания заключалась в оценке экологического состояния и биологического разнообразия прибрежных акваторий, исследовании структуры и функционирования прибрежных экосистем Юго-Западного Крыма.

Состояние морской среды. В ходе исследования гидролого-гидрохимических характеристик района расположения морской фермы и взморья Севастополя было выполнено 12 съемок, пополнены зарегистрированные базы данных по гидрологии и гидрохимии биотехнологического комплекса (всего около 450 переменных), исследованы годовой ход и распределение этих переменных. Показано, что сезонное и вертикальное распределение *гидролого-гидрохимических показателей* было характерным для прибрежных вод севастопольского взморья. Значимое вертикальное термохалинное расслоение наблюдали с середины мая до начала августа. В целом значения гидрохимических характеристик не превышали предельно допустимые концентрации и не опускались ниже величин, лимитирующих развитие фитопланктона.

Комплексные исследования, которые были проведены на полигоне «Чёрная речка» в восточной части Севастопольской бухты, позволили оценить степень загрязнения этой акватории. Концентрации *хлороформ-экстрагируемых веществ* в её донных отложениях изменялись от 60 до 620 мг/100 г, *нефтяных углеводородов* – от 26 до 190 мг/100 г. Полученные значения ХЭВ соответствовали 2–4 уровням загрязнения из пяти возможных. Отмечена тенденция к некоторому увеличению органических веществ в донных отложениях с сентября по февраль в речной и переходной зонах.

Сравнение среднесезонных концентраций *взвешенного вещества* на отдельных станциях выявило заметные отличия в соответствующем перераспределении объемов взвешенного материала в речной и морской воде – градиент увеличения содержания взвешенного вещества от мористой к «речной» станции. Концентрация углеводов во взвешенном веществе морской и речной воды варьировала от 0.172 до 1.012 мг·л⁻¹. По среднесезонному содержанию углеводов на протяжении всего периода исследований доминировала станция, расположенная непосредственно в русловой зоне р. Чёрной. Объем стока р. Чёрной в теплый период составлял около 24.7 млн. м³, таким образом, общий объем взвеси, привносимой с речным стоком, мог составлять ~ 99.8 т, углеводов ~ 11.2 т. Газохроматографический анализ состава углеводов показал доминирование высокомолекулярных компонент (С21–С29), менее доступных к биодеградации.

В июне 2020 г. в воде Севастопольской бухты была определена концентрация *биогенных элементов азотного и фосфатного комплексов и хлорорганических ксенобиотиков* – полихлорбифенилов (ПХБ), ДДТ и его метаболитов ДДЭ и ДДД (рис. 1). Как было показано,

воды р. Черной оказывали эвтрофирующее влияние на акваторию Инкерманской бухты, где концентрация нитритов и нитратов была повышена в 1.5 и 3 раза соответственно по сравнению с прилегающей акваторией. В отличие от биогенов, в Инкерманской бухте была отмечена пониженная концентрация ПХБ (в среднем в 2.7 раза) по сравнению с другими районами Севастопольской бухты. Это свидетельствовало о влиянии более чистой в отношении загрязнения ПХБ пресной воды р. Черной на состояние морской экосистемы Инкерманской бухты.

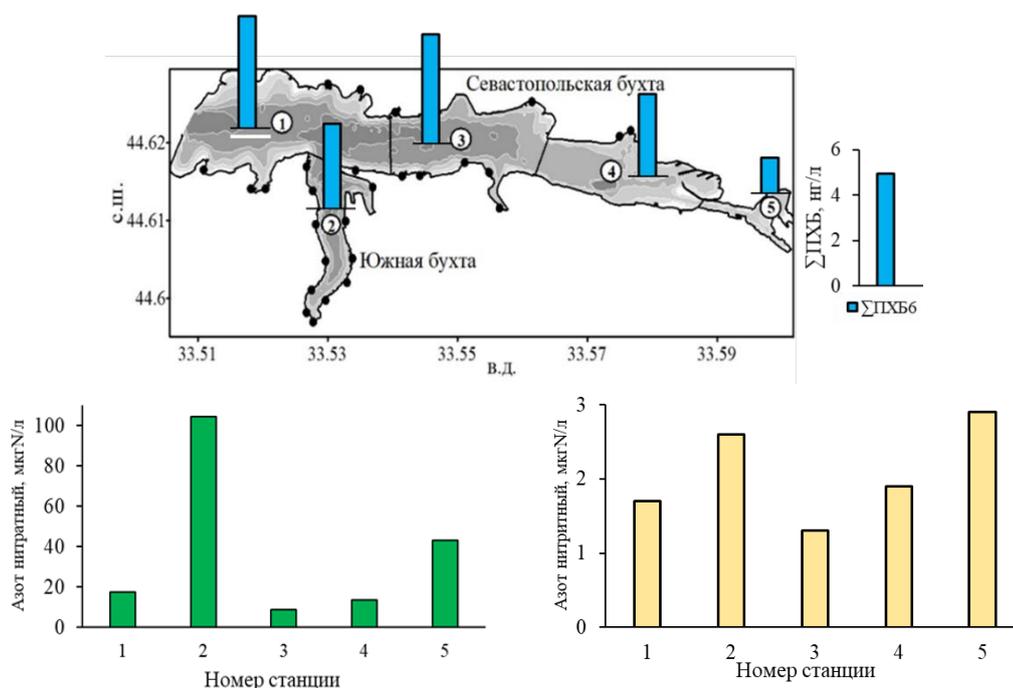


Рис. 1. Распределение концентрации Σ ПХБ6, азота нитратного и нитритного в воде Севастопольской бухты в летний сезон 2020 г.

В морской воде севастопольских бухт преобладала растворённая форма ртути. Самая высокая концентрация общей формы ртути была определена возле северного мола на выходе из севастопольской бухты ($101 \text{ нг}\cdot\text{л}^{-1}$). На остальных станциях, независимо от периода исследования, концентрация ртути не превышала ПДК = $100 \text{ нг}\cdot\text{л}^{-1}$. В летний период 2020 г. концентрация ртути в воде Севастопольских бухт была выше, чем в осенний.

В соответствии с проведенными оценками, период двукратного уменьшения концентрации ^{90}Sr в воде севастопольских бухт составляет 8.8 лет, причем скорость этого процесса зависит от основных биогеохимических процессов в морской экосистеме, а также физических процессов, включая радиоактивный распад. Согласно выявленным закономерностям и в сравнении с данными 2010 г., концентрация ^{90}Sr в 2020 г. не должна была превышать $7 \text{ Бк}/\text{м}^3$, однако измеренная величина составила $10 \text{ Бк}/\text{м}^3$. Это, возможно, связано с реабсорбцией радионуклида из донных отложений. Концентрации ^{90}Sr в морской воде севастопольских бухт за весь период исследования не превышали КУ (контрольные уровни по экологическим критериям, Росгидромет, Р 52.18.852, 2016 – $1.68 \text{ Бк}/\text{л}$). Концентрация ^{90}Sr в пресной воде р. Черной, впадающей в Севастопольскую бухту под Инкерманом, была ниже предела детектирования.

Исследования влияния стока р. Черной на содержание ^{137}Cs в воде Севастопольской бухты показали, что в районе заградительного мола активность радионуклида была равна $15.9 \text{ Бк}/\text{м}^3$, что соответствовало значениям, характерным для открытого моря. В центральной и восточной части бухты содержание ^{137}Cs было ниже – около $10 \text{ Бк}/\text{м}^3$. Концентрация ^{137}Cs в районе устья р. Черной составляла 5–6 $\text{Бк}/\text{м}^3$, а выше по течению реки концентрация ^{137}Cs была ниже уровня детектирования. Таким образом, сток р. Черной приводил к уменьшению концентрации ^{137}Cs в водах Севастопольской бухты, к удалению его в экологическое депо морских экосистем – донные отложения. Исходя из значений расхода воды р. Черной, нами был рассчитан период оборота ^{137}Cs в водах Севастопольской бухты, который в среднем составил 2.5 года.

Мониторинг площадок *газопроявлений*, который был проведен акустическим методом в прибрежных районах Черного моря, позволил нанести на карту местоположение *метановых струйных газовыделений*, обнаруженных в период с 2006 по 2020 г. Накопленные к настоящему времени данные по геолокации метановых струйных выделений в акватории севастопольских бухт указывают на их привязку к области илистых отложений, богатых органическими соединениями.

Гидрохимические показатели акватории Карадагского природного заповедника находились в пределах требований к составу и свойствам морской воды для рекреационного водопользования, по БПК₅ случаев превышения этих требований не было. Однако в 2020 г. наблюдалось некоторое ухудшение показателей ХПК и БПК по сравнению с 2019 г., что может быть связано, в частности, с имевшим место в 2020 г. значительным, не наблюдавшимся в прежние годы, развитием планктонных диатомовых водорослей в прибрежной зоне. Аналогичный уровень показателей ХПК и БПК уже отмечался в прежние годы (2012, 2013, 2017). Тем не менее в 2020 г. можно говорить об относительном экологическом благополучии заповедной акватории.

Состояние биоты. В рамках *гидробиологических и ландшафтных исследований* прибрежной зоны западной части г. Севастополя (от м. Тюбек до Языковой балки) и гидрологического памятника природы регионального значения «Прибрежный аквальный комплекс у Херсонеса Таврического» было выполнено 8 разрезов с охватом глубин от 0.5 до 15 м, собрано 164 пробы макрофитобентоса. На основе данных о видовом составе, биомассе и численности доминирующих видов фитобентоса для исследуемых районов составлено 11 ландшафтных профилей.

Круглогодичные исследования вертикальной структуры *поля биолюминесценции* проводили в открытой акватории моря на траверзе б. Круглой, а также в акватории Севастопольской бухты в районе бухт Константиновской и Голландия. Съёмки проводились в ночное время через 2 ч после наступления темноты. Пространственную структуру поля биолюминесценции исследовали методом батифотометрического зондирования толщи воды, используя гидробиофизический комплекс «Сальпа-М». Максимальная интенсивность поля биолюминесценции в поверхностном слое наблюдалась в осенний период как в открытой, так и закрытой акваториях прибрежных вод Севастополя. В придонном слое бухты этот показатель был на один – два порядка ниже. В открытой акватории моря пик биолюминесценции заглублялся и располагался ниже слоя термоклина.

В серии экспериментов с лабораторной установкой «Свет» исследовали биолюминесцентный отклик на химическое и механическое возбуждение у представителей планктонного сообщества Чёрного моря, впервые выявлена способность к свечению вселенца в Чёрное море *Oithona davisae*. Общая длительность биолюминесцентного сигнала не превышала 1.5 с. При механической стимуляции сигнал состоял из нескольких отдельных узких пиков с резким фронтом нарастания и спада. При химической стимуляции пики сливались в один многовершинный импульс. Максимальная амплитуда сигнала при механической стимуляции в 2 раза превосходила аналогичные значения при химической.

С целью развития системы оперативного контроля за качеством и продуктивностью прибрежных вод Чёрного моря были проведены биооптические исследования в прибрежных водах Севастопольской бухты. В частности, была описана сезонная динамика фотосинтетических характеристик: насыщающей фотосинтез интенсивности света (I_k) и максимального квантового выхода фотосинтеза в результате адаптации фитопланктона к изменениям световых условий в поверхностном слое моря в течение года. Уменьшение максимального квантового выхода фотосинтеза, которое наблюдали в летние месяцы, отражало ингибирующее влияние высокой летней солнечной инсоляции на потенциальную способность фитопланктона к использованию поглощенных квантов в фотохимических реакциях. В градиенте трофности вод (между станциями) не было установлено достоверных различий в величинах максимального квантового выхода и I_k . Полученные сезонные особенности фотосинтетических характеристик фитопланктона будут использованы в моделировании первичной продукции прибрежных вод.

Впервые на основании данных, полученных в ходе многолетних регулярных исследований планктона Севастопольской бухты, подробно описан первый этап процесса интродукции нового вселенца, копеподы *Pseudodiaptomus marinus* Sato, 1913, в экосистему Черного моря. Широкое

распространение этого вида, который является аборигеном северо-западной части Тихого океана, наблюдается с середины прошлого века. В Черном море он впервые обнаружен в 2016 г. в Севастопольской бухте. Детальное морфологическое изучение особей *Pseudodiaptomus* из Чёрного моря, а также анализ молекулярно-генетической изменчивости на основании фрагментов генов митохондриальной ДНК (*cytb*) и рибосомальной ДНК (*ITS*) подтвердили их принадлежность к виду *P. marinus* (рис. 2). Выявлена низкая гаплотипическая изменчивость популяции вида в бухте, соответствующая начальному этапу его вселения. На основе филогенетических реконструкций по фрагменту гена *ITS2* получены свидетельства высокой степени гетерогенности внутри вида. Выдвинута гипотеза о возможном существовании криптических видов, для подтверждения которой требуется проведение аналогичных исследований в других районах Мирового океана. Сезонная динамика численности *P. marinus* на протяжении всего периода наблюдений была сходной, с одним ярко выраженным осенним пиком численности. Обнаружены особи на всех стадиях развития, включая науплии, что свидетельствует о размножении вида в бухте Севастопольской. Наибольшая численность *P. marinus* была зарегистрирована в ноябре 2018 г. в центре бухты – более 5000 экз. м⁻³, что почти на порядок превышает значения, характерные для других районов Мирового океана. Полученные результаты являются первым комплексным исследованием вселенца *P. marinus* с первоначального момента его интродукции в экосистему, что важно с точки зрения изучения моделей инвазии чужеродных видов и прогнозирования возможных последствий такого вселения во всё ещё недостаточно сбалансированную экосистему Чёрного моря.

Мезопланктон и желетелый макропланктон отбирали вертикальными ловами от дна до поверхности моря на станциях внешнего шельфа (2 мили) и в устье Севастопольской бухты. Результаты исследования показали, что суммарная численность и биомасса желетелых в 2020 г. снизилась более чем вдвое относительно соответствующих данных 2004–2014 гг. (рис. 3). Популяции гребневиков-планктофагов, а также облигатного хищника *B. ovata* сократились особенно сильно. Отмечена инверсия их популяционной динамики, а также измельчание особей у последнего вида. Данные согласуются с материалами рейсов, собранными в глубоководной части моря, свидетельствующими о сильном обеднении холодноводного планктонного комплекса в последние годы.

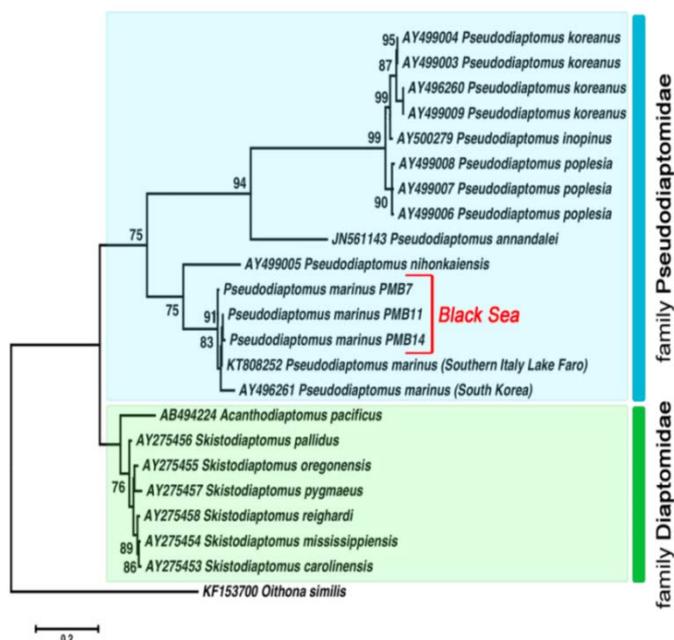


Рис. 2. Филогенетическое дерево семейств Diaptomidae и Pseudodiaptomidae, реконструированное на основании 22 нуклеотидных последовательностей фрагмента гена *ITS2* рибосомальной ДНК, представленных в NCBI, и собственных данных (*P. marinus*, Черное море)

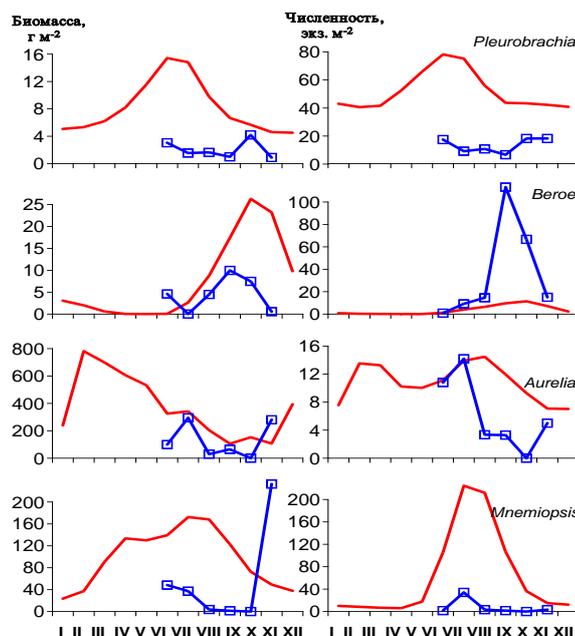


Рис. 3. Сезонная динамика биомассы и численности массовых видов желетелого макропланктона на внешнем шельфе Крыма у Севастопольской бухты в 2004–2014 (красная кривая) и 2020 гг. (синяя кривая)

В рамках исследования *ихтиопланктона* прибрежных акваторий Крымского полуострова в районе г. Севастополя были выполнены 13 научно-исследовательских экспедиций в районах выхода из бухт Севастопольской, Карантинной, Круглой, Стрелецкой, Казачьей, Камышовой, на траверзе б. Круглой (всего – 80 станций). В пробах, собранных с помощью сетных ловов, было обнаружено 2867 икринок и 810 личинок рыб. Средняя численность икры и личинок рыб нарастала с июня до конца июля, постепенно снижаясь к концу летнего нерестового сезона. Максимальную численность ихтиопланктона (570 экз/м² икры и 280 экз/м² личинок) наблюдали в июле на траверзе б. Круглой при температуре поверхности воды 27.3 °С. В 2020 г. в летний сезон икра и личинки хамсы были массово представлены в глубине бухты при очень малом их количестве за ее пределами. Икра морского карася, в свою очередь, преобладала в ихтиопланктоне открытого побережья и значительно реже встречалась в глубине бухты. С середины сентября происходило снижение нерестовой активности теплолюбивых видов рыб, в октябре – декабре ихтиопланктон встречался в пробах уже единичными экземплярами. Нерест видов, размножающихся при низкой температуре воды, начался позже обычных календарных сроков, а в исследованной акватории не были отмечены ни икра, ни личинки такого исключительно массового промыслового вида, как шпрот.

Индексы видового разнообразия ихтиопланктона, полученные в прибрежных акваториях Юго-Западного Крыма в июне 2020 г., не выявили заметного изменения этого показателя за 7-летний период. Средние численности ихтиопланктона в 2020 и 2013 гг. различались в 4 раза (2020 г.: 161.5 экз./м² икры и 25.07 экз./м² личинок; 2013 г.: 41.0 экз./м² икры и 6.4 экз./м² личинок). Видовой состав расширился за счет следующих видов: *Sciaena umbra*, *Serranus scriba*, *Ctenolabrus rupestris*, *Arnoglossus kessleri*. После коллапса сообщества в 1990-х гг. наблюдалось постепенное восстановление видового разнообразия, а с начала 2000-х гг. отмечена устойчивая тенденция к увеличению численности икры и личинок рыб в прибрежных акваториях юго-западной части Крыма, что может способствовать росту рыбохозяйственной значимости данного района исследований.

Ихтиопланктон акватории Карадагского природного заповедника в 2020 г. был представлен 28 видами, принадлежащими к 21 семейству. Наиболее массовыми видами в ихтиопланктоне акватории заповедника были хамса, атерина черноморская, скорпена, горбыль темный, ставрида, султанка и морской дракончик. Список видов рыб прибрежного ихтиокомплекса акватории Карадагского природного заповедника 2017 г. [Мальцев и др., 2017] по результатам исследований 2020 г. пополнился 5 видами: атлантическим землероем *Lithognathus mormyrus*, светлым горбылем *Umbrina cirrosa*, голый песчанкой *Gymnammodytes cicerellus*, лисуном Бата

Pomatoschistus bathi и леопардовым лысуном *Pomatoschistus marmoratus*, т. е. на сегодня можно считать подтверждённым обитание здесь 56 видов рыб. Кроме того, показано наличие в ихтиопланктоне акватории икры и/или личинок 3 видов (остронос *Liza saliens*, атерина атлантическая *Atherina hepsetus*, малая морская мышь *Callionymis risso*), не обнаруживаемых здесь другими методами.

В 2020 г. изучены размерно-возрастная и половая структура, рост, созревание и смертность черноморской ставриды *Trachurus mtditerraneus* из прибрежной акватории Крыма. Установлено, что соотношение самцов и самок в уловах ставриды составляет 1:1.04. Максимальная общая длина самок равна 22.5 см, самцов – 20.8 см. Максимальный возраст у обоих полов составляет 6 лет. Межполовые различия в росте не выявлены. Параметры уравнения Берталанфи для обоих полов следующие: $L_{\infty} = 19.0 \pm 0.9$ см, $W_{\infty} = 57.4 \pm 8.6$ г, $k = 0.44 \pm 0.06$ год⁻¹, $t_0 = -0.36$ лет, индекс линейного роста $\phi' = 2.21 \pm 0.09$, индекс весового роста $\phi = 0.82 \pm 0.09$, коэффициенты зависимости массы от длины: $a = 0.0054$, $b = 3.36$ (положительная аллометрия). Созревание 50 % самок происходило при TL = 10.72, самцов – 10.53 см в возрасте 1+. Пиковое значение гонадосоматического индекса самцов наблюдалось в июне: 2.37 ± 0.21 %, самок – в июле: 3.84 ± 0.17 %. Коэффициент общей смертности для обоих полов составлял 1.41 год⁻¹, коэффициент естественной смертности 0.89 год⁻¹, промысловой – 0.52 год⁻¹. Установлена сильная положительная связь L_{∞} и ϕ' со среднегодовой температурой поверхности моря ($r = 0.90$, $p < 0.001$ и $r = 0.83$, $p < 0.001$ соответственно). Незначительные отличия по ряду биологических показателей ставриды крымских вод от экземпляров этого вида из западной части моря (района Болгарии и Румынии) ставят под сомнение утвердившееся представление о наличии двух пространственно и биологически обособленных стад (популяций) – западного и крымского. В условиях продолжающегося климатического потепления следует ожидать изменения биологических особенностей ставриды Черного моря в сторону увеличения ее скорости роста и предельных размеров.

В ходе исследования состояния природной популяции черноморского калкана на юго-западном шельфе Крымского полуострова был собран достаточно дефицитный материал в осенний период 2020 г. (ранее осенние работы проводились редко по погодным и техническим причинам). Осенью значения биологических показателей калкана заметно отличались от таковых в весенний период. Для сравнения были использованы значения гонадосоматического и гепатосоматического индексов, коэффициента упитанности и соотношения полов в период интенсивного нереста (в мае) в предыдущие годы (рис. 4).

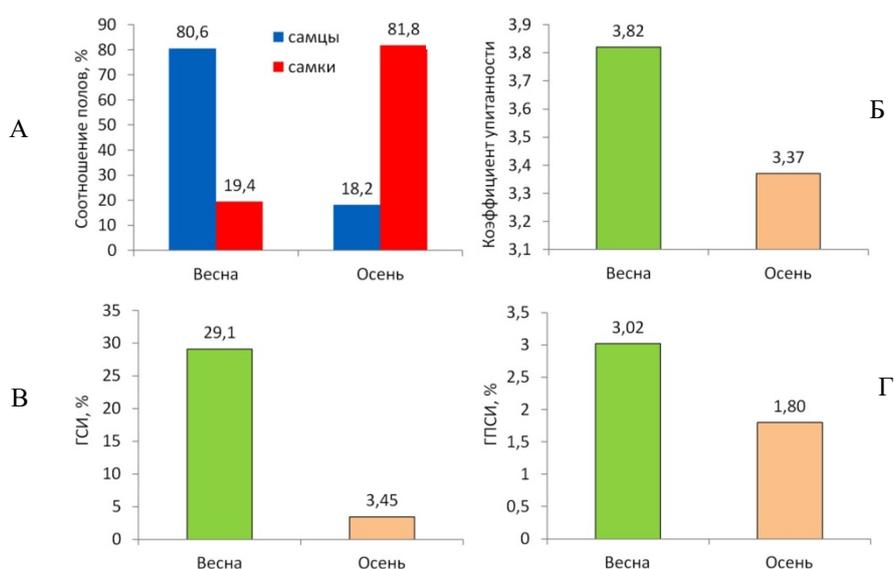


Рис. 4. Соотношение полов (А), коэффициент упитанности по Фултону (Б), гонадосоматический (ГСИ) (В) и гепатосоматический (ГПСИ) (Г) индексы у самок калкана в весенний и осенний периоды

Различия в биологических характеристиках калкана весной и осенью были связаны с разными фазами репродуктивного цикла и интенсивности питания. Весной в уловах

на глубинах 50–70 м численно преобладали самцы, осенью – самки. Печень у калкана – функционально активный орган, обеспечивающий гонады пластическим и энергетическим материалом, поэтому среднее значение гепатосоматического индекса в мае было значительно выше, чем в октябре.

В экспедиционных исследованиях с применением малого научного флота Карадагской станции применялись визуальные учёты рыб, которые позволили идентифицировать 31 вид, принадлежащий к 18 семействам. Наибольшая плотность рыб прибрежного ихтиокомплекса была отмечена в акваториях Карадагского природного заповедника и Тихой бухты (22–26 экз./м²).

В 2020 г. малые плавсредства были использованы в *орнитологических* исследованиях ФИЦ ИнБЮМ. В частности, были проведены учёты численности средиземноморского хохлатого баклана (*Phalacrocorax aristotelis desmarestii*), занесённого в Красные книги России, Республики Крым и Севастополя, а также сопутствующих видов гидрофильных птиц в прибрежной акватории от б. Камышовой до м. Айя. По предварительным данным численность хохлатого баклана составляет около 450 особей.

Регулярные отборы проб морской воды, осуществляемые малым научным флотом ФИЦ ИнБЮМ в крымских прибрежных водах, позволили создать и в дальнейшем пополнять коллекцию живых клоновых культур черноморских криптофитовых водорослей. Материал из культур будет использован для исследования жизненного цикла, морфологических и генетических характеристик этих фототрофных микроорганизмов.

Исследования были проведены в рамках государственного задания № АААА-А18-118020890090-2, АААА-А18-118020890074-2, АААА-А18-118021490093-4, АААА-А18-118021350003-6, АААА-А18-118020790229-7, АААА-А19-119061190081-9, АААА-А19-119012490045-0.

ВНУТРЕННИЕ ВОДЫ

Результаты экспедиционных работ Института земной коры СО РАН, выполненных в 2020 году с использованием научно-исследовательского судна «Геолог» на акватории озера Байкал (внутренние воды)

Е.А. Козырева

Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

Темы научных исследований, в рамках которых выполнена экспедиция:

1. Изучение глубинного строения, состава, источников вещества, включая рудные компоненты и геодинамической природы осадочных, магматических и метаморфических комплексов, локализованных в Сибирском кратоне и Центрально-Азиатском складчатом поясе.

В рамках проекта НИР № 0346-2019-0004 «Палеогеодинамика и глубинное строение южного фланга Сибирского кратона и прилегающих областей Центрально-Азиатского складчатого пояса».

2. Экзогенные геологические процессы и их роль в эволюции геологической среды береговой зоны озера Байкал.

В рамках проекта НИР № 0346-2016-0002 «Сейсмические и сеймотектонические процессы и сейсмическая опасность Восточной Сибири: факторы, экзогеодинамика и прогноз».

3. Сейсмогенное разрывообразование и сопутствующие процессы северо-западного побережья озера Байкал.

В рамках проекта НИР № 0346-2019-0007 «Тектонофизика современных геодинамических процессов в литосфере Центральной Азии как основа прогноза чрезвычайных ситуаций природного характера».

Цели экспедиции:

- сбор фактических данных о строении и структуре южного складчатого обрамления Сибирского кратона;
- геолого-структурное картирование и комплексное изучение зон сейсмогенных разрывов северо-западного побережья озера Байкал;
- накопление количественных параметров современного состояния и свойств геологической среды в природных и природно-техногенных условиях береговой зоны оз. Байкал.

Участки полевых работ расположены в труднодоступной местности и районах, где нет автомобильных дорог, поэтому **НИС «Геолог» – единственное эффективное средство** ИЗК СО РАН, используемое для транспортировки участников экспедиции к местам проведения работ.

Геологический отряд (руководитель чл.-корр. Е.В. Складов)

Задачи экспедиционных исследований: Геологическое изучение и опробование индикаторных магматических и метаморфических комплексов Ольхонского террейна, составление детальных карт и схем.

Результаты:

1. Складчатая структура Мраморного плато имеет северо-восточную ориентировку, согласующуюся с окружающими мрамора породами – кварцитами. Морфологический облик подобен складкам, которые наблюдаются в кварцитах в непосредственной близости от мраморов. Это изоклинальные складки, шарниры которых погружаются круто (60°) на северо-восток. Узкие мезомасштабные складки отчетливо картируются и свидетельствуют о двух этапах деформаций. Мраморы и кварцито-мраморная толща дислоцированы в одном стиле.

Выявленные структурные особенности позволят внести корректировку в геологическую карту и позволят уточнить представления о тектоническом строении участка.

2. Отобраны пробы для изотопно-геохронологических исследований из габброидов Бирхинского, Крестовского и Усть-Крестовского массива.

В настоящее время цирконы выделены, и идет подготовка препаратов для датирования цирконов.

3. Составлена геологическая карта о-ва Замогой в Малом Море и отобраны пробы для минералогических и геохимических исследований.

По материалам исследований уже подготовлена и сдана статья в журнал «Петрология».

Структурно-геологический отряд (руководитель д.г.-м.н. О.В. Лунина)

Задача экспедиционных исследований: комплексное изучение и детальное картирование сейсмогенных разрывов прибрежных территорий Северобайкальской впадины для создания многоуровневой цифровой сеймотектонической основы Байкальского региона.

Результаты:

1. Выполнено картирование палеосейсмогенных и современных разрывов северо-западного побережья оз. Байкал на избранных локальных участках между дельтой р. Сарма и м. Елохин в зонах динамического влияния Приморского, Зундукского, Кочериковского и Северобайкальского разломов.

2. На м. Рытый и Ото-Хушун впервые были обнаружены современные разрывы земной поверхности. Установлено, что образование разрывов во фронтальной части дельты р. Рита предопределено тектоникой и произошло как вторичный эффект резонансных колебаний от землетрясения 13.08.1962 г. с $M = 5.2$, эпицентр которого находился напротив м. Рытый, в зоне Морского разлома.

3. Механизм образования разрывов на м. Ото-Хушун связывается с периодическим воздействием слабых сейсмических нагрузок на гранулированную среду, в результате чего происходят микросмещения и последующий рост разрывов.

Геоэкологический отряд (руководитель д.г.-м.н. Е.А. Козырева)

Задача экспедиционных исследований: получение фактических данных по динамике развития современных береговых ЭПП, состоянии и свойствах геологической среды в природных и природно-техногенных условиях береговой зоны.

Результаты:

1. В связи с высоким положением уровня воды 2020 г. в озере отмечена активность проявления абразионного процесса. На абразионных типах берега отмечается размыв склона, формирование трещин, осыпей. Отмечены участки со свежими проявлениями оползней, обновление ранее сформированных цирков.

2. Обследован 21 участок пляжей оз. Байкал. Установлено, что на пляжах оз. Байкал среди техногенного загрязнения преобладает пластик, строительный мусор и присутствует рыболовная утварь, стекло.

3. Изучена морфодинамика пляжа аккумулятивного бара Ярки. Выполнена аэрофотосъемка участка по 11 профилям. По профилю отобраны образцы песчаных отложений в морфодинамических точках (вершина заплеска прибойного потока, фронтальная и тыльная часть, область развития эоловых форм, и с первого подводного вала) всего 135 образцов аккумулятивных отложений для определения гранулометрического и минерального состава.

4. Проведена фиксация участков (*GPS* привязка + фото, описание), локальная аэрофотосъемка побережья оз. Байкал с формами проявления активных и реликтовых явлений, связанных с развитием современных геоэкологических процессов (термокарст, термоэрозия, каменные глетчеры с морозной сортировкой, солифлюкция, бугры пучения и др.).

Намечены участки для последующих детальных исследований состояния «холодных» и «тёплых» ландшафтов, присутствия ММП, последствий влияния глобального изменения климата на состояние горных пород южной границы криолитозоны.

Об авторе:

Козырева Елена Александровна, зам. директора по научной работе, зав. лабораторией, Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (Иркутск, Россия), к. г.-м. н.

Публикации 2020 года участников экспедиции

Рецензируемые статьи

1. Козырева Е.А., Кадетова А.В., Рыбченко А.А., Пеллинен В.А., Тарасова Ю.С., Светлаков А.А. Типизация и современное состояние берегов озера Байкал // Водные ресурсы. 2020. том 47, № 4, С. 453-465 DOI: 10.31857/S0321059620040070
2. Скляр Е. В., Лавренчук А. В., Федоровский В. С., Гладкочуб Д. П., Донская Т. В., Котов А. Б., Мазукабзов А. М., Старикова А. Е. Региональный контактовый метаморфизм и автометаморфизм Ольхонского террейна, Западное Прибайкалье // Петрология, 2020, том 28, № 1, с. 1–17 DOI: 10.1134/S0869590320010057
3. Федоровский В.С., Скляр Е.В., Гладкочуб Д.П., Мазукабзов А.М., Донская Т.В., Лавренчук А.В., Старикова А.Е., Добрецов Н.Л., Котов А.Б., Тевелев А.В. Коллизионная система Западного Прибайкалья: аэрокосмическая геологическая карта Ольхонского региона (Байкал, Россия). // Геодинамика и тектонофизика. 2020; 11(3): 447-452 <https://doi.org/10.5800/GT-2020-11-3-0485> _Смотри на сайте Института: www.gt-crust.ru
4. Добрецов Н.Л., Скляр Е.В., Буслов М.М., Куликова А.В., Лавренчук А.В. Экологитоподобные метагаббро Ольхонского террейна, Западное Прибайкалье // Петрология. 2020. Т. 28, № 6. С. 591–609.
5. Denisenko I.A., Lunina O.V., 2020. Late Quaternary displacements along the Sarma segment of the Primorsky fault based on GPR survey data (Baikal rift). *Geodynamics & Tectonophysics* 11 (3), 548–565. doi: 10.5800/GT-2020-11-3-0490
6. Lunina O.V., Li D., Lyu Y., Wang Y., Li M., Gao Yu, Gladkov A.S., Denisenko I.A., Gladkov A.A., Wang K., Zhang S., Perevoznicov D.D. Using in situ-produced ¹⁰Be to constrain the age of the latest surface-rupturing earthquake along the Middle Kedrovaya fault (Baikal rift) // *Quaternary Geochronology*. – 2020. – V. 55 (101036). P. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2019.101036>
7. Lunina O., Denisenko I. Single-event throws along the Delta Fault (Baikal rift) reconstructed from ground penetrating radar, geological and geomorphological data // *Journal of Structural Geology*. 2020. V. 141 (104209). P. 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2020.104209>
8. Sklyarov E.V., Lavrenchuk A.V., Fedorovsky V.S., Pushkarev E.V., Semenova D.V., Starikova A.E. Dismembered Ophiolite of the Olkhon Composite Terrane (Baikal, Russia): Petrology and Emplacement // *Minerals*, 2020, v. 10, 305.

Материалы совещаний

1. Мазукабзов А.М., Федоровский В.С., Гладкочуб Д.П., Донская Т.В., Скляр Е.В., Лавренчук А.В. динамическое воздействие каледонской коллизии на Сибирскую платформу (Западное Прибайкалье) // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания. Вып. 18. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2020. – С. 227–228.
2. Федоровский В.С., Скляр Е.В., Гладкочуб Д.П., Мазукабзов А.М., Донская Т.В., Лавренчук А.В. Граница Сибирского кратона и Центрально-Азиатского пояса в Приольхонье (озеро Байкал, Россия) // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания. Вып. 18. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2020. – С. 369–370.
3. Федоровский В.С., Скляр Е.В., Гладкочуб Д.П., Мазукабзов А.М., Донская Т.В., Лавренчук А.В. Коллизионная матрица Приольхонья и тектоническая позиция массива Тажеран // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания. Вып. 18. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2020. – С. 371–372.
4. Федоровский В.С., Скляр Е.В., Гладкочуб Д.П., Мазукабзов А.М., Донская Т.В., Лавренчук А.В. Фронтальная коллизия и структуры латерального выжимания (Ольхонский полигон, Байкал) // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания. Вып. 18. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2020. – С. 373–374.

Выводы:

- Выполнение тектонофизических исследований будет иметь фундаментальное научное значение для теоретических представлений об особенностях сейсмогенного разрывообразования вблизи и на поверхности континентальных рифтовых зон.
- Результаты геоэкологических исследований являются основой для оценки современного состояния и прогноза развития береговой зоны внутриконтинентальных водоемов в условиях меняющихся природных и техногенных факторов.
- Геологами получен уникальный фактический материал для дальнейшего изучения складчатых областей и кратонов.

Байкальский музей. Экспедиционные работы 2020.

В 2020 г. экспедиционные работы проводились в рамках выполнения программы IV.VIII.69.1.5. «Изучение некоторых элементов экосистем территории Восточной Сибири по результатам натуральных и экспериментальных исследований как отражение изменений абиотических факторов среды».

Научными сотрудниками Байкальского музея осуществлялся сбор качественных и количественных проб, визуальные наблюдения и учёт байкальских животных. Научно-исследовательское судно «Профессор А.А. Тресков», проекта Р-376У/ВСПП Р. 376/005, 1972 года постройки, прошедшее модернизацию в 2011 г. Оборудовано для проведения водолазных исследований и глубоководной лебёдкой.

1. Орнитологические исследования. Обследованы пролив Малое Море, о. Ольхон и более 200 км западного побережья оз. Байкал. Зарегистрировано 15 видов птиц, часто обитающих в прибрежье и на островах. Из них 4 вида (чернозобая гагара, огарь, беркут и орлан-белохвост) относятся к редким птицам, включенным в Красную книгу Иркутской области, а два вида (беркут и орлан-белохвост) входят в состав Красной книги России. Наибольший интерес вызывают колониальные виды, имеющие высокую численность. Наиболее многочислен из них большой баклан, в массе появившийся на оз. Байкал в последние два десятилетия. Численность этого вида в гнездовой период в этом сезоне составляла 2300–2500 особей. Наиболее крупная колония обнаружена на о. Большой Тойник – 550 птиц. На нем же наблюдалась крупная гнездовая концентрация монгольской чайки – около 2000 особей, а общая численность вида на маршруте достигала 4600–5000 особей. Остальные виды малочисленны, до нескольких сотен птиц (сизая чайка, черный стриж, гоголь), нескольких десятков (длинноносый и большой крохали) или отдельных особей. Отмечено снижение численности прибрежных птиц вдоль береговой кромки оз. Байкал, обусловленное значительно усилившимся антропогенным воздействием на его побережья. Не исключено влияние и современных изменений климата (сильное потепление), что подтверждается последними исследованиями региона.

2. Исследование береговых лежищ байкальского тюленя. Обследованы западное побережье Байкала, острова пролива Малое Море и побережье о. Ольхон. Обследование береговой линии о. Ольхон подтвердило предварительную информацию о большом количестве байкальской нерпы на берегах в 2020 г. Береговые залежки нерп обнаружены (за двумя исключениями в районе б. Песчаной) только на западном побережье о. Ольхон, в проливе Малое Море животных не было. Залежки приурочены в основном к участкам берега с крупными камнями (валунами), сползающими со склонов гор непосредственно в озеро, реже – на более мелких прибойных камнях, расположенных на пляжах. Численность отдельных залежек варьировала от единиц до сотен особей. На берегу и на плаву в непосредственной близости от мест залегания (согнанные с лежищ нерпы) по визуальным оценкам отмечено порядка 1000–1100 особей. Очевидно, что не все обнаруженные нами локации животных можно считать береговыми лежищами, некоторые из них скорее являются временными местами выхода нерп на берег. Обилие нерпы на «морском» (восточном) берегу Ольхона явление необычное, ранее не наблюдаемое и в литературе не упомянутое. Антропогенный фактор в разных проявлениях – главный лимитирующий фактор формирования береговых залежек байкальской нерпы. Все обнаруженные локации животных были удалены от участков побережий, используемых для рекреационных целей, от мест с массовым скоплением людей. Предполагается, что в настоящее время мы наблюдаем изменения поведения байкальской нерпы.

Проведена реконструкция системы видеомониторинга популяции байкальского тюленя на основном береговом его лежище – Ушканьих островах. Разработан и внедрен в практику режим видеосъемки, позволяющий получать качественный материал для научного анализа поведения животных.

3. Изучение биологии глубоководных рыб. Разработаны методики отлова и транспортировки глубоководных байкальских рогатковидных рыб сем. Cottidae. Проведены эксперименты по их адаптации к жизни в аквариумах Байкальского музея при нормальном атмосферном давлении. Эти работы показали, что продолжительность жизни рассматриваемых рыб существенно возрастает при увеличении осмотического давления, а их двигательная

активность – при перенасыщении воды кислородом. Сделан вывод, что эволюционные изменения этих рыб связаны с механизмами осморегуляции и снижением роли гемоглобина в транспорте кислорода и углекислоты.

4. Работы в рамках проекта «Байкал в режиме реального времени». Модернизация и обслуживание, в том числе с использованием водолазной техники, систем удалённого видеомониторинга Байкальских природных территорий. Проект представляет уникальную систему непрерывного мониторинга круглосуточного и всесезонного слежения за динамикой природных процессов и явлений. Видеокамеры позволяют научным сотрудникам, школьникам, студентам проводить исследования и наблюдения за байкальской нерпой, ростом и патологией губок, развитием прибрежных водорослей, особенностями поведения крупных ракообразных и рыб, динамикой погодных условий.

5. Отработка методики съёмки подводных ландшафтов с целью картирования шельфовой зоны для создания научно обоснованной сети станций мониторинга озера Байкал. Продолжены исследования по мониторингу прибрежной зоны с применением видеофиксации и картирования подводных ландшафтов с точной геодезической привязкой профилей посредством применения водолазной техники и подводного обитаемого аппарата «мокрого» типа «Гаммарус». Мобильный видеокомплекс с рабочей глубиной до 20 м. спроектирован и запущен в эксплуатацию в 2017 г. На носителе установлены три видеокамеры (курсая, правый и левый борт) формата *Full HD* и система передачи данных на корабль сопровождения по сети Wi-Fi. Аппарат оборудован компасом, системой позиционирования и подводным компьютером с фиксацией глубины съёмки и температуры воды. Управляется водолазом-исследователем, имеющим связь с судном сопровождения.

В ходе проведения экспедиционных работ оценивалось состояние шельфовой зоны Западного побережья оз. Байкал. Были отобраны гидробиологические пробы и произведена подводная видеосъёмка литорали до глубин 8–10 м.

В результате выполненных работ получены результаты, отражающие элементы функционирования экосистемы оз. Байкал. Многие данные получены впервые, некоторые отражают изменение среды и климата в настоящее время.

Продолжение комплексного изучения Ладожского озера в 2020 году НИС «Эколог»

С.Г. Каретников

*Институт озероведения Российской академии наук,
Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург, Россия*

Полевые работы выполнялись по трем разделам темы № 154-2019-0001 «Комплексная оценка динамики экосистем Ладожского озера и водоемов его бассейна под воздействием природных и антропогенных факторов» и по теме № 154-2019-0003 «Разработка комплексных методов исследования и оценки характеристик твердых частиц в наномасштабном диапазоне размеров в водных объектах с различной степенью антропогенной нагрузки». В рамках задач, поставленных этими темами, проведено два комплексных и два специализированных тематических рейса общей продолжительностью 45 судосудок, общее число участников 31.

Полученные во время комплексных рейсов материалы позволили оценить изменения гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических показателей в ряду многолетних наблюдений Ладожского озера.

Один тематический рейс продолжал начатые в 2019 г. системные наблюдения, включающие отбор проб донного грунта для определения гранулометрического состава донных отложений, фотовидеосъемку подводным аппаратом различных ландшафтов Ладожского озера и отбор проб придонной воды на изотопный анализ, позволяющий оценить зоны разгрузки грунтовых вод рифейских пород.

Второй тематический рейс был направлен на экспериментальные исследования изменения удельной плотности донных отложений в различных частях Ладожского озера, определения частиц наноразмера и микропластика в воде и донных отложениях.

Результаты экспедиционных исследований в 2020 году на Онежском озере и Выгозерском водохранилище с целью изучения отклика крупных водоемов на антропогенное воздействие и изменение климата

Н.М. Калинкина, Е.В. Теканова, Н.А. Белкина, Л.Е. Назарова, Е.М. Макарова,
Т.В. Ефремова, А.П. Георгиев, Р.Э. Здорвеннов, М.С. Потахин, А.В. Рябкин*

*Институт водных проблем Севера, Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия
e-mail: cerioda@mail.ru

Актуальность исследований современного состояния Онежского озера, второго по величине водоема в Европе, и Выгозерского водохранилища, важнейшей части Беломорско-Балтийского водного пути, связана с потеплением климата [1–3], в условиях которого усиливается влияние водосборной территории [4], изменяются гидрохимический, гидробиологический режимы и седиментационные процессы в этих водоемах [5–7].

В зимний период 2019–2020 гг. на водосборной территории Онежского озера климатические изменения проявились наиболее ярко. В период с января по март 2020 г. средние месячные значения температуры воздуха на метеостанции г. Петрозаводска увеличились на 5–8 °С по сравнению с климатическими нормами. В условиях аномально теплой зимы 2020 г. в центральной части Онежского озера, на глубоководном плесе, впервые за 70 лет регулярных наблюдений не установился ледовый покров. Лишь северные заливы озера были покрыты льдом. В связи с ранним сходом льда в заливах, весьма актуальным стало исследование температурного режима и состояния биоты в весенний и летний периоды 2020 г.

На фоне потепления климата Онежское озеро испытывает воздействие новых антропогенных факторов. В настоящее время в Кондопожской губе Онежского озера функционируют форелевые хозяйства, где выращивается около 4000 т форели в год [8], в связи с чем одной из важных задач экспедиционных исследований в 2020 г. стала оценка состояния Кондопожской губы, испытывающей действие нового источника загрязнений.

Цель экспедиционных исследований в 2020 г. – изучение воздействия антропогенных факторов и климатических изменений на экосистемы Онежского озера и Выгозерского водохранилища.

В 2020 г. экспедиционные работы на Онежском озере и Выгозерском водохранилище проводились в рамках выполнения Госзаданий ИВПС КарНЦ РАН по темам «Эволюция озерно-речных систем севера России. Реакция озер на антропогенное воздействие, изменения климата в северном полушарии» (регистрационный номер АААА-А17-117040610312-0), «Закономерности формирования биопродуктивности разнотипных озер Северо-запада России в современных условиях» (регистрационный номер АААА-А18-118032290035-2) и «Пространственно-временная трансформация озерного седиментогенеза гумидной зоны. Поздне- и послеледниковое время» (регистрационный номер АААА-А18-118032290037-6).

Характеристика температурного режима Онежского озера в июне 2020 г.

В связи с прохождением фронта термического бара в более ранние сроки и установлением в июне 2020 г. теплой и маловетреной погоды, в период 12–20 июня отмечался необычно высокий прогрев воды в различных районах Онежского озера (рис. 1). Полученные в июне 2020 г. данные по вертикальному распределению температуры воды сравнивали с результатами предшествующих лет в близкие сроки наблюдений. По сравнению с июнем 2007 г., в июне 2020 г. в поверхностном слое Петрозаводской губы на станциях Р_2 и Р_3 (глубина около 30 м) температура воды была на 2.5–3 °С больше (см. рис. 1, А, Б).

Наиболее контрастное различие в температуре поверхностного слоя воды обнаружилось между данными за июнь 2020 г. и предыдущими годами исследований для станций в центральных глубоководных районах Онежского озера. На станции С_2 (глубина около 80 м) температура поверхностного слоя воды 14 июня 2020 г. была выше на 5.6 °С, чем 17 июня 2008 г.

(см. рис. 1, В). На станции В_1 (глубина 70 м), температура воды в поверхностном слое 19 июня 2020 г. была выше этого показателя 29 июня 1994 г. на 7.8 °С (см. рис. 1, Г).

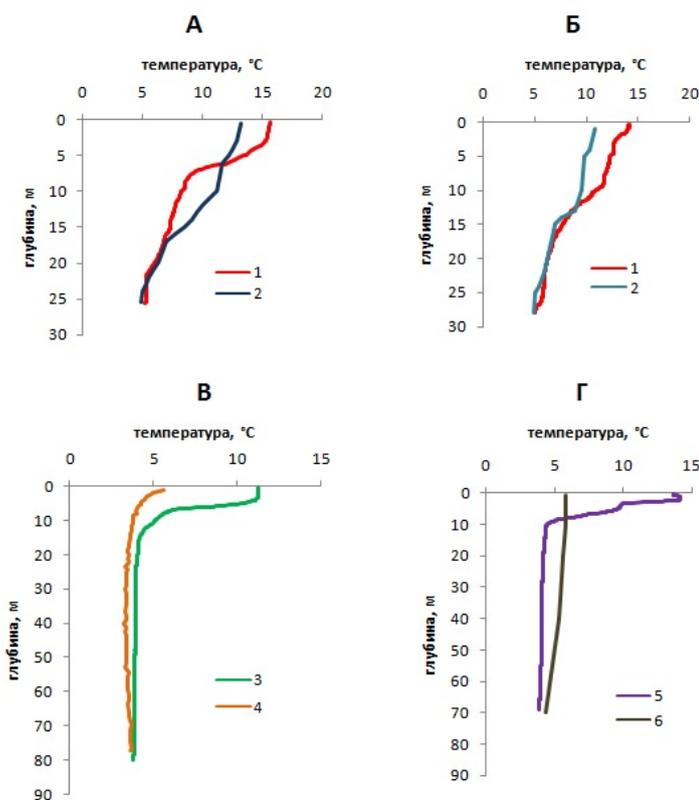


Рис. 1. Вертикальное распределение температуры воды в различных районах Онежского озера в разные периоды исследований

Петрозаводская губа Онежского озера: А – станция Р_2, Б – станция Р_3;

1 – 12 июня 2020 г.; 2 – 11 июня 2007 г.;

Глубоководный район Онежского озера: В – станция С_3, Г – станция В_1;

3 – 14 июня 2020 г.; 4 – 17 июня 2008 г.; 5 – 19 июня 2020 г.; 6 – 29 июня 1994 г.

На всей акватории озера Онежского озера в июне 2020 г. отмечалась устойчивая прямая термическая стратификация с явно выраженным эпилимнионом, слоем температурного скачка и гиполимнионом. Такие значения температуры характерны для первой декады июля.

Оценка состояния экосистемы Онежского озера в 2020 г. по концентрации хлорофилла *a* и количеству сапрофитных бактерий

Ранний прогрев воды в июне 2020 г. вызвал интенсивное развитие фитопланктона и необычно высокие показатели хлорофилла *a* во всех районах Онежского озера (рис. 2). Кратность различий между данными за июнь 2020 г. и результатами исследований в раннелетнюю фазу в 2001–2019 гг. достигала 2–4 раз (рис. 3). В Кондопожской губе Онежского озера в июне 2020 г. наблюдались наибольшие концентрации хлорофилла *a* (см. рис. 2, 3), по величине которых трофический статус губы характеризуется как α -эвтрофный. Причиной интенсивного развития фитопланктона в этом заливе стала не только более высокая, чем обычно, температура воды, но и характерное для этого залива повышенное содержание фосфора, источником которого являются сточные воды Кондопожского целлюлозно-бумажного комбината и построенные в начале 2000-х гг. форелевые фермы [8].

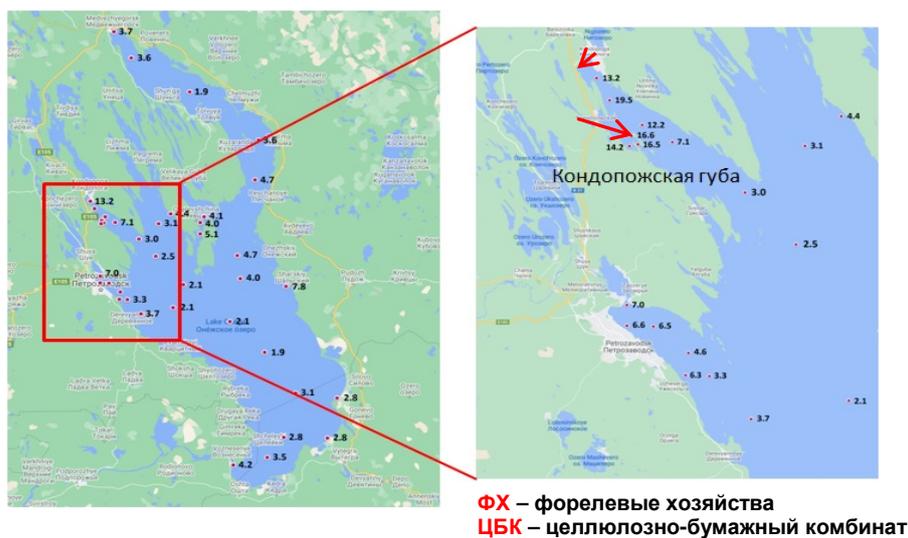


Рис. 2. Распределение концентрации хлорофилла *a* (мкг/л) в поверхностном слое воды в различных районах Онежского озера в июне 2020 г.

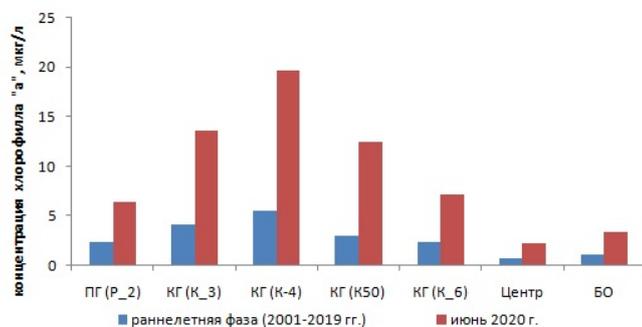


Рис 3. Медианные значения концентрации хлорофилла *a* (мкг/л) в поверхностном слое воды в раннелетнюю фазу в период 2001–2019 гг. и в июне 2020 г.: ПГ – Петрозаводская губа; КГ – Кондопожская губа; Центр – центральный район Онежского озера; БО – залив Большое Онего (в скобках указаны номера станций, координаты см. в табл. 1)

В период исследований 12–21 августа 2020 г. температура поверхностного слоя воды в Онежском озере на разных станциях была близка к обычным для этого сезона многолетним значениям, а концентрация хлорофилла *a* соответствовала среднемноголетним показателям в летнюю фазу. Однако в Кондопожской губе, наиболее загрязняемом районе Онежского озера, в августе 2020 г. концентрации хлорофилла *a* были достоверно выше значений этого показателя за 2001–2019 гг. В августе 2020 г. были выполнены микробиологические исследования, согласно которым максимальное количество сапрофитных бактерий (1430 КОЕ/мл) отмечалось в воде вершинной части Кондопожской губы, где находится выпуск сточных вод Кондопожского ЦБК и хозяйственных вод г. Кондопога. В остальных районах Онежского озера количество сапрофитных бактерий в водной толще было на 1–2 порядка меньше (30–500 КОЕ/мл).

Таким образом, экспедиционные исследования, проведенные в 2020 г., позволили выявить реакцию Онежского озера на условия аномально теплой зимы 2019–2020 гг. Отсутствие льда на основной акватории озера (впервые за 70 лет регулярных наблюдений) и более раннее освобождение ото льда заливов определило сдвиг сроков прохождения термобара и установления температурной стратификации воды на 15–20 сут раньше среднемноголетних дат. Необычно высокий прогрев поверхностного слоя воды в июне 2020 г. вызывал интенсивное развитие фитопланктона во всех районах озера. Наибольшей степенью загрязненности характеризуется Кондопожская губа Онежского озера, где были обнаружены максимальные концентрации хлорофилла *a* и сапрофитных бактерий, отражающие влияние на залив сточных вод целлюлозно-бумажного комбината и отходов форелевых хозяйств.

Исследование современного седиментационного режима Онежского озера и Выгозерского водохранилища

Целью экспедиционных исследований в 2020 г. по теме Госзадания «Пространственно-временная трансформация озерного седиментогенеза гумидной зоны. Поздне- и послеледниковое время» являлось изучение современного седиментационного режима двух крупнейших озер-водохранилищ Карелии – Онежского озера и Выгозерского водохранилища. В рамках темы была разработана уникальная программа исследований современного седиментационного режима Онежского озера. На основе анализа известной информации о разных источниках поступления вещества в Онежское озеро была сформирована сеть наблюдений (к которой относятся устья впадающих водотоков и исток из озера, береговые точечные антропогенные источники и районы сброса сточных вод на акватории водоема, аккумуляционные и склоновые участки дна озера, выбранные в соответствии с морфологическими особенностями котловины и т. д.), установлены седиментационные ловушки и начаты наблюдения за количественными и качественными показателями осадочного вещества.

Основные результаты работ: на 45 станциях (Петрозаводская губа, Кондопожская губа, Горская губа, Уницкая губа, Лижемская губа, залив Большое Онего, Повенецкий залив, Заонежский залив, Челмужская губа, Великая губа, Кижские шхеры, Малое Онего, Центральное Онего и Южное Онего) проведено измерение в воде давления, температуры, электропроводности, мутности, хлорофилла *a* (мультипараметрический зонд *CTD-90M*). Всего отобрано и отфильтровано в полевых условиях 44 пробы воды на содержание взвешенных веществ, 86 проб воды на химический анализ, 51 проба воды и донных отложений на содержание CH_4 , 22 пробы донных отложений на содержание нефтепродуктов, 86 проб донных отложений на изучение физических и химических характеристик. На 25 станциях проведен поиск и снятие (поставленных в 2019 г.) и установка новых седиментационных ловушек МСЛ-110 и УСЛ-100, с экспозицией 1 год. Проведен отбор 5 кернов донных отложений гравитационной трубкой ГОИН. Все отобранные образцы переданы в аналитические лаборатории ИВПС КарНЦ РАН, СПбГУ, ИГМ СО РАН для дальнейшего изучения физическими, химическими, минералогическими, микропалеонтологическими методами.

Проведение «прямых» наблюдений годового накопления взвешенного вещества в седиментационных ловушках потребовало дальнейшего усовершенствования ее конструкции, разработки уникальной методики установки и съема ловушек и проведения испытаний в условиях озера. Новые данные наблюдений за распределением взвешенного вещества в водной толще и скоростями накопления осадочного вещества в Онежском озере показывают неравномерный характер распределения и разную скорость в зависимости от района озера. Изучение количественного и качественного состава взвесей из осадкоуловителей и поверхностных проб донных отложений в дальнейшем позволило доказать важную роль биогеохимических процессов в поступлении металлов в донные отложения.

Целью работ на Выгозерском водохранилище в 2020 г. являлось продолжение наблюдений за процессом накопления осадочного вещества. На 5 станциях проведено измерение в воде давления, температуры, электропроводности, мутности, хлорофилла *a*. Всего отобрано и отфильтровано в полевых условиях 5 проб воды на содержание взвешенных веществ и химический состав, 23 пробы воды и донных отложений на содержание CH_4 . На трех станциях проведена переустановка МСЛ-110 и УСЛ 100, с экспозицией 1 год. Проведена рекогносцировочная съемка глубин и отбор проб воды и донных отложений озера без названия ($63^{\circ}42.870'$; $34^{\circ}29.670'$) на острове Бараний в акватории Выгозерского водохранилища, которое может стать опорным разрезом для реконструкции развития озер на этой территории.

Основные результаты работ: изучение распределения взвешенного вещества в водной массе Выгозерского водохранилища выявило «мутьевые» потоки в южной части, что указывает на активные абразионные процессы и изменение морфологии котловины водохранилища. Изучение процессов метанообразования в донных отложениях Выгозерского водохранилища, которое было проведено впервые, выявило различия в процессе разложения органического вещества осадков в разных районах озера.

Организация экспедиционных исследований в 2020 г. с использованием НИС «Эколог»

Экспедиции для изучения температурного, гидрохимического и гидробиологического режимов Онежского озера были организованы 12–20 июня и 12–21 августа 2020 г. Исследования проводились на 38 станциях в основных районах Онежского озера (Петрозаводская, Кондопожская губы, центральная часть, залив Большое Онего, Повенецкий залив, Малое Онего, Заонежский залив, Кижские шхеры, Южное Онего и др.) (табл. 1).

Таблица 1. Координаты станций отбора проб в Онежском озере в июне и августе 2020 г.

Район озера	Станция	Координаты	Июнь	Август
Устье р. Андома	AN	N61 17.66, E36 23.393	+	+
Большое Онего	B_1	N62 04.186 E34 51.604	+	+
	B_2	N61 55.609 E34 50.076	+	+
	BF1	N62 06.759 E34 57.726	+	-
Центральное Онего	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 30.0 E35 46.083	+	+
	C_5	N61 49.666 E35 33.583	+	+
Кондопожская губа	K_3	N62 10.078 E34 16.443	+	+
	K_4	N62 08.149 E34 18.638	+	+
	K_6	N62 04.519 E34 29.223	+	+
	K_7	N62 00.146 E34 41.477	+	+
	K50	N62 06.008 E34 24.133	+	+
	KF1	N62 05.050 E 34 22.298	+	+
	KF2	N62 04.333 E 34 23.417	+	+
	KF4	N62 04.177 E 34 21.978	+	+
Малое Онего	L_2	N61 55.8 E35 32.0	+	+
Заонежский залив	N_1	N62 26.044 E35 42.968	+	+
	N_3	N62 15.674, E35 41.206	+	+
Петрозаводская губа	P_1	N 61 50.32 E34 21.55	+	+
	P_2	N61 48.447 E34 26.018	+	+
	P_3	N61 46.128 E34 31.917	+	+
	P_4	N61 44.091 E34 35.470	+	+
	P_5	N61 48.518 E34 21.538	+	+
	P_7	N61 44.172 E34 31.424	+	+
Петрозаводское Онего	PO2	N61 40.316 E34 42.496	+	+
Южное Онего	S_1	N61 18.991 E36 02.083	+	+
	S_3	N61 7.033 E35 56.05	+	-
	S_4	N61 01.598 E35 47.435	+	+
	S_5	N60 59.5 E35 30.0	+	+
Устье р. Водла	VD	N61 47.584 E35 57.102	+	+
Устье р. Вытегра	VT	N61 6.837 E36 18.427	+	-
Повенецкий залив	W_2	N62 47.328 E34 37.454	+	+
	W_5	N62 38.564 E35 07.554	+	+
	W25	N62 54.059 E34 28.612	+	+
Кижские шхеры	Z_2	N62 4.51 E35 13.021	+	+
	Z_3	N62 6.0 E35 15.0	+	+
	Z_4	N62 1.506 E35 12.989	+	+

В ходе экспедиций были измерены температурные профили с использованием зонда *Cast-Away* и зонда *CTD-90M*, прозрачность воды с помощью белого диска Секки, проведены гидрохимические и гидробиологические исследования. На химический анализ в июне 2020 г. было отобрано 70 проб воды, в августе 2020 г. было отобрано 68 проб воды. В образцах воды определяли следующие физико-химические показатели: цветность воды, pH, CO₂; O₂; БПК₅; взвешенные вещество, содержание NH₄⁺; NO₂⁻; NO₃⁻; N_{общ}; перманганатная окисляемость,

минеральный и общий фосфор; кремний, электропроводность. Гидробиологические работы в июне 2020 г. включали отбор проб фитопланктона (200 проб), зоопланктона (10 проб), зообентоса (20 проб), исследование продукции и деструкции органического вещества (10 проб), содержание хлорофилла *a* было определено в 205 пробах воды. В августе 2020 г. были отобраны следующие гидробиологические пробы: фитопланктон (110 проб), зообентос (14 проб), исследование продукции и деструкции органического вещества (35 проб), определение количества сапрофитных бактерий (10 проб), содержание хлорофилла *a* было определено в 166 пробах воды.

Для изучения седиментационного режима экспедиционные исследования и отбор проб воды, взвешенного вещества и донных отложений на Онежском озере проводились в периоды с 3 по 9 июня, с 28 августа по 8 сентября и с 9 по 11 декабря 2020 г. с использованием НИС «Эколог» в рамках Госзадания ИВПС КарНЦ РАН, а также совместных исследований ИВПС КарНЦ РАН, СПбГУ, ИГМ СО РАН, РГПУ с привлечением средств научных проектов РФ № 18–17–00176 «Палеолимнология Онежского озера: строение, процессы накопления и трансформации донных отложений. От приледникового озера до современных условий» (руководитель д.г.н. Д.А. Субетто) и РФФИ № 19-05-50014 Микромир «Особенности распределения и состава микрочастиц в экосистеме Онежского озера и оценка их роли в накоплении поллютантов в процессе формирования донных отложений» (рук. д.г.-м.н. В.Д. Страховенко).

Схемы станций наблюдения в 2020 г. представлены на рис. 4 и 5. Техническое оснащение экспедиции представлено в табл. 2.

Таблица 2. Техническое оснащение экспедиции на Онежском озере в 2020 г.

№ п/п	Оборудование	Назначение
Транспорт		
1	НИС «Эколог»	
Навигация и зондирование		
2	Навигатор «Garmin 64st»	Определение географических координат
3	Картплоттер «Garmin echo MAP 50»	Определение географических координат и глубин
4	Мультипараметрический зонд «CTD-90MSea&SunTechnology»	Измерение в воде давления, температуры, электропроводности, мутности, хлорофилла <i>a</i>
Отбор проб воды, взвешенного вещества и донных отложений		
6	Батометр «Limnos»	Отбор проб воды
7	Батометр Рутнера	Отбор проб воды
8	Стратометр «Limnos»	Отбор проб донных отложений
9	Трубка ГОИНа	Отбор проб донных отложений
10	Модифицированная гравитационная трубка Алексона	Отбор проб на содержание метана
15	Седиментационная ловушка МСЛ-110	Отбор проб взвешенного вещества, поступающего в донные отложения
	Седиментационная ловушка УСЛ-100	Отбор проб взвешенного вещества, поступающего в донные отложения
Аналитическое лабораторное оборудование		
16	Спектрофотометр КФКЗ	Фотометрическое определение
17	Вакуумный насос	Фильтрация
18	Иономер Аквилон 410	Определение pH
19	Иономер Анион 7000	Определение Eh

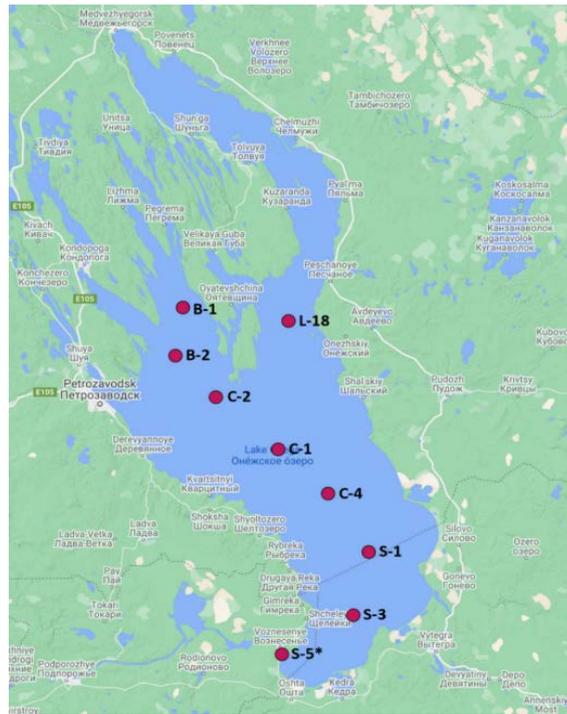


Рис. 4. Станции наблюдения на Онежском озере 3 – 9 июня 2020 г.

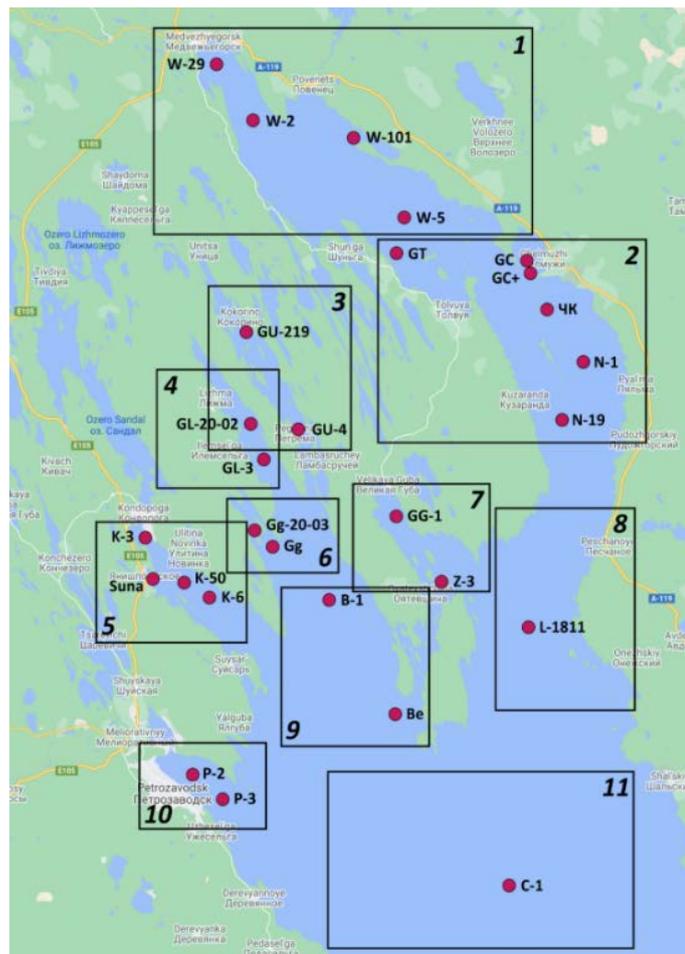


Рис. 5. Станции наблюдения на Онежском озере 28 августа – 8 сентября 2020 г.

Экспедиционные работы на Выгозерском водохранилище выполнялись с 24 по 27 августа 2020 г. с использованием НИС «Эколог». Схема станций наблюдения представлена на рис. 6.

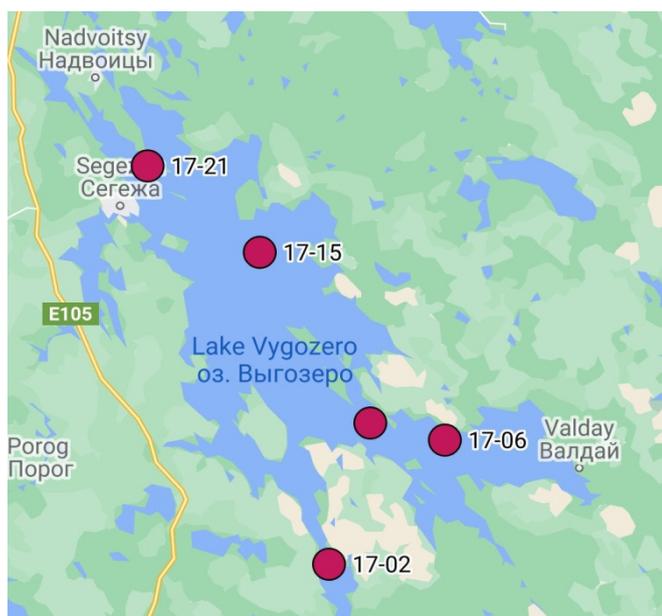


Рис. 6. Станции наблюдения на Выгозерском водохранилище в августе 2020 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филатов Н.Н., Георгиев А.П., Ефремова Т.В., Назарова Л.Е., Пальшин Н.И., Руховец Л.А., Толстикова А.В., Шаров А.Н. Реакция озер Восточной Фенноскандии и Восточной Антарктиды на изменения климата // Доклады Академии наук. 2012. Т. 444. № 5. С.554– 557.
2. Филатов Н. Н., Руховец Л. А., Назарова Л. Е., Георгиев А. П., Ефремова Т. В., Пальшин Н. И. Влияние изменений климата на экосистемы озер севера Европейской территории России // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического института. СПб: РГГМУ, 2014. № 34. С.49–55.
3. Назарова Л.Е. Современные климатические условия водосбора Белого моря // Известия Русского географического общества. 2017. Т. 149. Вып. 5. С.16– 24.
4. Kalinkina N., Tekanova E., Korosov A., Zobkov M., Ryzhakov A. What is the extent of water brownification in Lake Onego, Russia? // Journal of Great Lakes Research. 2020. V. 46. P. 850–861.
5. Калинкина Н.М., Белкина Н.А. Динамика состояния бентосных сообществ и химического состава донных отложений Онежского озера в условиях действия антропогенных и природных факторов // Принципы экологии. 2018. № 2. С. 56–74.
6. Белкина Н.А. Ретроспективная оценка состояния донных отложений Выгозерского водохранилища // Водные ресурсы. 2014. Т. 41. № 3. С. 270–279.
7. Белкина Н.А., Субетто Д.А., Ефременко Н.А., Кулик Н.В. Особенности распределения микроэлементов в поверхностном слое донных отложений Онежского озера // Наука и образование. 2016. № 3. С.135-139.
8. Теканова Е.В., Рыжиков А.В., Калинкина Н.М., Дмитриева Д.А., Фомина Ю.Ю., Е.М. Макарова. Состояние Кондопожской губы Онежского озера в условиях многофакторного воздействия // Озера Евразии: проблемы и пути решения. Материалы второй международной конференции (19–24 мая 2019 г.). Казань: Издательство Академии наук РТ, 2019. Ч. 1. С. 190–194.

Оценка состояния популяций сиговых рыб Онежского озера

Н.В. Ильмаст

Институт биологии КарНЦ РАН, Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

Проведены экспедиционные работы по сбору материала по сиговым рыбам Онежского озера на НИС «Эколог» и «Посейдон». В задачи работ входило комплексное изучение морфологического и генетического разнообразия, биологической изменчивости различных форм/подвидов сига и ряпушки, а также ревизия сохранившихся форм/подвидов сигов, ранее исследованных И. Ф. Правдиным (1954). Ихтиологический материал был собран в Повенецком заливе Онежского озера в октябре – ноябре 2020 г. Отлов рыб осуществлялся ставными сетями. Время экспозиции составляло от 12 до 48 ч в зависимости от погодных условий. Всего было выловлено 300 экз. сигов и ряпушки. Обработку ихтиологических проб проводили по общепринятым методикам. Для генетического анализа были использованы образцы заспиртованной печени и мышц различных форм сигов.

Анализ результатов выполненных работ, а также рыбопромысловой статистики по Онежскому озеру показал, что видовой состав уловов представлен 10–12 видами рыб. При этом уловы на протяжении длительного времени базируются на добыче короткоцикловых раносозревающих видов, для которых характерны высокие колебания численности и биомассы, таких как ряпушка и корюшка. В тоже время наблюдается устойчивая тенденция к снижению сырьевой базы лососевых рыб, сига, судака. В целом изменения в ресурсной базе рыб Онежского озера коснулись в большей степени не абсолютных общих величин запаса, а структуры рыбной части сообщества, что ведет к снижению соотношения отдельных видов в промысле. В ресурсном плане недоиспользуются запасы карповых и окуневых видов рыб.

Результаты исследований также показывают, что значительная часть ранее обитавших в Онежском озере форм сигов в настоящее время в водоеме не обнаруживается. Таким образом, изменение среды обитания в пресноводных экосистемах под воздействием различных форм хозяйственной деятельности обуславливает адекватные изменения в их видовом разнообразии и численности. Неблагоприятные тенденции в динамике пресноводной ихтиофауны Карелии выражаются в снижении доли сиговых и лососевых рыб и замещение их малоценными видами.

Комплексные гидроэкологические исследования в бассейне реки Оби и Телецкого озера в 2020 году

*А.В. Пузанов, Д.М. Безматерных, Н.И. Ермолаева, А.В. Дьяченко, А.В. Котовицков,
Т.А. Рождественская, С.Н. Балыкин*

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

Бассейн р. Оби. В соответствии с планом экспедиционных исследований на научно-исследовательских судах в 2020 г. ИВЭП СО РАН продолжены комплексные экспедиционные водно-экологические исследования в бассейне р. Оби на участке Новосибирского водохранилища с использованием научного флота.

Цель экспедиции – сбор данных для анализа гидрологической, гидрохимической и биогеохимической обстановки р. Оби, включая Новосибирское водохранилище, выявление участков водохранилища с повышенной экологической напряженностью, оценка воздействия крупных притоков на качество воды; сбор взаимосогласованных натуральных данных о современных морфометрических и гидравлических характеристиках Новосибирского водохранилища на отдельных характерных и важных в практическом отношении участках, необходимых для калибровки и верификации разрабатываемых компьютерных моделей течений, а также для построения цифровых моделей экосистемы водного объекта. Основные задачи: исследование акватории Новосибирского водохранилища для получения морфометрических и гидравлических характеристик с целью решения задач водопользования и охраны водных ресурсов, включая прогнозирование экстремальных гидрологических событий (распространения волн паводков и половодий), выявление участков с повышенной экологической напряженностью; изучение формирования и динамики экосистем, факторов неоднородности пространственного распределения состава, структуры и функциональных характеристик биоценозов Новосибирского водохранилища.

Работа выполнена в рамках проектов государственного задания ИВЭП СО РАН, проекты: № 0383-2019-0001 «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» (научный руководитель к.б.н. В.В. Кириллов); № 0383-2019-0003 «Изучение гидрологических и гидрофизических процессов в водных объектах и на водосборах Сибири и их математическое моделирование для стратегии водопользования и охраны водных ресурсов» (научный руководитель д.т.н. А.Т. Зиновьев). В экспедициях также принимали участие аспиранты ИВЭП СО РАН, студенты вузов.

В 2020 г. было выполнено три основных экспедиционных выезда: на спаде весенне-летнего половодья, в летнюю и осеннюю межени. Экспедиции проведены на теплоходе «199» (проект Т-63 М «Ярославец»). Собран массив актуальных и взаимосогласованных гидрологических, гидрохимических и гидробиологических характеристик на различных участках Новосибирского водохранилища. Выявлены участки экологического неблагополучия. Все поставленные цели и задачи, с учетом коррекции планов в связи с пандемией *COVID-19*, выполнены в полном объеме.

Целесообразно продолжить экспедиционные исследования по этой тематике в следующем году. По возможности организовать исследования на участке от г. Камень-на-Оби до г. Салехард.

Оз. Телецкое. В соответствии с планом экспедиционных исследований на научно-исследовательских судах в 2020 г. ИВЭП СО РАН продолжены комплексные экспедиционные водно-экологические исследования в бассейне Телецкого озера с использованием научного флота.

Цель экспедиции – выполнить сбор натуральных данных по уровенному режиму, гидрофизическим, гидрохимическим, биогеохимическим и гидробиологическим характеристикам Телецкого озера. Задачи: изучение основных характеристик озера и связанных с ним рек: температура, электропроводность, мутность воды, содержание растворенного кислорода, содержание хлорофилла *a*, проникновение фотосинтетически активной радиации (ФАР) на различных участках и разных горизонтах озера; эколого-биогеохимическая оценка экосистем

водосбора озера и их влияния на качество поверхностных вод, мониторинг качества воды притоков озера.

Работа выполнена в рамках проектов государственного задания ИВЭП СО РАН, проекты: № 0383-2019-0001 «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» (научный руководитель к.б.н. В.В. Кириллов); № 0383-2019-0003 «Изучение гидрологических и гидрофизических процессов в водных объектах и на водосборах Сибири и их математическое моделирование для стратегии водопользования и охраны водных ресурсов» (научный руководитель д.т.н. А.Т. Зиновьев); № 0383-2019-0005 «Биогеохимические особенности наземных экосистем в бассейнах рек Сибири и их влияние на качество природных вод», научные руководители д.б.н. А.В. Пузанов, д.г.н. Ю.И. Винокуров.

В 2020 г. на озере были проведены 7 экспедиционных выездов. Экспедиции проведены на научно-исследовательском судне «№ 209 (Наука-5)». Собран массив актуальных и взаимосогласованных данных гидрофизических и гидрохимических характеристик озера: температура, электропроводность воды, содержания растворенного кислорода и других характеристик на различных участках и разных горизонтах Телецкого озера. Проведены сезонные наблюдения и отбор проб в нижнем течении главного притока Телецкого озера – р. Чулышман в июне, августе и октябре: изучены гидрохимические и гидробиологические компоненты геостока. Проведены сравнительные наблюдения за гидрохимическими и гидробиологическими параметрами речной системы выше и ниже Телецкого озера, включая пойменные и придаточные водоемы в разные фазы водного режима. Осуществлен отбор проб воды основных притоков оз. Телецкое в различные гидрологические периоды, а также оз. Айрыкель (бассейн р. Кокши). Заложено два почвенных профиля в бассейне оз. Айрыкель с подробным описанием их морфологического строения, отобраны образцы для определения содержания в них тяжелых металлов и радионуклидов. Все поставленные цели и задачи выполнены в полном объеме. Необходимо продолжить экспедиционные исследования по вышеуказанным научным тематикам в следующем году, в том числе для пополнения рядов натуральных данных.

Научное издание

**ИТОГИ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
В 2020 ГОДУ В МИРОВОМ ОКЕАНЕ
И ВНУТРЕННИХ ВОДАХ**

Ответственный редактор: *Т. В. Дабижва*

Компьютерная верстка: *О. В. Домнина*

Подписано к печати 15.09.2021. Формат 60×84/8.

ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН»

299011, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

Тел. +7 (8692) 54 52 41