**Министерство науки и высшего образования РФ
Институт океанологии им. П.П. Ширшова
Российской академии наук**

**Морские экспедиционные исследования
на судах Минобрнауки РФ в 2019 г.**

Ответственный редактор С.М. Шаповалов

Работа выполнена в рамках государственного задания №0149-2019-0016 «Электронный архив данных морских экспедиционных исследований» (Регистрационный номер темы: АААА-А18-118051690033-5) в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН Центром ЕСИМО НКОЦ РАН.

Автор-составитель А.Н.Ступникова, старший научный сотрудник НКОЦ ИО РАН

Аннотация

Сборник содержит краткую информацию о морских экспедициях, выполненных на научных судах организаций, подведомственных Министерству науки и высшего образования РФ в 2019 г. Информация представлена на основе предварительных отчетов начальников экспедиций. Включены цели и задачи экспедиций, показаны районы работ и расположение разрезов и станций, перечислено использовавшееся в экспедициях научное оборудование, приведены основные результаты экспедиций.

Ключевые слова: морские экспедиционные исследования, результаты океанологических исследований, ЕСИМО, OceanDB, CSR, CDI, Seadatanet, ФОДЭН

Abstract

The volume contains brief information on sea expeditions carried out in 2019 on research vessels operated by organizations subordinate to the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation. Information selected from preliminary reports from expedition leaders. The goals and objectives of the expeditions are included, the areas of work and the location of the sections and stations are shown, the scientific equipment used in the expeditions is listed, and the main results of the expeditions are given.

Keywords: marine expedition research, ocean research results, ESIMO, OceanDB, CSR, CDI, Seadatanet, FODEN

Морские экспедиционные исследования на судах Минобрнауки РФ в 2019 г. М.: ИО РАН, 2020. 186 с.

Marine expedition research on R/V of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation in 2019, Moscow: IO RAN, 2020, 186 p.

DOI: 10.29006/0149-2019-0016

Москва

Издательство: Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук (ИО РАН)

© ИО РАН, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	4
Морские экспедиционные исследования на НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 2019 году	7
Комплексные исследования в Северной Атлантике и Западной Арктике и прилегающих морях. 75-й рейс	8
Экосистемы морей сибирской Арктики – 2019: весенние процессы в Карском море. 76-й рейс	12
Морские научные исследования в субарктической Северной Атлантике. 77-й рейс	23
Изучение изменчивости параметров арктической системы «литосфера-гидросфера-атмосфера» в тихоокеанском секторе Арктики и Субарктики: физические, химические, геофизические и геологические аспекты. 78-й рейс	28
Ресурсные исследования криля и экосистемы Южного океана (Атлантический сектор Антарктики). 79-й рейс	34
Морские экспедиционные исследования на НИС «Академик Борис Петров» в 2019 году	38
Комплексное изучение природных комплексов российского сектора юго-восточной Балтики летом 2019 года. 45-й рейс	39
Морские экспедиционные исследования на НИС «Академик Николай Страхов» в 2019 году	42
Комплексное изучение российского сектора юго-восточной части Балтийского моря и Финского залива. 39-й рейс	43
Исследования пространственно-временной изменчивости гидрофизических полей южной части Баренцева моря. 40-й рейс	46
Морские научные исследования в Баренцевом и Карском морях. 41-й рейс	51
Комплексные исследования южной части Балтийского моря. 42-й рейс	54
Комплексные океанические исследования глубоководного прохода Дискавери (Северо-Восточная Атлантика). 43-й рейс	57
Комплексные океанические исследования в Канарской котловине и в районе контуринового дрейфа Кейн. 44-й рейс	60
Международная комплексная экспедиция в Центральной Атлантике. 45-й рейс	64
Комплексные исследования южной части Балтийского моря. 46-й рейс	69
Морские экспедиционные исследования на НИС «Академик Сергей Вавилов» в 2019 году	71
Исследования природных комплексов Балтийского моря с учетом влияния Атлантического океана. 49-й рейс	72
Морские экспедиционные исследования на НИС «Академик М.А. Лаврентьев» в 2019 году	75
Комплексные геолого-географические, газогеохимические и океанографические исследования в Японском море и Татарском проливе. 85-й рейс	76
Комплексные исследования экосистем океанических поднятий на примере гайотов и гор Императорского хребта (северная часть Тихого океана). 86-й рейс	79
Высокоразрешающие изменения среды и климата дальневосточных морей и субарктики Тихого океана в прошлом как основа для понимания и прогноза изменений среды региона в будущем. 87-й рейс	84

Комплексные геолого-географические, газогеохимические и океанографические исследования в территориальных водах Вьетнама Южно-Китайского моря. 88-й рейс	89
Морские экспедиционные исследования на НИС «Академик Опарин» в 2019 году	94
Экспедиция в Охотском море и северо-западной части Тихого океана. 56-й рейс	95
Оценка состояния и изменения окружающей среды в Японском море. 57-й рейс	99
Оценка состояния и изменения окружающей среды в Японском море. 58-й рейс	103
Морские экспедиционные исследования на НИС «Дальние Зеленцы» в 2019 году	106
Комплексная экспедиция в Баренцево море. 02-21.04	107
Комплексная экспедиция в Баренцево море. 18.06-07.07	111
Комплексная экспедиция в Баренцево море. 23.10-11.11, 20.11-27.11	114
Комплексная экспедиция в Баренцево и Гренландское моря. 12-19.11	120
Морские экспедиционные исследования на НИС «Профессор Водяницкий» в 2019 году	125
Морские научные исследования в Черном и Азовском морях. 106-й рейс	126
Морская экспедиция в Черное и Азовское моря в летний сезон 2019 года. 108-й рейс	134
Экспедиция в Черное и Азовское моря. 110-й рейс	143
Экспедиция в Черное и Азовское моря. 111-й рейс	152
Морские экспедиционные исследования на НИС «Денеб» в 2019 году	159
Комплексные экосистемные исследования Азовского и Черного морей. 14.02-21.10	160
Морские экспедиционные исследования на МНИС «Ашамба» в 2019 году	163
Комплексная прибрежно-морская научная экспедиция «Черное море-2019»	164
Морские экспедиционные исследования на НИС «Владимир Касьянов» в 2019 году	173
Исследование распределения эпифауны в заливе Петра Великого	174
Морские экспедиционные исследования на НИС «Профессор Панов» в 2019 году	177
Комплексные экосистемные исследования Таганрогского залива Азовского моря и нижнего Дона (6 апреля -14 ноября 2019 г.)	178
Заключение	181
Литература	182

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий сборник содержит материалы, представленные в кратких отчетах по морским экспедициям, выполненным в 2019 г. на научно-исследовательских судах Министерства науки и высшего образования РФ и находящихся в оперативном управлении организаций, подведомственных Министерству.

Экспедиции проводились в соответствии с графиком загрузки научно-исследовательских судов неограниченного района плавания организаций, подведомственных Минобрнауки России на 2019 год, утвержденного рабочей группой по формированию и утверждению сводного плана экспедиционных исследований научно-исследовательских судов организаций, подведомственных Минобрнауки России (протокол от 12 декабря 2019 г. №Пр-9-07). Указанный график приведен на рис.1.

В соответствии с установленной формой в отчетах приводится информация о целях и задачах каждой экспедиции, объеме выполненных работ, приводится карта с маршрутом экспедиции и положением станций, а также краткие полученные результаты. Каждый отчет сопровождается Формой описания данных экспедиционных наблюдений (ФОДЭН), разработанной в ВНИИГМИ-МЦД и предназначенной для уведомления центров данных и иных пользователей об экспедиции и проведенных в ней наблюдениях. Сведения из формы ФОДЭН переносятся в центральную базу метаданных (ЦБМД) Единой системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО) с использованием автоматизированного рабочего места (АРМ) удаленного доступа к ЦБМД (<http://data.oceaninfo.ru>). В настоящий сборник Формы описания данных экспедиционных наблюдений не включены.

Сборник подготовлен в рамках государственного задания №0149-2019-0016 «Электронный архив данных морских экспедиционных исследований» (*Регистрационный номер темы: АААА-А18-118051690033-5*) в ФГБУН Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Коллектив Центра ЕСИМО-НКОЦ-РАН благодарит начальников экспедиций, своевременно представивших отчеты в установленной форме.

Приложение № 3
к протоколу Рабочей группы № Пр-9-07 от " 12 " декабря 2019г.

Заместитель Министра науки и высшего
образования Российской Федерации
А.М. Мелведев

Вице-президент федерального
государственного бюджетного учреждения
«Российская академия наук»
А.В. Адрианов

График загрузки научно-исследовательских судов неограниченного
района плавания организаций, подведомственных Минобрнауки России
на 2019 год

НИС	Месяцы года												Сумма, сутки	Стоянка, сутки
	1,2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
АМК					35	37		40	47	61*		220	145	
				Лисицын, Грелл., Нора, Баренцево 27 мая-30 июня (Клн-Арх)	Флинт, Каспское море, 01 июля - 6 августа (Арх-Арх)	Гладышев, С. Атлантика, 7 августа - 15 сентября (Арх-Арх)				Морозов, 1 нояб - 31 декабр (Клн-Клн)				
АБП						10	Ульянова, Балтика, лето					10	355	
АНС				10	26	45		9		89				
			Ульянова, Балтика 11-20 мая	ИБРАЗ, Баренцево море, 26 мая-20 июня (Клн-Арх)	Никифоров, Каспское море, 21 июня-4 августа, (Арх-Клн)	Ульянова, Балтика 17-27 ав			Баширова, Ульянова, Иванова, Сколотнев Северо-Восточная и Центральная Атлантика 20 сен.-17 дек. Клн - Клн.			179	186	
АИ												0		
АСВ								10				10		
								Сивов, Балтийское море						
АМЛ				38		53		43	41			175	163	
			ТОИ, Валитов-Обкиров 17 апр - 24 мая, Японское, Охотское	ННЦМБ, Даглова,1 июня - 23 июля, ЮКТ	ТОИ, Карнаух 1 августа - 12 сентября, СЗТО	ТОИ, Шамиров 16 сен-26 окт, ЮКМ	Ремонт 27 суток							
АО					15		33		20	32		100	245	
			ТИБОХ, 23.06-07.07	ТИБОХ, Юрченко, 25.07-26.08		ТОИ, Сергеев 2-21.10, Японское, 20 с.	ТОИ Сергеев, 24.10-24.11, Японское море	Ремонт 20 суток						
пг												0		

Рис. 1. График загрузки научно-исследовательских судов неограниченного района плавания организаций, подведомственных Минобрнауки России на 2019 г..

Морские экспедиционные исследования на НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 2019 году

**КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ, ЗАПАДНОЙ
АРКТИКЕ И ПРИЛЕГАЮЩИХ МОРЯХ
(75-й рейс НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»
27 мая - 30 июня 2019 г.)**

По результатам отчета начальника экспедиции (Клювиткин А.А., 2020)

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук
117017 Москва, Нахимовский проспект, 36
esimo@ocean.ru*

75-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш» в Норвежском, Гренландском и Баренцевом морях проведен согласно плану-программе экспедиционных исследований на научно-исследовательских судах России на 2019 г. Экспедиция проведена в рамках проекта «Современные и древние донные осадки и взвесь Мирового океана – геологическая летопись изменений среды и климата: рассеянное осадочное вещество и донные осадки морей России, Атлантического, Тихого, и Северного Ледовитого океанов – литологические, геохимические и микропалеонтологические исследования; изучение загрязнений, палеообстановок и процессов в маргинальных фильтрах рек».

Цель экспедиции

Сопряженные седименто-биогеохимические и геологические исследования системы, включающей рассеянное осадочное вещество приводного слоя атмосферы и водной толщи – верхний слой осадка – подстилающую толщу донных отложений; количественная оценка процессов и потоков в этой системе, что является качественно новым этапом в исследовании среды и климата Арктики.

Получение новых данных о пространственном распределении и вертикальной структуре рассеянного осадочного вещества Норвежского, Гренландского и Баренцева морей; анализ межгодовой изменчивости в зависимости от океанологических и гидрометеорологических условий.

Оценка степени загрязнения экосистемы морей антропогенными углеводородами по данным изучения органических соединений состава донных осадков.

Задачи экспедиции

1. Изучение концентрации и состава аэрозолей, включая сажевый углерод;
2. Изучение рассеянного осадочного вещества в водной толще;
3. Оценка вертикальных потоков вещества с помощью седиментационных ловушек и изучение состава частиц, составляющих этот поток;
4. Изучение подстилающей толщи донных отложений: микропалеонтологические, геохимические, биогеохимические, петрографические, геохронологические исследования;
5. Изучение степени влияния гидротермальных полей хребта Мона на условия и процессы седименто- и рудогенеза;
6. Изучение пирокластики (четвертичной и современной) в донных осадках и отложениях Норвежско-Гренландского бассейна;
7. Изучение петрографии грубообломочного материала для оценки влияния ледового разноса и роли криосферы в общей седиментационной системе Западной Арктики;
8. Петрографические и литохимические исследования на хребте Мона: Fe-Mn корки, сульфиды, баритовые рудные “столбы” и др. как показатели особых физико-химических условий седиментации, а также базальтовые брекчии, милониты;

9. Изучение строения верхней осадочной толщи с помощью акустического профилирования;

10. Изучение высачивания природных и поступления антропогенных углеводородов, выявление природных и техногенных геохимических аномалий в донных отложениях, исследование процессов трансформации нефтяных углеводородов, состава микробных сообществ донных осадков и поиск углеводородоокисляющих микроорганизмов.

Район работ

Район исследований охватывал активные срединно-океанические хребты Мона и Книповича, отмерший хребет Эгир, глубоководные котловины Норвежского и Гренландского морей, континентальный склон архипелага Шпицберген, желоба-троги западной континентальной окраины Баренцева моря и его южный шельф (рис. 2).

- Погружаемый анализатор объемной концентрации взвеси и размера частиц Sequoia Scientific LISST-Deep;
- Дночерпатели "Океан-50" (площадь захвата 0.25 м²);
- Мультикорер (МК) Mini Muc K/MT 410;
- Гравитационный геологический пробоотборник ударная геологическая трубка большого диаметра (ТБД);
- Планктонная сеть Джеди;
- Одностаканные цилиндрические седиментационные ловушки МСЛ- 110 (14 шт.) для изучения вертикальных потоков осадочного вещества;
- Многостаканная седиментационная ловушка Лотос-3 для дискретного изучения вертикальных потоков осадочного вещества (2 шт.);
- Автоматические глубоководные седиментационные обсерватории (АГОС), оборудованные размыкателем троса Oceano 2500 light, седиментационными ловушками Лотос-3, МСЛ-110, гидрологическим зондом "SBE 37", профилографами температуры и давления RBRduet, а также доплеровскими измерителями течений Nortek Aquadopp;
- Лабораторный флуориметр Turner Trilogy Fluorometr mod. 7200-000;
- Лабораторный анализатор концентрации и размеров частиц Multisizer 3 (счетчик Коултера), Beckman Coulter Inc. (США);
- Лабораторная установка для фильтрации под вакуумом (2 шт.): воронки поликарбонатные Sartorius (Германия) (6 шт.), держатели для дисковых фильтров из поликарбоната PALL (США) (6 шт.), вакуумные диафрагменные насосы KNF Neuberger N022AN.18 с клапаном точной регулировки и манометром вакуума KNF Neuberger 000350 (3 шт.), ресиверы для создания вакуума и сбора фильтрата (3 шт.), распределители для параллельной фильтрации на 6-и воронках (3 шт.), вакуумные и силиконовые шланги, фильтры мембранные и стекловолоконные;
- Лабораторная центрифуга ЦЛн-16 с ротором 6х50, Поликом (Россия);
- Набор сит с разным размером ячеей для разделения осадка по фракциям;
- Аэрозольный пробоотборник (насос).

Объем выполненных работ

Район исследований охватывал различные морфологические и структурные области Северной Атлантики: активные срединно-океанические хребты Мона и Книпович, отмерший хребет Аегис, глубоководные котловины Норвежского и Гренландского морей, континентальный склон архипелага Шпицберген, желоба трог на континентальной окраине Баренцева моря. Для этих структур были составлены как генеральные, так и локальные батиметрические профили, а для участков детальных исследований в пределах гидротермальных полей подготовлены батиметрические карты. Выполнен ряд разрезов по гидрологическим параметрам субширотного и субмеридионального простираения.

Выполнен отбор донных осадков и проб воды в местах выходов метансодержащих растворов и газовых струй из осадочных толщ (холодные метановые сипы) на бровке шельфа вдоль западного побережья арх. Шпицберген, а также в желобе Стурфьорд и на северной периферии Медвежинского желоба. Отбор проб донных осадков дночерпателем, мультикорером и ТБД выполнен на 80 станциях. Отобраны пробы на литологические, геохимические и экологические исследования.

За время экспедиции в Норвежском море были поставлены и подняты три АГОС, в составе которых для изучения вертикальных потоков вещества задействованы четыре 12- стаканые седиментационные ловушки Лотос-3 и 38 интегральных МСЛ-110.

Исследовано обширное гидротермальное поле Локи Касл на севере хребта Мона (глубина 2400 м). Также отобраны пробы воды, взвеси, металлоносные донные осадки, образцы гидротермальных построек.

Основные результаты экспедиции

Получены новые данные для различных морфологических и структурных областей Северной Атлантики, которые после дальнейшей обработки и интерпретации, будут использованы при изучении тектонического строения и гидротермальной активности данного региона. Изучены активные срединно-океанические хребты Мона и Книпович, отмерший хребет Аегис, глубоководные котловины Норвежского и Гренландского морей, континентальный склон архипелага Шпицберген, желоба трог на континентальной окраине Баренцева моря.

Выполнен ряд разрезов по гидрологическим параметрам субширотного и субмеридионального простирания, что позволит оценить сезонный перенос атлантических вод в арктический бассейн, выявить положение и влияние Полярного фронта на структуру вод, планктонное сообщество и, соответственно, на особенности формирования водной взвеси в исследуемое время года. В гидрофизической структуре вод отмечается режим, характерный для весенне-летнего сезона. Наиболее высокие концентрации взвеси визуально установлены в верхнем перемешанном слое, в придонном нефелоидном слое. В поверхностных водах наибольшие концентрации взвеси зафиксированы в акваториях, прилегающих к кромке льда, в зоне действия Полярного фронта, а также в относительной близости берега.

Успешно выполнены работы на четырех гидротермальных полях, расположенных в пределах разломной зоны Ян-Майен (650 м глубина моря) в южной части хребта Мона – заполярного участка Срединно-Атлантического хребта (САХ). У дна выявлены аномалии температуры, плотности, концентрации кислорода, растворенного метана, углекислого газа, взвеси и других параметров. Отобраны пробы воды, взвеси, гидротермально измененные пески, образцы гидротермальных построек, железистые конкреции в районе диффузных потоков, а также марганцевые корки, образующие сплошные покровы гидроксидов марганца и железа на вулканических поднятиях.

Впервые проводится сравнение гидротермальной минерализации полей низкосрединного хребта Мона (71°15'–73°30' с.ш.) и ранее изученных полей САХ на отрезке 14°45'–37°30' с.ш. Подтверждается влияние глубины океана и РТ-условий на формирование гидротермальных пород. Впервые получены данные о потоках рассеянного осадочного вещества на гидротермальных полях юга хребта Мона.

В желобе Квейтола к северо-западу от о. Медвежий отобрана колонка донных осадков длиной 7,05 м. Вскрыта толща донных осадков дрифта Квейтола, насыщенных органическим веществом (присутствовал запах сероводорода) с включениями целых раковин двустворчатых моллюсков (перспективных для установления абсолютного возраста осадков радиоуглеродным методом) и их фрагментов. Колонка представляет интерес для исследования климатических колебаний, миграций Полярного фронта и палеопродуктивности изученной акватории Арктики за последние ~7 тыс. лет.

**ЭКОСИСТЕМЫ МОРЕЙ СИБИРСКОЙ АРКТИКИ – 2019: ВЕСЕННИЕ
ПРОЦЕССЫ В КАРСКОМ МОРЕ
(76-й рейс НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»
03 июля - 05 августа 2019 г.)**

По результатам отчета начальника экспедиции (Флинт М.В., 2020)

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук
117017 Москва, Нахимовский проспект, 36
esimo@ocean.ru*

Экспедиция организована Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук для выполнения комплексных океанологических исследований в акваториях Карского моря. Экспедиция выполнена в рамках многолетней научной программы комплексных морских исследований «Экосистемы морей Сибирской Арктики».

Цель экспедиции – выполнение комплексных океанологических исследований в акватории Карского моря и эстуарии реки Обь.

Задачи экспедиции

- Оценка состояния морской среды, структуры, продуктивности и функциональных параметров экосистемы Карского бассейна в период схода сезонного льда и максимального воздействия на бассейн крупнейшего в Арктике речного стока Оби и Енисея для понимания механизмов функционирования морских природных комплексов Сибирской эпиконтинентальной Арктики и их отклика на современные климатические тренды;
- Оценка физических, химических и биологических процессов в эстуарии крупнейшей Сибирской реки – Оби в период интенсивного сезонного стока;
- Оценка процессов формирования эстуарной фронтальной зоны и ассоциированных с ней физических, химических и биологических явлений и процессов;
- Оценка физических, химических и биологических процессов в прикромочной области сезонного льда и их роли в сезонном цикле функционировании экосистем арктического шельфа;
- Изучение процессов развития биологических инвазий в разных районах Карского бассейна и их влияния на нативные донные экосистемы;
- Оценка роли заливов восточного шельфа Новой Земли как биотопов для развития инвазий и наращивания численности инвазивных видов;
- Оценка физических, химических и биологических процессов в локальных экосистемах крупнейших заливов восточного берега Новой Земли, механизмов и уровня их воздействия на экосистему открытых районов Карского бассейна.
- Мониторинг и картирование объектов захоронения твердых радиоактивных отходов в Карском море (заливах восточного берега архипелага Новая Земля и Новоземельской впадине);
- Оценка состояния подводных объектов и возможных утечек радиоактивности; - исследования в соответствии с Программой первоочередных работ по теме: «Система ведения Реестра подводных потенциально опасных объектов Российской Федерации» (постановление Правительства Российской Федерации от 28 июня 2001 г., № 486);
- Оценка радиационного загрязнения донных осадков и прибрежных почв разных районов Карского моря и эстуария Оби в результате глобальных выпадений и антропогенных воздействий;

- Подготовка молодых специалистов-океанологов в области проведения полевых исследований по направлениям гидрофизика, гидрохимия, биоокеанология, геохимия, морское приборостроение, обработка полевых данных.

Район работ

Исследования проходили в следующих районах: от пролива Карские Ворота на юго-западе акватории до кромки Североземельского ледового массива на северо-востоке ($76^{\circ} 45,1'$ с.ш., $078^{\circ} 22,1'$ в.д.); от глубоководных районов желоба Святой Анны на севере ($76^{\circ} 56,9'$ с.ш., $070^{\circ} 22,3'$ в.д.) до внутренних районов Обского эстуария ($71^{\circ} 52,0'$ с.ш., $073^{\circ} 11,9'$ в.д.) и районов, прилежащих к западному берегу Ямала ($72^{\circ} 24,5'$ с.ш., $065^{\circ} 28,5'$ в.д.) на юге. Южная часть Новоземельской впадины ($72^{\circ} 22,0'$ с.ш., $057^{\circ} 52,7'$ в.д.), заливы восточного берега архипелага Новая Земля (рис. 3).

СХЕМА МАРШРУТА 76-го РЕЙСА НИС "АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ"
В КАРСКОЕ МОРЕ (01 июля - 06 августа 2019 г.)

Рис. 3. Карта-схема маршрута, положения станций и полигонов 76-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в Карском море и эстуарии реки Обь.

Использованное оборудование

В экспедиции были использованы следующие приборы и научное оборудование:

- погружаемый гидрофизический зонд “Sea Bird” 911 (Sea-Bird Electronics, USA) для измерения температуры, солености и плотности морской воды, оснащенный кассетой SBE 32 на 12 5-литровых батометров Нискина. Глубина погружения – 2000 м, чувствительность по температуре – 0.5 %, по солености – 0.05 ‰. Прибор снабжен датчиками флюоресценции fECO-AFL, Wetlab ECO-AFL/FL и мутности. Флюоресценция измеряется в концентрации флюорента в мг/м^3 , мутность измеряется в условных единицах от 0 до 1 NTU (Nepheloid Turbidity Unit);

- океанографический зонд SBE 19 plus для измерения температуры, солености и плотности морской воды. Глубина погружения до 500 м. (температура: $-2 - +35^{\circ}\text{C}$, погрешность – 0.001°C ; электропроводность: $0-70 \text{ мСм/м}$, погрешность – 0.001 мСм/м). Регистрация информации на твердотельную память зонда;

- термосалинограф SBE 21 для проведения непрерывных измерений поверхностной (глубина 2.7 м) температуры воды и электропроводности по маршруту судна. Термосалинограф был подключен к общей проточной системе. Данные измерений, поступающие с термосалинографа были включены в комплекс работ отряда исследований поверхностного слоя моря;

- погружаемый зонд-прозрачномер ПУМ-200 для измерения распределения показателя ослабления света и температуры морской воды по вертикали. Прибор

оборудован универсальным герморазъемом, позволяющим подключать унифицированные датчики (флуоресценции, мутности, растворенного кислорода и т.д.) гидрофизических зондов линейки Sea Bird. Основные технические характеристики: длина волны, на которой проводятся измерения - 530 нм, максимальная глубина погружения - 200 м, точность измерения показателя ослабления - 0.02 м^{-1} , глубины - 1 м, температуры - 0.1°C . Регистрация информации по кабелю на борту судна;

- плавающий спектрорадиометр ПРО-1 с контрольным фотометром для измерения абсолютных величин спектральной яркости излучения, выходящего из толщи вод, непосредственно под поверхностью моря и падающей на поверхность моря спектральной облученности. Динамический диапазон канала облученности - $3 \div 0,003 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{нм}$, канала яркости $2 \cdot 10^7 \div 2 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^3 \cdot \text{ср}$; спектральный диапазон измерений - 390-700 нм; разрешение по спектру - 2,5 нм; время сканирования по спектру - 15 с; абсолютная погрешность измерения яркости и облученности - 5%. Регистрация информации по кабелю на борту судна;

- гиперспектральный радиометр Ramsej, модель IPS104-2. Измерения непрерывных спектров облученности в широком диапазоне длин волн. Динамический диапазон канала облученности $3 \div 0,003 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{нм}$; спектральный диапазон измерений - $320 \div 1100 \text{ нм}$; разрешение по спектру - 3 нм; максимальная глубина погружения - 100 м; пределы времени выборки усредненного спектра (задается оператором) - $0.1 \text{ сек} \div 24 \text{ часа}$;

- спектрорадиометр ВИС серии 2100 - измеритель светового режима на поверхности моря и в водной толще, предназначен для измерения поверхностной и подводной облученности в четырех спектральных участках видимого диапазона спектра. Состоит из двух измерительных модулей: палубного и подводного, которые одновременно производят измерения облученности в 4-х спектральных диапазонах: 443, 490, 555, 625 нм. Информация на пульт управления передается по кабелям. В 2016 году в Лаборатории оптики океана ИО РАН был разработан автономный блок сбора и хранения информации с датчиком глубины «АВІС», который позволяет обходиться без кабеля, запись информации производится в энергонезависимую память, считывание производится после подъема на поверхность;

- измеритель падающей радиации в диапазоне ФАР Li-Cor модель LI-190SA, предназначенный для измерения светового режима на поверхности моря и в водной толще. Состоит из 2-х погружаемых фотодиодных датчиков LI-192, для измерения облученности сверху и снизу, установленных на металлической раме, к которой крепится трос. Для контроля уровня падающей на поверхность моря радиации, используется палубный датчик LI-190SA. Технические характеристики: диапазон длин волн - $400 \div 700 \text{ нм}$; стабильность - $\pm 2\%$ в год; температурный дрейф - $\pm 0.15\%$ на $^\circ\text{C}$; максимальная глубина погружения 100 м. Регистрация информации по кабелю на борту судна. Датчики откалиброваны в абсолютных единицах ФАР мкЕ ($\text{mol/s} \cdot \text{м}^2$). Сертификат калибровки от 06.03.2015;

- стандартный белый диск диаметром 30 сантиметров для измерения относительной прозрачности морской воды в светлое время суток;

- двухканальный проточный флуориметр ПФСД-2 для проведения измерений интенсивности флуоресценции морской воды. Прибор осуществляет непрерывные измерения на ходу судна интенсивностей флуоресценции хлорофилла «А» (Хл-А) и окрашенной части растворенного органического вещества (РОВ), индуцированной излучением сверхярких светодиодов. Длина волны возбуждения в канале измерения интенсивности флуоресценции РОВ $\lambda_{11}=373 \text{ нм}$, максимум полосы регистрации $\lambda_{12}=480 \text{ нм}$. В канале измерения интенсивности флуоресценции Хл-А, соответственно, $\lambda_{21}=522,5 \text{ нм}$ и $\lambda_{22}=690 \text{ нм}$. В состав ПФД-2 входит GPS приемник MR-350 фирмы GlobalSat, предназначенный для непрерывного определения положения и скорости судна;

– система непрерывного забора морской воды с производительностью 1 л/с с помощью всасывающего водяного насоса эжекторного типа Grundfos JP-6 мощностью 1.5 кВт через гибкий витой шланг (8 атм) длиной 9 м с обратным клапаном на всасывающем конце. Забор воды на ходу судна с глубины 0.7-1 м обеспечивается специально разработанным в ИО РАН гидродинамическим заглубителем. Расход подачи воды в проточной кювете 3-5 л/мин. Система работоспособна при скорости судна до 12 узлов;

– буксируемый гидролокатор бокового обзора «Мезоскан» разработки ИО РАН (рабочая частота 70/240 кГц, полоса обзора 300/700 м, рабочая глубина до 2000 м, скорость буксировки до 6 узлов). Регистрация информации по кабелю на борту судна;

– гидролокатор бокового обзора (ГБО) «Мезоскан-Т» для исследований мезорельефа дна и подводных объектов на глубинах до 2 км. Рабочая частота 80/86 кГц. Масса подводного носителя 70 кг; полоса обзора до 1.5 км; габариты - 1600x300x250мм. Сбор и обработка информации осуществляется на борту судна. Механическая и информационная связь с судном – кабель-трос с 3 оптоволоконными жилами. Изготовитель Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН;

– буксируемый трёхчастотный гидролокатор бокового обзора «Yellow Finn» 260/330/800 (рабочая глубина 50 м, скорость буксировки до 6 узлов). Регистрация информации по кабелю на борту судна;

– подводный гамма-спектрометр РЭМ-35-2 на основе монокристалла ВГО 75x75 мм с низкофоновым высокочувствительным ФЭУ типа R6233-01. Предназначен для оценки уровней радиоактивного загрязнения окружающей среды. Масса 5.5 кг. Габариты D110x450мм. Гамма-спектрометр используется в составе ТНПА «Супер ГНОМ» в процессе видео наблюдений подводных объектов. Интерфейс подключения RS-485. Механическая и информационная связь с судном (плавсредством) – многожильный кабель-трос ТНПА. Сбор и обработка информации от гамма-спектрометра осуществляется на борту судна (плавсредства). Разработчик - Национальный Исследовательский Центр «Курчатовский Институт»;

– судовой исследовательский однолучевой эхолот EA600 Kongsberg (Норвегия) для непрерывной записи рельефа дна;

– портативный (шлюпочный) эхолот LMS-350. Рабочая частота 50/200 кГц. Диапазон до 1500м. Сбор данных в формате RS-232 по протоколу NMEA-0183. Сбор и обработка информации осуществляется на борту судна (плавсредства). Информационная связь – электрический кабель. Изготовитель фирма Lowrance (США);

– портативный (шлюпочный) эхолот Mark 4 Chirp – 2 шт. Рабочая частота 50/80/200 кГц. Диапазон до 300 м. Сбор данных в формате RS-232 по протоколу NMEA-0183. Сбор и обработка информации осуществляется на борту судна. Информационная связь – электрический кабель. Изготовитель фирма Lowrance (США).

Оборудование для отбора проб воды, грунта, донных отложений, биологических и геохимических проб:

– батометры Нискина емкостью 5 л;

– многосетевой планктонный пробоотборник Multinet (площадь входного отверстия 0.125 м², ячея фильтрующего конуса 180 мкм);

– планктонные сети “Джеди 37/50” (180 мкм), КМ, КБ и БСД;

– ихтиопланктонные сети «Бонго» для косых ловов;

– донный трал Сигсби (раскрытие входного отверстия 1.5 м, ячея внутреннего конуса 500 мкм);

– гравитационный геологический пробоотборник ГГП-8-147 (длина пробоотборника 8 м, диаметр пробоотборника 147 мм);

– грунтоотборная трубка Неймисто для отбора проб верхнего ненарушенного слоя донных осадков. Длина пробоотборника 1 м, высота выталкивателя 0.8 м, масса (без грузов для работы на больших глубинах) до 10 кг. Колонка грунта: длина до 0,8 м, диаметр 110 мм. Глубина моря для эффективного отбора до 2 км;

- грунтоотборник бокс-корер для отбора ненарушенных проб осадков. Площадь захвата 0.5 м². Глубина моря для эффективного отбора до 2 км;
 - дночерпатели «Океан» 0.1 м², и 0.25 м²;
 - дночерпатель модель KC Van Veen grab (производство KC Denmark) 0.1 м². Прибор обеспечивает взятие проб грунта со дна акватории при глубинах до 500 м с использованием принципа свободного падения. Размер пробы 0,1 м². При отборе донной фауны прибор эффективен на глубинах до 200-250 м;
 - мультикорер модель KC Multi-corer 71.500 (производство KC Denmark). Прибор обеспечивает отбор неповрежденных проб донного осадка и придонной воды. Может использоваться на всем диапазоне глубин. Погружная гидравлическая головка обеспечивает отбор осадка с ненарушенным поверхностным слоем. Глубина проникновения в осадок: 400 мм;
 - ручной трубчатый пробоотборник (Haps-corer). Обеспечивает отбор неповрежденных проб донного осадка с целью анализа его химического состава, геохимии, геологии, биологических компонентов (микроводоросли, простейшие, мейобентос) и придонной воды. Ручной трубчатый вакуумный пробоотборник может использоваться в прибрежной зоне морей до максимальной глубины 4 м. Модель : KC Hand operated Haps 50.820 (производство KC Denmark);
 - гидравлическая тележка GTS Warehouse Systems, грузоподъемностью 2000 кг для перемещения проб донных отложений, поднятых бокскорером;
 - поликарбонатные сабкореры для отбора колонок осадков из боксов диаметром 100 мм, длиной 0,7 м и штатив для послойного секционирования колонок донных отложений. Изготовлены в 2014 г. в ИГЕМ РАН;
 - одностаканные цилиндрические седиментационные ловушки МСЛ-110 (20 шт.) для изучения вертикальных потоков осадочного вещества;
 - автономный DGPS приемник Javad Sigma, принимающий сигналы спутниковых группировок DGPS и ГЛОНАСС;
 - обитаемые и необитаемые подводные аппараты:
 - ТНПА «СуперГНОМ» для выполнения осмотровых и поисковых работ в морских водоемах. Цветная видеокамера 0.5 лк с приводом наклона, фокус фиксированный. Число движителей - 6, датчик глубины и компас, максимальная рабочая глубина – 120 м, горизонтальная скорость движения - до 2-х узлов, вертикальная - до 1 узла, длина кабель-троса -100 м, вес – 20 кг, напряжение питания - переменное 220В или 12В постоянное, энергопотребление – 600 Вт;
 - подводный буксируемый БНПА «Видеомодуль» с видеокамерой и фотокамерой высокого разрешения и передачей видеоизображения и другой информации на борт судна по оптическому кабель-тросу. Для получения видеоинформации о характере дна и объектах естественного и искусственного происхождения на больших глубинах. Цветная видеокамера Smartek STC – 3080/0 Ultimate, осветители мощностью по 100 Вт, максимальная рабочая глубина – 6000 м, скорость движения - до 2-х узлов, вертикальная скорость подъема/спуска- 0.5 м/сек, вес аппарата – 600 кг.
- Лабораторное оборудование:
- флуориметр Turner Trilogy Designs, производство компании Turner, США;
 - РАМ-флуориметры:
 - AquaPen-P AP 110-P и PAR-FluorPen FP 110 (Photon Systems Instruments (PSI), Чехия). Данные флуориметры позволяют измерять флуоресцентные параметры фитопланктона на фильтрах - активную флуоресценцию, «световые кривые», квантовую эффективность фотосинтеза, нефотохимическое тушение тотально для всей пробы;
 - проточный цитометр BD Accury C6 CFlow Plus (Germany);
 - фильтрационная установка фирмы Sartorius (Sartorius Stedim Biotech, Германия) для фракционирования при разряжении менее 0.2 атм с использованием

фильтров 20 мкм, 10 мкм и GF/F. Данная система позволяет получать одновременно несколько размерных фракций планктонных микроводорослей;

- установка для мягкой обратной фильтрации при сгущении проб фитопланктона (камера обратной фильтрации);

- фильтрационная установка для фильтрации проб при определении содержания хлорофилла с 3-мя воронками (диаметр фильтрующей поверхности 47 мм) с вакуумным насосом «Millivac» фирмы «Millipore»;

- жидкостной сцинтилляционный радиометр «Triathler» производства фирмы «Hidex» (Финляндия);

- лабораторный инкубатор ICES производства фирмы «Hydrobios» (Германия) для экспонирования проб при определении первичной продукции;

- аквариальный холодильник HAILEA модель HC-500A (Китай);

- микроскопы люминесцентные: Jena-Lumar (Germany); Leica DM 1000 (Germany);

- микроскоп МБИ-3, снабженный фазово-контрастной установкой КФ-5 и объективами водяной иммерсии;

- световой микроскоп МБИ-3, бинокляр МБС-1 (Россия), бинокляры Leica (Германия);

- насос Millipore vacuum pump (США);

- воронки фильтрационные Millipore(США);

- пипетки дозаторные переменного объема (10 шт);

- портативная центрифуга на 8 тыс. оборотов. ОПн-8УХЛ4.2 (Россия);

- прибор для определения щелочного резерва “Alkalynity Test” Merk-1.11109.0001 (Германия);

- портативный иономер WTW pH 3110 (Германия) с селективными электродами - WTW Electrode Sen Tix ORP, WTW pH-Electrode Sen Tix 41;

- иономер pH-410 фирмы Аквилон (Россия) (2 шт);

- спектрофотометр HACH Lange DR 2800, производства HACH Lange, Германия;

- спектрофотометр HACH Lange DR 3900, производства HACH Lange, Германия;

- анализатор жидкости «Эксперт 001-4-0.4» производства ООО «Эконикс», Россия;

- анализатор жидкости «Экотест 2000 Т» производства ООО «Эконикс», Россия;

- проточный кондуктометр «Эксперт-002-2-6Пр» производства ООО «Эконикс», Россия. Используется для измерения удельной электропроводности (УЭП) и температуры воды в проточной системе на борту судна;

- лазерный спектрометр «ЛС-2». Разработан в Лаборатории оптики ИО РАН. Используется для исследования спектров флуоресценции проб морской воды. Двухканальный, длины волн возбуждения флуоресценции 405 нм и 532 нм, регистрация спектра от длины волны возбуждения до 800 нм;

- диодный спектрометр «ДС-1». Разработан в Лаборатории оптики ИО РАН. Используется для исследования спектров флуоресценции проб морской воды. Одноканальный, длина волны возбуждения флуоресценции 595 нм, регистрация спектра от длины волны возбуждения до 800 нм;

- анализатор углерода Shimadzu TOC-L с автосемплером ASI-L и приставкой для анализа твердых образцов SSM-5000A, Япония;

- газо-жидкостной хроматограф Shimadzu GC-2010 пламенно-ионизационным детектором и автосемплером AOS-20i, Япония;

- установка получения сверхчистой воды Millipore Milli-Q, США;

- роторный испаритель Heidolph Hei-VAP Advantage;

- ультразвуковая ванна Cole-Parmer, США;

- ультразвуковая баня Branson 5510, США;

- шкаф сушильный ШС-80-01-СПУ, Россия;
- шкаф сушильный СШ-60м, Россия;
- центрифуга Elmi CM-6М, ЕС;
- генератор азота Nitrox, США;
- вакуумный насос Sartorius, ЕС;
- торсионные весы Tehniprot, ПНР.
- анализатор метана, водяного пара, содержания изотопа ^{13}C Picarro G2132-i;
- иономер HI 2215 pH/ORP meter производства HANNA Instruments, США;
- бюретка цифровая TitroLine easy, производства SL Analytics, Италия;
- бюретка цифровая АТП-1 30 мл, производства «Аквилон», Россия;
- портативный pH/мВ-метр «pH 340i» WTW GmbH (ФРГ) для измерений значений pH и Eh в донных осадках.
- стерилизатор паровой ГК-10-2 «ТЗМОИ», Россия;
- многоцелевые дозаторы Multipettestream/Xstream, Eppendorf, Германия (2 шт);
- дистиллятор ME LA dest 65, Германия;
- дозаторы шприцевые различные, магнитные мешалки, прочее лабораторное оборудование и мерная посуда;
- персональные компьютеры для регистрации и обработки получаемой информации (20 шт);

Основные результаты экспедиции

Экспедиционные исследования в Карском море в 2019 г. были проведены в период интенсивного таяния и сокращения площади ледового покрытия, что позволило впервые для этого бассейна детально исследовать весенние процессы в экосистеме и установить их связь с динамикой схода сезонного льда. Экспедиция начиналась в условиях быстрого освобождения поверхности моря ото льда. Исследования пространственно-временной изменчивости термохалинной структуры вод в Карском море и Обском эстуарии в весенний сезон были проведены в условиях, характеризующихся интенсивным речным стоком. Отсутствие теплого Восточно - Новоземельского течения юго-западного направления вдоль Новой Земли привело к сохранению вплоть до первой декады августа Новоземельского ледового массива у восточного берега Северного острова архипелага. Длительный период безветрия, относительно высокие температуры воздуха и большое количество солнечных дней обусловили интенсивный прогрев поверхностного слоя моря и формирование в центральной части бассейна теплой (до 10°C) поверхностной «линзы» вод, северный край которой достигал кромки сезонного льда. Показано, что развитие весенних процессов практически во всех обследованных районах не было «зашумлено» влиянием речного стока, так как преобладал «центральный» тип распространения по акватории поверхностного опресненного слоя (ПОС), и большая часть Карского моря была свободна от воздействия пресноводного стока текущего года. В отличие от предыдущих лет исследований, фронтальная зона в области континентального склона в восточном отроге желоба Святой Анны была менее резко выражена в полях гидрофизических параметров. В то же время, несмотря на наблюдаемые существенные различия в развитии сезонного прогрева в различные годы, местоположение фронтальной зоны над континентальным склоном сохранялось примерно постоянным.

Судовой проточный измерительный комплекс («Протока») функционировал практически на всем протяжении рейса, включая восточную часть Карского моря и Обский эстуарий, что позволило получить оценки мезомасштабной изменчивости характеристик поверхностного слоя моря в широком диапазоне условий весеннего развития экосистемы. Распространение речных вод на акватории моря приблизительно до 76° с.ш., полученное по результатам моделирования методом виртуальных лагранжевых трассеров и по спутниковому поверхностному хлорофиллу в удовлетворительной степени подобно и позволяет сделать вывод о «центральной» типе

распространения опресненных речным стоком вод в поверхностном слое в Карском море в период проведения экспедиции. Определены участки акватории с существенным влиянием таяния сезонного льда на характеристики поверхностного слоя моря. Показано, что «вклад» ледового опреснения в наблюдаемую соленость поверхностных вод не превосходит 1.5 psu, а характерный горизонтальный масштаб областей ледового опреснения составляет ~10 км.

Оптическая структура вод районов моря, освобождающихся от сезонного льда, характеризовалась следующими особенностями. До схода льда под пикноклином формировались благоприятные условия для развития фитопланктона: холодная, достаточно соленая, обогащенная кислородом и биогенами вода. Поэтому, единственным лимитирующим фактором оставалось количество света, без которого фотосинтез невозможен. С момента схода льда резко возрастает количество поступающего света – катализатора скорости роста клеток фитопланктона. Так как лед сходит неравномерно, в том числе из-за ветрового разноса ледяных полей, световой режим оказывается неоднородным, что может служить причиной наблюдаемой «пятнистости» распределений нефелоидных слоев биогенной взвеси. В пользу этого предположения говорит тот факт, что расположение экстремумов биооптических параметров в толще вод на всех станциях, которые были проведены в период 0 -5 дней после схода льда, находится в одном диапазоне глубин (23 - 28 м). По мере утилизации биогенов, процессы роста клеток замедляются, больше света начинает проникать в нижележащие горизонты, слой концентрации клеток фитопланктона, как и граница 1% ФАР, опускается глубже. Поэтому, для временного интервала в 10-15 дней после схода льда экстремумы флуоресценции, например, располагались на глубинах от 32 до 41 м, а для срока > 20 дней после схода льда – уже от 38 до 47 м.

Получена картина распределения гидрохимических параметров для открытой части моря, северной части Обской губы и 3 заливов восточного берега арх. Новая Земля в ранневесенний период. Содержание кислорода и основных биогенных элементов не выходило за пределы средних многолетних значений для данного сезона. Количество растворенного неорганического фосфора в фотическом слое практически не снижалось до аналитического нуля, однако содержание нитратного азота часто могло служить лимитирующим фактором для развития фитопланктона. Работы у кромки отступающего сезонного льда показывают, что освобождение акватории ото льда сопровождалось всплеском фотосинтетической активности. То есть, вскоре после схода льда запас биогенных элементов в поверхностных водах был практически израсходован. В дальнейшем, содержание минеральных форм азота и фосфора возрастало во всей толще вод, что, вероятно, было вызвано окислением органического вещества из верхнего слоя моря.

Отмечено значительное отличие химического состава вод Обской губы от средних многолетних значений. Особенно это заметно на распределении растворенного неорганического углерода, растворенного кремния и величине общей щелочности. Сравнивая содержание некоторых гидрохимических параметров на южных, наиболее пресных частях Обского и Енисейского разрезов, полученных в экспедициях ИО РАН, можно заметить, что во все предшествующие годы содержание растворенного кремния, карбонатного углерода и величина общей щелочности в водах Енисейского залива были существенно выше, чем в Обской губе. В этом году экспедиция застала в Обской губе волну раннего половодья, когда на ее фронте располагались воды, сформированные, скорее всего, еще подо льдом. Отличительная их особенность - аномально высокое содержание растворенного кремния (более 200 μM), всех минеральных форм азота, особенно аммонийного (до 24 μM). Поток полых весенних вод был не однороден, основная струя «быстрого» речного стока проходит вдоль западного берега губы. У восточного берега, благодаря его форме и орографии дна образуется своеобразный «карман», где течение вод замедляется, либо даже возникает замкнутая циркуляция.

Поэтому здесь более активно, чем в струе основного течения, идут процессы окисления органического вещества и в толще вод, и в донных осадках.

При работе в Обской губе впервые столь широко проводилось изучение химического состава придонных и иловых вод. Показано наличие четко выделяющихся по химическим характеристикам зон седиментации (река– зона смешения – море), что дает основание предполагать, что фронтальная область «река-море» в Обской Губе не подвержена заметным смещениям по широте на временных масштабах 10-100 лет и год от года находится, как правило, на одном месте. Изучение гидрохимической структуры заливов восточного берега Новой Земли показало, что их воды находятся в тесном контакте с прибрежными водами открытой части моря, чем обеспечивается хороший взаимообмен. Анализируя изменения химического состава берегового стока в заливах по результатам различных экспедиций, можно уверенно утверждать, что он претерпевает те же сезонные изменения, что и в реках на материках.

Весеннее состояние фитопланктона и динамика его цветения у кромки отступающего сезонного льда характеризовались глубоким залеганием максимума флуоресценции и биомассы фитопланктона при нулевых концентрациях нитратов и фосфатов в верхнем перемешанном слое. Выше и ниже узкого слоя экстремума флуоресценции численность и биомасса фитопланктона были на порядок ниже. Глубина слоя максимальной биомассы фитопланктона у ледовой кромки варьировала от 25 до 35 м. Характерной была значительная пространственная изменчивость величин биомассы водорослей (от 0.5 до 72 г/м³), которая определялась пятнистостью пространственно-временного распределения популяции массового вида *Thalassiosira bioculata*, вносящего основной вклад в биомассу фитопланктона в этом районе моря. Например, изменение величин биомассы *T. bioculata* в слое максимума флуоресценции достигало без малого двух порядков для проб, отобранных с интервалом в 3 часа. На акваториях, освободившихся ото льда за неделю до начала работ экспедиции, также наблюдались подповерхностные максимумы фитопланктона, в которых доминировал другой вид *Thalassiosira nordenskioeldii*. Величина биомассы водорослей в максимуме варьировала от 5 до 8 г/м³. Микроскопия «живых» проб фитопланктона без предварительной фиксации показала хорошее состояние популяций обоих видов рода *Thalassiosira* без признаков дегенерации, о чем свидетельствовали длинные колонии, большое число делящихся клеток (около 30% от общей численности вида) и отличное состояние хлоропластов. В центральной области моря на внешнем шельфе биомасса фитопланктона в слое подповерхностного максимума была низкой и составляла 1.2 г/м³. Здесь различия в биомассе водорослей в поверхностных водах и в слое подповерхностного максимума были существенно меньшими. На южной периферии фронтальной зоны склона желоба Св. Анны в фитопланктоне были в равной мере представлены оба упомянутых вида *Thalassiosira* наряду с другими диатомеями: *Fragilariopsis oceanica*, *F. cylindrus*, *Navicula pelagica*, *N. septentrionalis*. Существенные изменения наблюдались в составе фитопланктона в области континентального склона, где помимо резкого снижения его биомассы, изменился и видовой состав водорослей. Значительно увеличилась численность динофлагеллят, особенно в верхних слоях вод; среди диатомовых водорослей существенную долю составляли несколько видов *Chaetoceros*. Исследования в Обском эстуарии показали, что в период активной фазы половодья характерный для этой области максимум, сформированный аллохтонными пресноводными видами фитопланктона, отсутствовал. В опресненной области эстуария были обнаружены в основном мертвые клетки водорослей *p. Aulacoseira*. Биомасса живых клеток водорослей была крайне низкой. В пробах микропланктона из криоконитовых стаканов с ледника Витте (залив Медвежий) были обнаружены многочисленные клетки нескольких видов десмидиевых водорослей, их споры, споры хламидомонад и хлореллы, сине-зеленые водоросли. Были найдены также тихоходки, коловратки, несколько видов инфузорий. Большое количество спор свидетельствовало о ранневесеннем состоянии фитоценозов ледовых криоконитов.

Выявлены особенности продукционных показателей фитопланктона Карского моря в июле 2019 г. Полученные величины первичной продукции в столбе воды (в среднем 202 мгС/м^2 в день) характеризуют Карское море в период экспедиции как мезотрофный водоем. Первичная продукция в столбе воды снизилась в течение июля месяца в среднем в 3 раза, что свидетельствует о затухании процесса массового развития фитопланктона и о начале перехода сообщества к летнему состоянию. Показано, что в июле 2019 г основной вклад в суммарные величины первичной продукции и хлорофилла, как на поверхности моря, так и в слое глубинного максимума хлорофилла вносил микропланктон ($> 20 \text{ мкм}$). Вклад в первичную продукцию столба воды слоев, ассоциированных с глубинным максимумом хлорофилла, составил в среднем 48% при диапазоне его изменчивости от 5 до 91%. Прослежена тенденция изменения вклада глубинного максимума в первичную продукцию столба воды в зависимости от времени освобождения акватории моря ото льда. Так, наибольшим (74%) этот вклад был в районах, освободившихся ото льда 5 дней назад, а наименьшим (9%) – освободившихся ото льда 20 – 25 дней назад. Низкие величины первичной продукции в Обском эстуарии (в среднем, 15 мгС/м^3 в день на поверхности моря) свидетельствуют об относительно позднем наступлении весны в этом районе моря.

Впервые получена оценка параметров обилия фототрофного пикопланктона в Карском море в весенний период. В среднем, в поверхностных водах биомасса пикофитопланктона составила $4,8 \text{ мг С/м}^3$; в фотическом слое - $6,97 \text{ мг С/м}^3$. Вклад пикофракции в общий хлорофилл фитопланктона в поверхностных водах Карского моря варьировал от 7 до 71%, в среднем составляя 33%. Варьирование вклада пикофитопланктона по глубине определялось отличиями в вертикальном распределении концентрации хлорофилла пикофракции и суммарного фитопланктона. Распределение ПФ в толще вод после схода ледового покрова отличается от распределения крупного фитопланктона: после фазы цветения пиководорослей в холодных водах под пикноклином затем начинается их развитие и в поверхностном слое. В Обском эстуарии доля хлорофилла пикофракции фитопланктона в поверхностных водах в среднем составила 12%. Вклад пиководорослей был выше там, где биомасса крупного планктона была невысокой. Впервые получена оценка параметров обилия пикофитопланктона в трех заливах архипелага Новая Земля. Значения численности и биомассы существенно варьировали по заливам от $2,14 \times 10^9 \text{ кл/м}^3$ (залив Абросимова) до $15,22 \times 10^9 \text{ кл/м}^3$ (залив Степового) и от $2,43 \text{ мг С/м}^3$ до $10,97 \text{ мг С/м}^3$, соответственно. Вклад пиководорослей в суммарное содержание хлорофилла в заливах достигал 50%.

Предварительные результаты исследований показали присутствие микобиоты (грибов) в морских и наземных местообитаниях Арктики - в воде, в донных осадках, в ледниковых криоконитах с ледника Витте на Новой Земле. В рейсе получен уникальный материал для изучения разнообразия и роли грибов в динамике весеннего развития фитопланктона, в формировании донных осадков в зоне влияния речного стока, в ледниковых сообществах.

В Обском эстуарии и на прилегающем шельфе биомасса зоопланктона была низкой и не превышала 3 мл/м^3 . Заметное ее увеличение наблюдалось в области высоких градиентов гидрофизических параметров на южной периферии эстуарной фронтальной зоны, что характерно для пространственной структуры сообществ зоопланктона в этом районе и в другие сезоны. В области континентального склона желоба Св. Анны и внешнего карскоморского шельфа отмечается увеличение биомассы над бровкой склона до максимальных ее значений $1.5\text{-}1.6 \text{ мл/м}^3$. Обнаружение этого феномена в весенний сезон в период схода сезонного льда подтверждает его универсальность для всех времен года. Выяснено, что изменение биомассы и состава зоопланктона связано с разными сроками освобождения акватории ото льда. Определены доминирующие виды зоопланктона: 3 вида крупных арктических копепод *Calanus glacialis*, *C. hyperboreus*, *C. finmarchicus* и мелкие копеподы рода *Pseudocalanus*. Показано, что суммарный вклад этих видов составлял, как правило, более 90% общей биомассы мезопланктона, при этом

с увеличением продолжительности периода после схода сезонного льда прослеживался и рост суммарной биомассы. Полученные данные изменения возрастной структуры популяций показали, что с увеличением продолжительности безледного периода в популяциях всех видов зоопланктона увеличивается доля старших возрастных стадий организмов, что указывает на активный рост и быстрое развитие этих популяций в весенний период. Впервые удалось оценить роль зоопланктона в утилизации первичного органического вещества в весенний период в широком спектре пелагических биотопов Карского моря. Показано, что в весенний период роль зоопланктона в утилизации новосинтезированного органического вещества была невысокой, т.к. выедание им продукции фитопланктона не превышало 20%. При этом, наиболее интенсивно процесс потребления биомассы и продукции автотрофов происходил в относительно узких широтных зонах - локальных скоплениях зоопланктона в области континентального склона. Было выявлено, что в таких скоплениях зоопланктон в весенний сезон потреблял почти 100% продукции фитопланктона, то есть вся имеющаяся наличная биомасса фитопланктона размером > 3 мкм могла быть съедена сообществом зоопланктона за несколько суток. В этих районах это может быть одной из причин низкой биомассы фитопланктона, с одной стороны, и увеличения роли пикофитопланктона, - с другой стороны.

Установлено, что основу численности ихтиопланктона на всей обследованной акватории моря составляли ранние стадии развития сайки (*Boreogadus saida*). Доля данного вида в уловах пелагическими орудиями лова превышала 90%. Наибольшая их численность (до 37.8 экз/м²) отмечалась на шельфе до глубин 150-200 м. Таким образом количество сайки в уловах превышали показатели предыдущих лет изучения более, чем в 10 раз. Отмечено, что размерный состав личинок сайки на обследованной акватории моря был не однороден, средняя длина личинок уменьшалась в направлении с юга на север.

По полученным данным в питании данного вида преобладали мелкие копеподы *Oithona similis* и науплиусы *Calanoida*. Следующими группами после сайки по частоте встречаемости в уловах были личинки и мальки семейств *Gadidae*, *Cottidae* и *Stichaeidae*. Ранние стадии развития этих семейств не образовывали сколь либо выраженных скоплений и в единичных экземплярах встречались практически на всей акватории. В уловах донным тралом Сигсби по общей численности и количеству видов доминировали представители семейств *Zoarcidae* и *Cottidae*. Максимальное видовое разнообразие в уловах тралом наблюдалось в северных глубоководных частях бассейна, где было поймано 13 видов рыб. Ихтиопланктон заливов Новый Земли в период исследований был чрезвычайно беден - пойманы 1 личинка сайки длиной 11 мм и 1 личинка липариса.

В Обской губе и на прилежащем шельфе Карского моря была проведена бентосная съемка на 12 дночерпательных станциях. Сравнение с многолетними данными позволяет сделать вывод, что, несмотря на существенные сезонные и многолетние изменения гидрофизических и гидрохимических характеристик водной толщи, пространственное распределение донных сообществ в Обской губе и на прилежащем мелководном шельфе с 2007 г. остается достаточно консервативным.

Данные по гидрохимии водной толщи (содержание кремния и нитратов), полученные в ходе рейса, также свидетельствуют о большей временной устойчивости характеристик района в восточной части губы по сравнению с центральной (русловой) частью. Таким образом, состояние донных сообществ, с одной стороны, свидетельствует о большей стабильности условий в восточной части Обской губы, с другой – об их существенной мезомасштабной пространственной неравномерности.

**МОРСКИЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СУБАРКТИЧЕСКОЙ
СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ
(77-й РЕЙС НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»
07 августа – 15 сентября 2019 г.)**

По результатам отчета начальника экспедиции (Гладышев С.В., 2020)

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт океанологии им. П.П. Шишова
Российской академии наук
117997 Москва, Нахимовский проспект, 36
esimo@ocean.ru*

Научная программа экспедиции была направлена на решение ключевых задач в области исследований структуры вод и течений Субполярного круговорота Северной Атлантики и получение нового материала для крупномасштабного моделирования циркуляции изменчивости меридионального переноса вод и получение материала для высокоразрешающих реконструкций климатических изменений в Северной Атлантике.

Цель экспедиции

По гидрофизическому направлению – продолжение долгопериодного мониторинга, начатого в 1997 г., структуры вод и течений Субполярного круговорота Северной Атлантики и получение нового материала для крупномасштабного моделирования циркуляции изменчивости меридионального переноса вод; по геологическому направлению – исследование современной седиментационной системы (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) и получение материала для высокоразрешающих реконструкций климатических изменений в Северной Атлантике; по биологическому направлению – продолжение многолетних исследований изменчивости фитопланктона и его продукционных параметров, на разрезе вдоль 59°5 с. ш. в Северной Атлантике и в районах проникновения арктических вод в Атлантический океан (Датский пролив, Фарреро-Шетландский порог).

Задачи экспедиции

1. Измерение физико-химических параметров основных водных масс Субполярного круговорота при помощи CTD зондирований водной толщи и отбора проб на заданных горизонтах для гидрохимических анализов для изучения водных масс и их изменчивости;
2. Измерение течений верхнего слоя по ходу движения судна и от поверхности до дна с судна, лежащего в дрейфе для изучения циркуляции Субполярного круговорота;
3. Изучение аэрозолей (включая черный углерод) по ходу судна;
4. Изучение поверхностного и вертикального распределения и состава водной взвеси (в том числе, хлорофилла и Сорг);
5. Изучение донных осадков: отбор донных осадков бокс-корером (дночерпателем) для уточнения условий современного осадконакопления; отбор донных осадков мультикорером (4 трубки диаметром 10 см, длиной 50 см); отбор донных осадков ТБД с частотой отбора 1–5 см;
6. Подъем 2-х обсерваторий – годовых притопленных буйковых станций с седиментационными ловушками и другими приборами (термографы и др.) для непрерывных круглогодичных океанологических и седиментологических исследований, поставленных в Атлантическом океане в 2018 году;

7. Изучение распределения продукционных характеристик поверхностного фитопланктона (хлорофилл, первичная продукция, ассимиляционное число) в различных биогеохимических провинциях Северной Атлантики;
8. Оценка интегральных продукционных характеристик фитопланктона (первичная продукция и хлорофилл в столбе воды);
9. Изучение особенностей вертикального распределения первичной продукции и хлорофилла.

Район работ

Работы проводили на разрезе вдоль 59°5 с. ш. в Северной Атлантике и в районах проникновения арктических вод в Атлантический океан (Датский пролив, Фарреро-Шетландский порог) (рис. 4).

Рис. 4. Расположение станций в 77 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш»

Использованное оборудование

- Комплекс карусель с пластиковыми 5-литровыми батометрами Нискина (24 шт.) и гидрофизическим зондом SBE-911plus (Sea-Bird Electronics, Inc., США);
- Акустический профилограф течений Workhorse 300 кГц;
- Судовой акустический профилограф течений OS 75 кГц;
- Автоматический титратор Mettorm «Titrino 794»;
- Спектрофотометр «Shimadzu» UV mini-1240;
- Аквадистиллятор ЭМО ДЭ-4М;
- Система очистки воды Milli-Q, Millipore;
- Однолучевой эхолот EA600, Kongsberg;
- Датчик движения MRU3;
- Судовой однолучевой научный эхолот EA 600 Kongsberg;
- Установка вакуумной фильтрации: фильтродержатели 250 мл, 47 мм, поликарбонатные Sartorius (Германия); держатели для дисковых фильтров, диаметр 47 мм, поликарбонатные, фирмы PALL (США); насосы вакуумные KNF Neuberger (Германия) диафрагменные с клапаном точной регулировки и манометром вакуума, 15 л/мин, вакуум до 100 мбар, давление до 4 бар;
- Флуориметр Trilogy Fluorometer (mod. 7200-000), TURNER, США;
- Приемник GPS Garmin GPSmap-76Cx;
- Установка для отбора нерастворимых аэрозолей в приводном слое атмосферы (Россия);
- Насос аэрозольный для отбора проб сажевого углерода (Россия);
- Дночерпатель (Дч) (Россия);
- Прямоточная ударная грунтовая трубка большого диаметра (ТБД), 2 шт.;

- Мультикорер (МК) 71.500, производства KC-Denmark A/S, Дания. Диаметр отбираемого керна – 95 мм, длина – 40 см, кол-во кернов – 4 шт.;
- Набор сит для разделения осадка по фракциям (Россия);
- Влагомер HH2 фирмы Delta-T Devices;
- Магнитометр MS3 Magnetic Susceptibility Meter с датчиком MS2E для документирования керна (Bartington);
- Центрифуга («Поликом», Россия) с 6-и стаканым ротором;
- Спектрофотометр CM-2300d;
- Бинокляр;
- рН-метр (рН-410, Аквилон, Россия);
- рН-150МИ (ГЗИП, Беларусь);
- Диск Секки;
- Жидкостной сцинтилляционный радиометр Ttiathler (Hidex, Финляндия);
- Датчик падающей радиации в диапазоне ФАР Li-Cor LI-190SA;
- Воронки «Sartorius» для фракционирования фитопланктона.

Объем выполненных работ

CTD станций с отбором проб воды из батометров	163
LADCP зондирований	163
Объем измерений течений по ходу движения судна	6 Гб.
Проб аэрозолей, собранных сетевым методом	3
Проб сажевого углерода на фильтрах	42
Отбор проб водной взвеси в водной толще	32
Отбор проб водной взвеси на попутных поверхностных станциях	42
Отбор проб водной взвеси в маргинальном фильтре р. Северной Двины	7
Проб воды из МК	2
Собрано взвеси на ядерных фильтрах	484
на GF/F фильтрах	160
Собрано проб воды на изотопию кислорода	4 станции
	64 горизонта
Определение хлорофилла «а» и феофитина	159
Спусков дночерпателя ДЧ	3 (холостых спусков – 1)
Спусков мультикорера МК	2 (холостых – 0)
Спусков трубы большого диаметра ТБД	1 (холостых – 0)
Получено керна из большой грунтовой трубки	1 (длина керна составила 7,7 м)
мини-керна из дночерпателя	2
мини-керна из мультикорера	8
Собрано архивных трубок ТБД	8
проб из ДЧ	21
проб из МК	199
проб из ТБД	770
проб иловой воды	23
проб наддонной воды	2
Проведено измерений магнитной восприимчивости	7.7 м
измерений цветности спектрофотометром	23
Сделано отмывок	41
Количество проб на хлорофилл «а»	478
Количество проб на феофитин	478
Проб первичной продукции	326
Фитопланктон	33
Измерений прозрачности диском Секки	17

Основные результаты экспедиции

1. По степени насыщения вод растворенным кислородом зарегистрировано продолжение затухания аномальной глубоководной зимней конвекции в море Ирмингера. В восточной части ядра Лабрадорских промежуточных вод следы недавней вентиляции обнаружены только на одной станции до глубин около 1250 м.

2. Выполнена идентификация основных струй верхнего звена циркуляции Субполярного круговорота на трансатлантическом разрезе вдоль 59.5° с.ш. по данным прямых измерений течений и подповерхностному максимуму солености.

3. Обнаружены скачкообразные межгодовые изменения солености верхнего слоя Субполярного круговорота (regime shifts), связанные, в том числе с взаимодействием океана и атмосферы в зимнее время.

4. Получены новые данные о термохалинной и кинематической структуре «болусов» (холодных линз) в Датском проливе. Обнаружена серийность «болусов» и значительная протяженность периода их перетекания через порог.

5. Исследования аэрозолей сетевым методом показали, что величины потоков невысокие, вероятно, из-за того, что в основном воздушные массы, шедшие с севера, были не богаты аэрозольными частицами. Наибольшие потоки 99 мкг/м²/сут. были отмечены нами при прохождении судна от берегов Исландии на восток. Обратные траектории воздушных масс, построенные для этой пробы, показали, что воздушные массы приносились в основном с запада, то есть могли подхватывать частички с суши (Исландия). После обработки фильтров в лабораторных условиях будут представлены результаты по качественному составу аэрозолей. Пробы сажевого углерода, собранные на фильтры, отправлены на обработку в ИФА РАН.

6. Выполнены исследования водной взвеси по всему пути следования судна, включая работы в маргинальном фильтре р. Северной Двины. В Баренцевом море визуально наблюдалось цветение фитопланктона, что должно отразиться на количественном и на качественном составе рассеянного осадочного вещества. В поверхностных водах наибольшие концентрации взвеси зафиксированы в относительной близости берега. На гидрологическом разрезе выполнены исследования взвеси в толще воды. Наиболее высокие концентрации взвеси визуально установлены в верхнем перемешанном и в придонном нефелоидном слоях. В Датском проливе отобраны пробы взвешенного вещества из придонного слоя с отличными от вышележащих плотностными и температурными характеристиками (явление «болуса») для анализа химического состава методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Отобраны пробы воды на разрезах для изучения распределения изотопов кислорода по вертикали, что будет выполнено в ИГЕМ РАН.

7. Отбор проб донных осадков дночерпателем, мультикорером и ТБД выполнен на 2 станциях – во впадинах на хребтах Рейкъянес и Колбейнсей. Донные осадки отличаются разительно: для хр. Рейкъянес, пересеченного на 59°30' с.ш., характерны биогенные фораминиферовые илы со спикулами губок, особенно на поверхности осадка; для впадины вблизи хр. Колбейнсей (на север от Исландии) характерны терригенные гомогенные пелитовые осадки с обильным присутствием гидротроиллита. Отобрана колонка донных осадков длиной 7,7 метров. Отсутствие биогенного карбонатного материала, оливково-темно-серый цвет основной массы осадка, слабое изменение влажности (около 52%), незначительное изменение показателей pH, Eh свидетельствует в пользу предположения, что осадок образовался в результате осаждения значительных масс терригенного вещества в короткий период. Отсутствие перерывов (резких границ) позволит выявить особенности осадконакопления в непрерывном временном интервале. Отобраны пробы на литологические, геохимические и экологические исследования.

8. За время экспедиции проведен поиск двух АГОС, поставленных на разрезе 59°30' с.ш. в экспедиции 2018 г. К сожалению, связь с размыкателями была неустойчивой, станции не всплыли, визуальный и акустический поиск с помощью лабораторного и судового оборудования не дал результатов.

9. По содержанию хлорофилла на разрезе по 60° с. ш. в августе 2019 г. можно выделить две зоны. Восточная зона включает шельф, континентальный склон и восточную часть Исландской котловины. К Западной зоне принадлежали запад Исландской котловины, хребет Рейкьянес и восток моря Ирмингера. Концентрация хлорофилла на поверхности и в слое фотосинтеза на западе разреза превышала значения на востоке в 2.2 и 1.5 раза, соответственно. Следует отметить, что по значениям первичной продукции в столбе воды, напротив, восточная часть разреза оказалась в 1.2 раза продуктивнее западной, по величинам этого показателя на поверхности отличия были незначительными.

10. И на разрезе по 60° с. ш., и в Датском проливе отмечена очень слабая связь первичной продукции в столбе воды с концентрацией хлорофилла. Напротив, ИПП была тесно связана со средним ассимиляционным числом в слое фотосинтеза. Такая картина свидетельствует о незначительном влиянии показателя биомассы фитопланктона, которым является хлорофилл, на первичную продукцию в Северной Атлантике в августе. Первичная продукция в столбе воды в исследованный период определялась уровнем ассимиляционной активности фитопланктона.

11. Вертикальное распределение первичной продукции и хлорофилла в Северной Атлантике в августе 2019 г. характеризовалось отсутствием глубинных максимумов. Максимумы этих показателей, как правило, регистрировались на поверхности или в приповерхностном слое, величины ПП и Хл постепенно уменьшались с глубиной.

12. Сравнение уровней продуктивности Датского пролива в июле 2018 и августе 2019 гг. показало, что концентрация хлорофилла на поверхности и в столбе воды в августе была, соответственно, в 2.5 и 2 раза выше. Напротив, средние величины первичной продукции на поверхности и в столбе воды в июле и августе практически не различались. Превышение значений в августе составило всего 1.1 раза для обоих показателей.

**ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПАРАМЕТРОВ АРКТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
«ЛИТОСФЕРА-ГИДРОСФЕРА-АТМОСФЕРА» В ТИХООКЕАНСКОМ
СЕКТОРЕ АРКТИКИ И СУБАРКТИКИ: ФИЗИЧЕСКИЕ, ХИМИЧЕСКИЕ,
ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
(78-й рейс НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»
7 сентября – 1 ноября 2019 г.)**

По результатам отчета начальника экспедиции (Семилетов И.П., 2020)

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева
Дальневосточного отделения Российской академии наук
690041 Владивосток, ул. Балтийская 43
esimo@ocean.ru*

78-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш» выполнен в рамках программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы, 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».

Цель экспедиции - продолжение многолетних комплексных океанографических исследований для выявления особенностей функционирования геосистем «литосфера-гидросфера-атмосфера» арктических морей России.

Задачи экспедиции

- выявление количественных пространственно-временных изменений потоков метана из донных отложений в водную толщу и атмосферу в зонах мегасипов пузырькового метана;
- уточнение масштабов и динамики возрастающей массивированной эмиссии метана вследствие деградации подводной мерзлоты;
- выявление генезиса метана и основных компонентов газожидкостного геологического флюида разгружающегося в рифтовых зонах и за их пределами;
- изучение геологического строения верхней части осадочной толщи и сейсмического режима морей Лаптевых и Восточно-Сибирского в районах массивированного газопроявления и предполагаемого развития подводной мерзлоты;
- изучение состояния биологических систем в этих районах;
- характеристика микробных сообществ и определение активности микробных процессов циклов углерода, метана и серы в донных осадках районов газопроявления;
- изучение и оценка степени асидификации морской воды и влияние данного процесса на бентическое сообщество;
- изучение гидрологического режима акваторий в пределах районов исследований;
- оценка современного геоэкологического состояния исследуемых акваторий (включая отбор и изучение микропластика в воде и донных осадках);
- подготовка и обучение аспирантов, магистров, магистрантов и студентов ТПУ, МГУ, МФТИ и САФУ к морским исследованиям (в рамках работы на борту судна «Плавучего университета»).

Район работ

Исследования проводились в морях Лаптевых, Карское и Восточно-Сибирское (рис. 5). Логистика проведения экспедиции предусматривала 2 этапа. Первый этап - основной. Его продолжительность составляла 37 суток (17 сентября -22 октября 2019 г.) с выходом и приходом в порт Архангельска. Начальник экспедиции – д.г.н. чл.-корр. РАН И.П. Семилетов. Второй этап – технический (23 октября – 1 ноября 2019 г.), с целью перегона судна в порт приписки Калининград. Начальник экспедиции д.г.-м.н. Дударев О.В. Участники работ (6 человек от ТОИ ДВО РАН и 1 от ТПУ) обеспечивали работу проточной системы с измерением более 10 параметров поверхностной воды (включая растворенный метан, кислород, температуру, соленость), и непрерывных измерений содержания основных парниковых газов, метана и двуокиси углерода, в приводном слое атмосферы, что позволило получить результаты высокочастотных синфазных измерений содержания метана и двуокиси углерода в приводном слое атмосферы и поверхностной воде вокруг почти всей Северной Евразии от траверза реки Колымы (160° в.д.) до Северного моря и порта Калининград вдоль 12 тысяче -километрового маршрута.

Рис. 5. Расположение станций в 78-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш»

Использованное оборудование

Штатные судовые эхолоты и гидроакустический комплекс; датчик скорости звука «miniSVP», Valeport Ltd., цифровая 16/32-канальная 24-разрядная сейсмокода, штатное судовое оборудование для приема гидрометеорологической информации, автоматическая агрометеостанция «LI-1401» с пиранометром «LI-200SA», психрометр 1400-104, измеритель осадков ударного типа 1400-106, батометрические системы: 24-позиционная SBE-32 или 16-позиционная Rosette-1016 для отбора проб воды пластиковыми батометрами объемом 5-10 л на 12 заданных горизонтах водной толщи, гидрологический зонд «SeaBird 19Plus, доплеровский 4-х лучевой профилограф течений ADCP «Workhorse mariner ADCP 600 kHz», измерители течений C4 для определения истинных направлений и скорости течений, pH-метр «Orion», двухлучевой спектрофотометр «ЮНИКО 2804», дозирующие устройства «Dosimat 775» и «Dosimat Plus 876», хроматографы газовые «SRI GC 8610» (США) и «Кристаллюкс-4000М», газовые анализаторы «LI-COR-800» и «LI-7500», портативный сканирующий спектрометрический анализатор содержания метана в атмосфере «DLT-100 Fast Methane Analyzer», вакуумный насос «Dry Scroll Pump», генераторы водорода "ГВЧ-6", «SRI-50», комплект газовых калибровочных смесей в баллонах емкостью 2-4 литра, гелий газообразный в баллонах емкостью 40 литров, ванна ультразвуковая "Сапфир УЗВ-12", насос вакуумный, насосы для воды, установка для дегазации воды, система для измерения короткоживущих изотопов ^{223}Ra и ^{224}Ra «RaDeCC», 5-10 л батометры системы Niskin (для отбора проб воды с заданных

горизонтов), дночерпатели различных типов, прямоточные трубки ударного типа, бокс-скореры, пробоотборники типа GEMINI, виброкорер «SVC500», PVC-вкладыши для геологических трубок, биологические драги, планктонная сеть Джеди, седиментационная ловушка, донные сейсмографы МПССР, высокочастотный сейсмопрофилограф GeoPulse Sub-bottom Profiler'', одноканальный буксируемый сейсмический профилограф «Геонт-Шельф», интерферометрический гидролокатор бокового обзора «ИГБО-100», гидролокатор бокового обзора «Неман-500», цифровой датчик курса "Azimuth 1000R", двухчастотный гидролокатор бокового обзора ДГБО «Гидра 250/500», узколучевой параметрический эхолот-профилограф «SES-2000 standard»

Основные научные результаты

Осенью 2019 г. в восточно-арктических морях выявлено аномальное опреснение поверхностного слоя, вызванное аномально большой площадью распространения стокового плюма р. Лены. Севернее Новосибирских островов на удалении 800 км от ее дельты соленость достигала 19 епс. На период исследований площадь распреснения превышала 600 тыс. км². Исследована термохалинная структура в струе газового сипа на полигоне в Восточно-Сибирском море. Выявлен интенсивный локальный апвеллинг с вертикальной скоростью более 20 см/с, обусловленный подъемом газовых пузырьков. Он вызывает подъем изохалин на 3.5-4 м и аномально высокой турбулентности до $1.5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}^3$ относительно прилегающих участков моря и на подводном склоне авандельты р. Лены (северная часть) зарегистрировано поднятие пикноклина с вертикальной скоростью более 7 см/мин. Предполагаемые причины - ветровой апвеллинг или обрушение внутренних волн. Подобный процесс также был зафиксирован в октябре 2018 года (рейс № 73 НИС «Академик Мстислав Келдыш»).

Измерение мгновенных скоростей горизонтальных течений на мегасиповых полионах в Восточно-Сибирском море не выявило существования стационарных течений. Горизонтальные компоненты течения здесь контролируются параметрами поля ветра. В течение суток в одной точке наблюдались течения противоположных направлений. Так, на горизонтах 20 и 37 м при глубине моря 42 м наблюдались течения юго-западного направления со скоростями соответственно, 13 и 8 см/с. В период наблюдений отмечался северо-восточный ветер 10 м/с. В районе мегасипов акустическим сейсмопрофилированием зафиксированы разрывы и расслоение термоклина. Они вызваны воздействием на уплотненный слой потока газовых пузырьков и вовлеченных в этот поток более плотных и холодных водных масс.

Проведены работы по изучению изменчивости распределения гидрохимических параметров в морской воде, поровых водах донных осадков. Получены уникальные данные об изменчивости гидрохимических параметров вод моря в области влияния материкового стока и массивированных газопроявлений. Образцы воды, донных осадков, поровых вод в настоящее время анализируются в стационарных лабораториях академических институтов, ТПУ и МГУ. Собран репрезентативный материал о распределении микропластика, позволяющий представить уровень современного загрязнения Арктики.

Отобраны пробы воды, на основании которых впервые будут охарактеризованы биогеография и филогенетический состав микробных сообществ пелагиали морей Лаптевых и Восточно-Сибирского. Это позволит обсуждать роль этих микроорганизмов в круговороте веществ (органических и неорганических) в морской толще исследуемого региона.

Сравнительный анализ разнообразия микроорганизмов на различных горизонтах водной толщи и донных осадков в зоне и вне зоны разгрузки метановых сипов позволит, помимо прочего, выявить влияние пузырькового переноса различной мощности на структуру и функционирование сообществ. Из образцов морской воды и донных осадков будут выделены новые микроорганизмы, задействованные в циклах метана и серы, а анализ *in situ* активности функциональных генов, ответственных за продукцию и окисление метана, сульфатредукцию, позволит на видовом уровне выявить их реальную физиологическую

активность в условиях Арктики. Поставленный на борту судна эксперимент, моделирующий поступление в море органического вещества мерзлоты и его разложение микроорганизмами в условиях, близких к реальным, позволит получить данные о кинетике этого процесса и охарактеризовать микробные сообщества, задействованные в нём. Анализ образцов, полученных для изучения состава взвешенного и растворённого органического вещества водной толщи методами хроматографии и пиролиза, позволит проследить изменение состава органических веществ по разрезу от устья реки Лены до континентального склона моря Лаптевых и оценить вклад терригенной и синтезируемой *in situ* органики на всём протяжении разреза.

Подтверждены и подробно картированы выявленные в предыдущих рейсах пространственные аномалии метана. Обнаружены новые области распространения аномальных концентраций метана. Проведены внутрисуточные наблюдения за изменениями концентраций метана во время штормового перемешивания вод. Исследована внутрисуточная изменчивость концентраций метана внутри и на периферии газовых струй.

Впервые проведена высокоточная газохимическая съемка концентраций метана и CO_2 в верхнем слое воды по маршруту следования судна, в том числе в областях пузырьковой разгрузки метана с дискретностью до 20 измерений в минуту (с технически доступным потенциалом до 60 измерений в минуту). Внедрены новые аппаратно-технические средства измерений метана в водной толще, системы контроля и автоматизации измерений. Планируется оформление нескольких патентов.

Постоянный мониторинг изменений концентрации метана в приводной атмосфере позволяет выявлять участки локализации областей повышенной разгрузки метана на дне на шельфе арктических морей. Кратковременные аномалии этого газа могут указывать на существование мощных источников разгрузки х непосредственно на трассе движения судна, где они могут быть зарегистрированы эхолотом. Данные по концентрации метана в воздухе, дополненные информацией о структуре планетарного проводного слоя, могут использоваться для получения независимой атмосферной оценки регионального потока метана в атмосферу. Основной вклад в формирование изменчивости концентрации метана в приводной атмосфере вносит поле ветра.

Отмечено неравномерное пространственное распределение содержания $\text{Hg}(0)$ в приводной атмосфере. Наблюдались как продолжительные, так и кратковременные эпизоды увеличения его содержания. Продолжительные эпизоды (до нескольких суток) вероятно были обусловлены атмосферным переносом, тогда как короткопериодные повышения предположительно связаны с влиянием локальных источников. Одно из таких повышений - напротив Обской губы и предположительно было вызвано эмиссией $\text{Hg}(0)$ от стокового плюма р. Оби. В Восточно-Сибирском море относительно непродолжительное повышение содержания $\text{Hg}(0)$ в воздухе может объясняться как с атмосферным переносом $\text{Hg}(0)$, так и с выходами газовых факелов на поверхность моря. Измерения содержания $\text{Hg}(0)$ в пробах газа метановых сипов показали, что среднее различие между содержанием ртути до введения проб газа и после введения составило $1,6 \pm 0,2$ нг/м³.

Построены вертикальные разрезы донных отложений на выбранных профилях. На отдельных полигонах, там, где проводилось профилирование серией параллельных разрезов, будет построена трехмерная модель четвертичных отложений. Будут построены карты распределения фациально-генетических типов поверхностного слоя донных осадков, определены питающие провинции, описаны особенности диагенетических преобразований голоцен-верхнеплейстоценовых осадков. Для каждого выделенного фациально-генетического типа донных осадков будут определены содержания главных петрогенных элементов, тяжелых металлов и $\text{Pb}+\text{Y}$. Будут определены абсолютные скорости осадконакопления (по неравновесному $\text{Pb}-210$ и глобальным выпадениям $\text{Cs}-137$).

Измерениями показано, что донные осадки акваторий изученных морей имеют отрицательную температуру (около $-1 \dots -1,4^\circ\text{C}$). Благодаря природной засоленности донные осадки находятся не в мерзлом, а в охлажденном состоянии (т.е. не имеют порового

льда). Такие значения температуры дают предпосылку ожидать наличие многолетнемерзлых пород с заглубленной кровлей. Исключением являются районы с глубинами более 100 м. Так, в тальвеге пролива Вилькицкого, (глубина около 300 м) температура донных осадков около $-0,5^{\circ}\text{C}$, и наличие в них многолетнемерзлых толщ маловероятно. Осадки верхней части континентального склона моря Лаптевых (гл. 330 м) характеризуются низкой положительной температурой около $+0,4^{\circ}\text{C}$, что может подтверждать отсутствие здесь современных многолетнемерзлых пород. Значения теплопроводности и объемной теплоемкости донных осадков варьируют в пределах 30% и в основном определяются влагосодержанием, степенью литификации (плотностью и пористостью) и гранулометрическим составом. Средние значения теплопроводности и объемной теплоемкости для верхнего слоя донных осадков ($<0,5$ м) составляют $0,95 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ и $3,01 \text{ кДж/(м}^3\cdot\text{К)}$ соответственно.

Полученные результаты теплофизических характеристик донных осадков в совокупности со значениями температуры являются крайне важными параметрами для моделирования эволюции мощности многолетнемерзлых пород на арктическом шельфе. Оно позволит установить возможные глубины современного залегания кровли мерзлоты и оценить возможность существования внутримерзлотных газогидратных образований. Рассмотренные параметры будут определять верхнее граничное условие и отвечать за теплообмен пород криолитозоны с вышележащими водными массами при тепловом моделировании. Для получения дополнительных характеристик донных отложений арктического шельфа были отобраны грунтовые монолиты с целью определения их засоленности, температуры начала замерзания, условий стабильности гидратов и т.д.

Отработано 49 станций с отбором биологического материала (включая зообентос и зоопланктон) и отобрано более 880 образцов для изотопного анализа, анализа накопления радионуклидов, анализа биоаккумуляции микропластика, а также молекулярно-генетических исследований. По результатам первичной обработки проб составлен таксономический список, включающий 111 видов животных. Построены предварительные карты распределения микропластика в донных отложениях, а также распределения биомаркеров сообществ метановых сипов (погонофр). Дополнительно отобран материал для описания сообществ этифауны и эффекта биообрастания на примере донных сейсмических станций. Образцы переданы для дальнейшей обработки в стационарные лаборатории. По результатам итоговой обработки проб планируется написание не менее 3 статей в рецензируемых журналах.

Извлечено и зафиксировано 27 проб мейобентоса из верхнего слоя донных осадков, предположительно населенных нематодами и представителями подотряда *Harpacticoida*. Для исследования фитопланктона было отработано 17 станций, собрано 70 пробы морской воды объемом 1 л с четырех горизонтов. Отобрано и зафиксировано раствором Утермея 70 проб морской воды объемом 1 л с горизонтов 0-64 м для качественного и количественного анализа. Подготовлены к депонированию в «Морской биобанк» 30 образцов грунта с 6 станций. Подготовленные образцы будут снабжаться обширным информационным паспортом, размещенным на сайте «Морского биобанка» (<http://marbank.dvo.ru>) и являются перспективным материалом для дальнейших исследований, а также качественным референсным материалом.

Получены радиоизотопные данные для определения генезиса опресненных вод, участвующих в формировании поверхностного пресноводного слоя в Карском море (Обь, Енисей, малые реки, таяние ледников Новой Земли и Северной Земли, таяние морского льда, атмосферные осадки) и море Лаптевых (Лена, малые реки, таяние ледников Северной Земли, таяние морского льда, атмосферные осадки, перенос опресненных вод из Карского моря). Повышенное содержание радона, существенно преобладающее над тороном, в районе Обской губы определяет сток рек Обь и Пур в Карское море. Таким образом, радон является радиоактивным маркером этих рек. Для района стока рек Енисей и Пясины таким маркером будет служить торон. Торон также является радиоактивным маркером реки Лена в море Лаптевых. Установлена положительная корреляция

между концентрациями радона и торона (т.е. концентрацией речных вод) и соленостью, указывающая на роль материкового стока в их накоплении в морских водах и потенциально в донных осадках.

Донные осадки, полученные в ходе рейса, будут подвергнуты гамма-спектрометрическому анализу на радиоизотопный количественный и качественный состав. Будет определена зависимость выхода радона и торона (продуктов эманации Ra-226 и Ra-224) из осадков в воду.

Уровни содержания Cs-137 в морской воде по данным предварительных гамма-спектрометрических измерений составили 0,5-2,5 Бк/м³ (с погрешностью измерения 30 - 50%). Наиболее высокие удельные активности были получены для проб воды из Карского моря и эстуария Оби, что может говорить о наличии дополнительного потенциального источника радионуклидного загрязнения в истоках реки. Однако в целом это соответствует современным фоновым значениям для арктического региона. Ожидается, что при сопоставлении уровней содержания и форм миграции основных техногенных радионуклидов (в частности, Cs-137 и изотопов Pu-239, 240) в морской среде и на геохимических барьерах зон смешения морских и речных вод с уровнем и формами глобальных стратосферных выпадений в северном полушарии, возможно будет получить информацию о наличии и особенностях распространения «речного сигнала» в арктических морях. Удельная активность Cs-137 в поверхностном слое 0 - 2 см осадков по данным предварительных гамма-спектрометрических измерений для проб из всех районов исследования оказалась ниже минимально детектируемой активности при средней экспозиции 1,5 суток, что составляет менее 30-40 Бк/кг сухого веса и зависит от содержания в пробе Ra-226.

С гидроакустическими работами пройдено 111100 км. Было совершено более 1000 пересечений курса судна с сипами, 100 из которых совершены впервые. Мониторинг обнаруженных ранее сипов показал, что известные сипы на сегодняшний день сохранили свою активность.

Все пять сейсмостанций МПССР, поставленные в рейсе АМК-73 в 2018 году подняты на борт судна. Для экспозиции в 2019-2020 гг. установлены 3 донные сейсмостанции (две МПССР и одна Тайфун). В комплекте одной сейсмостанции установлен мареограф RBR virtuoso³ D. По предварительным результатам обработки записей уровень сейсмичности на шельфе моря Лаптевых подтвердился. Наблюдается примерно десяток достаточно качественных сигналов от микроземлетрясений в сутки. Неожиданным результатом оказался уровень сейсмичности в Восточно-Сибирском море, полученный благодаря тестовой трехдневной постановке в районе сипового полигона. Выяснилось, что число зарегистрированных в Восточно-Сибирском море микроземлетрясений в сутки вполне сопоставимо с оным на шельфе моря Лаптевых. Этот предварительный результат требует более тщательной проверки.

Общий объем геофизических исследований составил более 750 морских миль. Регистрация рельефа дна высокоразрешающим гидроакустическим комплексом показала широкое распространение на дне проявлений опасных геолого-геоморфологических процессов, в первую очередь, связанных с повышенной газонасыщенностью.

В ходе электроразведочных работ удалось получить около 9000 погонных километров профилей зондирования. На их основе в дальнейшем будут сделаны выводы о глубинном строении мерзлоты изученной части арктического шельфа.

**РЕСУРСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КРИЛЯ И ЭКОСИСТЕМЫ ЮЖНОГО
ОКЕАНА (АТЛАНТИЧЕСКИЙ СЕКТОР АНТАРКТИКИ)
(79-й рейс НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»
1 декабря 2019 – 8 мая 2020 г.)**

По результатам отчета начальника экспедиции (Морозов Е.Г., 2020)

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт океанологии им. П.П. Ширшова
Российской академии наук
117997, Москва, Нахимовский просп., 36
esimo@ocean.ru*

Научная программа экспедиции направлена на решение ключевых задач в области исследований природных комплексов антарктических вод, которые поставлены перед фундаментальными исследованиями ученых в следующих документах «Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации» (Указ Президента РФ от 01 декабря 2016 г.), «Стратегия развития морской деятельности Российской Федерации до 2030 года» (Распоряжение Правительства РФ от 8 декабря 2010 г.) «Стратегия развития деятельности Российской Федерации в Антарктике на период до 2020 года и на более отдаленную перспективу», подписана Президентом РФ 30 октября 2010 г.

Основная цель экспедиции – комплексные исследования морской экосистемы Антарктики в узловых районах переноса и взаимодействия водных масс в Атлантическом секторе Антарктики, море Скотия и проливе Дрейка.

Задачи экспедиции

– Оценка гидрофизических процессов, состояния морской среды, структуры, продуктивности и функциональных параметров экосистемы антарктических вод в ключевых районах океанографических фронтов и крупномасштабной циркуляции Южного океана.

– Оценка структуры и интенсивности водообмена в Антарктике между Атлантическим и Тихим океанами, осуществляемого как в верхнем слое, так и в абиссали океана.

– Исследование струйной структуры Антарктического циркумполярного течения.

– Исследование придонных потоков антарктических вод в глубоководных каналах Атлантики.

– Оценка ключевых этапов жизненного цикла антарктического криля и роли вод АЦТ и моря Уэдделла в поддержании его популяции и формировании районов агрегации.

– Оценка разнообразия биоты и структурно-функциональных характеристик морской экосистемы в малоисследованных районах бассейна моря Уэдделла (бассейн Пауэрла), подводных поднятия Южного хребта Скотия и пролива Дрейка.

– Ресурсные исследования криля и исследований экосистемы Южного океана (Атлантический сектор Антарктики).

Район работ

Работы в Южном океане проведены в 2 этапа, на которых выполнены исследования на разрезах через пролив Дрейка и полигонах в море Уэдделла (бассейн Пауэрла) и Южно-Оркнейских островов с повторением в разные сезоны года (весна и конец лета южного полушария) (рис. 6).

Рис. 6. План работ на 1-м (сверху) и 2-м (снизу) этапах экспедиции в районе пролива Дрейка и море Скотия

Использованное оборудование

- CTD SBE 911,
- CTD SBE 19 plus,
- LADCP Monitor RDI 300 кГц,
- Carousel SBE 32,
- Трал Сигсби,
- Трал Айзекса Кидда,
- Трал Сигсби,
- Сеть Джедди,
- Сеть Бонго,
- Прозрачномер,
- Флюориметр,
- Мультизонд МГИ,
- Лайткор,
- Бортовой ADCP 75 кгц ,
- Дночерпатель Океан 0.25;
- Однолучевой эхолот Kongsberg EA 600,
- Ударная трубка 120 см;

- Бинокляр МБС-1;
- Спектрофотометр KONICA MINOLTA CM-2300d;
- Сушильный шкаф Santasalo-Sohlberg;
- Спектрофотометр Leki 2107 UV;
- Автотитратор TitroLine easy;
- Микробюретка Metrohm Brinkman/Dosimate-765;
- Микробюретка Metrohm Brinkman/Dosimate-665;
- Кадмиевые редукторы;
- Электронная пипетка Multipipette Xstream Eppendorf;
- 4-х канальный pH-метр-иономер «Эконикс Эксперт 001»;
- Термостат Lauda Alpha RA 8;
- pH-метр со стеклянными pH- и pNa электродами, Orion;
- Бюретка цифровая АТП-1Д, ООО «Аквилон»;
- Эквilibратор;
- Газоанализатор LI-7000 DP,
- LI-COR.

Основные результаты экспедиции

Изучена пространственная кинематическая структура Фолклендского (Мальвинского) течения по серии поперечных разрезов в наиболее характерных регионах течения. Новые данные позволили установить двухструйную структуру течения, определить пространственные характеристики струй и подтвердить их баротропную структуру. Получены характерные значения скоростей течения и объемных переносов вод. Впервые показано, что максимум скорости течения может наблюдаться как на поверхности, так и заглубляться вплоть до 400 м.

Уточнена структура абиссального потока антарктических донных вод в глубоководном канале Вима юго-западной Атлантики. В 25 раз (начиная с 1979 г.) проведены измерения потока донных вод на международном полигоне стандартный разрез Вима по 31 градусу ю.ш. Дополнительные измерения позволили проследить поток после выхода из канала вдоль юго-западного склона Бразильской котловины. Продолжены измерения многолетнего тренда температуры в районе основной седловины канала; подтверждено продолжающееся потепление донных вод в юго-западной Атлантике.

Подробно изучена северная струя Антарктического циркумполярного течения. Струя занимает положение на шельфе и склоне Огненной Земли над изобатами 400-600 м. Ширина струи около 25-30 км. Она проникает до глубин 200-300 м и следует по направлению изобат. Скорости в струе достигают 40 см/с. Это локальная струя около Огненной Земли. Струя продолжается в мелководный участок между континентом и Фолклендскими островами и дает начало Патагонскому течению.

Изучена структура течений в проливах Брансфилд и Антарктика. Обнаружено, что течение в проливе Антарктика может быть направлено на юго-запад и переносить воды пролива Брансфилд в море Уэдделла. Подтвержден циклонический характер циркуляции в проливе Брансфилд с узким струйным течением вдоль Южно-Шетландских островов в его северной части.

В западной части пролива Брансфилда происходит заток относительно теплых и пресных вод из моря Беллинсгаузена. Заток относительно холодных и соленых вод происходит из моря Уэдделла. Струйное течение вдоль берега Южно-Шетландских островов переносит относительно теплые воды, температура воды на поверхности достигает 2.0°C. В другой, юго-восточной части пролива наблюдаются воды моря Уэдделла с температурой около -0.1°C. Скорости течения около островов у поверхности достигают 47 см/с, ширина струи на поверхности со скоростями больше 30 см/с составляет 12 км. Максимальные скорости течения на юго-запад у берега Антарктического полуострова достигают 15 см/с в поверхностном слое.

Исследовано влияние таяния льда на структуру вод. Максимальное содержание талых вод наблюдалось в южных районах бассейна Пауэлла. Максимальные значения флуоресценции хлорофилла на вертикальных распределениях соответствовали станциям с влиянием распреснения в поверхностном слое. Показана сильное влияние распреснения на развитие фитопланктона в исследуемом районе.

Проведены измерения внутренних волн на буйковой станции в проливе Брансфилда. Колебания происходили с суточным периодом с амплитудой до 50 м.

Изучен поток Антарктической донной воды в проходе Филип. Проход расположен по широте 60°08 S от 48°12 W до 47°41 W. Максимальная глубина прохода 2830 м. Ширина прохода около 14 км по изобате 2400 м. В восточной части прохода Филип обнаружен слабый поток Глубинной воды моря Уэдделла на север. Скорости потока 4 см/с. Перенос 0.1-0.2 Св.

В западной части бассейна Пауэлла обнаружен огромный айсберг размером 87 на 26 миль. Айсберг медленно смещался на север-северо-запад вдоль западного берега моря Уэдделла.

Проведена мезомасштабная съемка в бассейне Пауэлла в северной части моря Уэдделла. Съемка состояла из 24 CTD зондирований (6 x 4) с интервалом 6 морских миль. Выполнялись профили прозрачности и флуоресценции и планктонные ловы. Съемка покрывала гидрологический фронт между водой моря Уэдделла и водой сильно охлажденной в западной части моря над возвышенностью в районе, который покрыт льдом и айсбергами. Обнаружен и исследован резкий гидрологический фронт в северной части моря Уэдделла. Показано наличие ринга, оторвавшегося от этого фронта, определены его гидрофизические свойства и их влияние на химические, оптические и биологические параметры вод. Выявлено, что топография морского дна в районе бассейна Пауэлла существенным образом определяет динамику вихрей в данном районе.

Бассейн Пауэлла играет связующую роль между экосистемами круговорота моря Уэдделла и моря Скотия, обеспечивая накопление и перераспределение криля, поступающего с водами западной ветви круговорота Уэдделла. Исследования структуры водной толщи, оптических характеристик и флуоресценции хлорофилла выявили значительное разнообразие типов вертикальной структуры верхнего слоя (в частности очень неравномерное распределение талых вод и распределения фитопланктона). На востоке района значительная доля вод, происходящих от таяния морских льдов и айсбергов, связана с повышенной концентрацией фитопланктона. В западной части бассейна Пауэлла присутствует молодь криля, которая поступает с водами и дрейфующими льдами из моря Уэдделла.

Собрана фаунистическая коллекция, насчитывающая 938 единиц хранения и содержащая 12550 экз. донных животных, представляющих не менее 350 видов из 58 макротаксонов. Впервые в исследованном районе получены характеристики численности и биомассы донных живых организмов по результатам траловых уловов и описана трофическая структура сообществ. В исследуемом районе впервые отбор донных проб сочетался с видеонаблюдениями и фотографированием. По предварительным результатам большинство таксонов, отмеченных на фото- и видеотрансектах, были также получены в траловых уловах.

Данные донных тралений и визуальных наблюдений биотопов с высокой гидродинамической активностью показали присутствие обильной эпифауны, представленной видами-индикаторами Уязвимых морских экосистем, в том числе глубоководными кораллами, губками, а также актиниями. Наиболее ярко такие сообщества представлены в западной части исследованного района на глубинах менее 1000 м.

Получены первичные данные о вещественном и гранулометрическом составе, текстуре, цветовых характеристиках, плотности и влажности донных осадков на террасах и в четырех каньонах континентального склона Патагонии. Исследована структура нескольких каньонов и состав осадков в них.

Морские экспедиционные исследования на НИС «Академик Борис Петров» в 2019 году

**КОМПЛЕКСНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ
РОССИЙСКОГО СЕКТОРА ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ ЛЕТОМ 2019 ГОДА
(45-й рейс НИС «АКАДЕМИК БОРИС ПЕТРОВ» 13 – 22 июля 2019 г.)**

По результатам отчета начальника экспедиции (Крек А.В., 2020)

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук
117997, г. Москва, Нахимовский проспект, 36
esimo@ocean.ru*

Экспедиция организована Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук (ИО РАН). Работы проведены в рамках госзадания ИО РАН № 0149-2019-0013 «Морские природные системы Балтийского моря и Атлантического океана: формирование природных комплексов Балтийского моря и их изменение под влиянием Атлантического океана и антропогенного воздействия», международного проекта в рамках INTERREG Baltic Sea Region. Проект BalticRIM – Комплексное управление морским культурным наследием региона Балтийского моря (АО ИО РАН); гранта РФФИ № 18-05-80031 «Формирование и воздействия на морскую экосистему опасных явлений, обусловленных химическим оружием, затопленным в Балтийском море после 2-й Мировой войны» (АО ИО РАН); договора о совместной научной деятельности №68/2018 от 14.06.2018 г. между АО ИО РАН и «АтлантНИРО».

Цель экспедиции – комплексное изучение природных комплексов Балтийского моря в условиях усиливающейся антропогенной нагрузки и изменения климата с учетом влияния Атлантического океана.

Задачи экспедиции

1. Гидрофизическое профилирование на непрерывных разрезах с использованием мультипараметрических зондов;
2. Отбор проб воды, донных осадков и биоты;
3. Гидролокация бокового обзора и акустическое профилирование дна на ключевых участках (Проект BalticRIM);

Задачи соответствуют следующим планируемым результатам по теме № 0149-2019-0013: Атлас российского сектора Юго-Восточной Балтики (геология, геохимия, гидрология, донные ландшафты, биотопы, берега); количественные оценки гидролого-гидрохимических условий Балтийского моря: верхний квазиоднородный слой, термоклин, галоклин, холодный промежуточный и придонные слои); концептуальная модель гидрологических, геолого-геохимических и биологических эффектов, связанных с затоками североморских вод в Балтику; количественные оценки антропогенного загрязнения для ключевых районов Балтийского моря (нефтепродукты, тяжелые металлы, взвесь, биогенные элементы, микропластик и др.)

Район работ

Работы выполнялись в пределах территориального моря и ИЭЗ России юго-восточной части Балтийского моря (рис. 7).

Рис. 7. Схема работ в 45-м рейсе НИС «Академик Борис Петров». 1 – нефтедобывающая платформа; 2 – океанологические станции; 3 – точки постановки инклинометрических датчиков; 4 – непрерывные гидрофизические разрезы; 5 – геоакустический профиль; 6 – граница российского сектора; 7 – территориальные воды; 8 – изобаты, м

Использованное оборудование

- Буксируемый интерферометрический гидролокатор бокового обзора (ГЛБО) Teledyne BenthosC3D;
- Однолучевой двухчастотный эхолот Simrad EA400SP;
- Профилограф скорости звука Valeport miniSVP;
- Спутниковая система позиционирования GPS Trimble;
- Датчик перемещений IMU-108;
- Дночерпатель «Ван-Вина»;
- Герметичная грунтовая трубка конструкции Лаури Ниемисто;
- Ударная геологическая трубка большого диаметра;
- Коробчатый пробоотборник бокс-корер (box corer);
- Мультипараметрический СТД - зонд Sea&Sun Tech CTD-90M;
- Мультипараметрический СТД-зонд Idronaut Ocean 316 Plus;
- Планктонная сеть WP-2;
- Ихтиопланктонная сеть ИКС-80;
- Сеть Джеди;

- Комплекс HYDRO-BIOS MWS 12 Slimline;
- Батометры Нискина объемом 1.7, 5, 10, 30 л;
- Инклинометрические измерители течений (опытные образцы);
- Диск Секки;
- Переносная метеостанция "Kestrel 4000 Pocket Weather Tracker";
- Фотоколориметр КФК-2 МП;
- Ручной титратор-дозатор Аквилон АТП-1Д.

Основные результаты экспедиции

1) На дне эрозионной долины на Гданьско-Готландском пороге были обнаружены глины бежевого цвета с красноватым оттенком. Алевроито-пелитовые осадки в редком случае (в двух пробах) отмечены только в экзарационных бороздах.

2) В придонном слое Гданьской впадины обнаружены условия гипоксии, вплоть до аноксии. Концентрация растворенного кислорода с глубины 70 м была менее 2 мг/л, растворенного сероводорода 0,15-0,31 мг/л.

3) По результатам непрерывного гидрофизического профилирования в центральной части Гданьской впадины был отмечен циклонический вихрь, по глубине достигающий галоклина.

4) По результатам экспериментальных измерений течений в эрозионной долине на Гданьско-Готландском пороге было обнаружено придонное пульсирующее течение.

5) Концентрации фосфатов в эвфотическом слое (0,19-0,71 мкг-ат/л) были выше лимитирующих рост фитопланктона в Балтийском море (0,15 мкг-ат/л), что позволяло диазотрофным цианобактериям интенсивно развиваться.

6) Концентрации хлорофилла «а» в фотическом слое соответствовали мезотрофному уровню (0,8-4,0 мкг/дм³) согласно классификации трофического статуса вод Балтийского моря. Характерной чертой летней ситуации 2019 г. была резко выраженная неоднородность распределения первичной продукции и ассимиляционных чисел в поверхностном слое: от значений, советующих среднемуголетнему уровню (вблизи мыса Таран и Куршской косы), до относительно низких для летнего периода величин (Гданьский залив, северо-восточный склон Самбийско-Куршской возвышенности и район мыса Гвардейский).

Морские экспедиционные исследования на НИС «Академик Николай Страхов» в 2019 году

**КОМПЛЕКСНОЕ ИЗУЧЕНИЕ РОССИЙСКОГО СЕКТОРА ЮГО-ВОСТОЧНОЙ
ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ И ФИНСКОГО ЗАЛИВА
(39-й рейс НИС «АКАДЕМИК НИКОЛАЙ СТРАХОВ» 11 – 20 мая 2019 г.)**

По результатам отчета начальника экспедиции (Крек А.В., 2020)

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт океанологии им.П.П.Ширшова Российской академии наук
117997 Москва, Нахимовский проспект, 36
esimo@ocean.ru*

39-й рейс НИС «Академик Николай Страхов» в Балтийском море проведен в рамках выполнения государственных заданий ИО РАН № 0149-2019-0013 «Морские природные системы Балтийского моря и Атлантического океана: формирование природных комплексов Балтийского моря и их изменение под влиянием Атлантического океана и антропогенного воздействия», Проект РФФИ №19-05-00717 «Ядро ХПС Балтики: проверка гипотез формирования» (рук. Чубаренко И.П.) и Договора АО ИО РАН и ВСЕГЕИ № 3.6/19-114 от 25.04.2019 г. по теме «Исследование донных осадков Финского залива Балтийского моря в 2019 г.» (рук. Ульянова М.О.).

Цель экспедиции

Комплексное изучение природных комплексов Балтийского моря в условиях усиливающейся антропогенной нагрузки и изменения климата с учетом влияния Атлантического океана.

Задачи экспедиции

1. Проведение профилирования структуры гидрофизических полей на непрерывных разрезах с использованием мультипараметрических зондов;
2. Отбор проб воды, донных отложений, биологических проб и взвешенного вещества в рамках мультидисциплинарного мониторинга морской экосистемы;
3. Многолучевая батиметрическая съемка и геоакустическое профилирование дна на ключевых участках российских секторов юго-восточной части Балтийского моря и Финского залива;

Задачи соответствуют следующим планируемым результатам по теме № 0149-2019-0013: Атлас российского сектора Юго-Восточной Балтики (геология, геохимия, гидрология, донные ландшафты, биотопы, берега); количественные оценки гидролого-гидрохимических условий Балтийского моря: верхний квазиоднородный слой, термоклин, галоклин, холодный промежуточный и придонные слои); концептуальная модель гидрологических, геолого-геохимических и биологических эффектов, связанных с затоками североморских вод в Балтику; количественные оценки антропогенного загрязнения для ключевых районов Балтийского моря (нефтепродукты, тяжелые металлы, взвесь, биогенные элементы, микропластик и др.).

Район работ

Работы выполнялись в российском секторе Юго-Восточной Балтики и Финского залива (рис. 8, 9).

Рис. 8. Схема работ в 39-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов» в российском секторе Юго-Восточной Балтики

Рис. 9. Схема работ в 39-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов» в российском секторе Финского залива

Использованное оборудование

- Многолучевой эхолот RESON SeaBat 8111;
- Профилограф EdgeTech 3300-HM;
- Мультипараметрический CTD-зонд Sea&Sun Tech CTD-90M;
- Мультипараметрический CTD-зонд Idronaut Ocean 316 Plus;

- Дночерпатель «Ван-Вина»;
- Герметичная грунтовая трубка конструкции Лаури Ниемисто;
- Ударная геологическая трубка большого диаметра;
- Планктонная сеть WP-2;
- Ихтиопланктонная сеть ИКС-80;
- Батометры Нискина объемом 1.7, 5, 10 л;
- Ручной титратор-дозатор Аквилон АТП-1Д;
- Диск Секки.

Основные результаты экспедиции

1. По результатам многолучевого эхолотирования Гданьско-Готландского порога детально закартирован рельеф. В результате отбора проб и геологического описания верхнего слоя донных осадков обнаружена эрозионная поверхность, свидетельствующая о существовании либо периодическом появлении достаточно сильных придонных течений. В Гданьской впадине для глубин 100 м характерно накопление пелитовых илов.

2. Гидрологические исследования на Гданьско-Готландском пороге выявили нетипичную для данного района в беззатокный период вертикальную структуру распределения растворенного кислорода на склоне подводной ложбины. Максимальные значения наблюдались в придонном слое в срединной части ложбины, что свидетельствует об активном водообмене между суббассейнами Балтики в данном районе.

3. В придонном слое Гданьской впадины продолжилось развитие бескислородных условий, связанных с развитием стагнации вод в период отсутствия крупных затоков. Соленость в придонном слое составляла 13 епс.

4. В планктонных пробах из Юго-Восточной Балтики визуально были отмечены фрагменты желетелых организмов - вероятно, медуз. На ст. АНС-39003 в пробах были визуально отмечены яйца рыб.

5. На глубинах 80-112 м в Гданьском бассейне отсутствовал макрозообентос. В Готландском бассейне на глубинах 105 м на глинисто-песчаном грунте с вкраплениями железно-марганцевых конкреций были обнаружены гидроидные полипы и двустворчатые моллюски *Astarte sp.*

6. По данным предварительного анализа результатов многолучевого эхолотирования и НСП в пределах полигона в районе о. Виргин (Финский залив) гипотетически выделены образования краевой зоны дегляциации. На профилях НСП выделен перекрывающий типичные отложения Балтийского ледникового озера специфический сейсмоакустический комплекс, генезис которого не очевиден. Выделение и латеральное прослеживание комплекса представляет большой интерес с точки зрения уточнения концепции палеогеографического развития региона.

7. На полигоне в р-не о. Виргин отобраны пробы на зообентос, характеризующие участки дна с различным набором абиотических характеристик (глубина, морфология дна, состав донных отложений), что позволит провести статистический анализ биологических и геолого-геоморфологических данных и построить карту донных ландшафтов.

8. На полигоне около о. Соммерс (Финский залив) в ходе акустических исследований были оконтурены ареалы распространения газонасыщенных илов и свойственных им отрицательных форм рельефа.

9. В Финском заливе на глубинах свыше 50 м в илах с запахом сероводорода макробентос визуально не отмечен, в то время как на песчано-галечных, глинистых грунтах, и грунтах, содержащих железно-марганцевые конкреции, отмечены моллюски *Macoma balthica*, морской таракан *Saduria entomon*, бокоплавы, полихеты, приапиды.

**ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ
ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ЮЖНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ
(40-й рейс НИС «АКАДЕМИК НИКОЛАЙ СТРАХОВ» 30 мая – 24 июня 2019 г.)**

По результатам отчета начальника экспедиции (Солдатов А.С., 2020)

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем
безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук
115191 Москва, ул.Большая Тульская, 52
esimo@ocean.ru*

Комплексные экспедиционные исследования в Баренцевом море проведены в интересах выполнения задач научно-исследовательских работ: Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук. Государственное задание № 007-00280-18-00 ФАНО России на 2018 год и на плановый период 2019 и 2020 годов по теме 0046-2014-0003 «Разработка теоретических основ, численных методов и алгоритмов нового поколения для вычислительных комплексов эксафлопного уровня, для математического моделирования многомасштабных физических процессов, обоснования безопасности энергетических объектов, анализа и прогнозирования последствий техногенных аварий»; Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук. Государственное задание на 2017-2019 годы по теме № 0149-2019-0015 «Волновые процессы, явления переноса и биогеохимические циклы в морях и океанах: исследование формирующих механизмов на основе физико-математического моделирования и натурных экспериментальных работ». Тема выполняется в Санкт-Петербургском филиале Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук (СПбФ ИО РАН). Руководитель темы д.т.н. Родионов А.А.; Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук. Плановая тема бюджетного финансирования «Разработка методов параметризации потоков импульса тепла и влаги у поверхности океана» (рег. номер № 0120.0 710792), грант Российского фонда фундаментальных исследований: 18-05-80065 «Анализ и прогнозирование опасных гидрометеорологических явлений в прибрежных районах Арктической зоны Российской Федерации».

Цель экспедиции

Получение натурных данных в реальном масштабе времени, обуславливающих пространственно-временную изменчивость гидрофизических полей в южной части Баренцева моря в условиях меняющегося климата, а также проведение исследований для формирования и обоснования оптимального подхода и методик подготовки данных гидрофизических измерений для последующего использования в численных схемах анализа и прогноза параметров морской среды в интересах решения задач прикладной океанологии.

Задачи экспедиции

Экспедиционные исследования:

- Проведение наблюдений характеристик гидрофизических полей морской среды и их распределений по глубине, в том числе:
 - выполнение глубоководных (от поверхности до дна) термохалинных измерений (измерений температуры, солёности) морской среды на гидрологических станциях;
 - выполнение измерений вертикальных профилей скорости течений, согласованных с термохалинными измерениями в пространственно-

временном масштабе.

– Проведение наблюдений гидрометеорологической обстановки в приводном слое атмосферы, в том числе:

- измерения температуры воздуха, влажности, давления, скорости и направления ветра;
- прямые измерения пульсаций температуры, горизонтальной (двух компонент) и вертикальной скоростей ветра. Расчет на основе результатов измерений турбулентных потоков тепла и импульса, а также стратификации атмосферы, параметра шероховатости поверхности, коэффициентов обмена в аэродинамических балк-формулах и структурных характеристик атмосферной турбулентности. Измерение в трех направлениях углов наклона и ускорений платформ, на которых расположены датчики, для коррекции помех, вносимых движением судна;
- дистанционные измерения профиля температуры атмосферного пограничного слоя до высоты 1000 м.;
- измерения температуры морской поверхности в ИК диапазоне;
- измерения массовой концентрации микрокристаллического углерода в атмосферном воздухе;
- визуальные наблюдения за облачностью и состоянием морской поверхности.

Камеральная обработка результатов:

– Подготовка результатов гидрофизических и гидрометеорологических наблюдений для последующего использования в численных схемах анализа и прогноза параметров морской среды.

– Анализ результатов гидрофизических и гидрометеорологических наблюдений с целью описания пространственно-временной изменчивости океанологических полей в южной части Баренцева моря.

Разработка научно-обоснованных рекомендаций по формированию оптимального подхода к подготовке результатов судовых наблюдений для последующего использования в численных схемах анализа и прогноза параметров морской среды.

Район работ

Экспедиционные работы выполнялись в двух районах: при переходе из п. Калининград в п. Мурманск в Норвежском море в Лофотенской котловине (дополнительный район); в юго-западной части Баренцева моря около п-ва Рыбачий и в Мотовском заливе (основной район) (рис. 10, 11).

Рис. 10. Схема маршрута движения НИС «Академик Николай Страхов» в 40-м рейсе с районами проведения работ. 1 – дополнительный район работ в Норвежском море, 2 – основной район работ в Баренцевом море. На врезке отражена схема расположения

галсов и станций (разреза), выполненных в Лофотенской котловине с 5 по 6 июня 2019 г.

Рис. 11. Схема расположения станций наблюдения на основном полигоне в Баренцевом море. Цифрами обозначены номера станций на полигоне в Баренцевом море в порядке выполнения съемки (съемка по схеме выполнена дважды).

Использованное оборудование

–Доплеровский профилограф Ocean Surveyor/Observer 150 kHz – 96A-6018 (TELEDYNE RD INSTRUMENTS, США) для измерения профилей (скорости и направления) течений (штатное оборудование судна);

–Гидрологический зонд SBE-25 (США) для регистрации давления, температуры, электропроводности;

–Гидрологический зонд CastAway (США) для регистрации давления, температуры и электропроводности на океанографических станциях;

–Акустический пульсационный анемометр GIL для измерений пульсаций температуры воздуха и трех компонент скорости ветра;

–Морская метеостанция WX150 (AIRMAR) для измерений температуры и влажности воздуха, давления, скорости и направления ветра, а также характеристик движения судна;

–Метеорологический температурный профилемер МТР-5 для измерения профилей температуры атмосферного пограничного слоя;

–ИК-радиометр HEITRONICS KT19 II для измерения температуры морской поверхности;

–Автоматический аэрозольный пробоотборник для сбора проб сажевого аэрозоля;

–Персональные компьютеры для регистрации и обработки получаемой информации;

Судно оснащено системой GPS, эхолотом и судовой метеостанцией. Данные с этих судовых систем использовались для получения координат океанографических станций и глубины места, скорости и курса движения судна, скорости и направления ветра.

Объем выполненных работ

В ходе экспедиционных исследований было выполнено:

1. регистрация профилей течений доплеровским профилографом с получением данных по скорости и направления течений (на 8 галсах протяженностью 180 миль);
2. гидрофизические зондирования CTD-зондом с получением данных по температуре, солености (295 зондирований);
3. стандартные метеорологические наблюдения (24 суток);
4. сбор данных о трёх компонентах скорости ветра и акустической температуры (24 суток);
5. расчет потоков тепла, импульса и влаги (скрытого тепла) по данным пульсационных измерений (24 суток);
6. измерение температуры морской поверхности (24 суток);
7. регистрация профилей температуры воздуха на высоте 0-1000 м (24 суток);
8. отбор проб на определение концентрации сажевого аэрозоля (24 суток).

За период экспедиционных работ было выполнено 295 океанографических станций (1 разрез и 2 полигонных съемки).

Основные результаты экспедиции

В центральной части района Лофотенской котловины (Норвежское море) зафиксирована вихревая структура с антициклоническим типом закрутки с диаметром около 22 морских миль, положение которой примерно соответствовало аномалии уровня поверхности моря, полученной по спутниковым данным. Наличие вихревой структуры антициклонического происхождения подтверждено данными выполненного в районе гидрологического разреза.

Предварительно анализируя пространственную изменчивость гидрофизических полей по данным полигонной съемки в Баренцевом море, можно сделать следующие выводы:

1. в районе отмечается значительная изменчивость гидрологических условий, связанная с воздействием атмосферных процессов;
2. распределение температуры и солености в районе имеет двухслойную структуру, слой скачка залегает на глубинах 20-50 м;
3. в прибрежной части полигона наблюдается фронтальная зона.

Основные предварительные результаты исследования энергообмена атмосферы и подстилающей поверхности:

1. Получены значения характеристик энергообмена (потоки тепла, влаги, импульса) при различных синоптических условиях (волнение моря от 1 до 7 баллов, холодные теплые вторжения во фронтальных зонах).

2. Исследованы процессы энергообмена во фронтальных зонах. Установлено влияние зон океанских фронтов на интенсификацию энергообмена. Показана существенная пространственная и временная изменчивость характеристик энергообмена в прибрежной зоне, связанная с синоптическими условиями и влиянием берегов.

3. Исследована структура атмосферного пограничного слоя над морской поверхностью. Установлено влияние фронтальных зон на температурную структуру в АПС, а также влияние берега в прибрежной зоне.

4. Проведены непрерывные наблюдения за температурой морской поверхности, что позволяет усовершенствовать методики расчета турбулентных потоков над морской поверхностью и провести валидацию спутниковых данных.

На рисунке 12 отражен поток явного тепла между океаном и атмосферой, измеренный на полигонах и по маршруту движения судна.

Рис. 12. Поток явного тепла между океаном и атмосферой, измеренный на полигонах и по маршруту движения НИС «Академик Николай Страхов» в 40-м рейсе

**МОРСКИЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В БАРЕНЦЕВОМ
И КАРСКОМ МОРЯХ
(41-й рейс НИС «АКАДЕМИК НИКОЛАЙ СТРАХОВ»
25 июня – 9 августа 2019 г.)**

По результатам отчета начальника экспедиции (Никифоров С.Л., 2020)

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт океанологии им.П.П.Ширшова Российской академии наук
117997 Москва, Нахимовский проспект, 36
esimo@ocean.ru*

Комплексные экспедиционные исследования в Баренцевом море проведены на основании разрешения Министерства науки и высшего образования Российской Федерации на проведение морских научных исследований № ДН-69-09/7и от 25 февраля 2019 г.

Цель экспедиции - проведение комплексных геолого-геофизических, геоморфологических и гидрофизических исследований на шельфе Баренцева и Карского морей.

Задачи экспедиции

–Проведение картирования рельефа и верхней осадочной толщи с целью определения быстрых изменений морского дна для минимизации негативных последствий при планируемой круглогодичной эксплуатации Северного Морского пути и в районах освоения нефтегазовых месторождений в морях западного сектора российской Арктики. Полученные данные могут быть использованы для решения одной из актуальных фундаментальных задач четвертичной геологии, геоморфологии и палеогеографии - уточнения границ распространения оледенений на шельфе западной Арктики.

–Обоснование наиболее вероятного сценария развития природных обстановок западного арктического шельфа РФ на фоне продолжающегося потепления климата, повышения уровня моря и усиливающегося воздействия антропогенных факторов. В данном регионе в условиях потепления климата изменения природной среды будут более значительными и могут произойти раньше, чем в низких и умеренных широтах.

–Определение наличия, границ и размеров возможного простираения подводных многолетнемерзлых пород и эмиссии газов различного генезиса с привязкой сейсмоакустических данных к результатам бурения (кернам) как реперам для определения вещественного состава и генезиса различных слоев верхней осадочной толщи. Применение высокоточных геофизических комплексов даст возможность эффективно определять зоны аномального газонасыщения в водной и верхней осадочной толще.

–Оценка современных опасных природных процессов, включая экзарационное воздействие на морское дно. Опасность также представляют особенности структуры морского дна, связанные с процессами газовыделения – покмарки, пинго-подобные структуры. Данные, полученные донными сейсмографами, позволят определить сейсмичность района исследований.

–Разработка рекомендаций по созданию составной части комплексной системы геолого-геофизического мониторинга морского дна с использованием новых аппаратных комплексов для высокоточного картирования рельефа и верхней осадочной толщи с целью прогноза негативных и катастрофических изменений природной среды.

Район работ

Работы в 41-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов» проводили в Баренцевом и Карском морях (рис. 13).

Рис. 13. Карта выполненных работ в 41-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов» в Баренцевом и Карском морях. Выполненные геофизические профили показаны серым цветом, комплексные станции – красными точками

Использованное оборудование

– Кабель-тросовый гидрологический зонд SBE19+ (Sea-Bird Electronics, США) для измерения температуры, солености и плотности водной толщи на станциях;

– Узколучевой параметрический эхолот-профилограф «SES-2000» (Innomar GmbH, Германия) с функцией узконаправленной батиметрии и одновременного высокоразрешающего зондирования придонного слоя осадков в параметрическом режиме.;

– Многолучевой эхолот Reson SeaBat 8111 (Reson A/S, Дания) для проведения работ по обследованию и картированию рельефа дна;

– Многолучевой эхолот WASSP WMB-3250 (WASSP Ltd, Новая Зеландия) для высокоразрешающей батиметрии морского дна;

– Профилограф EdgeTech 3300 (EdgeTech, США) для изучения придонного слоя осадков;

– Морской протонный магнитометр МПМГ (ООО «Спектр-Геофизика») для проведения магнитометрических исследований;

– Аппаратурно - программный комплекс "Геонт-шельф" (ООО «Спектр-Геофизика»), представляющий собой законченную систему для проведения работ методом одноканального непрерывного сейсмического профилирования с буксируемыми за бортом электроискровым или электродинамическим излучателями;

– Бортовая электронная метеостанция AirMar 220WX;

– Система отбора проб морской воды SBE 32C (Sea-Bird Electronics, США) с батометрами Нискина для отбора проб на химические анализы;

– Донные сейсмографы МПССР (ООО «Подводная техника»), для регистрации морских землетрясений (4 шт.);

– Дночерпатель «Океан-0.1» для отбора проб донных осадков;

– Гравитационный пробоотборник донных грунтов (ОКБ ОТ РАН) с длиной приемной части 5 м.

Объем выполненных работ

В ходе экспедиционных исследований были выполнены:

- гидрофизические зондирования CTD-зондом SBE19+ с получением данных по температуре, солености и плотности (47 станций);
- отбор проб воды с поверхности и в толще моря с помощью батометров Нискина для проведения геохимических исследований (50 станций);
- отбор проб донных осадков дночерпателем «Океан-0,1» (50 станций);
- геологический пробоотбор ударной грунтовой трубкой - 13 станций;
- измерения теплопроводности проб донных осадков на 47 станциях;
- более 12000 морских миль профилей геофизических исследований (эхолотирование и сейсмопрофилирование);
- подняты донные сейсмические станции (4 шт.), установленные в Печорском море в 2018 году.

Всего за период экспедиции было выполнено 56 станций комплексных исследований.

Основные результаты экспедиции

На Баренцево-Карском шельфе проведены комплексные геофизические, гидроакустические, геолого-геоморфологические и гидрофизические исследования.

В результате исследований уточнены границы распределения различных фаций донных осадков. Главной особенностью современных донных отложений является широкое развитие песчаных фаций в южной и центральной части Печорского бассейна. Отмеченная особенность обусловлена прежде всего его мелководностью и интенсивным привносом в зону его шельфа большого количества печано-алеритового материала речным стоком. Другим источником поставки песчано-алевритового материала в Печорский бассейн следует считать размыв прибрежных аккумулятивных форм, а также процессы солифлюкции и, частично, термоабразии берегов южного побережья Печорского моря и о-ва Колгуев. В северной – наиболее глубоководной части Печорского бассейна распространены более тонкие осадки – пелитовые и алеврито-пелитовые илы. Наличие в илах единичных крупных обломков свидетельствует о ледовом разносе как еще об одном источнике поставки осадочного материала в Печорский бассейн.

Исследования подтвердили широкое распространение современных опасных геолого-геоморфологических процессов различного генезиса в Баренцево-Карском регионе. При проведении исследований были выявлены многочисленные следы ледовой экзарации, обусловленные действием морского льда и/или айсбергов. В районе траверза Чешской губы обнаружены торрентогенные песчаные гряды, связанные с сильными течениями. В южной части Баренцева моря обнаружены выходы интрузий, выраженные в рельефе и верхней части осадочного чехла.

Установлено широкое распространение газонасыщенных осадков, сопровождаемое эмиссией в виде газовых «факелов» и пузырьковых струй в водной толще. Также на нескольких участках были обнаружены кратеры покмарков, что указывает на существование в настоящее время или недавнем прошлом благоприятных условий для дегазации.

В Баренцевом и Карском море в верхней части осадочной толщи были обнаружены проявления современных неотектонических движений. По данным поднятых в Печорском море донных сейсмографов получены записи как местных, так и удаленных землетрясений.

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЮЖНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ (42-й РЕЙС НИС «АКАДЕМИК НИКОЛАЙ СТРАХОВ» 17 – 27 августа 2019 г.)

По результатам отчета начальника экспедиции (Дорохов Д.В., 2020)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт океанологии им.П.П.Ширшова Российской академии наук
Россия, 117997, г. Москва, Нахимовский просп., 36
esimo@ocean.ru

Комплексные экспедиционные исследования проведены согласно плану научно-исследовательской работы Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института океанологии им П.П. Ширшова РАН на 2019-2021 гг. Тема № 0149-2019-0013 «Морские природные системы Балтийского моря и Атлантического океана: формирование природных комплексов Балтийского моря и их изменение под влиянием Атлантического океана и антропогенного воздействия»; проекту РФФИ №18-05-80031 «Формирование и воздействие на морскую экосистему опасных явлений, обусловленных химическим оружием, затопленным в Балтийском море после 2-й Мировой войны».

Цель экспедиции - мониторинг пространственно-временных изменений абиотических и биотических компонентов экосистемы Балтийского моря.

Задачи экспедиции

1. Получение данных о пространственной структуре и динамике вод на всех глубинах, включая придонный слой, на высокоразрешающих разрезах в зоне распространения соленых плотных североморских вод в Балтийское море. Доработка и внедрение перспективных средств и методов исследования мезо- и микромасштабной структуры придонного слоя;
2. Отбор проб воды и донных осадков на опорных комплексных станциях во всех бассейнах Южной Балтики для анализа в рамках общего экологического мониторинга Балтийского моря и специального мониторинга районов массового захоронения химического оружия;
3. Поиск и идентификация потенциально опасных подводных объектов геоакустическими приборами по маршруту экспедиции и их идентификация с помощью телеуправляемой экспериментальной видеосистемы и прицельного взятия проб донных отложений для последующего определения присутствия загрязняющих веществ;
4. Идентификация и картографирование донных ландшафтов Балтийского моря на основе геоакустических и гидробиологических исследований;
5. Оценка влияния адвекции вод различной солености, плотности, температуры и насыщенности кислородом на различных участках трассы затоковых течений на макро-зоо-бентос; изучение состава и структуры донных сообществ;
6. Исследование генетического разнообразия бактериофагов Балтийского моря в условиях цианобактериальных «цветений»;
7. Изучение характеристик зоо- и ихтиопланктона в летний период в бассейнах Балтийского моря в связи со структурой вод;
8. Исследование сезонных особенностей таксономического разнообразия и структуры фитопланктона Балтийского моря в различных бассейнах; исследование вертикального распределения фитопланктона для выяснения природы максимумов хлорофилла-а, наблюдающихся глубже фотического слоя;
9. Получение данных по встречаемости, популяционным и биологическим характеристикам некоторых видов-вселенцев Балтийского моря;

10. Описание состава, структуры доминантного комплекса и количественных характеристик фитопланктона в условиях «цветения». Определение концентрации в воде биогенных элементов (азота, кремния и фосфора) и хлорофилла;

Задачи соответствуют следующим планируемым результатам по теме № 0149-2019-0013: Атлас российского сектора Юго-Восточной Балтики (геология, геохимия, гидрология, донные ландшафты, биотопы, берега); количественные оценки гидролого-гидрохимических условий Балтийского моря: верхний квазиоднородный слой, термоклин, галоклин, холодный промежуточный и придонные слои); концептуальная модель гидрологических, геолого-геохимических и биологических эффектов, связанных с затоками североморских вод в Балтику; количественные оценки антропогенного загрязнения для ключевых районов Балтийского моря (нефтепродукты, тяжелые металлы, взвесь, биогенные элементы, микропластик и др.).

Район работ

Исследования проводились в юго-восточной части Балтийского моря в исключительной экономической зоне и территориальных водах РФ (рис. 14).

Рис. 14. Карта выполненных работ в 41-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов» в Баренцевом и Карском морях. Выполненные геофизические профили показаны серым цветом, комплексные станции – красными точками.

Использованное оборудование

- Штатный судовой многолучевой эхолот Reson SeaBat 8111;
- Интегрированная навигационная система Applanix POS MV;
- Резервный датчик перемещений и гироскоп IXSEA OCTANS III;
- Штатный судовой профилограф EdgeTech 3300;
- Мультипараметрический зонд Idronaut OS310;
- Мультипараметрический зонд Idronaut OS 316 Plus;
- Штатный судовой акустический профилограф скорости течений ADCP RDI Teledyne Ocean Surveyor;

- Диск Секки;
- Экспериментальные инклинометрические измерители скорости придонных течений;
- Количественная планктонная сеть WP-2 (диаметр 56 см, ячейка 100 мкм);
- Ихтиопланктонная коническая сеть ИКС-80 (диаметр 80 см, ячейка 333 мкм);
- Дночерпатель Ван-Вина (площадь захвата 0,1 м²);
- Экспериментальный телеуправляемый подводный аппарат (ТПА);
- Батометр Нискина HYDRO-BIOS 10 л.

Основные результаты экспедиции

Пополнен массив данных для комплексной оценки геоэкологического состояния российского сектора юго-восточной части Балтийского моря.

Получен массив данных на высокоразрешающих разрезах, позволяющий описать эволюцию мезомасштабной структуры в связи с меняющейся интенсивностью затоковых североморских вод и меняющихся условий на различных участках трассы их распространения. Обнаружены и количественно оценены затоковые течения на слабо изученном участке их проникновения в южную часть Готландской впадины из Слупского жделоба и Гданьской впадины с использованием усовершенствованной системы измерений на ходу судна, отличающейся более высокими показателями. Зондирования на ходу судна сопровождались непрерывными измерениями судовым акустическим профилографом скорости течения в слое от поверхности до галоклина, а также измерениями придонных течений в районах предполагаемого формирования затоковых течений. Новая система измерений на ходу судна доведена до возможности регулярного использования, в частности, для проведения мониторинга затоковых течений на участке их проникновения в Готландскую впадину в российских водах.

Пополнен массив батиметрических данных и геофизических профилей с целью идентификации и картирования донных ландшафтов. Уточнены границы распространения алевроито-пелитовых донных отложений Гданьской впадины. Отмечена слоистая структура крупных песчаных тел на поверхности морены в районе плато Рыбачий, которые предположительно являются затопленными реликтовыми дюнами. Выполнена многолучевая батиметрическая съемка палеодолины на южном склоне Готландской впадины, которая позволит определить особенности ее формирования в прошлом, а также выявить ее влияние на распространение затоковых течений.

Признаков цветения в районе исследования при визуальном наблюдении не отмечено. Предварительный анализ проб макрозообентоса показал, что на мелкодисперсных илах с запахом сероводорода в районе Готландская впадина - Гданьская впадина, вдоль польской границы (ИЭЗ России) на глубинах 72-111 м отсутствуют живые организмы (ст. АНС42-01, АНС42-02, АНС42-07 - АНС42-13). Только на ст. АНС42-03, находящейся в Готландской впадине (ИЭЗ России), на глубине 101 м на глинисто-песчаных донных осадках отмечены живые двустворчатые моллюски *Astarte spp.* (ASTARTIDAE: BIVALVIA). На этой станции у дна кислород составлял 4 мг\л, соленость 11.95 ‰, что, возможно, свидетельствует о затоковых течениях.

После камеральной обработки собранного материала будут получены данные для исследования фитопланктона Балтийского моря в различных бассейнах (сезонные особенности таксономического разнообразия и структуры, вертикальное распределение) и генетического разнообразия бактериофагов в условиях цианобактериальных цветений. Получен материал для дальнейшего изучения характеристик зоо- и ихтиопланктона в летне-осенний период в бассейнах Балтийского моря в связи со структурой вод; для оценки влияния на макрозообентос, состав и структуру донных сообществ адвекции вод различной солености, плотности, температуры и насыщенности кислородом на различных участках трассы затоковых течений.

**КОМПЛЕКСНЫЕ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ГЛУБОКОВОДНОГО ПРОХОДА ДИСКАВЕРИ (СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ
АТЛАНТИКА)
(43-й рейс НИС «АКАДЕМИК НИКОЛАЙ СТРАХОВ»
21 сентября – 9 октября 2019 г.)**

По результатам отчета начальника экспедиции (Дорохова Е.В., 2020)

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт океанологии им.П.П.Ширшова Российской академии наук
117997 Москва, Нахимовский просп., 36
esimo@ocean.ru*

Комплексные экспедиционные исследования в 43-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов» проведены в рамках следующих программ: тема № 0149-2019-0013 «Морские природные системы Балтийского моря и Атлантического океана: формирование природных комплексов Балтийского моря и их изменение под влиянием Атлантического океана и антропогенного воздействия» плана НИР ИОРАН на 2019-2021 гг.; тема № 0149-2019-0009 «Биологическое разнообразие и эволюция фауны океана: биоразнообразие морской фауны Арктики, морей России и открытых районов океана, происхождение и эволюция фауны крупных океанических регионов, фауна уникальных морских биотопов и ее сохранение» плана НИР ИОРАН на 2019-2021 гг.; РНФ, проект № 19-17-00246 «Антарктическая донная вода в северо-восточной Атлантике: седиментационный эффект и ледниковая цикличность» (2019-2021 гг.).

Цель экспедиции - изучение распространения Антарктической донной воды в Северо-Восточной Атлантике и ее роли в формировании четвертичных донных осадков.

Задачи экспедиции

- Палеоокеанологические и палеогеографические реконструкции ключевых районов Атлантического океана и бассейна Балтийского моря;
- Получение сведений о фауне океанологических биотопов;
- Батиметрическая съемка и геоакустическое профилирование участков дна в районах глубоководных котловин и абиссальных аккумулятивных осадочных тел, а также гидролого-гидрохимические исследования и сбор взвеси.

Район работ

Исследования проводились в проходе Дискавери, расположенном в хребте Азоро-Гибралтарского трансформного разлома и являющимся глубоководным каналом, соединяющим котловину Мадейра и Иберийскую котловину (рис. 15).

Рис. 15. Маршрут 43 рейса НИС «Академик Николай Страхов»

Использованное оборудование

- Штатный судовой многолучевой эхолот Reson SeaBat 7150.
- Интегрированная навигационная система Applanix POS MV.
- Штатный судовой профилограф EdgeTech 3300.
- Штатный эхолот ELAC LAZ 4700.
- Геологическая ударная грунтовая трубка большого диаметра (ТБД) – 1 шт.
- Дночерпатель (ДЧ) «Океан» – 2 шт.
- Бинокляры МБС10, Motic.
- Тягомер, напоромер и дифманометр-тягонапоромер ДТНМП-100-М1 для сбора эоловой взвеси.
- Система отбора проб воды карусельного типа на 12 батометров SBE 32.
- Мультипараметрический гидрофизический зонд SBE 19plus V2 Sea CAT.
- Блок управления и передачи гидрофизических данных SBE 33.
- Альтиметр SBE, подключаемый к зонду SBE 19plus V2 SeaCAT.
- Батометры Нискина HYDRO-BIOS, 1,7 л – 4 шт., 10 л – 2 шт.
- Спектрофотометр КФК-3КМ.
- Ручной титратор-дозатор Аквилон АТП-1Д.
- Фильтрационная установка для фильтрации водной взвеси и поликарбонатные воронки Sartorius Stedim Biotech 16510.
- Пингер Teledyne Benthos 2216 - 2 шт.
- Пингер, опытный образец.
- Видеокамеры GoPro Hero 7 black и SJ 4000 air.

Основные результаты экспедиции

Результаты гидрофизического зондирования на станциях показали, что в районе исследования верхнюю границу ААДВ следует проводить по изотерме 2.05 °С и изогалине 34.91 епс. При этом в южной части глубоководного прохода обозначенная

граница ААДВ проходит на глубине 4400 м, тогда как в северной части – на глубине 4700 м, что свидетельствует об ограниченном проникновении ААДВ из котловины Мадейра в Иберийскую котловину через проход Дискавери.

В результате батиметрической съемки получена цифровая модель рельефа дна глубоководного прохода. Проход состоит из серии узких впадин и порогов, вытянутых в ЮЗ-СВ направлении.

Согласно модели максимальная глубина на южном входе составила 5474 м, в центральной части прохода – 5335 м. Глубина порога в центральной части прохода – 4860 м. Проход Дискавери характеризуется сложным, сильно расчлененным рельефом с многочисленными хребтами, одиночными возвышенностями и впадинами.

По результатам геоакустического профилирования выделено три типа эхофаций. Первый тип соответствует возвышенностям дна с неровными поверхностями и одиночными пиками и представлен записями в виде хаотичных гиперболических волн. Второй тип эхофаций характеризуется четким верхним рефлексом, отсутствием отражений ниже поверхности дна и соответствует выровненным возвышенностям. Третий тип встречается во впадинах. Он характеризуется проникновением акустического сигнала в осадочную толщу до 40 м и наличием нескольких параллельных рефлексов. Незначительное проникновение акустического сигнала в осадочную толщу свидетельствует о преобладании плотных осадков и низких скоростях осадконакопления.

Колонки донных осадков АНС-43003 (глубина 4737 м), АНС-43004 (4928 м) и АНС-43006 (5275 м) вскрыли светло-коричневые алевритовые глины с примесью фораминиферного песка и со множественными следами биотурбации. В колонке АНС-43006 (длина 391 см) отмечено очень сильное растворение раковин фораминифер, что свидетельствует о формировании осадочного разреза ниже критической глубины карбонатонакопления. Находки индекс-видов планктонных фораминифер *Globigerinoides ruber pink*, *Globorotalia menardii* указывают на среднеплейстоценовый–голоценовый возраст осадков колонки АНС-43006.

В рамках биологических исследований выполнено около 93-х часов визуальных наблюдений за морскими обитателями по маршруту следования судна, в ходе которых обнаружено 37 морских млекопитающих, 1622 птицы и 4 летучие рыбы.

**КОМПЛЕКСНЫЕ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В КАНАРСКОЙ
КОТЛОВИНЕ И В РАЙОНЕ КОНТУРИТОВОГО ДРИФТА КЕЙН
(44-й рейс НИС «АКАДЕМИК НИКОЛАЙ СТРАХОВ» 9 – 24 октября 2019 г.)**

По результатам отчета начальника экспедиции (Баширова Л.Д., 2020)

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт океанологии им.П.П.Ширшова Российской академии наук
117997 Москва, Нахимовский проспект, 36
esimo@ocean.ru*

Комплексные экспедиционные исследования проведены согласно госзаданиям ИО РАН № 0149-2019-0013 «Морские природные системы Балтийского моря и Атлантического океана: формирование природных комплексов Балтийского моря и их изменение под влиянием Атлантического океана и антропогенного воздействия» в соответствии с планом НИР на 2019-2021 гг. (рук. В.В. Сивков); № 0149-2019-0009 «Биологическое разнообразие и эволюция фауны океана: биоразнообразие морской фауны Арктики, морей России и открытых районов океана, происхождение и эволюция фауны крупных океанических регионов, фауна уникальных морских биотопов и ее сохранение» в соответствии с планом НИР на 2019-2021 гг. (рук. А.В. Гебрук); и проекту РНФ №19-17-00246 «Антарктическая донная вода в северо-восточной Атлантике: седиментационный эффект и ледниковая цикличность» (рук. В.В. Сивков).

Цель экспедиции - выполнить комплексные океанологические исследования для получения новых данных о современных гидрологических условиях в придонном слое океана и процессах осадконакопления на ключевых участках дна в Канарской котловине и в районе контуритового дрефта Кейн (поднятие Сьерра-Леоне).

Задачи экспедиции

1. Детальная батиметрическая съемка и геоакустическое профилирование. Планируемый результат госзадания ИО РАН № 0149-2019-0013: палеоокеанологические и палеогеографические реконструкции ключевых районов Атлантического океана и бассейна Балтийского моря»;

2. Прицельный отбор колонок донных отложений на основе предварительных результатов геоакустического профилирования, а также отбор поверхностных осадков. Планируемый результат госзадания ИО РАН № 0149-2019-0013: палеоокеанологические и палеогеографические реконструкции ключевых районов Атлантического океана и бассейна Балтийского моря»;

3. Комплексный анализ колонок на борту: литологическое описание, опробование осадков, биостратиграфия, физические свойства осадков. Планируемый результат госзадания ИО РАН № 0149-2019-0013: палеоокеанологические и палеогеографические реконструкции ключевых районов Атлантического океана и бассейна Балтийского моря»;

4. Гидролого-гидрохимические исследования антарктической донной вода (ААДВ) (гидрофизическое зондирование, пробоотбор, лабораторные измерения на борту судна). Планируемый результат проекта РНФ №19-17-00246: создание непротиворечивого качественного и количественного описания изменений характеристик, структуры и циркуляции водных масс Атлантики в районе исследования на основе различных оригинальных методов и данных.

5. Гидролого-гидрохимические исследования поверхностных вод по маршруту судна (гидрофизическое зондирование, пробоотбор, лабораторные измерения на борту судна). Планируемый результат проекта РНФ №19-17-00246: создание непротиворечивого качественного и количественного описания изменений

характеристик, структуры и циркуляции водных масс Атлантики в районе исследования на основе различных оригинальных методов и данных.

6. Биологические исследования по маршруту судна и на океанологических станциях. Планируемый результат госзадания ИО РАН № 0149-2019-0009: получение сведений о фауне океанологических биотопов.

Район работ

Полигон 1 расположен в Канарской котловине (юго-восточный склон) у плато Зеленого Мыса. Полигон 2 расположен в восточной части котловины Зелёного Мыса и в районе глубоководного прохода Кейн (возвышенность Сьерра-Леоне) (рис. 16).

Рис. 16. Расположение полигонов в 44 рейсе НИС «Академик Николай Страхов». Условные обозначения: 1 – океанологические станции; 2 – полигон работ №1; 3 – полигон работ №2; 4 – трассы геофизической съёмки, одновременного многолучевого эхолотирования и акустического профилирования дна; 5 – исключительные экономические зоны; 6 – изобаты, проведённые через 500 м.

Использованное оборудование

- Судовой профилограф EdgeTech 3300-HM;
- Судовой эхолот RESON SeaBat 7150;
- Судовой профилограф скорости течений доплеровского типа Teledyne RDI Ocean Surveyor;
- Штатный эхолот ELAC LAZ 4700 с дигитайзером STG 721;
- Гравитационная (ударная) геологическая трубка;
- Блок управления и передачи данных SBE 33 (Carousel Deck Unit);

- Зонд SBE 19plus V2 SeaCAT с дополнительными датчиками SBE-43 и Seapoint Bulkhead;
- SBE 32 Carousel Water Sampler с батометрами HYDRO-BIOS;
- Альтиметр Teledyne Benthos PSA-916;
- Пингер Teledyne Benthos 2216;
- Опытный образец пингера ИО РАН;
- Профилограф скорости течений доплеровского типа Nortek Aquadopp 6000 H/N 0664;
- CTD-зонд Neil Brown Mark III;
- Высокоточный электронный опрокидывающий термометр SIS 4002X с барометром SIS 6000X;
- Опытный образец термобатизонда ИО РАН;
- Батометры Нискина HYDRO-BIOS (Германия);
- Ручной титратор-дозатор Аквилон АТП-1Д (производство - ЗАО «НПКФ Аквилон»);
- Спектрофотометр КФК-3КМ;
- Фильтровальная установка: насос KNFNeuberger D-79112 и поликарбонатные воронки Sartorius stedim biotech16510;
- Автоматический одноканальный программируемый аспиратор воздуха АВА 1-150-02СП производства ООО «НИКИ МЛТ»;
- Воронки Sartorius stedim biotech16510;
- Тягомер, напоромер и дифманометр-тягонапоромер ДТНМП-100-М1 мембранный показывающий производства ОАО «Саранский приборостроительный завод»;
- Биологические работы проводились сачком, кастинговой, жаберной (дрифтерной) сетью, плейстонной сетью и спиннингом. Сбор икры летучих рыб проводился с помощью искусственных плавучих приманок (нерестилищ).

Основные результаты экспедиции

Геолого-геофизические исследования

1) На основании полученных в рейсе данных многолучевого эхолотирования были построены ЦМР характерных участков Канарской котловины, котловины Зеленого Мыса, а также глубоководного прохода Кейн.

2) По данным многолучевого эхолотирования к северу от глубоководного прохода Кейн, выявлено обширное осадочное тело размером ~100x50 км с седиментационными волнами высотой до 50 м, которое идентифицировано как дельтовый контуритовый дрейф. По данным сейсмоакустического профилирования максимальная мощность дрейфа превышает 140 м. Происхождение выявленного дельтового дрейфа связано с разгрузкой течения ААДВ, распространяющегося в северном направлении при выходе из глубоководного прохода Кейн.

3) Методом акустического профилирования дна были обнаружены некоторые отличительные черты акустической структуры донных осадков: стратифицированные осадки мощностью 20-30 м, седиментационные волны, сформированные разгрузкой контурного течения ААДВ в глубоководном проходе Кейн.

4) В отобранных колонках донных осадков (средний плейстоцен-голоцен) влияние ААДВ проявляется в чередовании слоев пониженного и повышенного содержания карбонатного материала; отмечены интервалы повышенной биопродуктивности поверхностных вод.

Гидролого-геохимические исследования

1) По данным гидрофизического зондирования к северу от глубоководного прохода Кейн (глубина 4500–4600 м) в придонном слое выявлен значительный наклон изотерм – около 4 м/км. Это указывает на существование современного перетока ААДВ через проход в северном направлении. ААДВ идентифицировалась по предельному

значению потенциальной температуры 1.9 °С и характерным значениям концентрации кислорода и кремния.

2) Вертикальное распределение поля обратного рассеяния имеет выраженное трехслойное строение. На основе этих данных были получены вертикальные профили распределения относительной концентрации взвешенного вещества в районе глубоководного прохода Кейн. Обнаружен четко выраженный придонный нефелоидный слой мощностью до 300 м, свидетельствующий об активной гидродинамике. Максимальные значения относительной концентрации взвеси отмечены в северной части прохода Кейн.

3) Экспериментальные исследования термобатизонда показали, что опытный образец АО ИО РАН работоспособен до глубины 5000 м, что значительно больше, чем у многих аналогов, выпускаемых серийно и представленных на рынке.

4) При проведении биологических работ и наблюдений по маршруту судна было отмечено 17 660 вылетов летучих рыб.

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОМПЛЕКСНАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ
АТЛАНТИКЕ
(45-й рейс НИС «АКАДЕМИК НИКОЛАЙ СТРАХОВ» 25 октября – 1 декабря
2019 г.)**

По результатам отчета начальника экспедиции (Иванова Е.В., 2020)

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт океанологии им.П.П.Ширшова Российской академии наук
117997 Москва, Нахимовский просп., 36
esimo@ocean.ru*

Комплексные экспедиционные исследования проведены в рамках госзаданий № 0128-2019-0009 «Новые вызовы климатической системы Земли: климатообразующие процессы в Атлантике, Арктике и морях России, их влияние на предсказуемость климата, экосистемы и ресурсы», № 0149-2019-0007 «Современные и древние донные осадки и взвесь Мирового океана – геологическая летопись изменений среды и климата: рассеянное осадочное вещество и донные осадки морей России, Атлантического, Тихого и Северного Ледовитого океанов - литологические, геохимические и микропалеонтологические исследования; изучение загрязнений, палеообстановок и процессов в маргинальных фильтрах рек», № 0149-2019-0013 "Морские природные системы Балтийского моря и Атлантического океана: формирование природных комплексов Балтийского моря и их изменение под влиянием Атлантического океана и антропогенного воздействия", № 0149-2019-0009 "Биологическое разнообразие и эволюция фауны океана: биоразнообразие морской фауны Арктики, морей России и открытых районов океана, происхождение и эволюция фауны крупных океанических регионов, фауна уникальных морских биотопов и ее сохранение", № 0135-2015-0035 «Тектоника, магматизм, геодинамика, металлогения, углеводородный потенциал Атлантического и Арктического океанов и их окраин», № 0137-2018-0004 «Проблемы образования и эволюции литосферы океанов и континентов», № 0135-2016-0013, проекты РНФ № 18-17-00227 и № 19-17-00246, проекты РФФИ № 18-55-7806 и № 18-05-00691.

Цель экспедиции - комплексное изучение зон разломов Северо-Атлантического хребта на полигонах Долдрамс и Вима

Задачи экспедиции

1. Изучить особенности тектонического строения и тектонических деформаций океанического дна и океанической коры в мегатрансформах с несколькими внутриразломными спрединговыми центрами;
2. Изучить особенности состава и строения океанической коры в мегатрансформах с несколькими внутриразломными спрединговыми центрами;
3. Изучить вариации состава, геохимии и изотопии базальтов вдоль простирания внутриразломных спрединговых центров; охарактеризовать условия и причины разнообразия обстановок частичного плавления мантии и дифференциации первичных расплавов вдоль оси спрединга в районе мегатрансформов; выявить масштабы, характер и природу мантийной гетерогенности в районе системы разломов Долдрамс;
4. Изучить вариации состава, геохимии и изотопии ультраосновных пород и габброидов вдоль простирания разломной долины трансформа Долдрамс; выявить характер смены условий частичного плавления мантии во времени и установить причины этого явления; изучить локальные минеральные ассоциации при взаимодействии перидотит/расплав в структурах САХ; охарактеризовать петрогенетические аспекты гидротермально-магматического взаимодействия и

параметры состава наиболее высокотемпературных флюидных производных морской воды в мантийно-коровых переходных зонах мегатрансформов; изучить характер распределения сильно сидерофильных и халькофильных элементов в перидотитах и оценить влияние на поведение этих элементов магматических и гидротермальных систем;

5. Изучить многообразие плутонических пород горы Пейве; охарактеризовать магматические процессы в промежуточных магматических камерах в районе мегатрансформов; изучить плагиогранитный магматизм в пространственной связи с гидротермальными системами; проанализировать многостадийную эволюцию микровключений Fe-Ti оксидов в породообразующих силикатах нижнекоровых ассоциаций САХ;

6. Определить пространственные положения зон дегазации в трогах разломов, связать их с глубинным реологическим состоянием и системами макротрещиноватости; изучить флюидонасыщенность осадочного чехла и опасные явления, связанные с миграцией газов;

7. Исследовать акустическую структуру, физические свойства, вещественный и химический составы средне-позднечетвертичных отложений в желобах трансформных долин, относящихся к зонам разломов Вима и Долдрамс;

8. Получить сведения о сейсмоакустической структуре и вещественном составе донных осадков в ранее неисследованном абиссальном эрозионном канале на дне широкой части трансформной долины Вима (около 45-46° з.д.);

9. Исследовать механизмы осадочного заполнения желобов трансформных разломов в центральной Атлантике и роли придонных (контурных) течений в данном процессе;

10. Получить данные о воздействии течений с измеренными скоростями на изученном ранее гидрофизическом полигоне трансформного разлома Вима на современное осадконакопление;

11. Исследовать структуру и перенос ААДВ в ряде трансформных разломов для оценки механизма водообмена между западной и восточной Атлантикой;

12. Провести гидрофизические измерения в разломах Вима и Вернадского, 7.7 с.ш. и Долдрамс, установить направление переноса ААДВ. В разломе Вима планируется изучить межгодовые изменения структуры потока и переноса ААДВ путем STD зондирования от поверхности до дна и измерения скоростей течений АСМ;

13. Оценить изменения характеристик ААДВ в разломах по сравнению с данными, полученными в предыдущих экспедициях;

14. Провести сбор взвеси для определения ее вещественного и химического состава и концентрации в морской воде;

15. Оценить таксономический состав, географическое распространение, количественное распределение и численность летучих рыб по маршруту экспедиции;

16. Изучить распределение, поведение и численность животных, трофически ассоциированных с летучими рыбами (хищные рыбы, кальмары, морские птицы, морские млекопитающие);

17. Изучить влияние климатических и океанографических факторов на распределение, поведение и численность летучих рыб.

Район работ

Работы проводили в зоне разломов Северо-Атлантического хребта в пределах 7-11° с.ш. на полигонах Долдрамс и Вима (рис. 17-20).

Рис. 17. Маршрут экспедиции 45-го рейса НИС «Академик Николай Страхов» и положение полигонов заборных работ (белые прямоугольники). Черными точками показаны станции, штриховыми линиями – экономические зоны государств

Рис. 18. Расположение успешных станций драгирования (сверху) и схема галсов батиметрической съемки и сейсмоакустического профилирования (снизу) на полигоне Вима

Рис. 19. Карта станций донных осадков

Рис. 20. Схема галсов батиметрической съемки и сейсмоакустического профилирования на полигоне Долдрамс

Использованное оборудование

- Судовой многолучевой эхолот 12 kHz SeaBat 7150 фирмы RESON Судовой научно-исследовательский высокочастотный профилограф Edgetech 3300;
- Магнитометр SeaSpy Marine Magnetics (Италия);
- Драги (Италия);
- Ударная грунтовая трубка наружным диаметром 127 мм длиной 6 м с мягким полиэтиленовым вкладышем;
- Дночерпатель Океан 0.25;
- спектрофотометр Konica Minolta CM2300d;
- система измерения магнитной восприимчивости Bartington MS3 с поверхностным сканирующим датчиком (Surface Scanning Sensor) Bartington MS2E;
- кальциметр FANN;
- CTD-зонд Seabird 19plus v.2 и система «Carousel» (SBE32), оснащенная 3 батометрами Hydrobios 3.5 и 1.5 л;
- Измеритель скорости течений ACM Nortek Aquadopp 6000;
- Жаберная, астинговая и плейстонная сети.

Основные результаты экспедиции

Построены среднемасштабные батиметрические карты гребневой зоны САХ между разломами Богданова и Архангельского (площадью 29000 км²) и части разлома Вима (площадью 19000 км²), собрана коллекция пород, общим весом около 1300 кг, представляющая весь разрез океанической литосферы: базальты, габброиды, перидотиты, плагиограниты. Установлено несколько типов внутритрансформных спрединговых центров, различающихся по внутреннему строению рифтовой долины и характеру структур, развитых на плечах рифта. Межразломные хребты, разделяющие трансформные разломы, различаются сочетаниями типичных океанских структур: рифтовых гор, поперечных хребтов, конусовидных структур, и нетипичных для океанского дна сигмоидных гряд. Выявлена интенсивная магматическая активность внутритрансформных рифтов. Установлено, что эксгумация глубинных пород происходит: в зонах заложения детачмента и формирования куполовидных структур при формировании поперечных хребтов, при росте медианных хребтов и в зонах интерсектов рифт-трансформ при образовании высокоамплитудных сбросов.

Получены новые данные о специфике латеральной седиментации в трансформных долинах Долдрамса и Вима Срединно-Атлантического хребта. Установлено участие эдафогенного материала местного происхождения в осадочном заполнении тектонически активных отрезков трансформных разломов, наряду с преобладающим биогенным известковым и терригенным материалом. Выявлено гораздо

более широкое распространение осадочного покрова, представленного терригенными осадками, в трансформной долине Вима по сравнению с долиной трансформного разлома Долдрамс. На дне меандрирующего эрозионного канала в трансформной долине Вима вскрыты необычные для Центральной Атлантики, возможно, древние сероцветные глины.

Обнаружены главные седловины разломов 7°40'с.ш. и Вернадского и измерены значения потенциальной температуры ($\theta < 1.7^{\circ}\text{C}$) на них, доказывающие перетекание ААДВ на восток. Установлено, что продолжение разлома 7°40' с.ш. не является препятствием для распространения вод с $\theta < 2^{\circ}\text{C}$. Зафиксировано проникновение вод с $\theta = 1.9-2^{\circ}\text{C}$ через канал в медианном хребте разлома Долдрамс. На главной седловине разлома Вима придонные значения потенциальной температуры изменялись с 1.36 до 1.41°C в течение суток.

Попутными биологическими наблюдениями установлена более высокая численность летучих рыб и хищников над САХ и около острова Сен-Винсенте по сравнению с остальной частью маршрута.

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЮЖНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ (46-й рейс НИС «АКАДЕМИК НИКОЛАЙ СТРАХОВ» 2 – 18 декабря 2019 г.)

По результатам отчета начальника экспедиции (Дорохов Д.В., 2020)

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт океанологии им.П.П.Ширшова Российской академии наук
117997 Москва, Нахимовский проспект, 36
esimo@ocean.ru*

Комплексные экспедиционные исследования проведены согласно плану научно-исследовательской работы Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН на 2019-2021 гг. Тема № 0149-2019-0013 «Морские природные системы Балтийского моря и Атлантического океана: формирование природных комплексов Балтийского моря и их изменение под влиянием Атлантического океана и антропогенного воздействия»; проекту РФФИ №18-05-80031 «Формирование и воздействие на морскую экосистему опасных явлений, обусловленных химическим оружием, затопленным в Балтийском море после 2-й Мировой войны».

Цель экспедиции - мониторинг пространственно-временных изменений абиотических и биотических компонентов экосистемы Балтийского моря.

Задачи экспедиции

- Получение данных о пространственной структуре и динамике вод на всех глубинах, включая придонный слой, на высокоразрешающих разрезах в зоне распространения соленых плотных североморских вод в Балтийское море. Доработка и внедрение перспективных средств и методов исследования мезо- и микромасштабной структуры придонного слоя;
- Идентификация и картографирование донных ландшафтов Балтийского моря на основе геоакустических исследований;
- Атлас российского сектора Юго-Восточной Балтики (геология, геохимия, гидрология, донные ландшафты, биотопы, берега);
- Количественные оценки гидролого-гидрохимических условий Балтийского моря: верхний квазиоднородный слой, термоклин, галоклин, холодный промежуточный и придонные слои);
- Концептуальная модель гидрологических, геолого-геохимических и биологических эффектов, связанных с затоками североморских вод в Балтику;
- Палеоокеанологические и палеогеографические реконструкции ключевых районов Атлантического океана и бассейна Балтийского моря.

Район работ

Исследования проводились в южной части Балтийского моря в ИЭЗ Польши и юго-восточной части Балтийского моря в ИЭЗ и территориальных водах РФ (рис. 21).

Рис. 21. Слева – схема работ на разрезах, справа – схема работ на океанологических станциях

Использованное оборудование

- Штатный судовой многолучевой эхолот Reson SeaBat 8111
- Интегрированная навигационная система Applanix POS MV
- Штатный судовой профилограф EdgeTech 3300
- Мультипараметрический зонд Sea&Sun CTD48M
- Дночерпатель Ван-Вина (площадь захвата 0,1 м²)
- Батометр Нискина HYDRO-BIOS 10 л
- Автоматическая судовая метеостанция AirMar 220WX

Основные результаты экспедиции

В ходе непрерывного высокоразрешающего CTD-зондирования обнаружены свидетельства прекращения перетока придонных соленых вод через Слупский порог. Учитывая отсутствие признаков перетока вод Борнхольмской впадины через порог, а также значительно более высокую соленость (14 PSU) и концентрацию кислорода ($DO > 4$ mg/l) на дне Слупского жёлоба, сделан вывод, что возникла интрузия из Гданьского бассейна в западную часть Слупского жёлоба. Причиной является создаваемый западными ветрами подъем уровня моря в Юго-Восточной Балтике и результирующее компенсационное течение глубинных вод на запад. Появление гипоксидной воды под галоклином вблизи Слупского порога обнаружено впервые. Отток гипоксидных придонных вод Гданьской впадины в Слупский жёлоб может ослабить вентиляцию вод Готландской впадины на промежуточных глубинах, что имеет важное экологическое значение для Балтийского моря.

Пополнена многолучевая эхолотная съемка и уточнены границы распространения крупных песчаных тел на поверхности морены в районе плато Рыбачий, которые предположительно являются затопленными реликтовыми дюнами. Геоакустический профиль вдоль глубоководной части Слупского жёлоба показал наличие в плотных глинах морены и Балтийского ледникового озера следы айсбергового выпаживания, которые в самой глубокой его части скрыты под литориновыми илами. В Слупском жёлобе выявлены многочисленные захороненные газовые кратеры (покмарки) и палеоврезы, а также под слоем голоценовых осадков выявлена волнистая структура, которая требует дополнительных исследований. Пополнен массив батиметрических данных и геофизических профилей с целью идентификации и картирования донных ландшафтов.

Пополнен массив данных для комплексной оценки геоэкологического состояния российского сектора юго-восточной части Балтийского моря.

Морские экспедиционные исследования на НИС «Академик Сергей Вавилов» в 2019 году

**ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ КОМПЛЕКСОВ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ С
УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА
(49-й рейс НИС «АКАДЕМИК СЕРГЕЙ ВАВИЛОВ» 29 августа – 7 сентября
2019 г.)**

По результатам отчета начальника экспедиции (Сивков В.В., 2020)

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук
117997, Москва, Нахимовский проспект, 36*

Исследования в 49-м рейсе НИС «Академик Сергей Вавилов» выполнены в рамках темы государственного задания ИО РАН на 2019-2021 гг. № 0149-2019-0013 «Морские природные системы Балтийского моря и Атлантического океана: формирование природных комплексов Балтийского моря и их изменение под влиянием Атлантического океана и антропогенного воздействия» и международного проекта «Комплексное управление морским культурным наследием региона Балтийского моря» (BalticRIM) программы ИНТЕРРЕГ «Регион Балтийского моря».

Цель экспедиции – получение натурных данных по природным комплексам Балтийского моря в условиях усиливающейся антропогенной нагрузки и изменения климата с учетом влияния Атлантического океана.

Задачи экспедиции

- сбор натурных данных и материалов для выполнения палеогеографических реконструкций морских природных комплексов, создания Атласа российского сектора Юго-Восточной Балтики, получение количественных оценок по гидролого-гидрохимическим условиям и антропогенному загрязнению Балтийского моря.

Задача соответствует следующим планируемым результатам по теме № 0149-2019-0013: Атлас российского сектора Юго-Восточной Балтики (геология, геохимия, гидрология, донные ландшафты, биотопы, берега); количественные оценки гидролого-гидрохимических условий Балтийского моря: верхний квазиоднородный слой, термоклин, галоклин, холодный промежуточный и придонные слои); концептуальная модель гидрологических, геолого-геохимических и биологических эффектов, связанных с затоками североморских вод в Балтику; количественные оценки антропогенного загрязнения для ключевых районов Балтийского моря (нефтепродукты, тяжелые металлы, взвесь, биогенные элементы, микропластик и др.); палеоокеанологические и палеогеографические реконструкции ключевых районов Атлантического океана и бассейна Балтийского моря

- выявление и идентификация техногенных объектов на морском дне (планируемый результат по проекту BalticRim — описание объектов подводного культурного наследия в Юго-Восточной части Балтийского моря).

Район работ

Полигоны 1 и 2 расположены в исключительной экономической зоне (ИЭЗ) Российской Федерации. Полигоны 3 и 4 расположены в ИЭЗ Швеции. Полигоны 5 и 6 расположены в ИЭЗ Польши (рис. 22).

Рис. 22. Район и виды экспедиционных работ в 49-м рейсе «Академик Сергей Вавилов»: 1 — океанологические станции (АСВ), 2 — геоакустические полигоны, 3 — попутное геоакустическое профилирование, 4 — границы исключительных экономических зон, 5 — границы территориальных вод, 6 — изобаты (через 10 м).

Использованное оборудование

- однолучевой двухчастотный эхолот и гидролокатор бокового обзора Simrad EA400SP (38 и 200 кГц);
- судовой глубоководный эхолот Kongsberg EA 600 (12 кГц);
- двухчастотная спутниковая система позиционирования GPS Trimble SPS461 с двумя приемными антеннами GA530;
- датчик перемещений IMU-108;
- дночерпатель Ван-Вина с площадью захвата 0,1 м²;
- геологическая герметичная трубка для одновременного отбора донных осадков и придонной воды;
- гравитационная геологическая трубка, т. н. трубка «большого диаметра»;
- гидрофизический мультипараметрический зонд Sea&Sun Tech CTD-90M;
- гидрофизический мультипараметрический зонд Idronaut 316;
- измерительный гидрологический комплекс HYDRO-BIOS MWS 12 Slimline для отбора проб воды с заданных горизонтов и одновременного CTD-зондирования;
- батометры Нискина (объемом 1,7, 5, 10 л);
- ручной титратор-дозатор Аквилон АТП-1Д;
- спектрофотометр КФК-3КМ;

–вакуумный насос KNF Neuberger D-79112 и поликарбонатные воронки Sartorius stedim biotech 16510 емкостью 250 мл;
–центрифуга Elmi CM-6M1.

Основные результаты экспедиции

Гидролого-гидрохимическая ситуация в Балтийском море за период проведения экспедиции соответствовала стандартным для Центральной части Балтийского моря условиям в конце летнего периода: верхний квазиоднородный слой до 20 м, ярко выраженный термоклин. Нехарактерной для региона особенностью является погружение холодного промежуточного слоя ниже верхней границы галоклина, однако подобное явление наблюдается в рейсах АО ИО РАН на протяжении последних двух лет. Ввиду обширной эвтрофированности Балтийского моря и развития цианобактерий в июле-августе 2019 г. продолжился процесс расширения слоя сероводородного заражения и гипоксии в Гданьской и Готландской впадинах. По этой же причине верхний квазиоднородный слой характеризовался минимальными концентрациями минерального фосфора (почти до полного отсутствия) и кремния. В то же время в придонном слое вод, особенно в районах с бескислородными условиями, концентрации фосфора фосфатов были максимальны.

Была пополнена база батиметрических данных, гидролокации бокового обзора дна и геофизических профилей донных отложений в целях идентификации и картирования донных ландшафтов Балтийского моря. Выполнен отбор проб донных отложений для интерпретации сонарных данных. Отобраны колонки донных осадков для дальнейшего изучения палеоклиматических и седиментологических условий в суббассейнах Балтийского моря, а также их геоэкологических характеристик. Окончательные результаты работ будут получены после камеральной обработки геоакустических данных и выполнения лабораторных анализов отобранных проб.

Глубинный слой гипоксии (содержание кислорода <2 мл/л или концентрация $2,9$ мг/л) в Гданьской впадине с апреля 2017 г. поднялся до горизонта 75 м. Придонный слой аноксии и сероводородного заражения достигал горизонта 95 м. Максимальное содержание растворенного сероводорода в центральной части Гданьской впадины достигало $0,26$ мл/л.

В северной части Гданьской впадины уточнено положение границы илистых осадков, а в ее южной части – пространственное распространение газонасыщенных илов, в частности, выявлена более сложная конфигурация их ареала по сравнению с имевшимися ранее представлениями.

На несколько десятков километров расширен ареал распространения борозд ледовой экзарации (плугмарков) в районе Гданьско-Готландского порога. В осадках Балтийского ледникового озера обнаружен материал ледового разноса, что согласуется с представлениями об айсберговом происхождении борозд.

В воде и донных осадках получены экспериментальные пробы для изучения магнитотактических бактерий, способных в условиях аноксии и гипоксии синтезировать магнитные минералы (в частности, магнетит). Активность этих бактерий отражает окислительно-восстановительные условия. Оставляя после своего отмирания магнитные минералы в осадках и влияя тем самым на магнитные свойства осадков, магнитотактические бактерии формируют ценный палеогеографический маркер.

Морские экспедиционные исследования на НИС «Академик М.А. Лаврентьев» в 2019 году

**КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ, ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИЕ И
ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЯПОНСКОМ МОРЕ И
ТАТАРСКОМ ПРОЛИВЕ
(85-й рейс НИС «АКАДЕМИК М.А. ЛАВРЕНТЬЕВ» 18 мая – 24 июня 2019 г.)**

По результатам отчёта начальника экспедиции (Валитов М.Г., 2020)

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева
Дальневосточного отделения Российской академии наук
690041, Владивосток, ул.Балтийская, 43
esimo@ocean.ru*

Экспедиция выполнена в рамках программ фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 гг. раздела VIII «Науки о Земле»: направление № 128 «Физические поля, внутреннее строение Земли и глубинные геодинамические процессы»; направление № 133 «Мировой океан – физические, химические и биологические процессы, геология, геодинамика и минеральные ресурсы океанской литосферы и континентальных окраин; роль океана в формировании климата Земли, современные климатические и антропогенные изменения океанских природных систем»; направление № 136 «Катастрофические эндогенные и экзогенные процессы, включая экстремальные изменения космической погоды: проблемы прогноза и снижения уровня негативных последствий».

Цель экспедиции – изучение условий и механизмов формирования Японского моря, Татарского пролива и изучение корреляции распространения газо-флюидных потоков с сетью тектонических разломов. Изучение гидрологии вдоль разрезов в Японском и Охотском морях

Задачи экспедиции

- Изучение аномальных геофизических полей, как основы для исследования глубинной структуры, характера тектонических деформаций подстилающего фундамента.
- Изучение литологического и химического состава донных отложений.
- Изучение химического состава органического вещества осадков.
- Изучение аномальных газогеохимических полей в донных отложениях и в водной толще районов исследования.
- Поиск и изучение участков газовой эмиссии.
- Поиск новых газогидратоносных участков.
- Оценка потока парниковых газов (метан, углекислый газ, пары воды) и концентрации токсических веществ (ртуть).
- Исследование микробиологического окисления метана в донных отложениях Японского моря, Татарского пролива.
- Гидрологические зондирования СТД-зондом для определения температуры, солености, мутности, и содержания кислорода в морской воде.

Район исследований

85-й рейс НИС «Академик М.А. Лаврентьев» проходил в Японское море и Татарском проливе (рис. 23).

Рис. 23. Карта-схема маршрута исследования и расположения полигонов работ в рейсе № 85 НИС «Ак. М.А. Лаврентьев», 18 мая–24 июня 2019 г. 1 – полигоны работ, 2 – профили геофизической съемки, 3 – станции геологического опробования, 4 – гидрологические станции, 5 – маршрут движения судна.

Использованное оборудование

- гравиметр морской Чекан-АМ;
- буксируемый морской протонный магнитометр-градиентометр МБМ-1;
- глубоководный эхолот «ELAC»;
- газовый хроматограф Кристалл-Люкс-4000М;
- проточный термосалинограф SBE 45;
- проботборная система SBE 911 plus с СТД-зондом SBE 9plus в комплекте с батометрической системой SBE 32;
- батометры системы NISKIN объемом по 10 л;
- прибор РА-915+ для измерения содержания ртути в приводном слое атмосферы на ходу судна;
- лазерный мониторинговый газоанализатор Picarro G2311-f;
- метеостанция Davis Vantage;
- комплект геологических пробоотборников донных отложений: геологическая трубка, дночерпатель;
- персональные компьютеры;
- судовые лебедки.

Основные результаты экспедиции

1. Выполнен большой объем геофизического профилирования в пределах Татарского пролива. Построены карты гравитационного и магнитного полей южной части Татарского пролива северной части Японского моря.
2. Проведено детальное картирование рельефа, распределения углеводородных газов и ртути в приводном слое воздуха районов с предполагаемой геологической активностью.
3. Установлено явление экстремальной эмиссии ртути из водной толщи в атмосферу в районах с высокой степенью антропогенного загрязнения при определенных гидрометеорологических условиях.

4. Впервые выявлены закономерности распределения газогеохимических полей углеводородных газов, гелия, водорода, азота и углекислого газа по площади южной части Татарского пролива.

5. Уточнен газогеохимический фон, закартированы новые аномальные газогеохимические поля, на этой основе намечены перспективные зоны нефтегазогенерации и скоплений газогидратов.

6. Отобрана коллекция проб осадочных отложений по всем станциям для детальных исследований в береговых условиях. Создан депозитарий микробиологических образцов для исследования процессов газоокисления и газогенерации в осадочных отложениях. Отобраны пробы для исследований видового разнообразия бентосных фораминифер и их взаимосвязи с газовыми потоками.

7. Получен новый массив гидрологических, гидрохимических данных.

**КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКОСИСТЕМ ОКЕАНИЧЕСКИХ
ПОДНЯТИЙ НА ПРИМЕРЕ ГАЙОТОВ И ГОР ИМПЕРАТОРСКОГО ХРЕБТА
(СЕВЕРНАЯ ЧАСТЬ ТИХОГО ОКЕАНА)
(86-й РЕЙС НИС «АКАДЕМИК М.А. ЛАВРЕНТЬЕВ» 2 июля – 23 августа 2019 г.)**

По результатам отчёта начальника экспедиции (Даутова Т.Н., 2020)

*Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского
Дальневосточного отделения Российской академии наук
690041 Владивосток, ул. Пальчевского, 17
esimo@ocean.ru*

86-й рейс НИС «Академик М.А. Лаврентьев» проведен в рамках следующих тем: тема № 0268-2018-0003 "Динамика морских экосистем в условиях глобальных климатических изменений и антропогенного воздействия"; тема № 0268-2018-0004 "Исследование физиолого-биохимических механизмов адаптации морских организмов к меняющимся условиям среды обитания и экстремальным воздействиям"; тема № 0268-2018-0005 "Исследование биохимического разнообразия и путей биосинтеза липидов для определения трофических и симбиотических отношений морских организмов"; тема № 0268-2018-0007 "Биоразнообразие Мирового океана: состав и распределение биоты"; тема № 0268-2018-0008 "Генетическое, популяционно-биологическое и биоинформационное исследование биологического разнообразия и видообразования водных организмов"; тема № 0268-2018-0009 "Молекулярные механизмы внутри- и межвидовой дивергентной эволюции и филогеография у морских гидробионтов"; тема № 0149-2018-0008 "Биологическое разнообразие и эволюция фауны океана: биоразнообразие морской фауны Арктики, морей России и открытых районов океана, происхождение и эволюция фауны крупных океанических регионов, фауна уникальных морских биотопов и ее сохранение"; тема № 0137-2018-0004 "Проблемы образования и эволюции литосферы океанов и континентов"; тема № 0137-2018-0035 "Развитие биосферы и зарождение жизни на ранней Земле. Эволюция органического мира. Роль и влияние планетарных процессов"; тема № 0137-2018-0006 "Биогеохимическая эволюция природных сред в условиях антропогенного воздействия: от деградации к восстановлению"; тема № 0264-2018-001 "Научные исследования и разработки в области новых технологий создания перспективных морских робототехнических комплексов и их составных частей для выполнения широкого круга задач исследований гидросферы Земли и дна Океана, выполнения специальных задач в области обороны и безопасности в водном пространстве."

Цель экспедиции

Комплексное изучение уникальных экосистем океанических поднятий в северной части Тихого океана на примере гайотов и гор Императорского хребта с применением как стандартных методов, так и с использованием научно-исследовательского оборудования комплекса ТПА "Comanche" для получения новых и уникальных сведений о морских биологических и минеральных ресурсах поднятий и прилегающих глубоководных районов;

Выявление состава, структуры и особенностей распределения донных сообществ гидробионтов гайотов с использованием ТПА и традиционных гидробиологических орудий лова;

Определение условий формирования залежей КМК и поиск залежей ЖМО на подводных возвышенностях, содержащих повышенные концентрации стратегических металлов, в частности золота и никеля, а также прогноз аналогичной минерализации на подводных горах и гайотах Мирового океана; разведочный поиск КМК и ЖМО на гайотах;

Биогеохимические исследования углеводов в водной среде и донных осадках района исследования;

Литолого-фациальные исследования донных осадков района исследования;

Экспериментальное исследование новых подходов и методов синтеза систем управления ТПА и установленными на них системами для отбора проб.

Задачи экспедиции

–Проведение визуальных наблюдений с использованием ТПА, исследование биологического разнообразия, пространственной структуры сообществ и картирование основных биогеоценологических комплексов на восточном и западном склонах и на плато гайотов;

–Исследование биохимического разнообразия, трофических связей и пищевых стратегий массовых видов гидробионтов, включая индикаторные группы кораллов;

–Отбор биологических проб по методике, обеспечивающей учет всех размерных групп донной фауны (от простейших форм до мегабентосных и по методике международного стандарта для хранения в биоресурсном центре «Биобанк»;

–Отбор и фиксация образцов для молекулярно-биологических, гистологических, электронно-микроскопических и биогеохимических исследований;

–Отбор образцов коренных пород, осадков, ЖМО и КМК с использованием ТПА с последующим всесторонним лабораторным исследованием для изучения особенностей геологического строения гайотов, условий осадконакопления и генезиса рудообразования, с применением комплекса современных прецизионных методов;

–Оценка изотопного состава углерода органического вещества осадков, биомаркерный анализ; газовый анализ придонных и поровых вод;

–Исследование химического состава донных осадков, включая петрогенные элементы, микроэлементы: тяжелые металлы и редкоземельные элементы;

–Экспериментальное исследование разработанных интеллектуальных систем, в реальном масштабе времени обеспечивающих эффективную поддержку деятельности и принятия решений операторов ТПА, и безопасную работу этих робототехнических систем;

–Экспериментальное исследование разработанных систем и технологий, предназначенных для автономного выполнения подводных манипуляционных операций с помощью ТПА.

Район работ

Работы проводили в северной части Тихого океана (рис. 24): полигон №1 – Гамовский каньон, залив Петра Великого Японского моря; полигоны №№ 2-5 - Северо-западная часть Тихого океана, нейтральные воды.

Рис. 24. Карта-схема маршрута и района работ. Полигон №1 – Гамовский каньон, залив Петра Великого Японского моря; Полигоны №№ 2-5 - Северо-западная часть Тихого океана, нейтральные воды

Использованное оборудование

Лабораторное оборудование:

- микроскопы и бинокулярные микроскопы, весы, посуда и препаровальный инструмент, станки для обработки минеральных образцов, цифровые фотокамеры, бытовые холодильники и морозильники;

Оборудование для взятия проб воды, грунта, донных отложений, биологических и других проб:

- планктонные сети Джеди и ИКС-80 для отбора проб фито-, зоо- и ихтиопланктона. Владелец приборов - ННЦМБ ДВО РАН (690041 Владивосток, ул. Пальчевского, 17);

- пробоотборная система "Carousel Water Sampler" для отбора проб воды на заданных горизонтах, оснащена 12 батометрами "Niskin" емкостью 12 л.

- цилиндрические стальные драги диаметром 50 см для отбора проб коренных донных пород, дночерпатели "Ван-Вин" и "Океан" для забора проб донного грунта с глубин до 2000 м емкостью 0.25 м³.

- необитаемый подводный телеуправляемый аппарат "Comanche" с рабочей глубиной до 6000 м, оснащенный гидравлическими манипуляторами Schilling Orion и комплексом научно-исследовательского и навигационного оборудования в составе: гидроакустическая система позиционирования Sonardyne, сопряженная с системой GPS-навигации;

- фото- и видео оборудованием высокой четкости и чувствительности Kongsberg.

Объем выполненных работ

– Всего в процессе решения задач экспедиции было выполнено 21 погружение ТНПА Comanche 18, который провел 52 часа вблизи дна при выполнении подводных работ. Указанные работы включали в себя обследование склонов и вершин гайотов Императорского хребта, а также видеосъемку, селективный отбор морских организмов, взятие проб грунта и геологических пород. С помощью установленных на ТНПА Comanche 18 многозвенного манипулятора Schilling Orion 7P и специальных пробоотборников выполнено 158 станций для отбора бентосных организмов, донных осадков и образцов геологических пород, при этом было отобрано 679 отдельных проб животных. Получено 1789 высококачественных фотографий разрешением 5Мп и 49 часов 08 мин видеозаписей глубоководных экосистем в формате Full HD.

– Было проанализировано 1789 фотографий и 49 ч 08 мин видеозаписи, полученных в ходе 21 погружения ТНПА Comanche 18. Собранная в рейсе коллекция биологических образцов составляет 679 единиц хранения. Ландшафтно-экологическая обстановка и донная фауна исследовались в диапазоне глубин от 2182 до 338 м.

– Продолжено формирование коллекции гидробионтов: подготовлено более 600 единиц хранения, составлен реестр проб для интерактивной базы данных хранения в фондовых коллекциях Музея ННЦМБ; продолжено создание банка материалов для проведения метагеномного, геномного и транскриптомного анализов глубоководных организмов.

– В течение экспедиции было произведено 47 спусков планктонной сети на 29 станциях. Всего получено 47 проб планктона и 80 образцов планктонных организмов для изотопного анализа.

– В диапазоне глубин 336–2118 м собрано и проанализировано проб для изучения микробиоты – 19 проб грунта, 65 образцов губок, 91 образцов кораллов, 78 иглокожих.

– Выделено 35 изолятов мицелиальных грибов, идентифицировано до рода 18 изолятов: из них *Aspergillus* (8 изолятов из 3 видов), *Penicillium* (5 изолятов из 1 вида), *Mucor* (5 изолятов одного вида).

– Выросшие микроорганизмы законсервированы для установления

таксономического статуса и депонирования в ЦКП «Морской биобанк». Всего законсервировано 60 образцов микроорганизмов. Выделенные штаммы микроорганизмов будут переданы на хранение в ЦКП "Морской биобанк".

– В ходе экспедиции было отобрано и законсервировано 253 пробы уникальных биобразцов. Были использованы 3 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 . Пробы с криопротекторами, по прибытии во Владивосток помещены в криохранилища с различными температурными режимами.

– Содержание метана для 136 проб морской воды было установлено методом «HeadSpace», еще шестнадцать образцов придонной воды было дополнительно подвергнуто вакуумной дегазации для более детального анализа газовой фазы. По полученным результатам было построено два разреза в программе Ocean Data View для более наглядного представления распределения метана по глубине водной толщи.

– В общей сложности произведено 303 газохроматографических определений содержания метана в морской воде методом «HeadSpace» и 41 определений методом вакуумной дегазации.

– За период экспедиции на четырех подводных возвышенностях было отработано 7 гидрохимических профильных разрезов, общим объемом 37 станций. Общее количество обработанных проб составило 944. Из них анализировались на фосфор – 304, на кремний – 304, на кислород – 336. Для дальнейшего изучения микроэлементного состава отобрано 24 пробы морской воды и 4 пробы донных отложений. Исследование продолжится после окончания экспедиции. Микроэлементный состав будет определен с применением методов атомно-абсорбционной спектrophотометрии

Основные результаты экспедиции

Все поставленные задачи экспедиции выполнены. Получены новые и уникальные данные о функционировании биоценозов подводных поднятий Императорского хребта, о функциональной структуре донных и пелагических сообществ организмов (включая микробиоту) и о физико-химических факторах среды в данном районе. Впервые проведены газогеохимические исследования водной толщи над Императорским хребтом, выявлены особенности распределения метана по горизонтам, обнаружены поверхностные и подповерхностные горизонты с повышенным содержанием метана. Распределение гидрохимических характеристик водных масс отличалось между исследованными поднятиями и также варьировало в соответствии с глубиной. Обнаружение минимальных концентраций неорганических соединений фосфора и кремния в поверхностных слоях воды связано с процессом фотосинтеза и является нормой для вод Мирового океана.

Установлено, что в исследуемых районах (Коко, Джингу, Нинтоку, Суйко, $35^{\circ}02' - 44^{\circ}11'N$, $170^{\circ}03' - 171^{\circ}54'E$) плотность и биомасса зоопланктона увеличивались, а видовое богатство снижалось в направлении от низких широт к высоким. Наличие летом в глубоководных сообществах крупных широкобореальных копепод океанического комплекса свидетельствовало о подтоке холодных вод в придонном слое, а их обилие отражало степень влияния этих вод в каждом районе подводных гор.

Выявлено значительное биотопическое разнообразие, характеризующее плато и склоны гайотов. Это отражается в неравномерном и сложном распределении отдельных таксонов и биотических комплексов. Поверхность дна на большинстве исследованных участков представляет собой чередование осадочных и каменистых

фаций. Для привершинной области характерна явно активная придонная гидродинамика.

Многообразие форм субстрата, наряду со сложной картиной течений и разницей в глубине приводит к довольно сложной картине распределения биотических комплексов. Вероятно, многообразие субстрата и неоднозначная система течений определяют распределение донных организмов, в том числе – индикаторных групп уязвимых сообществ (Губок и Восьмилучевых кораллов). В ходе погружений, наиболее массовые скопления кораллов были отмечены на северной вершине и в северо-западной части плато горы Коко (погружения 9, 16). Наибольшая плотность и разнообразие губок – на северном склоне горы Джингу (погружения 12–14). Фаунистический комплекс *Octocorallia* на гайоте Коко может быть охарактеризован как весьма близкий к таковому Гавайскому хребту, с заметным участием горгонарий *Chrysogorgiidae* (в том числе *Iridogorgia* и *Metallogorgia*) и *Isididae*, характерных для тропических и субтропических районов Тихого океана.

В ходе экспедиции законсервировано 253 пробы уникальных образцов микро- и микробиоты. Подготовленные образцы будут снабжены обширным информационным паспортом, размещенным на сайте «Морского биобанка» (<http://marbank.dvo.ru>) и послужат качественным референсным материалом.

На основании полученных данных можно рассматривать Императорский хребет как цепь океанических поднятий, вдоль которой происходит распространение тропических и субтропических глубоководных видов в северном направлении, а бореальных тихоокеанских видов – в южном. Биogeографическая граница между фаунами кораллов в районе Императорского хребта проходит между 37° и 39° с.ш.

Впервые исследованы донные ландшафты южных гор Императорского хребта, благодаря использованию телеуправляемого подводного аппарата «Comanche 18». Использование ТПА не только обеспечивает возможность щадящего бесконтактного мониторинга донных сообществ, но и увеличивает возможности целенаправленного сбора донных организмов.

В результате применения ТПА нами значительно расширен список родов морских перьев *Pennatulacea* Императорского хребта, сделаны уникальные и важные для биогеографии находки видов кораллов. Разработанная система интеллектуальной поддержки деятельности операторов ТПА является отказоустойчивым и удобным в эксплуатации программным средством, функциональные возможности которого позволяют эффективно и безаварийно выполнять различные глубоководные операции.

**ВЫСОКОРАЗРЕШАЮЩИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СРЕДЫ И КЛИМАТА
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЕЙ И СУБАРКТИКИ ТИХОГО ОКЕАНА В
ПРОШЛОМ КАК ОСНОВА ДЛЯ ПОНИМАНИЯ И ПРОГНОЗА ИЗМЕНЕНИЙ
СРЕДЫ РЕГИОНА В БУДУЩЕМ
(87-й рейс НИС «АКАДЕМИК М.А. ЛАВРЕНТЬЕВ» 5 сентября – 17 октября
2019 г.)**

По результатам отчёта начальника экспедиции (Босин А.А., 2020)

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева
Дальневосточного отделения Российской академии наук
690041 Владивосток, ул.Балтийская, 43
esimo@ocean.ru*

Седьмая российско-китайская экспедиция была направлена на комплексные междисциплинарные высокоразрешающие исследования Японского, Охотского морей и северо-западной части Тихого океана для реконструкции региональных изменений климата, продуктивности, морских льдов и вентиляции промежуточных и глубинных вод, а также активности восточноазиатского муссона и изменений путей западных струйных ветров в плейстоцене и голоцене в связи глобальными изменениями климата. В ходе рейса продолжен мониторинг состояния природной среды региона, начатый в 2010г.

Программа фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы раздела 75. "Мировой океан – физические, химические и биологические процессы, геология, геодинамика и минеральные ресурсы океанской литосферы и континентальных окраин; роль океана в формировании климата Земли, современные климатические и антропогенные изменения океанских природных систем".

Цель экспедиции

Реконструкция региональных изменений климата, продуктивности, морских льдов и вентиляции промежуточных и глубинных вод Японского, Охотского морей и северо-западной части Тихого океана.

Задачи экспедиции

1. Получение осадочных разрезов на базе геофизических и сейсмоакустических профилей в районах с высокими скоростями осадконакопления;
2. Получение сведений о современном состоянии природной среды для мониторинга и использования при последующих реконструкциях по различным параметрам условий палеосреды (температура и солёность водных масс, биопродуктивность, ледовый режим, атмосферные процессы);
3. Определение происхождения и развития основных подводных геоморфологических структур региона (шельф-континентальный склон) с выявлением регулирующих процессов и факторов развития бассейнов на основе геофизических, микропалеонтологических, геохимических, литофизических и минералогических данных;
4. Гидрологические, гидрохимические и гидробиологические исследования морских вод на ключевых станциях в пределах полигонов;
5. Поиск участков дна с ненарушенной седиментацией и умеренными и высокими скоростями осадконакопления посредством сейсмоакустики;
6. Реконструкция условий природной среды, в системе «литосфера-гидросфера- атмосфера» Тихоокеанского сектора на разных временных масштабах;
7. Прогноз климатических изменений, в том числе ледовых условий региона.

Район работ

Полигоны, заявленные в Плате-программе, были значительно сокращены, поскольку экспедиция не располагала необходимым количеством судосудок.

Работы в полигонах Берингова моря и Тихого океана были перенесены на другой год. Исходя из имеющегося количества времени, было решено провести работы в Японском и Охотском морях (рис. 25-27).

Рис. 25. Карта-схема маршрута экспедиции с указанием положения полигонов и отдельных станций наблюдений

Рис. 26. Карта-схема расположения сейсмоакустических профилей с электроискровым излучателем (красные линии) и высокочастотным профилографом (зеленая линия). Цифрами обозначена номера профилей.

Рис. 27. Карта-схема расположения сейсмоакустических профилей с электроискровым излучателем (красные линии) и высокочастотным профилографом (зеленая линия). Цифрами обозначена номера профилей.

Использованное оборудование

- гидрологический зонд SBE 911plus для регистрации давления, температуры, электропроводности, мутности, флуоресценции хлорофилла а, содержания растворенного кислорода в водной толще на океанографических станциях;
- акустический профилограф GEOPULS Subbottom profiler;
- метеокomплекс Davis Vantage Pro2 для измерения температуры воздуха, атмосферного давления, скорости, направления ветра и количества осадков;
- анализаторы ртути RA915M для анализа содержания паров ртути в атмосферном воздухе;
- система для регистрации параметров поверхностного слоя воды на ходу судна;
- система фильтрации воды;
- Счётчик задержанных частиц RaDeCC, модель RaDeCC-525-LC;
- фильтровальные установки, установка для определения замедленной флуоресценции фитопланктона;
- установка для стерилизации воздуха бокса;
- планктонные сети Джеди и Апштейна;
- опускаемые на кабель-тросе в дрейфе судна батометрические и пробоотборные системы "Rosette- 12;
- система фильтрации воды WTS-LV;
- опускаемые на тросе в дрейфе судна гравитационные пробоотборники весом до 800 кг, длиной до 12 м, диаметром 18 см для отбора проб донных осадков с глубиной проникновения в осадки до 10 м;
- опускаемые на тросе в дрейфе судна гидростатический пробоотборник весом до 300 кг, длиной 6 м, диаметром 16 см для отбора проб донных осадков с глубиной проникновения в осадки до 5 м;
- опускаемый на тросе в дрейфе судна коробчатый пробоотборник весом до 500 кг;
- опускаемый на тросе в дрейфе судна многотрубчатый пробоотборник весом до 300 кг, 8 труб диаметром 10 см и длиной 70 см для отбора проб донных осадков с глубиной проникновения в осадки до 60 см;
- опускаемая на тросе цилиндрическая драга весом до 300 кг для отбора проб уплотненных донных отложений и донных организмов с поверхности дна на малом ходу

или в дрейфе судна;

- опускаемая на тресе биологическая дрга весом до 100 кг для отбора донных организмов с поверхности дна на малом ходу или в дрейфе судна;

- микроскопы для анализа состава осадков: минералогический микроскоп "ЛОМО", тип ПОЛАМ;

- анализатор содержания ртути РА 915М; установки определения содержания аэрозолей в воздухе, установка для отбора атмосферных газов.

Основные результаты экспедиции

1. Пополнена коллекция донных отложений из Японского и Охотского морей, в том числе из районов ранее не изученных. Кроме того, коллекция института была пополнена уникальным материалом проб ненарушенного поверхностного слоя осадков.

2. В результате проведенных высокоразрешающих сейсмоакустических исследований были получены новые данные о строении верхней части осадочных отложений.

3. Проведены измерения атомарной ртути $Hg(0)$ в придном слое атмосферы, растворенной $Hg(0)$ в поверхностном слое морской воды, и измерения потоков $Hg(0)$ между морем и атмосферой.

4. Отобранный керн донных осадков, сформировавшихся в сложной седиментологической обстановке Курильской котловины, показал неожиданный результат, приведший к заключению об активной гидродинамике и существовании мощного апвеллинга в этом районе в конце последнего ледникового периода.

5. У подножья материкового склона залива Петра Великого (южное Приморье) впервые обнаружены признаки структур, связанных с проявлением сульфидно-рудной минерализации гидротермального типа. Данный район, находящийся вблизи Владивостока, может послужить естественной лабораторией для изучения процессов сульфидного рудогенеза.

6. Впервые получен широтный разрез наиболее мелководной северной части Татарского пролива. Анализ полученных данных позволит проследить флуктуации поступления амурских вод через пролив Невельского в Японское море в течение голоцена. Эти результаты необходимы для изучения водного обмена между Японским и Охотским морями и этапов формирования системы течений севера Японского моря.

7. В центральной части восточной склона о. Сахалина обнаружены и идентифицированы прослой вулканического пепла с установленными ранее возрастами. Это позволит построить надёжные возрастные модели для полученных кернов донных осадков из этого района моря. А также позволит уточнить ареалы пеплопадов и объёмы пирокластического материала извержений. Полученные результаты внесут вклад в изучение истории катастрофических извержений Курильской островной дуги. Высокие скорости осадконакопления в данном районе во время максимума последнего оледенения и перехода к современным межледниковым климатическим условиям позволят провести детальную реконструкцию драматических событий этого периода.

8. Впадина Дерюгина, прилегающая к северо-восточному склону о. Сахалина, - уникальный для дальневосточных морей объект с условиями гипоксии и аноксии (очень низкое содержание кислорода и сероводородное заражение придонных вод). Эти условия обуславливают необычный геохимический фон содержания многих химических элементов. Одним из показателей смены этих условий является комплекс аутигенных минералов (в частности, ряда манганокальцит-родохрозит). Данные условия складываются под влиянием залива богатых нутриентами, но обеднённых кислородом промежуточных тихоокеанских вод. Полученные результаты позволят восстановить историю водообмена между Охотским морем и Тихим океаном, связанную с тысячелетними колебаниями климата.

9. На западном склоне Татарского пролива обнаружены специфические морфоструктуры газовой природы, в том числе, выраженные в рельефе дна.

Обнаружены многочисленные проявления поздненеогеновой тектонической активности, проявившейся в виде ярко выраженных разрывных нарушений (сбросы и всбросы), которые секут осадочный чехол, и часто достигают поверхности морского дна.

10. 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.

**КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ, ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИЕ И
ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ВОДАХ
ВЬЕТНАМА ЮЖНО-КИТАЙСКОГО МОРЯ
(88-й рейс НИС «АКАДЕМИК М.А. ЛАВРЕНТЬЕВ» 25 октября – 8 декабря
2019 г.)**

По результатам отчёта начальника экспедиции (Шакиров Р.Б., 2020)

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева
Дальневосточного отделения Российской академии наук
690041 Владивосток, ул. Балтийская, 43
esimo@ocean.ru*

Экспедиция выполнялась в рамках программ фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 гг. Раздел II. Физические науки 12. Современные проблемы радиофизики и акустики, в том числе фундаментальные основы радиофизических и акустических методов связи, локации и диагностики, изучение нелинейных волновых явлений. Раздел IX. Науки о Земле. 128. Физические поля, внутреннее строение Земли и глубинные геодинамические процессы. 133. Мировой океан – физические, химические и биологические процессы, геология, геодинамика и минеральные ресурсы океанской литосферы и континентальных окраин; роль океана в формировании климата Земли, современные климатические и антропогенные изменения океанских природных систем

Цель экспедиции

Выполнение комплексных геолого-геофизических, геохимических и океанографических исследований на привьетнамской акватории Южно-Китайского моря для решения проблемы формирования трех важных осадочных бассейнов, изучения газовых потоков, литологии и индикаторов минеральных ресурсов.

Задачи экспедиции

1. АААА-А17-117030110032-3
 - Изучение геофизических полей, как основы для исследования глубинной структуры, характера тектонических деформаций осадочного комплекса и подстилающего фундамента;
 - Изучение структуры осадочного чехла и рельефа дна.
2. АААА-А17-117030110035-4
 - 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 парниковых газов в приводном слое атмосферы, сбор и анализ данных по эмиссии метана и углекислого газа на двух уровнях высот относительно водной поверхности согласно движению судна;
 - Регистрация гидролого-гидрохимических параметров поверхностных вод с помощью проточной системы по ходу движения судна.
3. АААА-А17-117030110033-0
 - Изучение твердых пород и включений.

4. *AAAA-A19-119122090009-2*

- Изучение химического состава органического вещества донных отложений, поиск биомаркеров углеводов;
- Изучение микробиологической генерации и окисления углеводородных газов в осадках и толще вод;
- Изучение химического состава поровых вод осадочных отложений.

5. *AAAA-A17-117030110042-2*

- Выполнение CTD-зондирования комплексных океанологических измерений для исследования формирования структуры полей гидрологических характеристик;
- Изучение распределения температуры, солености, содержания кислорода, флуоресценции, мутности, РОВ в толще вод

6. *AAAA-A17-117030110040-8*

- 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;
- Измерение гидроакустических характеристик по ходу судна и на станциях. На станциях измерения коэффициентов поглощения звука и нелинейного параметра воды проведены с применением макета зонда (ТОИ) с глубиной зондирования до 100 м.

7. *AAAA-A17-117030110037-8*

- Разработка оптических моделей для сканеров цвета моря, устанавливаемых на спутниках с геостационарными и высокими эллиптическим орбитами, для случаев высоких значений зенитных углов Солнца и детектора;
- Измерение вертикального распределения гидрооптических характеристик в слое 0-200 метров;
- Отбор проб воды для измерений методом лазерно-искровой спектроскопии и проб осадочных отложений для исследования полиароматических углеводородов (ПАУ).

Район работ

Экспедиционные работы проводились в 3-х районах. В пределах первого и второго районов исследования были выбраны полигоны, на которых был сосредоточен основной объем работ, в третьем районе были выполнены профильные измерения по маршруту движения судна.

Районы работ расположены в Экономической зоне Социалистической Республики Вьетнам (СРВ) Южно-Китайского моря (рис. 28):

1. Район Юго-западной части Южно-Китайского моря (бассейн Нам Кон Сон)
2. Район центрального привьетнамского шельфа и склона (бассейн Фу Хань)
3. Район осадочного бассейна Красной реки, включающий шельф и континентальный склон.

Рис. 28. Карта-схема маршрута исследования и расположения районов работ в 88 рейсе НИС «Академик М.А. Лаврентьев», 25 октября – 08 декабря 2019 г. 1 – полигоны работ; 2 – профили геофизической съемки; 3 – комплексные океанологические станции; 4 – маршрут движения судна; 5 – районы работ

Использованное оборудование

- Гравиметр морской Чекан-АМ;
- Буксируемый морской протонный магнитометр-градиентометр МБМ-1;
- Акустическая система исследования обратного рассеяния звука, собранного исключительно силами научного состава экспедиции на основе эхолота Furuno FCV-1150, подсоединенного к излучателю эхолота Elac;
- Термосолинограф SBE-45;
- Флуориметр Turner Designs, модель 10-AU;
- Оксиметры JFE Advantech Co AR01-USB (0049) и JFE Advantech Co AR0-USB (065);
- Акустические излучатели;
- Лазерные анализаторы потоковых концентраций газов Picarro G2311-f, США;
- Гравитационный колонковый пробоотборник «GravityCore»;
- Дночерпатель «BoxCore»;
- Пробоотборная система, состоящая из СТД-зонда SBE-19 plus и батометрической системы SBE 55 на 6 позиций;
- Драга для отбора карбонатных и Fe-Mn конкреций;
- Газовые хроматографы: КристалЛюкс 4000М (измеряемые параметры: углеводородные газы, углекислый газ, кислород, азот); Газохром-2000 (водород, гелий, метан);
- Персональные компьютеры;

Основные результаты экспедиции

1. Выполнена геофизическая площадная съемка южного материкового склона и центрального шельфа Вьетнама, а также гравимагнитное профилирование бассейна Красной реки. Построены карты гравитационного и магнитного полей. С учетом большого объема геологических и гидрологических работ, а также ограниченности во времени и плохих метеоусловий геофизические работы выполнялись по нерегулярной сети профилей, что повлияло на итоговый результат. Некоторые структуры не удалось проследить в геофизических полях. Однако выполненные работы дополнили геофизические данные, полученные в 80-х–90-х годах прошлого столетия.

2. Проведено картирование рельефа, уточнены батиметрические профили континентального шельфа и склона СРВ.

3. В ходе экспедиционного исследования были получены уникальные данные по распределению углекислого газа, метана и ртути в приводном слое атмосферы на территории Японского, Восточно-Китайского и Южно-Китайского морей.

4. Установлено явление эмиссии метана, углекислого газа и ртути из водной толщи в атмосферу при определенных гидрометеорологических условиях, в том числе по причине антропогенного загрязнения.

5. Впервые выявлены закономерности распределения газогеохимических полей углеводородных газов, гелия, водорода, азота и углекислого газа в главных нефтегазоносных и перспективных осадочных бассейнах привьетнамского шельфа и склона, выявлены новые перспективные зоны нефтегазогенерации и миграции углеводородов.

6. Уточнен газогеохимический фон, впервые закартированы аномальные газогеохимические поля, на этой основе намечены перспективные зоны для поисков новых залежей нефти и газа, а также газогидратов.

7. Получены новые уникальные данные, касающиеся комплексных литогеохимических и минералогических характеристик осадочных отложений шельфа и склона СРВ.

8. Отобрана коллекция кернов осадочных отложений по всем станциям для детальных исследований в береговых условиях. Создан депозитарий геомикробиологических образцов для исследования процессов нефтеокисления, сульфатредукции, газоокисления и газогенерации в осадочных отложениях. Отобраны пробы для исследований видового разнообразия бентосных фораминифер, диатомей и радиолярий и их взаимосвязи с газовыми потоками.

9. Впервые отобраны образцы осадков и воды для исследования полиароматических углеводородов (ПАУ).

10. Получен уникальный массив гидрологических, гидрооптических, гидрохимических данных. На всех станциях выявлен пикноклин в поверхностном слое моря 30-60 метров. Данному пикноклину соответствует пик в вертикальном распределении концентрации хлорофилла-*a* порядка 0.5-1 мкг/л. Придонный слой (10-50 м, в зависимости от станции) ярко выражен отсутствием изменчивости гидрологических параметров. Так же наблюдалось снижение концентрации кислорода до 70-110 мкмоль/кг, в зависимости от зондируемой глубины.

11. Накоплены измерения параметров морской воды на ходу судна с использованием проточной системы, которые позволяют отследить структуру изменения поверхностных вод, а также использовать данные для определения растворенных газов в морской воде.

12. Отобраны пробы на химический анализ методом лазерно-искровой (эмиссионной) спектроскопии с целью определения основных химических элементов морской воды, таких как натрий, марганец, калий, кальций и др.

13. Получен уникальный массив гидроакустических данных, позволяющий исследовать тонкие неоднородности толщи вод, оценку поведения биомассы, газовых включений (факелов и плюмов пузырей газа), нелинейные параметры водных масс в переходный осенне-зимний сезон на шельфе и склоне Вьетнама.

14. Получены уникальные данные по распределению коэффициента обратного рассеяния звука и построены профили дна.

15. Повсеместно в осадочных отложениях обнаружены конкреции неизвестного происхождения: аморфные агрегаты, кристаллическая структура отсутствует, основная форма шарообразная, также они встречаются в скоплениях вытянутой цилиндрической и ксеноморфной формы. Предположительно конкреции имеют рудную природу.

16. В южной привьетнамской части моря (район I) в осадках обнаружены высокие концентрации метана от 0.25 мл/дм³ до 0.015 мл/дм³, которые превышают фоновые значения в 10-100 раз, что отражает повышенное насыщение метаном верхних слоев донных осадков. Кроме метана в газе донных осадков зафиксированы гомологи метана (этан, пропан, бутан), углекислый газ. Весь комплекс газов является важным индикатором генезиса газа и геологических процессов в изученной части моря.

Морские экспедиционные исследования на НИС «Академик Опарин» в 2019 году

ЭКСПЕДИЦИЯ В ОХОТСКОМ МОРЕ И СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА

(56-й РЕЙС НИС «АКАДЕМИК ОПАРИН» 29 июня - 8 августа 2019 г.)

По результатам отчета начальника экспедиции (Юрченко А.Н., 2020)

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Тихоокеанский институт биоорганической химии им. Г.Б. Елякова
Дальневосточного отделения Российской академии наук
690022 Владивосток, Проспект 100 лет Владивостоку, 159
esimo@ocean.ru*

56 рейс НИС «Академик Опарин» выполнялся в рамках Госзаданий ТИБОХ ДВО РАН и ННЦМБ ДВО РАН.

1. Тема 1. «Морские природные соединения. Химическое строение и биологическая активность». № гос. регистрации: АААА-А16 -116072110087

2. Тема 2. «Биополимеры и их надмолекулярные комплексы из бактерий и морских организмов: структуры, функциональная и биологическая активность. Разработка генно-инженерных и других биотехнологических методов их получения. Создание на их основе препаратов, перспективных для применения в биотехнологии и медицине». № гос. регистрации: АААА-А16 – 116072110088-1

3. Тема 3. «Хемотаксономические и ресурсные возможности восточноазиатских наземных и водных растений». № гос. регистрации: АААА-А16 – 116072110090-4

4. Тема 4. «Морские бактерии и грибы: систематика, экофизиология, биологически активные вещества микробного происхождения». № гос. регистрации: АААА-А16 – 116072110089-8

5. Тема (проект) № 0268-2014-0006 "Тема 6. Динамика морских экосистем в условиях глобальных климатических изменений и антропогенного воздействия", № гос. регистрации 115081110035

6. Тема (проект) № 0268-2014-0010 "Тема 10. Исследование биохимического разнообразия и путей биосинтеза липидов для определения трофических и симбиотических отношений морских организмов", № гос.регистрации 115081110036

7. Тема (проект) № 0268-2018-0007 "Тема 14. Биоразнообразие Мирового океана: состав и распределение биоты", № гос. регистрации 115081110047;

8. Тема (проект) № 0268-2014-0017 "Тема 17. Генетическое, популяционно-биологическое и биоинформационное исследование биологического разнообразия и видообразования водных организмов", № гос. регистрации 01201373046;

9. Тема (проект) № 0149-2014-0051 "Крупномасштабные закономерности структурно-функциональной организации донной биоты Мирового океана", № гос. регистрации АААА-А15-115110900101-2;

10. Грант РФФИ № 13-04-00524 “Гребенчатые ликоды группы “*Lycodes palearis*” (Pisces: Zoarcidae) северной части Тихого океана: состав, систематика, филогения и распространение.”;

11. Грант РФФИ № 12-04-31011 ”Фауна Lycodinae (Perciformes, Zoarcidae) Японского моря: таксономический состав, распространение, биология, история формирования”;

Цель экспедиции – поиск новых физиологически активных веществ с противоопухолевой, цитотоксической, противогрибковой, антибактериальной активностью и иммуномодулирующим действием среди морских беспозвоночных (губки, иглокожие, кишечнopolостные, асцидии) и грибов-микромикетов, оценка химического разнообразия этих веществ и их биологической активности. Исследование химического разнообразия соединений в морских бактериях и водорослях. Исследование

многолетних изменений в бентосных сообществах Курильских островов, а также изучение функциональных связей внутри этих сообществ. Изучение ихтиофауны литорали и сублиторали Курильских островов. Исследование аквазёмов и наземных почв Курильских островов. Сбор коллекции морских животных, водорослей и микроорганизмов для дальнейших биохимических исследований и пополнение музейных коллекций.

Задачи экспедиции

1. Исследование многолетних изменений в бентосных сообществах Курильских островов, а также изучение функциональных связей внутри этих сообществ;
2. Изучение ихтиофауны литорали и сублиторали Курильских островов;
3. Сбор коллекции морских животных, водорослей и микроорганизмов для дальнейших биохимических исследований и пополнение музейных коллекций;
4. Исследование химического разнообразия метаболитов макро- и микроорганизмов Охотского моря и тихоокеанского побережья Курильских островов;
5. Исследование антибактериальной, антигрибковой, цитотоксической, антиоксидантной и иммуномоделирующей активности соединений из собранных животных, микроорганизмов и водорослей;
6. Определение и уточнение видового состава и ареалов морских прибрежных рыб Охотского моря и Курильских островов;
7. Выявление биогеографической структуры фауны района исследований и путей её формирования;
8. Исследование филогении и происхождения основных семейств морских рыб;
9. Исследование поведения рыб.

Район работ

Экспедиция проводилась на побережье Хабаровского края (от Шантарских островов до Ейриной губы), банка Ионы, о. Ионы, Большая Курильская гряда (острова: Итуруп, Уруп, Черные братья, Симушир, Кетой, Ушишир, Матуа, Райкоке, Шиашкотан, Онекотан, Парамушир), Малая Курильская гряда (остров Шикотан) (рис. 29).

Рис. 29. Карта работ. ● – траловые станции, ▲ - водолазные и литоральные станции, → - маршрут судна с 23.06 по 07.07, → - маршрут судна с 25.07 по 26.08.

Использованное оборудование

Оборудование для заборных работ: трал Сигсби (ширина захвата 1,5 м, размер ячеек внутреннего мешка 5 мм); баллоны 15 л, металлические для хранения сжатого воздуха; компенсатор плавучести Mares; маска, трубка, ласты, перчатки, шлем, водолазный нож, гидрокombineзон мокрого типа; аквматика I и II ступеней; водолазные грузы; катер типа Кайман с надувными бортами; катер РИБ типа Сима; гидрологический зонд-профилограф CastAway CTD.

Оборудование для лабораторных работ: кюветный спектрофотометр CECIL CE 1021; центрифуги Eppendorf и BioSan; роторные испарители Heidolph VV60 (Германия), Buchi Rotavapor R-200 (Швейцария); вакуумная система L5600 KKMD; система охлаждения LKB 2219 Multitemp II; ультразвуковая баня «Сапфир»; холодильные установки Hailea 500A; воздушный компрессор Hailea ACO 500; многоступенчатые фильтры Eheim Ecco Pro 300.

Основные результаты экспедиции

Собрано более 2,5 тыс. образцов морских беспозвоночных (губки, актинии, медузы, моллюски и другие), 482 из которых исследованы на различные виды биологической активности. Проведен анализ 334 экстрактов морских беспозвоночных животных на присутствие структурно новых вторичных метаболитов морского происхождения и на содержание биологически активных веществ.

Собрано более 200 видов представителей макро- и мегабентоса, подготовлено 968 образцов бентосных организмов, 943 единицы хранения и 272 пробы гидробионтов, а также 158 проб биоматериала немертин.

Собрано 180 видов и форм рыб, икра шести видов, а также личинки и мальки 26 видов рыб. Собрано более 140 видов водорослей и три вида морских трав, подготовлено около 2400 образцов 27 массовых видов макроводорослей для проведения комплексной оценки активности и содержания ключевых компонентов антиоксидантной системы. Отобрано 11 видов водорослей для дальнейшего изучения полисахаридного состава.

Заготовлено более 350 образцов грунта, водорослей и морских беспозвоночных для выделения микромицелиальных грибов.

Отобрано около 1000 образцов гидробионтов для пополнения коллекций ТИБОХ и ННЦМБ ДВО РАН, а также экспозиций Приморского океанариума.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ЯПОНСКОМ МОРЕ

(57-й рейс НИС «АКАДЕМИК ОПАРИН» 2 - 21 октября 2019 г.)

По результатам отчета начальника экспедиции (Сергеев А.Ф., 2019)

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева
Дальневосточного отделения российской академии наук
690041 Владивосток, ул. Балтийская, 43
esimo@ocean.ru*

57 рейс НИС «Академик Опарин» в Японском море выполнен в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы, раздел 75. "Мировой океан – физические, химические и биологические процессы, геология, геодинамика и минеральные ресурсы океанской литосферы и континентальных окраин; роль океана в формировании климата Земли, современные климатические и антропогенные изменения океанских природных систем", приоритетная программа ДВО РАН «Дальний Восток», а также международные программы IOC/WESTPAC NEAR-GOOS, CREAMS/PICES в рамках обязательств России.

Цель экспедиции – исследование синоптической и мезомасштабной динамики вод в северо-западной и северной частях Японского моря для установления природы Приморского течения, системы Приморского апвеллинга, вихрей синоптического и мезо- масштабов и их роли в формировании структуры вод моря.

Задачи экспедиции

- Выполнение гидрологической и радиоэкологической съемки северо-западной и северной частей моря, включая районы в области шельфа, континентального склона и Центральной котловины, районов северного и центрального циклонических круговоротов, подводных возвышенностей и хребтов, зоны дивергенции, области апвеллинга и вихревых структур для подтверждения наших результатов и гипотез, полученных в предыдущих экспедициях, и установления новых особенностей процессов и явлений, не упоминаемых до настоящего времени в литературе по Японскому морю (тема 0271-2016-0005, 0271-2016-0006, 0271-2016-0010 и 18-1-010);

- Выполнение подспутниковых оптических измерений для оценки вклада региональных химических, биологических и гидродинамических особенностей вод с целью усовершенствования алгоритмов определения содержания пигментов фитопланктона и расчета первичной продукции по спутниковым данным (тема 0271-2016-0010);

- Обеспечение практического обучения студентов-океанологов в рамках программы «Тихоокеанского плавучего университета» (темы 0271-2016-0005, 0271-2016-0006, 0271-2016-0008, 0271-2016-0010 и 18-1-010).

Район работ

57 рейс НИС «Академик Опарин» проведен в северо-западной и северной частях Японского моря (рис. 30).

Рис. 30. Карта-схема маршрута экспедиции рейса №57 НИС «Академик Опарин» в Японском море в октябре 2019 г. Черными точками показано положение океанографических станций, синими квадратами – положение АБС

Использованное оборудование

- Лебедка кабельная с токоъемником (кабель-трос диаметром 10 мм длиной не менее 4000 м);
- Лебедка тросовая (трос диаметром 6 мм длиной не менее 650 м в пластиковой оплетке);
- П-рама и стрела для обеспечения выполнения заборных работ с указанных лебедок;
- Система спутниковой навигации в соответствии с требованиями ГМССБ;
- Эхолотный комплекс;
- Проботборная система SBE 911 plus с СТД-зондом SBE 9plus в комплекте с батометрической системой SBE 32 на 24 батометра объемом по 10 литров каждый и бортовым устройством SBE 11 для гидрологического зондирования в режиме реального времени и отбора проб воды на станциях;
- Автономные регистраторы океанографических параметров: СТД-логгерами RBR XR-620 и RBR Concerto, зондом СТД Lite-ACTD-CMP, датчиками кислорода ARO-USB, акустическими измерителями течений WHS300 и Aquadopp, акустическими размыкателями TD Benthos 866A и Oceano 500;
- Такелаж для постановок заякоренных донных буйковых станций, включающий стеклянные сферы плавучести в пластиковых кожухах, груза концевые, веревки, цепи, скобы;
- СТД-зонд SBE 19 plus, термосоленографом SBE-45;
- Гиперспектральный радиометр ASD FieldSpec (диапазон 325-1075 нм, разрешение 1 нм) для регистрации яркости воды и неба;
- Датчик освещенности поверхности моря Li-cor;
- Лабораторное оборудование для предварительной обработки проб воды на содержание радиоактивных искусственных и естественных изотопов;
- Низкочастотный эхолот и акустическое оборудование.

Основные результаты экспедиции

1. Установлено, что быстрое охлаждение поверхностного слоя вод северной части Японского моря в осенний период связано как с отдачей тепла в атмосферу, так и развитием прибрежного ветрового апвеллинга и регионального экмановского апвеллинга. Последний развивается в результате интенсификации циклонического круговорота над глубоководной Центральной котловиной моря. Локальные апвеллинги генерируются в прибрежной зоне ветрами западных направлений, а также динамикой синоптических вихрей.

2. Обнаружено, что осевая линия области максимального подъема глубинных вод, выделяемая по минимальным температурам, совпадает с линией, проходящей через возвышенность Первенца и хребты Берсенева и Васильковского между меридианами 132° - 134.5° в.д. Подводные поднятия способствовали максимальному подъему глубинных вод в северо-западной части моря, а также определили расположение центральной области апвеллинга открытого моря.

3. Подтверждено формирование в осенне-зимний период северо-западной ветви Цусимского течения, переносающей на подповерхностных горизонтах (30-100 м) воды повышенной солености к побережью Приморского края, в том числе в залив Петра Великого.

4. По гидрологическим и изотопным данным подтвержден факт формирования антициклонического вихря в северо-западной части моря за счет выноса шельфовых вод летней модификации из залива Петра Великого. При этом ключевую роль играет развитие апвеллинга в восточной части залива. Оценена вертикальная структура зоны апвеллинга и сформировавшегося вихря.

5. Съемки четырех антициклонических вихрей показали наличие в них нескольких ядер захваченных вод. Причем вихри в западной части района переносят в ядрах воду пониженной солености, а в восточной – повышенной, происхождение которой связано с Цусимским течением.

6. Зарегистрировано формирование промежуточных вод пониженной солености вследствие субдукции на халинном фронте на границе высокосолёных цусимских вод и относительно распресненных прибрежных вод северной части моря. Все халинные фронты с участием цусимских вод распространяются в глубину около 200-250 м.

7. В северной части моря над подводным хребтом Богорова впервые установлен подъем вод, распространяющийся до поверхностного слоя и обусловленный циклонической завихренностью.

8. Установлено замедление снижения в поверхностной воде Японского моря концентраций трития, и выход его содержания на уровень 1-1.5 тритиевых единиц, что свидетельствует об очищении атмосферы от бомбового трития периода термоядерных испытаний. Установлено, что время пребывания бомбового трития, а, следовательно, и водяного пара в атмосфере составило 50-60 лет, что совпадает с полувекowym климатическим циклом 50-70 лет. Выявлена сопряженность обменных процессов в атмосфере и толще Японского моря на полувекowym климатическом интервале времени.

9. Подтверждены предварительные результаты японских исследователей о повторном проникновении в Японское море следовых количеств радиоизотопов цезия - 134 после аварии на АЭС «Фукусима-1». Следствием поступления загрязненных вод из района аварии стало также повышение фоновых концентраций цезия-137 (до 1.5 Бк/м³) в северо-восточной части Японского моря по сравнению с другими районами моря. Кроме того, также установлено глубокое проникновение поверхностного цезия -137 и трития в антициклоническом вихре в северо-восточной части моря.

10. Установлены диапазоны концентраций естественных долгоживущих изотопов ^{228}Ra и ^{226}Ra , которые в поверхностных водах района исследований составили 1.5- 5.0 мБк/л и 1.4-2.1 мБк/л соответственно. Для района характерно высокое содержание ^{228}Ra по сравнению с юго-восточной частью моря (акватория Японии).

11. Собран массив новых данных подспутниковых гидробиологических и гидрооптических измерений в водах различных оптических типов, отличающихся по механизмам формирования цвета морской поверхности за счет непостоянных соотношений основных оптически активных компонентов морской среды и за счет различной стратификации вод Японского моря.

12. Проведены акустические исследования структуры и пространственного распределения мелкомасштабных неоднородностей с высоким пространственным и временным разрешением. Получено более 200 записей гидроакустических измерений. По окончании обработки предполагается получить данные об особенностях структуры и пространственном распределении мелкомасштабных неоднородностей в обследованной области Японского моря.

13. Проведены теоретические и практические занятия со студентами кафедры океанологии и гидрометеорологии ДВФУ в рамках программы «Тихоокеанский плавучий университет».

**ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
В ЯПОНСКОМ МОРЕ
(58-й РЕЙС НИС «АКАДЕМИК ОПАРИН» 24 октября - 24 ноября 2019 г.)**

По результатам отчета начальника экспедиции (Сергеев А.Ф., 2019)

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева
Дальневосточного отделения российской академии наук
690041 Владивосток, ул. Балтийская, 43
esimo@ocean.ru*

58 рейс НИС «Академик Опарин» в Японском море выполнен в рамках программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы, раздел 75. "Мировой океан – физические, химические и биологические процессы, геология, геодинамика и минеральные ресурсы океанской литосферы и континентальных окраин; роль океана в формировании климата Земли, современные климатические и антропогенные изменения океанских природных систем", приоритетная программа ДВО РАН «Дальний Восток» а также международные программы IOC/WESTPAC NEAR-GOOS, CREAMS/PICES в рамках обязательств России.

Цель экспедиции – исследование межгодовой и короткопериодной изменчивости океанологических полей в северо-западной части Японского моря, изучение связи физических и биологических полей, процессов продукции и деструкции органического вещества, распределения естественных и искусственных изотопов, метана и других химических параметров в водах Японского моря.

Задачи экспедиции

Выполнение комплексной океанографической съемки западной и северной частей моря для выявления межгодовой и короткопериодной изменчивости океанологических полей в северо-западной части Японского моря, оценки структуры водных масс в области осеннего апвеллинга и вихрей синоптического масштаба (тема 0271-2016-0005, 0271-2016-0010), изучения связи физических и биологических полей, процессов продукции и деструкции органического вещества (тема 0271-2016-0006, 0271-2016-0010, проект 18-1-010), распределения естественных и искусственных изотопов, метана и других химических параметров в водах Японского моря (0271-2016-0008).

Район работ

58 рейс НИС «Академик Опарин» проходил в северо-западной части Японского моря, в области осеннего апвеллинга (рис. 31).

Рис. 31. Карта–схема маршрута экспедиции 58 рейса НИС «Академик Опарин» в Японском море 24 октября- 24 ноября 2019 г.

Использованное оборудование

- Лебедка кабельная с токосъемником (кабель-трос диаметром 10 мм длиной не менее 4000 м);
- Лебедка тросовая (трос диаметром 6 мм длиной не менее 650 м в пластиковой оплетке);
- П-рама и стрела для обеспечения выполнения заборных работ с указанных лебедок;
- Система спутниковой навигации в соответствии с требованиями ГМССБ;
- Эхолотный комплекс;
- Пробыборная система SBE 911 plus с СТД-зондом SBE 9plus в комплекте с батометрической системой SBE 32 на 24 батометра объемом по 10 литров каждый и бортовым устройством SBE 11 для гидрологического зондирования в режиме реального времени и отбора проб воды на станциях;
- СТД-зонд SBE 19 plus;
- Аппаратура для определения температуры, солености и хлорофилла -а в поверхностном слое воды на ходу судна;
- Лабораторное оборудование для химических анализов;
- Лабораторное оборудование для предварительной обработки проб воды для определения естественных изотопов радия.

Основные результаты экспедиции

1. Продолжена многолетняя программа совместных российско-корейских исследований Японского моря под эгидой Северотихоокеанской организации по морским наукам PICES и, в частности, мониторинг реакции моря на современные

глобальные изменения, проявляющиеся как в изменении структуры вод моря, так и характере биогеохимических процессов в его толще.

2. Установлены продолжающиеся с 1995 по 2019 гг. климатические изменения в водной толще Японского моря, в частности, идущего со скоростью $0.002^{\circ}\text{C}/\text{год}$ потепления и снижения содержания кислорода в придонных водах глубоководных котловин моря. Полученные данные, а также данные наших предыдущих экспедиций, позволяют оценивать время обновления вод придонного слоя моря в 40-60 лет, что совпадает с уровнем известной климатической цикличности. Эти результаты, а также результаты работ в предыдущем 57-м рейсе НИС «Академик Опарин», указывают на сопряженность обменных процессов в атмосфере и толще Японского моря на полувекровом климатическом интервале времени, которые и обуславливают, вероятно, наблюдаемые тренды потепления-похолодания.

2. Установлено, что центр циклонического круговорота, проявляющийся как область максимального подъема пикноклина, определенный в рейсе № 57 НИС «Академик Опарин» в октябре этого года, оставался на том же месте и в период работ экспедиции рейса № 58 в ноябре - между меридианами 132° - 134.5° в.д. Но цепочка антициклонических вихрей, окружавших область экмановского апвеллинга, сместилась к ноябрю против часовой стрелки, подтверждая перенос по периферии циклонического круговорота.

3. Впервые в северной части моря над подводным хребтом Богорова наблюдалось взаимодействие поверхностного антициклонического вихря с донным топографическим циклоническим вихрем, сопровождающееся трансформацией структуры обоих вихрей. Данное явление, вероятно, становится заключительной фазой эволюции синоптического вихря, возникающего из года в год к северо-востоку от подводного хребта Богорова.

4. Впервые в верхней части континентального склона восточного Приморья на глубине 560 м обнаружен газовый факел. До настоящего времени газовые факелы в Японском море регистрировались только на шельфе западной части залива Петра Великого и в Татарском проливе вблизи Сахалина. Газовые факелы на больших глубинах позволяют предполагать наличие залежей газогидратов в донных отложениях.

5. Получены новые данные о гидрохимическом режиме вод северо-западной части Японского моря в осенний сезон. В поверхностном слое (до 500 м) пространственная изменчивость гидрохимических параметров определяется гидрологическими процессами. В верхнем фотическом слое происходит формирование органического вещества и фотолиз, что в совокупности приводит к падению концентраций биогенных элементов практически до нуля и нарушению стехиометрического соотношения Редфилда. В глубинном слое от 500 до 2000 м наблюдаются минимумы значений рН (до 7.39 ед. рН) и концентрации кислорода (до 190 мкмоль/кг). В придонном слое Центральной котловины значения этих параметров возрастают до 7.45 ед. рН и 206 мкмоль/кг соответственно.

6. Анализ распределения растворенного органического углерода (DOC) также показывает резкое уменьшение его содержания с глубиной и практически неизменяющуюся концентрацию ниже глубины 500 м. Факторный анализ вертикального распределения окрашенного органического вещества (CDOM) подтверждает отмеченные выше особенности биологической продуктивности Японского моря.

Морские экспедиционные исследования на НИС «Дальние Зеленцы» в 2019 году

КОМПЛЕКСНАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ В БАРЕНЦЕВО МОРЕ (рейс НИС «ДАЛЬНИЕ ЗЕЛЕНЦЫ», 2 - 21 апреля 2019 г.)

По результатам отчета начальника экспедиции (Дерябин А.А., 2019)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Мурманский морской биологический институт КНЦ Российской академии наук
183010 Мурманск, ул. Владимирская 17
esimo@ocean.ru

Экспедиция проведена в соответствии с научной программой комплексной морской экспедиции на НИС «Дальние Зеленцы» для выполнения государственных заданий ММБИ КНЦ РАН по темам НИР: № 9-17-0-1; 9-19-01; 9-13-06; 9-18-01; 9-18-02.

Цель экспедиции – проведение прикладных научных исследований по мониторингу морских акваторий и арктических архипелагов и сбор данных для комплексного анализа и прогноза экосистемных процессов в Баренцевом море

Задачи экспедиции

1. Определение гидрологических и гидрохимических параметров водной среды;
2. Изучение растительного и животного мира (морские млекопитающие, птицы, зообентос, планктон);
3. Определение концентраций загрязняющих веществ в морской воде, пробах донного осадка.

Район работ

Работы проводили в центральной части Баренцева моря на разрезах «Кольский меридиан» и «Зеленецкий» и в прикромочной зоне на 4-х разрезах (рис. 32).

Рис. 32. Расположение станций в ходе рейса НИС «Дальние Зеленцы» 2 - 21 апреля 2019 г. в Баренцевом море

Использованное оборудование

- Океанографические лебедки: AdriaWinch, KC. СТД-зонд SBE 19 plus v2;
- Розетка Hydro-Bios с батометрами Hydro-bios и General Oceanics;
- Фильтровальная установка GAST;

- Универсальный цифровой титратор;
- Вакуумный насос фирмы GAST model DOA-P704 SHOWN;
- Планктонная сеть WP-2 HydroBios;
- Планктонная сеть Джеди;
- Дночерпатель ван Вина;
- Микробюретка;
- Бинокляр.

Основные результаты экспедиции

Океанология. Гидрологические наблюдения включали в себя инструментальные измерения основных океанографических параметров морской среды (температуры и солёности) методом СТД-профилирования с помощью зонда SBE 19 plus V2. Всего было выполнено 55 профилирования водной толщи.

Химическая гидрология. Во время рейса всего было отобрано 135 проб воды на 24 станциях. Всего производился отбор проб для аналитического измерения следующих параметров гидрохимического комплекса: концентрации растворенного кислорода (% насыщения); фосфора минерального; валового фосфора; азота общего; азота аммонийного; азота нитритного; азота нитратного; растворенных силикатов. Отбор проб для измерения параметров гидрохимического комплекса, проводили в стандартных горизонтах (0, 5, 10, 25, 50, 100, 200 и дно) или горизонтов со значительными гидрологическими аномалиями. На борту судна определялся растворенный кислород.

Хлорофилл *a*. Отбор морской воды на определение концентраций основного фотосинтетического пигмента проводили в центральной части Баренцева моря и прикромочной зоне. Из них по разрезу «Кольский меридиан» выполнено 7 станций (30 проб), в прикромочной зоне отобраны пробы на 4 разрезах - 23 станции (113 проб), по разрезу «Зеленецкий» отработаны 4 станции (16 проб). Всего в ходе рейса отобрано 159 проб на 34 станциях.

Бактериопланктон. Отбор проб на бактериопланктон проводили в Баренцевом море на разрезах «Кольский меридиан» и «Зеленецкий» по 3–4 стандартным гидрологическим горизонтам (0, 10, 25, 50 м). Всего в ходе рейса на 10 станциях отобрано и обработано 49 проб.

Гетеротрофные жгутиконосцы. Отбор проб на гетеротрофные жгутиконосцы проводили на разрезах «Кольский меридиан» и «Зеленецкий» по 3–4 стандартным гидрологическим горизонтам (0, 10, 25, 50 м). Всего в ходе рейса на 10 станциях отобрано и обработано 30 проб.

Микро- и нанопланктон. В рамках научно-исследовательской экспедиции с целью исследования структурной организации фитопланктонных сообществ задействованы батометрический и сетной методы, позволяющие получить сведения в пределах как дискретных точек в толще воды, так и слоёв. В общей сумме отобрано 216 проб микрофитопланктона с 40 станций и 140 проб нанопланктона на 28 станциях.

Планктонные пробы подлежат к исследованию следующих показателей: видовой состав; общая численность и биомасса; численность и биомасса основных систематических групп и видов; пространственное и вертикальное распределение; плотность распределения;

Фитопланктон. Были выполнены 4 прикромочных разреза, начиная от северной части векового разреза «Кольский меридиан» - 33.30° в.д. до 49.40° в.д. По результатам обработки полученных материалов выявлено, что в западной части полигона численность нанофракции планктонных водорослей варьировала от 122 тыс. кл./л до 360 тыс. кл./л, пространственное распределение было однородным как по вертикали в верхнем стометровом слое, так и по мере удаления от ледовой кромки. Таким образом состояние пелагического фитоценоза на данном участке акватории в период исследований можно охарактеризовать как предцветение. В восточном направлении показатели количественного развития заметно увеличиваются, численность нанопланктона

составляет около 5 млн. кл/л, максимальные значения приурочены к верхнему 10-метровому слою, что характерно для пика прикромочного цветения. Таким образом, исходя из предварительного анализа полученных данных можно с большой долей вероятности предположить, что в апреле 2019 г. прикромочное цветение в Баренцевом море развивалось в направлении с востока на запад.

Мезозоопланктон. Сетные пробы зоопланктона отобраны в количестве 45 на 20 станциях: 6 станций, лежащих на разрезе «Кольский меридиан», и 14 – в зоне ледовой кромки. На разрезе организмы облавливались в слое воды 100 – 0 м, в зоне ледовой кромки отбор воды проведён в трёх слоях: дно – 100 м, 100 – 50, 50 – 0. Полученные сетные пробы позволяют исследовать ряд показателей: видовой состав; общая численность и биомасса; численность и биомасса основных систематических групп и видов; пространственное и вертикальное распределение; плотность распределения; продукционные характеристики основных видов (групп) «кормового» зоопланктона.

Микрофитобентос. Отобранные пробы позволяют оценить структурные показатели сообществ бентосных форм микроводорослей, а также информативны с точки зрения определения характера грунта в пределах баренцевоморской акватории. Пробы грунта отобраны дночерпателем Ван-Вина с глубины 1 см³ от поверхности дна в количестве 12.

Бентос. Всего за время экспедиции на 15 станциях было отобрано 60 проб макрозообентоса. Донные осадки в районах работ преимущественно мягкие, грунт илистый или илисто-песчаный. Поэтому фауна макрозообентоса была представлена преимущественно инфауной (полихеты, немертины, приапулиды, сипункулиды, закапывающиеся двустворчатые моллюски) и онфауной (некоторые виды офиур, морские звезды, голотурии, некоторые виды двустворчатых и брюхоногих моллюсков, амфиподы, кумовые раки). Появление в составе грунта камней, гальки, гравия или железо-марганцевых конкреций способствовало развитию разнообразной эпифауны, представленной губками, гидроидами, накипными или кустистыми мшанками, мягкими кораллами, актиниями, полихетами-сабеллидами, пантаподами, эпифаунными офиурами (*Ophiopholis aculeata*), брюхоногими моллюсками-блюдечками и эпифаунными двустворчатыми моллюсками (например, *Modiolulla phaseolina*), брахиоподами. На разрезе «Кольский меридиан» (ст. 1–17) по мере удаления от берега происходила постепенная смена грунтов с илисто-песчаных на илистые. В том же направлении возрастало обилие зообентоса (после ст. 7), в первую очередь благодаря увеличению численности руководящих видов (виды с высокими встречаемостью и биомассой): седентарных полихет *Spiochaetopterus typicus* и *Maldane sarsi*, массовых двустворчатых моллюсков *Astarte crenata*, *Batharca glacialis*, а также иглокожих *Stenodiscus crispatus*. Сходная тенденция со сменой ила на илистые пески по мере приближения к берегу наблюдалась и на 44 разрезе. В прикромочном районе, на станции 40, судя по характерным обломкам раковин двустворчатых моллюсков, обитает также краб-стригун *Chionoecetes opilio*. Следы присутствия другого бентофага – камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* – обнаружены в районе разреза «Зеленецкий» на ст. 51.

Морские птицы и млекопитающие. Наблюдения морских птиц и млекопитающих проведены на 66 трансектах общей протяженностью около 1371 км. По результатам наблюдений фауна птиц западной и северной частей Баренцева моря в весенний период представлена 16 видами: глупыш *Fulmarus glacialis* (L., 1761), северная олуша *Sula bassana* (L., 1758), морянка *Clangula hyemalis* (L., 1758), обыкновенная гага *Somateria mollissima* (L., 1758), средний поморник *Stercorarius pomarinus* (Temminck, 1815), озерная чайка *Larus ridibundus* L., 1766, серебристая чайка *Larus argentatus* Pontoppidan, 1763, бургомистр *Larus hyperboreus* Gunnerus, 1767, морская чайка *Larus marinus* L., 1758, моевка *Rissa tridactyla* (L., 1758), белая чайка *Pagophila eburnea* (Phipps., 1774), люрик *Alle alle* (L., 1758), тонкоклювая кайра *Uria aalge* (Pontoppidan, 1763), толстоклювая кайра *Uria lomvia* (L., 1758), чистик *Cerphus grylle* (L., 1758), тупик *Fratercula arctica* (L., 1758). Фауна морских млекопитающих – 4 видами: беломордый дельфин *Lagenorhynchus*

albirostris Gray, 1846, сельдяной кит (финвал) *Balaenoptera physalus* L., 1758, малый (остромордый) полосатик *Balaenoptera acutorostrata*, белый медведь *Ursus maritimus* L., 1758.

Радиоэкологические исследования. В рамках данного направления исследований проводились отбор и частичная подготовка проб морской воды и донных отложений для определения концентраций искусственных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr .

**КОМПЛЕКСНАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ В БАРЕНЦЕВО МОРЕ
(РЕЙС НИС «ДАЛЬНИЕ ЗЕЛЕНЦЫ», 18 июня - 07 июля 2019 г.)**

По результатам отчета начальника экспедиции (Мещеряков Н.И., 2019)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Мурманский морской биологический институт КНЦ Российской академии наук
183010 Мурманск, ул. Владимирская, 17
esimo@ocean.ru

Экспедиция проведена в соответствии с научной программой комплексной морской экспедиции на НИС «Дальние Зеленцы» для выполнения государственных заданий ММБИ КНЦ РАН по темам НИР: № 9-17-0-1; 9-19-01; 9-13-06; 9-18-01; 9-18-02.

Цель экспедиции – проведение комплексного экспедиционного мониторинга морских акваторий Баренцева и сопредельных акваторий.

Задачи экспедиции

1. Определение гидрологических и гидрохимических параметров водной среды;
2. Изучение растительного и животного мира (морские млекопитающие, птицы, зообентос, планктон);
3. Определение концентраций загрязняющих веществ в морской воде, пробах донного осадка.

Район работ

Работы проводили в центральной части Баренцева моря (рис. 33). Разрез №6 «Кольский меридиан» выполнялся с 19 по 22 июня 2019 г. С 24 по 25 июня были выполнены 13 океанографических станций в проливе Стур-фьорд, отделяющем остров Западный Шпицберген на западе от островов Баренца и Эдж на востоке. За период с 27 по 30 июня были выполнены 28 станций в заливе Ис-фьорд о. Западный Шпицберген, в том числе 16 станции осевого разреза. Продольный разрез в заливе Грен-фьорд, находящемся на расстоянии 10 км от входа в залив Ис-фьорд на его южном берегу, состоял из шести гидрологических станций.

Рис. 33. Расположение станций в ходе рейса НИС «Дальние Зеленцы» 18 июня - 07 июля 2019 г. в Баренцевом море

Использованное оборудование

- Океанографические лебедки: AdriaWinch, KC;
- СТД-зонд SBE 19 plus v2;
- Розетта Hydro-Bios с батометрами Hydro-bios и General Oceanics;

- Фильтровальная установка GAST;
- Универсальный цифровой титратор;
- Вакуумный насос фирмы GAST model DOA-P704 SHOWN;
- Планктонная сеть WP-2 HydroBios;
- Планктонная сеть Джеди;
- Дночерпатель ван Вина;
- Микробюретка;
- Бинокляр.

Основные результаты экспедиции

Океанология. В течение рейса преобладала пасмурная погода (облачность 10 баллов), слоистые и слоисто-кучевые облака. Скорость ветра по маршруту следования судна изменялась от 1.1 до 24.2 м/с. Максимальный истинный ветер (24.2 м/с) имел направление ВСВ и наблюдался 28 июня на станции №47. Атмосферное давление изменялось в диапазоне от 994 до 1016 гПа, в среднем составило 1007.2 гПа. Температура воздуха варьировала в диапазоне от -1 до 4 °С. Зондом «SBE-19 Plus V2 SEACAT» было выполнено 78 СТД-профилирований водной толщи.

Химическая гидрология. Отобрано 59 проб воды на 16 станциях. Отбор проб для измерения параметров гидрохимического комплекса, проводили в стандартных горизонтах (0, 5, 10, 25, 50, 100, 200 и дно) или горизонтов со значительными гидрологическими аномалиями.

Гидробиология. Проведён отбор 74 проб морской воды на хлорофилл А на 15 станциях. Из них 2 станции выполнено по Кольскому разрезу в районе предполагаемого полярного фронта, 13 станций - в прибрежье и во фьордах арх. Шпицберген. Отобрано 126 проб морской воды на 22 станциях на бактериопланктон и 40 проб на 10 станциях на гетеротрофных жгутиконосцов. Отобрано 243 проб планктона, из которых 205 отобраны батометрическим методом (фитопланктон) и 38 сетным (микропланктон). Отобраны пробы зоопланктона на 21 станциях в общем количестве 39 шт. Пробы зоопланктона отобраны на 21 станциях в общем количестве 39 шт.

В ходе экспедиции отобраны пробы зообентоса в районе архипелага Шпицберген: вдоль западного побережья, в проливе Стур-фьорд (5 станций, 15 проб), заливах Грен-фьорд (3 станции, 9 проб), Ис-фьорд (4 станции, 11 проб), Билле-фьорд (4 станции, 13 проб), к бухте Колес (1 станция, 3 пробы) и в прибрежье арх. Шпицберген (6 станций, 16 проб). Всего за время экспедиции на 15 станциях было отобрано 60 проб макрозообентоса.

Радиоэкология. В рамках данного направления исследований проводились отбор и частичная пробоподготовка проб морской воды и донных отложений для определения концентраций искусственных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr . В течение рейса было выполнено 4 радиоэкологические станции. Всего в течение экспедиции было отобрано: 4 пробы воды объемом по 95 л на ^{137}Cs с придонного слоя; 4 пробы воды объемом по 120 л на ^{137}Cs с поверхности; 4 пробы воды объемом по 30 л на ^{90}Sr с придонного слоя; 4 пробы воды объемом по 30 л на ^{90}Sr с поверхностного слоя; 3 колонки донных отложений.

Седиментология. В рамках данного выполнено 14 седиментологических станций, где было отобрано 24 пробы донных отложений.

Морские птицы и млекопитающие. Наблюдения морских птиц и млекопитающих проведены на 58 трансектах общей протяженностью около 1400 км. Общая учетная площадь трансект для птиц составила 506 км². Морские млекопитающие учитывались по всему маршруту одним наблюдателем, в секторе 180° на всей доступной зрению акватории. Протяженность учетного маршрута для морских млекопитающих составила 1400 км.

По полученным в ходе морской экспедиции данным к настоящему времени построены океанографические разрезы, характеризующие термохалинную структуру в

районе работ. Выполнен гранулометрический анализ донных отложений пролива Стур-фьорд, определён тип донных отложений по всей вскрытой осадочной толще. Выявлены изменения условий седиментогенеза пролива Стур-фьорд (с середины прошлого века) и как следствие замещение одних типов осадков другими. Прочие отобранные в ходе экспедиции пробы переданы в лабораторию ММБИ РАН, для дальнейшего анализа и интерпретации.

**КОМПЛЕКСНАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ В БАРЕНЦЕВО МОРЕ
(РЕЙС НИС «ДАЛЬНИЕ ЗЕЛЕНЦЫ», 23 октября - 11 ноября, 20-27 ноября
2019 г.)**

По результатам отчета начальника экспедиции (Дерябин А.А., 2019)

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Мурманский морской биологический институт КНЦ Российской академии наук
183010 Мурманск, ул. Владимирская, 17
esimo@ocean.ru*

Экспедиция проведена в соответствии с научной программой комплексной морской экспедиции на НИС «Дальние Зеленцы» для выполнения государственных заданий ММБИ КНЦ РАН по темам НИР: № 9-17-0-1; 9-19-01; 9-13-06; 9-18-01; 9-18-02; 9-13-05.

Цель экспедиции – проведение прикладных научных исследований по мониторингу морских акваторий и арктических архипелагов, и сбора данных для комплексного анализа и прогноза экосистемных процессов в Баренцевом и Карском морях.

Задачи экспедиции

1. Определение гидрометеорологических и гидрохимических параметров водной среды;
2. Отбор проб воды для определения фотосинтетических пигментов, первичной продукции, бактерио-, фито- и зоопланктона;
3. Отбор проб донного осадка для определения характеристик микроводорослей;
4. Отбор проб донного осадка для определения характеристик бентосных организмов;
5. Отбор проб бентосных организмов и донного осадка для проведения экотоксикологических исследований;
6. Проведение ихтиологических исследований;
7. Отбор проб воды и донного осадка для определения концентраций ^{137}Cs и ^{90}Sr .

Район работ

Работы проводились в центральной части Баренцева моря на разрезах «Кольский меридиан» и «Зеленецкий» и в прикромочной зоне на 4-х разрезах (рис. 34).

Использованное оборудование

- Океанографические лебедки: AdriaWinch, KC. СТД-зонд SBE 19 plus v2;
- розетка Hydro-Bios с батометрами Hydro-bios и General Oceanics;
- Фильтровальная установка GAST;
- Универсальный цифровой титратор;
- Вакуумный насос фирмы GAST model DOA-P704 SHOWN;
- Планктонная сеть WP-2 HydroBios;
- Планктонная сеть Джеди;
- дночерпатель ван Вина;
- Микробюретка;
- Бинокляр;
- Конвенционный донный трал.

Рис. 34. Расположение станций в ходе рейса НИС «Дальние Зеленцы»
23 октября - 11 ноября, 20-27 ноября 2019 г. в Баренцевом море

Выполненный объем работ

Для океанографических исследований было выполнено 44 профилирования водной толщи.

Для гидрохимических исследований было отобрано 78 проб морской воды. В северо-восточной части Баренцева моря сделан гидрохимический разрез. Получены результаты содержания в воде: кислорода, водородного показателя и биогенных элементов в судовой лаборатории. Дальнейший анализ будет произведен в лаборатории ММБИ РАН

Для исследования компонентов микропланктона были отобраны пробы на определение хлорофилла-*a* (68 шт.), бактериопланктона (59 шт.), фито- и микрозоопланктона (194 шт.) и зоопланктона (44 шт.)

Для определения структурных показателей сообществ бентосных форм микроводорослей были отобраны 5 проб донного осадка.

Для исследования макрозообентоса было отобрано 35 проб донного осадка на 12 станциях.

Экотоксикологические исследования бентосных организмов и донного осадка включали в себя 9 проб.

Ихтиологические исследования. Было выполнено 20 донных и 3 пелагических тралений. Результаты тралений были оперативно получены и представлены в кратком отчете.

Для радиоэкологических исследований были отобраны пробы: воды (36 шт.), донного осадка (10 шт.) и керн донного осадка (2 шт.).

Основные результаты экспедиции

Химическая гидрология. На акватории между ЗФИ и Новой Землей было отобрано 78 проб морской воды. Производился отбор проб для аналитического измерения следующих параметров гидрохимического комплекса: водородного

показателя; растворенного кислорода (% насыщения); фосфора минерального; фосфора валового; азота нитритного; азота нитратного; азота валового; кремния растворенных силикатов.

Хлорофил *a*. С целью исследования пространственного и вертикального распределения концентраций фотосинтетических пигментов фитопланктона был проведен отбор 68 проб на 12 станциях в водах северо-восточной части Баренцева моря и на 9 станциях, приуроченных к Кольскому разрезу.

Бактериопланктон. Отбор морской воды с целью выявления количественных параметров бактериопланктона проводили по 5-7 стандартным гидрологическим горизонтам. Всего на определение количественных характеристик бактериопланктона отобрано 59 проб морской воды с 8 станций на северо-востоке Баренцева моря.

Фитопланктон и микрозоопланктон. В рамках научно-исследовательского рейса был обеспечен отбор проб воды батометрическим (фитопланктон) и сетным методом (микрозоопланктон), что позволяет исследовать структурную организацию сообществ микропланктона в осенний период. Общее количество проб микропланктона составило 194 штук, на северо-востоке Баренцева моря 84 получены батометрическим методом и 14 – сетным, на станциях вдоль Кольский разреза – 76 и 17 проб морской воды соответственно.

Зоопланктон. Пробы зоопланктона отобраны на 20 станциях в общем количестве 20 шт., облавливаемый слой воды 0 – 25 м, 50 м – дно.

Микрофитобентос. Отобранные пробы грунта позволяют оценить структурные показатели сообществ бентосных форм микроводорослей, а также информативны с точки зрения определения характера грунта в пределах баренцевоморской акватории. Пробы грунта отобраны с глубины 1 см³ от поверхности дна в количестве 5 проб в водах северо-восточной части Баренцева моря.

Макрозообентос. В ходе экспедиции отобраны пробы зообентоса в северо-восточной части Баренцева моря между арх. Новая Земля и Земля Франца-Иосифа. Всего отобрано 35 дночерпательных проб на 12 станциях. Характеристики станций, на которых отбирались пробы зообентоса, приведены в таблицах.

Таблица. Характеристика станций и состав проб для исследований макрозообентоса

№ ст.	Дата	Кол-во проб	Долгота	Широта	Глуб., м	T, °C	S, ‰	Характеристика грунта	Фауна
10	30.10	3	7808.34	6946.66	445	-0.1	34.9	Песчанистый коричневый ил, серая глина	<i>Maldanidae g.sp.</i> , <i>Macoma calcarea</i>
6	31.10	3	7843.80	6940.62	507	-0.2	34.9	Коричневый ил, "фораминиферный песок", мягкая коричневая глина	<i>Spiochaetopterus typicus</i> , <i>Ophiopleura borealis</i>

4	31.10	3	7922.74	6525.39	427	-0.25	34.8	Коричневый ил, "фораминиферный песок", мягкая коричневая глина	<i>Spiochaetopterus typicus</i>
17	1.11	3	7922.00	6251.20	186	-1.2	34.7	Коричневый песчанистый ил, "фораминиферный песок", серая плотная и коричневая мягкая глина, в нижних слоях - мелкий песок	<i>Ctenodiscus crispatus</i> , <i>Ophiopleura borealis</i> , <i>Ophiacantha bidentata</i>
15	1.11	3	7846.02	6401.66	361	-0.3	34.9	Песчанистый коричневый ил, мягкая коричневая глина, "фораминиферный песок"	<i>Spiochaetopteus typicus</i> , <i>Ophioscolex glacialis</i>
5	2.11	3	7844.73	6642.67	343	-0.2	34.9	Песчанистый коричневый ил, мягкая коричневая глина, "фораминиферный песок"	<i>Spiochaetopteus typicus</i> , <i>Ophiacantha bidentata</i>
12	3.11	3	7747.80	6732.57	430	-0.2	34.9	Тонкий слой коричневого ила, серая глина, немного камней	<i>Spiochaetopteus typicus</i>
11	3.11	3	7730.98	6816.85	502	-0.3	34.9	Тонкий слой коричневого ила, серая глина, немного камней	<i>Spiochaetopteus typicus</i> , <i>Maldanidae g.sp.</i> , <i>Gersemia fruticosa</i> , <i>Polychaeta var.</i>

22	3.11	3	7705.68	6506.45	106	-0.1	34.8	Среднезернистый песок, камни, серая вязкая глина	<i>Maldanidae g.sp.</i> , <i>Golfingia sp.</i> , <i>Brachiopoda g.sp.</i> , <i>Macoma calcarea</i> , <i>Cardium ciliatum</i>
20	4.11	3	7809.22	6236.02	392	-0.3	34.9	Песчанистый коричневый ил, серая глина, немного фораминифер	<i>Polychaeta var.</i>
33	6.11	2	7630.59	6058.80	105	-0.1	34.9	Крупнозернистый песок, камни, серая вязкая глина	<i>Strongylocentrotus sp.</i> , <i>Macoma calcarea</i> , <i>Golfingia sp.</i>
34	7.11	3	7623.32	5951.01	127	0.8	34.8	Крупнозернистый песок, камни, серая вязкая глина	<i>Ophiopholis aculeata</i> , <i>Ophiacantha bidentata</i> , <i>Amphiura sp.</i> , <i>Brachiopoda g.sp.</i> , <i>Strongylocentrotus sp.</i>

Экотоксикологические исследования макрозообентоса и донных отложений. В ходе экспедиции отобраны пробы зообентоса между северо-восточным районом Баренцева моря и северо-западной части Карского моря. В обоих районах отобраны пробы бентосных организмов и донных отложений для экотоксикологических исследований (таблица).

Таблица. Характеристика станций и состав проб для экотоксикологических исследований

№ ст.	Дата	Широта	Долгота	Глубина, м	Состав образца
10	30.10.2019	7808.341	6946.665	445	грунт <i>Maldane sarsi</i> <i>Laonice cirrata</i> <i>Macoma calcarea</i>
15	01.11.2019	7846.029	6901.667	361	грунт <i>Ophioscolex glacialis</i> <i>Actinostola sp.</i> <i>Colus islandicus</i> <i>Gersemia fruticosa</i>

22	03.11.2019	7705.687	6506.458	106	грунт <i>Maldane sarsi</i> <i>Haploops tenuis</i> <i>Melitidae g.sp.</i> <i>Ampharetidae g.sp.</i> <i>Strongylocentrotus sp.</i> <i>Sabinea septemcarinata</i> <i>Spirontocaris spinus</i> <i>Crossaster papposua</i> <i>Sclerocrangon boreas</i>
----	------------	----------	----------	-----	--

Ихтиологические исследования. Для оценки современного состояния ихтиофауны и рыбохозяйственного значения между северо-восточным районом Баренцева моря и северо-западной части Карского моря были проведены ихтиологические исследования в период с 29 октября по 6 ноября 2019 г. в экспедиции на НИС «Дальние Зеленцы». В ходе работ выполнена ихтиологическая съемка разноглубинным тралом на 20 станциях обследованной акватории. Всего выполнено 20 донных и 3 пелагических траления.

Радиоэкологические исследования. В рамках данного направления исследований проводились отбор и частичная подготовка проб морской воды и донных отложений для определения концентраций искусственных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr . В течение рейса было выполнено 19 комплексных станций. Всего в течение экспедиции было отобрано: 20 проб воды объемом по 100 л на ^{137}Cs ; 16 проб воды объемом по 20 л на ^{90}Sr ; 2 колонки донных отложений; 10 проб верхнего слоя донного осадка (0-2 см) на ^{137}Cs и ^{90}Sr .

Проведение в ближайшем будущем в Баренцевом и Карском морях - потенциальном крупнейшем районе добычи, транспортировки и хранения нефти и газа - целенаправленных комплексных и систематических геоэкологических исследований является потребностью сегодняшнего дня. В настоящее время есть опасения, что по мере ухудшения состояния морской среды и снижения численности представителей верхнего трофического звена, в том числе рыб, функциональная целостность и продуктивность прибрежных и шельфовых морских экосистем претерпевают существенные изменения.

КОМПЛЕКСНАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ В ГРЕНЛАНДСКОМ МОРЕ (РЕЙС НИС «ДАЛЬНИЕ ЗЕЛЕНЦЫ», 12 - 19 ноября 2019 г.)

По результатам отчета начальника экспедиции (Дерябин А.А., 2019)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Мурманский морской биологический институт КНЦ Российской академии наук
183010 Мурманск, ул. Владимирская, 17
esimo@ocean.ru

Экспедиция проведена в соответствии с научной программой комплексной морской экспедиции на НИС «Дальние Зеленцы» для выполнения государственных заданий ММБИ КНЦ РАН по темам НИР: № 9-17-0-1; 9-19-01; 9-13-06; 9-18-01; 9-18-02; 9-13-05.

Цель экспедиции – проведение прикладных научных исследований по мониторингу морских акваторий и арктических архипелагов и сбор данных для комплексного анализа и прогноза экосистемных процессов в Баренцевом и Гренландском морях.

Задачи экспедиции

1. Определение гидрометеорологических и гидрохимических параметров водной среды.
2. Отбор проб воды для определения фотосинтетических пигментов, первичной продукции, бактерио-, фито- и зоопланктона.
3. Отбор проб донного осадка для определения характеристик бентосных организмов.
4. Отбор проб бентосных организмов и донного осадка для проведения экотоксикологических исследований.
5. Отбор проб воды и донного осадка для определения концентраций ^{137}Cs и ^{90}Sr .

Район работ

Работы проводились в заливах Ис-фьорд, Сассенфьорд, Биллефьорд и на западном шельфе и склоне архипелага Шпицберген (рис. 35).

Рис. 35. Расположение станций, выполненных в рейсе НИС «Дальние Зеленцы» 12 - 19 ноября 2019 г. в Баренцевом и Гренландском морях

Использованное оборудование

- Океанографические лебедки: AdriaWinch, KC. СТД-зонд SBE 19 plus v2;
- Розетка Hydro-Bios с батометрами Hydro-bios и General Oceanics;
- Фильтровальная установка GAST;
- Универсальный цифровой титратор;
- Вакуумный насос фирмы GAST model DOA-P704 SHOWN;
- Планктонная сеть WP-2 HydroBios;
- Планктонная сеть Джеди;
- Дночерпатель ван Вина;
- Микробюретка;
- Бинокляр.

Объем выполненных работ

Для океанографических исследований было выполнено 49 профилирований водной толщи.

Для гидрохимических исследований было отобрано 540 проб морской воды. В северо-восточной части Баренцева моря сделан гидрохимический разрез. Получены результаты содержания в воде: кислорода, водородного показателя и биогенных элементов в судовой лаборатории.

Для исследования компонентов микропланктона были отобраны пробы на определение хлорофилла *a* (10 шт.), бактериопланктона (34 шт.), фито- и микрозоопланктона (48 шт.) и зоопланктона (12 шт.).

Для исследования макрозообентоса было отобрано 12 проб донного осадка на 4 станциях.

Экотоксикологические исследования бентосных организмов и донного осадка включали в себя 8 проб.

Для радиоэкологических исследований были отобраны пробы: воды (22 шт.), донного осадка (9 шт.) и керна донного осадка (5 шт.).

Основные результаты экспедиции

Химическая гидрология. В районе архипелага Шпицберген были отобраны пробы в кол-ве 81 шт. Производился отбор проб для аналитического измерения следующих параметров гидрохимического комплекса: водородного показателя; растворенного кислорода (% насыщения); фосфора минерального; фосфора валового; азота нитритного; азота нитратного; азота валового; кремния растворенных силикатов.

Хлорофил *a*. В целях изучения пространственного и вертикального распределения концентраций фотосинтетических пигментов фитопланктона в ходе научно-исследовательского рейса был выполнен отбор 10 проб на 5 станциях в акватории западной части архипелага Шпицберген.

Бактериопланктон. В рамках научно-исследовательского рейса был обеспечен отбор проб морской воды для исследования количественных параметров бактериопланктона проводили по 5-7 стандартным гидрологическим горизонтам. Всего на определение количественных характеристик бактериопланктона отобрано 34 пробы морской воды с 5 станций в водах западной части архипелага Шпицберген.

Фитопланктон и микрозоопланктон. В акватории архипелага Шпицберген был выполнен отбор проб морской воды батометрическим (фитопланктон) и сетным методом (микрозоопланктон) в целях исследования структурной организации сообществ микропланктона в осенний период. Общее количество проб морской воды составило 48 штук, 37 отобраны батометрическим методом и 11 получены сетным ловом.

Зоопланктон. Пробы зоопланктона отобраны на 6 станциях в общем количестве 12 шт. На разрезе вдоль архипелага (ст. 80-85, рис.35) облавливался слой воды 0 – 25 м, 50 м – дно.

Макрозообентос. В ходе экспедиции отобраны пробы зообентоса вдоль западного побережья арх. Шпицберген. Отбор бентосных проб производился дночерпателем ван

Вина с площадью захвата 0.1 м² в 3-кратной повторности. Грунт промывался через капроновое сито с ячейей 0.75 мм. После промывки пробы были зафиксированы в пластиковых емкостях 4% раствором формалина, нейтрализованного тетраборатом натрия. Всего отобрано 12 дночерпательных проб на 4 станциях. Характеристики станций, на которых отбирались пробы зообентоса, приведены в таблице.

Таблица. Характеристика станций и состав проб для исследований макрозообентоса

№ ст.	Дата	Кол-во проб	Долгота	Широта	Глуб., м	Т, °С	S, ‰	Характеристика грунта	Фауна
80	20.11	3	7746.08	1144.58	115	4.2	34.8	Крупнозернистый песок, галька, камни, серая вязкая глина	<i>Polychaeta</i> var., <i>Polyplacophora</i> g.sp., <i>Bryozoa</i> var., <i>Ophiopholis aculeata</i>
81	20.11	3	7806.96	1001.12	226	4.0	35.0	Крупнозернистый песок, галька, камни, серая вязкая глина	<i>Bryozoa</i> var., <i>Ophiuroidea</i> var., <i>Polychaeta</i> var., <i>Spiochaetopterus typicus</i>
84	20.11	3	7932.74	0842.86	325	4.4	35.0	Мелкозернистый песок, камни, ракуша	Много обрастателей: <i>Brachiopoda</i> , <i>Bryozoa</i> , <i>Porifera</i> , <i>Ophiuroidea</i> var., <i>Polychaeta</i> в тонких известковых трубках (<i>Filograna implexa</i> ?)
85	21.11	3	8003.34	0844.18	505	0.3	34.9	Песчанистый коричневый ил, серая глина, резкий запах сероводорода	<i>Spiochaetopterus typicus</i> , <i>Maldanidae</i> g.sp., <i>Ophiuroidea</i> g.sp.

Экотоксикологические исследования макрозообентоса и донных отложений. В ходе экспедиции отобраны пробы зообентоса во фьордах и вдоль северо-западного берега арх. Шпицберген. Отбор бентосных проб производился дночерпателем ван Вина с площадью захвата 0/1 м² в 3-кратной повторности. Грунт промывался через капроновое сито с ячейей 0.75 мм. В обоих районах отобраны пробы бентосных организмов и донных отложений для экотоксикологических исследований (таблица).

Таблица. Характеристика станций и состав проб для экотоксикологических исследований

№ ст.	Дата	Широта	Долгота	Глубина, м	Состав образца
36	13.11.2019	7815.860	1530.430	92	грунт <i>Astarte borealis</i> <i>Ciliatocardium ciliatum</i> <i>Cryptonatiaca affinis</i>

					<i>Maldane sarsi</i> <i>Ampharetidae g.sp.</i> <i>Golfingia vulgaris</i> <i>Maldanidae g.sp.</i> <i>Scoletoma fragilis</i> <i>Melita dentata</i>
38	14.11.2019	7839.487	1640.80 9	191	группа <i>Myriotrochus rinkii</i> <i>Ophiocten sericeum</i> <i>Nephtys sp.</i> <i>Laonice cirrata</i> <i>Serripes groenlandicus</i> <i>Praxilella gracilis</i>
40	14.11.2019	7835.214	1627.55 4	146	группа <i>Ophiocten sericeum</i> <i>Myriotrochus rinkii</i> <i>Maldane sarsi</i> <i>Nephtys sp.</i> <i>Edwardsiidae g.sp.</i> <i>Praxilella gracilis</i> <i>Monoculodes borealis</i>
43	14.11.2019	7828.267	1602.07 7	100	группа <i>Maldane sarsi</i> <i>Ciliatocardium ciliatum</i> <i>Serripes groenlandicus</i> <i>Mya truncata</i> <i>Scoletoma fragilis</i> <i>Ophiura robusta</i>
46	14.11.2019	7819.852	1509.01 3	269	группа <i>Maldane sarsi</i> <i>Nemertea g.sp.</i> <i>Mya truncata</i> <i>Nephtys sp.</i> <i>Edwardsiidae g.sp.</i> <i>Spiochaetopterus typicus</i>
50	15.11.2019	7807.691	1400.08 2	272	группа <i>Ophiura sarsi</i> <i>Scoletoma fragilis</i> <i>Glycera sp.</i> <i>Maldane sarsi</i>

66	17.11.2019	7805.568	1406.08 5	136	грунт <i>Macoma calcarea</i> <i>Nuculana pernula</i> <i>Strongylocentrotus sp.</i> <i>Ophiura robusta</i> <i>Amphiura sp.</i> <i>Scoletoma fragilis</i> <i>Nemertea g.sp.</i> <i>Terebellidae g.sp.</i> <i>Maldanidae g.sp.</i> <i>Lepeta caeca</i> <i>Psolus phantapus</i> <i>Actiniaria g.sp.</i>
68	17.11.2019	7802.798	1409.38 8	150	грунт <i>Ciliatocardium ciliatum</i> <i>Yoldia hyperborea</i> <i>Maldane sarsi</i> <i>Ophiura sarsi</i> <i>Nemertea g.sp.</i> <i>Diastylis goodsiri</i>

Радиоэкологические исследования. В рамках данного направления исследований проводились отбор и частичная подготовка проб морской воды и донных отложений для определения концентраций искусственных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr . В течение рейса было выполнено 9 комплексных станций. Всего в течение экспедиции было отобрано: 13 проб воды объемом по 100 л на ^{137}Cs ; 9 пробы воды объемом по 20 л на ^{90}Sr ; 5 колонок донных отложений.

**МОРСКИЕ ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
НА НИС «ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ»
в 2019 году**

МОРСКИЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЧЕРНОМ И АЗОВСКОМ МОРЯХ (106-й РЕЙС НИС «ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ» 18 апреля – 13 мая 2019 г.)

По результатам отчета начальника экспедиции (Бурдиян Н.В., 2019)

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный
исследовательский центр «Институт биологии южных морей
им. А.О. Ковалевского РАН»
299011 Севастополь, проспект Нахимова, 2
esimo@ocean.ru*

Научные исследования в рейсе осуществлялись в соответствии с темами государственного задания Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Морской гидрофизический институт РАН» (ФГБУН ФИЦ МГИ) «Фундаментальные исследования процессов взаимодействия в системе океан-атмосфера, определяющих региональную пространственно-временную изменчивость природной среды и климата», «Развитие методов оперативной океанологии на основе междисциплинарных исследований процессов формирования и эволюции морской среды и математического моделирования с привлечением данных дистанционных и контактных измерений», «Фундаментальные исследования океанологических процессов, определяющих состояние и эволюцию морской среды под влиянием естественных и антропогенных факторов, на основе методов наблюдения и моделирования», «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей». Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН» (ФИЦ ИнБЮМ): «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем», «Изучение пространственно-временной организации водных и сухопутных экосистем с целью развития системы оперативного мониторинга на основе данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий», «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом», «Структурно-функциональная организация, продуктивность и устойчивость морских пелагических экосистем». Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт природно-технических систем» (ИПТС) (г. Севастополь) "Фундаментальные и прикладные исследования закономерностей и механизмов формирования региональных изменений природной среды и климата под влиянием глобальных процессов в системе океан-атмосфера и антропогенного воздействия», а также в соответствии с договором, заключенным между ФИЦ ИнБЮМ и Федеральным государственным бюджетным научным учреждением «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ФГБНУ ВНИРО) по научной программе «Комплексная океанографическая съемка Черного и Азовского морей, изучение загрязнения воды и донных отложений (без изъятия водных биоресурсов)».

Цели экспедиции

- провести климатический мониторинг деятельного слоя Черного моря на вековом разрезе Херсонес-Босфор;
- изучить трансформацию вод ХПС в весенний период;
- исследовать гидролого-гидрохимические и биогеохимические свойства морских вод в весенний сезон 2019 года на вековом разрезе Херсонес-Босфор и в районе западного циклонического вихря;

- изучить вертикальное распределение скорости течений в исследуемых районах;
- исследовать гидрометеорологические условия в Чёрном море в пределах экономической зоны Российской Федерации;
- исследовать пространственную структуру поля взвешенного вещества в Черном море в весенний период 2019 г. по данным гидрооптических измерений;
- исследовать пространственную структуру светового поля в деятельном слое Черном море в весенний период 2019 г;
- изучить особенности формирования биооптической структуры в исследуемый период и ее связь с термохалинной структурой;
- провести сопоставление натуральных гидрооптических данных с данными дистанционных наблюдений и с данными модельных расчетов биооптических параметров;
- изучить распределение радионуклидов ^7Be и ^{228}Ra в поверхностном слое вод Черного и Азовского морей;
- изучить гидрохимический режим глубоководных и прибрежных районов Черного моря;
- провести радиохемозкологические исследования в глубоководных и прибрежных районах Черного и Азовского морей;
- изучить видовое разнообразие, пространственное распределение и трофические взаимоотношения ихтиопланктонного комплекса в пелагиали Азовского моря, на шельфе и в глубоководных районах Черного моря вдоль Крымского полуострова, и в восточном секторе экономической зоны Российской Федерации;
- определить пространственное и вертикальное распределение концентрации хлорофилла А в глубоководной и шельфовой зонах Черного моря;
- изучить сезонные особенности содержания нефтяных углеводородов в поверхностном и придонном слое морской воды в прибрежных районах Черного моря;
- исследовать закономерности пространственного распределения концентрации хлорофилла *a* и фотосинтетических характеристик фитопланктона в период весенней перестройки гидрологической структуры вод.
- оценить количественное содержание аэробно-анаэробных групп бактерий в морской воде и донных отложениях;
- исследовать пространственно-временную изменчивость температуры и скорости звука в водах Черного моря;
- исследовать пространственно-временную изменчивость водородного показателя в поверхностных водах Черного моря;
- исследовать пространственно-временную изменчивость биологических маркеров пассивной взвеси в поверхностных водах Черного моря (совместно с ИМБИ);
- исследовать загрязнения водной толщи и донных отложений приоритетными токсикантами в системе мониторинга глубоководных и прибрежных районов Черного моря;
- выявить наличие/отсутствие сопряженного транспорта частиц микропластика и косного/живого взвешенного вещества на шельфе и в глубоководной части Чёрного моря;
- исследовать градиент пространственного распределения микропластика при удалении от зоны антропогенного воздействия;
- оценить возможности применения методов дистанционного зондирования для верификации моделей микропластикового загрязнения акватории Черного моря.

Задачи экспедиции

Для достижения указанных целей в экспедиции были решены следующие задачи:

Отрядом гидрологии и течений:

- получены экспериментальные данные о вертикальном распределении температуры и солености морской воды;
- получены новые экспериментальные данные о пространственно-временной структуре полей скоростей течений.

Гидрометеорологическим отрядом:

- проведены измерения на станциях и переходах скорости и направления ветра, температуры атмосферы и воды, относительной влажности воздуха, атмосферного давления, высоты ветрового волнения (визуально на станциях).

Отрядом гидрохимии:

- получены натурные данные для изучения профиля кислорода и сероводорода с высоким вертикальным разрешением для аэробной, субкислородной и анаэробной зон Черного моря;
- отобраны пробы морской воды для изучения особенностей пространственного распределения биогенных элементов в водах Черного и Азовского морей;
- отобраны пробы морской воды для определения концентраций ^7Be и ^{228}Ra в водах Черного и Азовского морей в весенний период 2019 г.

Отрядом оптики:

- получены натурные данные о вертикальном и горизонтальном распределении спектрального показателя ослабления направленного света;
- получены натурные данные о спектральной подводной облученности и фотосинтетически активной радиации в деятельном слое Черного моря;
- получены спектры флуоресценции оптически активных примесей морской воды;
- получены пространственные распределения спектрального коэффициента яркости водной толщи;
- выявлены основные особенности формирования гидрооптической структуры и ее связь с гидролого-гидродинамическим режимом;
- получены экспериментальные данные об относительной прозрачности вод.

Отрядом биооптики:

- отобраны пробы воды для исследования изменчивости концентрации хлорофилла *a*, характера его вертикального профиля на разрезах от глубоководной части к прибрежным районам моря (в верхнем 70 - 90 м слое);
- отобраны пробы воды для исследования влияния гидрофизических условий на фотосинтетические характеристики фитопланктона (поглощение света и квантовый выход фотосинтеза по показателям переменной флуоресценции хлорофилла);

Отрядом планктона:

- отобраны пробы зоо- и ихтиопланктона планктонными сетями в режиме вертикальных ловов над глубиной до 100 м. в слое от дна до поверхности; в глубоководных районах исследований от нижней границы кислородной зоны до поверхности;
- отобраны пробы воды с различных горизонтов для определения пространственной изменчивости и вертикального распределения концентрации хлорофилла *a* в весенний период при разных физико-химических условиях среды;
- отобраны пробы для исследования транспорта микропластикового загрязнителя в поверхностном слое вод Чёрного моря.

Отрядом молисмологии:

- осуществлен отбор и предобработка на борту судна проб воды (поверхностный и придонный горизонт) для определения содержания нефтяных углеводородов и выявления трендов распределения нефтяных углеводородов в морской воде;

- осуществлен отбор и предобработка на борту судна проб воды и донных отложений для определения содержания ^{90}Sr , ^{137}Cs , ртути, хлорорганических соединений (ХОС), метана для изучения биогеохимических циклов искусственных и естественных радионуклидов, ХОС, ртути, метана в морских экосистемах азово-черноморского бассейна и изучения интенсивности переноса определяемых загрязняющих веществ из Азовского моря в Черное и в обратном направлении;

- отобраны и обработаны на борту судна пробы морской воды и донных отложений для определения численности аэробно-анаэробных групп бактерий.

Отрядом ИПТС:

- получены натурные данные о вертикальном распределении температуры и скорости звука на полигоне";

- проведены измерения водородного показателя поверхностных вод Черного моря";

- отобраны пробы ихтио-, зоопланктона для изучения пространственно-временного распределения биологических маркеров пассивной взвеси: икры и личинок рыб, желтелого планктона".

Отрядом АзНИИРХ:

- отобраны и предварительно обработаны на борту судна пробы воды для определения биогенных веществ (азота аммонийного, нитритного, нитратного, фосфатов, кремниевой кислоты), общих форм азота и фосфора;

- отобраны и предварительно обработаны на борту судна пробы воды для определения содержания нефтепродуктов, полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), хлорорганических пестицидов (ХОП), полихлорированных бифенилов (ПХБ), тяжелых металлов и мышьяка;

- отобраны пробы донных отложений для определения гранулометрического состава донных отложений, содержания нефтепродуктов, полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), хлорорганических пестицидов (ХОП), полихлорированных бифенилов (ПХБ), тяжелых металлов и мышьяка, радионуклидов (^{90}Sr и ^{137}Cs).

Район работ

Работы проводились в Черном и Азовском морях в пределах территориальных вод и исключительной экономической зоны Российской Федерации (рис. 36).

Рис. 36. Схема района исследований и выполненных станций в экспедиции

Использованное
оборудование

– гидролого-гидрохимический
IDRONAUTOCEANSEVEN 320 PlusM;

зондирующий

комплекс

- гидролого-гидрохимический зондирующий комплекс SEA-BIRD SBE 911plus;
- гидролого-гидрохимический зондирующий комплекс ШИК-3М;
- гидрологический CTD-зонд «ГАП-АК-16»;
- акустический доплеровский измеритель течений Workhorse Monitor 300 kHz ADCP;
- комплекс сбора гидрометеорологических данных КСГД;
- спектральный автономный измеритель показателя ослабления направленного света СИПО4;
- спектрофотометр для измерения коэффициента яркости моря;
- спектральный автономный измеритель горизонтальной подводной облученности;
- измеритель скорости звука ИСЗ-1;
- одиночный батометр Нискина объемом 10 литров;
- планктонная сеть Богорова-Расса;
- планктонная сеть ИКС-80;
- планктонная сеть Джели, Ф-38 см;
- груз под сети при работе за бортом;
- судовая насосная установка для промывки сетей;
- дночерпатель VoxCore;
- дночерпатели «Океан-25»;
- дночерпатель «Океан-50»;
- геологические бьюксы;
- набор грунтовых трубок для отбора колонок донных отложений;
- комплект для нарезки колонок донных отложений;
- фильтровальная установка Sartorius;
- установка для проточной фильтрации забортной воды;
- встряхиватель электрический;
- перистальтический насос;
- насос вакуумный Value V-I 120;
- пластиковые емкости объемом 0,5 м³;
- пластиковые емкости объемом 1 м³;
- белый диск Секки;
- пластиковое и металлическое ведра;
- лабораторный флуориметр;
- дьюар со сжиженным азотом;
- гидрофон;
- лабораторный pH-метр;
- палубные лебедки;
- траловая лебедка и П-рама.

Объем выполненных работ

На 157 станциях выполнен следующий объем работ:

- 107 зондирований гидролого-гидрохимическим зондирующим комплексом IDRONAUTOCEANSEVEN 320 PlusM;
- 23 зондирований гидрологическим CTD-зондом «Sea-Bird's 911 plus CTD» с кассетой батометров;
- 143 зондирований акустическим доплеровским измерителем течений Workhorse Monitor 300 kHz ADCP;
- 26 зондирований гидрологическим CTD-зондом «ГАП-16»
- 398 анализов проб воды, в том числе 302 на растворенный кислород, 96 – на сероводород;

- на 32 станции отобрано и отфильтровано 44 пробы воды для последующего изучения особенностей вертикальной структуры распределения элементов главного биогенного цикла;
- на 32 станции отобрано 44 проб морской воды объемом 2 м³ для определения объемной активности радионуклидов ⁷Be и ²²⁸Ra в растворенной и взвешенной форме.
- 71 зондирование измерителем скорости звука ИСЗ-1;
- 289 проб воды на рН (157 станций);
- 20 образцов донных отложений;
- выполнено 62 определения относительной прозрачности по глубине видимости белого диска;
- 142 измерения спектрального показателя ослабления направленного света;
- 16 измерений спектров горизонтальной подводной облученности;
- 102 измерений спектрального коэффициента яркости водной толщи;
- 75 измерений спектров флуоресценции оптически активных примесей морской воды;
- на 29 станциях отобрано и подготовлено к анализу 75 пробы для обработки данных по распределению хлорофилла *a*;
- на 16 станциях выполнено траление, отобрано 15 проб для определения транспорта микропластикового загрязнения в поверхностном слое;
- на 96 станциях отобрано 103 проб для определения состояния ихтиопланктона;
- на 96 станциях отобрано и частично обработано 103 пробы для определения состояния желтого макропланктона;
- на 45 станциях отобрано 45 проб для определения состояния зоопланктона;
- на 11 станциях отобрано 77 проб для определения количественных характеристик бактериопланктона;
- на 11 станциях выполнен отбор проб донных отложений для определения количества сульфатредуцирующих, тионовых, денитрифицирующих, гетеротрофных и углеводородокисляющих групп бактерий;
- отобрано 18 проб воды (20 л) для определения ⁹⁰Sr, 20 проб (1 л) для определения ртути, 20 проб (2 л) для определения ХОС, 8 проб (100 л) для определения ¹³⁷Cs, 24 проб (5 л) для определения общего взвешенного вещества;
- на 3 станциях сетью ИКС-80 отобраны пробы зоопланктона для определения ХОС;
- на всех станциях экспедиции с поверхностного слоя в 2 повторностях отбирались пробы для определения растворенного метана, и по возможности на различных горизонтах водной толщи до глубины 120 м. Всего отобрано 616 проб;
- на 27 станциях отбирались донные отложения, в том числе на 4 глубоководных для последующего определения содержания Sr, Cs, Pu. Было отобрано 18 проб 0 – 5 см поверхностного слоя, 9 колонок, нарезанных по 1 см и 13 колонок, нарезанных по 5 см;
- отобрано 40 проб морской воды (1 л) на 20 станциях для определения содержания нефтяных углеводородов в поверхностном и придонном слое прибрежной акватории;
- на 23 станциях были выполнены работы по отбору проб морской воды с поверхностного горизонта для определения численности гетеротрофных и нефтеокисляющих бактерий;
- на 25 станциях отобраны пробы воды с 75 горизонтов для определения концентрации хлорофилла *a*, формы спектров, величины показателей поглощения света фитопланктоном и показателей переменной флуоресценции хлорофилла;
- отобрано и заморожено 34 пробы воды на определение биогенных веществ (азота аммонийного, нитритного, нитратного, фосфатов, кремниевой кислоты), общих форм азота и фосфора;
- отобрано и подготовлено к анализу 81 проба воды для определения содержания нефтепродуктов, полициклических ароматических углеводородов (ПАУ),

хлорорганических пестицидов (ХОП), полихлорированных бифенилов (ПХБ), тяжелых металлов и мышьяка;

– отобрано и подготовлено к анализу 20 проб донных отложений (0-5 см слой) для определения гранулометрического состава донных отложений, содержания нефтепродуктов, полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), хлорорганических пестицидов (ХОП), полихлорированных бифенилов (ПХБ), тяжелых металлов и мышьяка, радионуклидов (^{90}Sr и ^{137}Cs).

Основные результаты экспедиции

Результатом комплексного мониторинга состояния вод Черного и Азовского морей являются следующие новые данные:

– массив данных по температуре, солености и скоростям течений в диапазоне глубин от 0 до 500 м для исследуемых районов Черного и Азовского морей в весенний период 2019 г.;

– массив данных для изучения особенностей распределения гидрохимических характеристик поверхностного слоя вод Черного и Азовского морей;

– массив данных для изучения особенностей вертикального распределения гидрохимических характеристик водной толщи Черного и Азовского морей;

– данные о содержании ^7Be и ^{228}Ra в морской воде;

– массивы следующих гидрометеорологических параметров: температура воздуха, температура воды, атмосферное давление, влажность воздуха, модуль скорости ветра;

– массив данных по температуре и скорости звука в диапазоне глубин от 0 до 500 м для исследуемых районов Черного и Азовского морей в весенний период 2019 г., массив данных по рН поверхностного слоя и других горизонтов, 20 проб донных отложений;

– массив гидрооптических параметров, включающий спектральный показатель ослабления, спектральный коэффициент яркости, глубину видимости белого диска, вертикальные распределения ФАР и подводной облученности, дающий в числе прочего возможность валидации спутниковых измерений;

– массив данных для проведения оценки пространственного распределения концентрации хлорофилла a ;

– данные по обилию, видовому составу и распределению зоо-, ихтиопланктона и желетелого макропланктона в прибрежной и глубоководной частях Черного моря;

– данные для определения концентрации хлорофилла a , формы спектров, величины показателей поглощения света фитопланктоном и показателей переменной флуоресценции хлорофилла;

– данные о количественном составе аэробно-анаэробных групп бактерий в морской воде и донных отложениях в прибрежных водах Крыма и Кавказа;

– массив данных о содержании в воде ^{90}Sr , ^{137}Cs , ртути, хлорорганических соединений (ХОС), метана, общего взвешенного вещества;

– данные о содержании в донных осадках ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Am , а также о накоплении ХОС зоопланктоном;

– данные о содержании нефтяных углеводородов в поверхностном и придонном горизонтах морской воды в прибрежных водах Крыма и Кавказа;

– массив данных о вертикальном распределении температуры и скорости звука в водах Черного моря;

– массив данных об изменчивости рН поверхностных вод Черного моря;

– новые данные о пространственно-временном распределении биологических маркеров пассивной взвеси: икры и личинок рыб, желетелого планктона, фитопланктона;

– новые данные о влиянии сезонных особенностей гидрофизических характеристик вод на закономерности пространственного распределения концентрации

хлорофилла а и фотосинтетических характеристик, определяющих особенности формирования первичной продукции в весенний период в водах Азово-Черноморского бассейна;

- данные для исследования транспорта микропластикового загрязнителя в поверхностном слое вод Чёрного моря;

- данные о содержании в морской воде биогенных веществ (азота аммонийного, нитритного, нитратного, фосфатов, кремниевой кислоты), общих форм азота и фосфора;

- данные о содержании в морской воде нефтепродуктов, полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), хлорорганических пестицидов (ХОП), полихлорированных бифенилов (ПХБ), тяжелых металлов и мышьяка;

- данные о гранулометрическом составе и содержании в донных отложениях нефтепродуктов, полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), хлорорганических пестицидов (ХОП), полихлорированных бифенилов (ПХБ), тяжелых металлов и мышьяка, радионуклидов (^{90}Sr и ^{137}Cs).

**МОРСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ В ЧЕРНОЕ И АЗОВСКОЕ МОРЯ
В ЛЕТНИЙ СЕЗОН 2019 ГОДА
(108-й РЕЙС НИС «ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ» 11 июля – 5 августа 2019 г.)**

По результатам отчета начальника экспедиции (Бурдиян Н.В., 2019)

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН»
299011 Севастополь, Нахимова проспект, 2
esimo@ocean.ru*

Экспедиция выполнялась в рамках следующих проектов: «Фундаментальные исследования процессов взаимодействия в системе океан-атмосфера, определяющих региональную пространственно-временную изменчивость природной среды и климата», «Развитие методов оперативной океанологии на основе междисциплинарных исследований процессов формирования и эволюции морской среды и математического моделирования с привлечением данных дистанционных и контактных измерений», «Фундаментальные исследования океанологических процессов, определяющих состояние и эволюцию морской среды под влиянием естественных и антропогенных факторов, на основе методов наблюдения и моделирования», «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей», «Молисмодогические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем», «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана», «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом», «Исследование механизмов управления продукционными процессами в биотехнологических комплексах с целью разработки научных основ получения биологически активных веществ и технических продуктов морского генезиса», «Структурно-функциональная организация, продуктивность и устойчивость морских пелагических экосистем», договор о сотрудничестве между Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН» и федеральным государственным бюджетным научным учреждением «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»

Цели экспедиции

- провести климатический мониторинг деятельного слоя Черного моря на вековом разрезе Херсонес-Босфор,
- изучить трансформацию вод холодного промежуточного слоя (ХПС) в летний период,
- исследовать гидролого-гидрохимические характеристики морских вод в летний сезон 2019 года,
- изучить изменчивость биогеохимических характеристик донных отложений прибрежных экосистем (на примере Крымского полуострова),
- изучить вертикальное распределение скорости течений в исследуемых районах,
- исследовать гидрометеорологические условия в Чёрном и Азовском морях в пределах экономической зоны Российской Федерации,
- оценить пространственно-временную и сезонную изменчивость поля биолуминесценции Черного моря,

- оценить качественно-количественный состав мезо-, макропланктонной фракции черноморских биолюминесцентных в слоях максимальной интенсивности поля биолюминесценции в летний период,
- изучить видовой состав, численность и пространственное распределение микроскопических грибов в горизонтах воды с различными гидрологическими и гидрохимическими условиями в пелагиали прибрежных и открытых районов Чёрного и Азовского морей,
- продолжить систематические гидрохимические наблюдения в прибрежной зоне Черноморского и Азовского секторов полуострова Крым, изучить современное гидрохимическое состояние водной среды в районе Кавказа,
- проследить влияние гидрохимических условий среды на концентрацию пигментов водорослей,
- выявить особенности пространственной и временной изменчивости концентрации хлорофилла *a* в глубоководной и шельфовой зоне Чёрного моря в летний сезон 2019 года,
- изучить состояние макрофитобентоса Каркинитского залива в пик вегетации макрофитов,
- оценить состояние популяций ключевых видов Чёрного моря на нижней границе их произрастания (глубина 15–60 м),
- выявить ареалы редких и охраняемых видов макрофитов, занесенных в Красные книги Российской Федерации, Крыма и Чёрного моря,
- исследовать состояние и пространственно-временную динамику биологического разнообразия бентоса у берегов Крыма (Чёрное и Азовское море),
- оценить степень зараженности биоценообразующих потенциально- промысловых двусторчатых моллюсков, в том числе вселенцев, у побережья Крыма,
- исследовать количественные показатели и таксономическое разнообразие основных компонентов планктонного сообщества (фито-, мезозоо-, ихтиопланктона и желетелого планктона) в пелагиали Чёрного и Азовского морей,
- выявить закономерности трансформации трофической структуры планктона вдоль основных широтных и меридиональных разрезов Чёрного моря,
- оценить состояние структуры фитопланктона (таксономический состав и количественные характеристики) в глубоководной и шельфовой зоне Чёрного моря в летний период 2019 года,
- изучить сезонные сукцессии микропланктона на основе данных по содержанию АТФ и хлорофилла «а»,
- оценить количественное содержание аэробно-анаэробных групп бактерий в донных отложениях,
- изучить загрязнения водной толщи и донных отложений приоритетными токсикантами в системе мониторинга глубоководных и прибрежных районов Чёрного моря.

Задачи экспедиции

Для достижения указанных целей в экспедиции были решены следующие задачи:

Отрядом гидрологии и течений:

- получены экспериментальные данные о вертикальном распределении температуры и солености морской воды,
- получены новые экспериментальные данные о пространственно- временной структуре полей скоростей течений,
- проведены гидролого-оптико-гидрохимических измерения поверхностного слоя моря на ходу судна с помощью гидрофизического комплекса попутных измерений ГКПИ (типа «Ferry Box»).

Отрядом гидрохимии:

- получены натурные данные для изучения особенностей вертикального распределения кислорода и сероводорода, биогенных элементов,
- получены натурные данные для изучения особенностей пространственного распределения кислорода и биогенных элементов (нитритов и ионов аммония) в поверхностном слое вод моря летний период,
- отобраны пробы воды для изучения особенностей вертикальной структуры и пространственного распределения элементов главного биогенного цикла (фосфатов, кремнекислоты, суммы нитритов и нитратов) в летний период,
- получены экспериментальные данные для изучения особенностей вертикальной структуры и пространственного распределения величины общей щелочности (Alk) и показателя pH в летний период,
- получены данные для изучения особенностей структуры полей парциального давления диоксида углерода в атмосфере и в поверхностном полуметровом слое вод в шельфовой и центральной глубоководной частях Черного моря в летний период,
- получены натурные данные по вертикальному распределению кислорода, сероводорода и других компонентов, вступающих в окислительно-восстановительные реакции, поровых вод донных отложений прибрежных районов Крымского побережья.

Гидрометеорологическим отрядом:

- проведены измерения на станциях и переходах скорости и направления ветра, температуры атмосферы и воды, относительной влажности воздуха, атмосферного давления, высоты ветрового волнения (визуально на станциях).

Отрядом новых методов биомониторинга:

- изучена пространственно-временная изменчивость биолюминесцентного потенциала, гидрооптических (мутность, ФАР) и гидрофизических (температура, соленость) параметров в фотическом слое исследуемых акваторий,
- выявлены наиболее продуктивные слои сосредоточения основной биомассы фитопланктона, использованием новых данных и данных, полученных в ходе 108 рейса НИС «Профессор Водяницкий»,
- определен состав биолюминесцентных планктонных видов в зонах максимальной интенсивности поля биолюминесценции, выявлена роль светящегося зоопланктона в формировании ПБ в исследуемом регионе,
- выявлена суточная ритмика свечения и влияние различных концентраций ПХБ на параметры светоизлучения *Mnemiopsis leidyi*, *Beroe ovata*, *Pleurobrachia pileus* в летний период.

Отрядом миколого-гидрохимических исследований:

- отобраны и выполнена предварительная обработка на борту судна нативных проб воды (в том числе и из сероводородной зоны) для определения общей численности и биомассы грибов,
- выполнен на борту судна посев воды на твердые стандартные биологические среды для выявления видового состава грибов, идентификация грибов будет выполнена в условиях береговой лаборатории,
- определены в верхнем слое воды концентрация растворенного кислорода (O₂), водородного показателя (pH), кремния (Si), минеральных форм азота и фосфора,
- отобраны и заморожены пробы для определения органических форм азота и фосфора в береговой лаборатории.

Отрядом физиологии водорослей:

- отобраны и подготовлены к лабораторному анализу пробы для определения концентрации хлорофилла *a* в пределах зоны фотосинтеза,

- отобраны и предобработаны на борту судна пробы для определения состояния фитопланктона,
- определена интенсивность солнечной радиации в светлое время суток.

Отрядом сезонного мониторинга микропланктона:

- произведен отбор и предварительная обработка проб микропланктона для определения концентрации АТФ, как показателя метаболически активной биомассы,
- произведен отбор и предварительная обработка проб микропланктона для определения концентрации хлорофилла *a*, как показателя продукционного потенциала микропланктона в верхнем фотическом слое.

Отрядом бентоса:

- отобраны и предварительно обработаны пробы макрофитобентоса,
- собран материал для изготовления гербарных образцов для пополнения коллекции макрофитов Мирового океана,
- проведена фиксация качественных проб макрофитов для выявления разнообразия глубоководной альгофлоры в районах исследования,
- собран материал для определения видового разнообразия, количественного состава и распределения важнейших компонентов зообентоса в западном секторе крымского шельфа, Азовском море и прибрежной акватории побережья Кавказа,
- собран материал для исследования состава, обилия и распределения важнейших компонентов бентоса в западном секторе крымского шельфа,
- оценена межгодовая изменчивость бентоса на реперном полигоне в Азовском море,
- выполнен сбор материала на отдельных мониторинговых станциях на Крымском участке шельфа Чёрного моря в районах, по которым имеются данные предыдущих лет исследования, что позволит проследить пространственно-временную изменчивость распределения изучаемых компонентов бентоса,
- собран материал для лабораторных исследований на зараженность биоценообразующих двусторчатых моллюсков,
- отобраны пробы донных отложений для определения численности аэробно-анаэробных групп бактерий.

Отрядом планктона и Отрядом АзНИИРХ совместно:

- исследованы профили вертикального распределения структурных и функциональных показателей пикопланктона на океанографических разрезах через шельфовые и глубоководные районы Черного моря,
- проведено сравнительное исследование смертности перидиниевого фитопланктона вследствие его выедания зоопланктоном в слое максимума биолюминесценции и за пределами этого слоя,
- исследовано видовое разнообразие, количественные характеристики и особенности вертикального распределения мезозоо- и желетелого планктона в пелагиали Чёрного и Азовского морей в летний период,
- выполнен анализ состояния ихтиопланктона в прибрежных и открытых водах Черного моря у Крымского и Кавказского побережья и в Азовском море в период массового нереста теплолюбивых видов рыб,
- изучены особенности питания и обеспеченность пищей личинок рыб в летний нерестовый сезон 2019 г.,
- выявлены закономерности трансформации трофической структуры планктона на основных широтных и меридиональных разрезах Чёрного моря в связи с особенностями циркуляции и гидрохимической структурой вод.

Отрядом АзНИИРХ:

- выполнены отбор и заморозка проб воды на определение биогенных веществ (аммонийного, нитритного, нитратного азота, фосфатов, кремниевой кислоты), общих форм азота и фосфора,
- проведены отбор и предобработка на борту судна проб воды для определения содержания нефтепродуктов, полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), хлорорганических пестицидов (ХОП), полихлорированных бифенилов (ПХБ), тяжелых металлов и мышьяка,
- выполнены на борту судна отбор проб донных отложений (0–5 см слой) для определения содержания нефтепродуктов, полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), хлорорганических пестицидов (ХОП), полихлорированных бифенилов (ПХБ), тяжелых металлов и мышьяка, радионуклидов (^{90}Sr и ^{137}Cs).

Район работ

Работы проводились на океанографических станциях у берегов Крыма и Кавказа в пределах исключительной экономической зоны Российской Федерации в акватории Черного и Азовского морей (рис. 37).

Рис. 37. Схема района исследований и выполненных станций в экспедиции

Район работ включал в себя:

- область в пределах вероятного расположения Севастопольского антициклона,
- северную часть векового разреза Херсонес-Босфор,
- полигон, простирающийся от векового разреза Херсонес-Босфор до траверза

Керченского пролива,

- полигон у берегов Кавказа, простирающийся от траверза Керченского пролива до восточной границы экономической зоны России,
- полигон в южной части Азовского моря.

Использованное оборудование

- гидролого-гидрохимический зондирующий комплекс «Sea-Bird's 911»;
- *plus CTD*», производства США в составе: погружаемое устройство SBE 9 plus Underwater Unit, зав. № 09P8970-0348, бортовое устройство SBE 11 plus Deck Unit, устройство для отбора проб (кассета из 12 батометров);
- гидролого-гидрохимический зондирующий комплекс IDRONAUTOCEAN SEVEN 320 PlusM;
- гидрологический CTD-зонд «ГАП-АК-16Р»;
- акустический доплеровский профилограф течений ADCP;
- WORKHORSE-300 kHz;
- гидрофизический комплекс попутных измерений ГКПИ;
- полуавтоматические бюретки «Metrohm» Dosimat-765;
- pH-метр pH-150МИ;
- сушильный шкаф СШ;
- фотоколориметр КФК-3-01;
- приборный комплекс AS-C3 на базе инфракрасного анализатора LI- 7000 DP,
- шприц-дозаторы,
- фильтровальная установка Millipore,
- комплекс сбора гидрометеорологических данных (КСГД),
- анемометр ручной,
- психрометр,
- гидробиофизический зондирующий комплекс «Сальпа-М»,
- одиночный батометр Нискина объемом 10 литров,
- планктонная сеть Богорова-Расса,
- планктонная сеть ИКС-80,
- планктонная сеть Джеди, Ф-38 см,
- судовая насосная установка для промывки сетей,
- дночерпатель «Океан-50»,
- полуавтоматическая цифровая бюретка VITLAB Continuous RS,
- pH-метр «pH-410»,
- фотометр «КФК-3-01 ЗОМС»,
- шприц-дозаторы,
- траловая лебёдка и П-рама,
- система бентосных промывочных сит,
- GPS-навигатор GARMIN GPS MAP64,
- pH-Eh-метр «Sension-3»,
- мини-ROV GNOME.

Объем выполненных работ

На 174 станциях выполнен следующий объем работ:

- 5 зондирований гидролого-гидрохимическим зондирующим комплексом IDRONAUTOCEANSEVEN 320 PlusM,
- 174 зондирования гидрологическим CTD-зондом «Sea-Bird's 911 *plus CTD*» на 155 станциях, при этом отобрано 432 батометра проб на 368 горизонтах,
- 168 зондирований акустическим доплеровским измерителем течений Workhorse Monitor 300 kHz ADCP,
- 20 зондирований гидрологическим CTD-зондом «ГАП-16»,
- 2005 анализов проб воды, в том числе 479 на растворенный кислород, 192 – на сероводород, 422 – на ионы аммония, 382 – на нитрит-ионы, 239 – на pH и 263 – на определение величины общей щелочности,
- на прибрежных станциях выполнено 28 измерений $p\text{CO}_2$ в поверхностном слое вод и 34 измерения $p\text{CO}_2$ в придонном слое атмосферы в прибрежных районах,

- отобрано и отфильтровано 382 пробы воды для последующего изучения особенностей вертикальной структуры распределения элементов главного биогенного цикла,
- на 13 прибрежных станциях отобрано и проанализировано 13 колонок донных отложений,
- на 29 станциях отобраны пробы донных отложений с помощью дночерпателя «Океан 50»,
- измерения на 174 станциях гидрометеорологических параметров (скорость и направление ветра, температура атмосферы и воды, относительная влажность воздуха, атмосферное давление), а также характеристик волнения (визуально),
- выполнено 900 зондирований гидробиофизическим комплексом «Сальпа-М»,
- на 43 станциях отобрано и подготовлено к обработке 134 пробы воды для определения общей численности и биомассы грибов,
- на 23 станциях выполнены посевы 65 проб воды на твердые элективные среды,
- на 47 станциях отобрано 164 пробы воды (слой воды от 1 до 30–50 м), для гидрохимических исследований (растворенный кислород, величина рН, общий кремний и неорганические формы азота и фосфора),
- отобрано и заморожено 164 пробы воды на определение органических форм азота и фосфора,
- на 29 станциях отобрана и подготовлена к анализу 61 проба для определения концентрации хлорофилла *a*,
- на 9 станциях отобрано 36 проб воды для определения таксономического состава и количественных характеристик фитопланктона,
- на 10 станциях выполнен отбор проб донных отложений для определения количества сульфатредуцирующих, тионовых, денитрифицирующих, гетеротрофных и углеводородокисляющих групп бактерий,
- отобрано 10 проб морской воды для определения содержания нефтяных углеводородов в морской воде,
- отобрано 15 проб морской воды для определения численности гетеротрофных и углеводородокисляющих бактерий,
- отобрано 26 проб мейобентоса,
- отобрано 86 проб макрозообентоса,
- отобрано 6 количественных проб макрофитобентоса, замороженных для последующей обработки,
- отобрано 22 количественные и качественные пробы макрофитов,
- отобрано 12 паразитологических проб (*Anadara* в Азовском море, *Mytilus galloprovincialis* в Черном море),
- выполнено 2 запуска мини-ROV GNOME: первый – в испытательных целях, второй – для обследования дна на станции 28,
- на 27 станциях отобрано и предварительно обработано 77 батометрических проб для анализов на содержание АТФ и хлорофилла *a* микропланктона,
- отобрано и подготовлено к анализу 30 проб зоопланктона,
- на 21 станции отобрано 124 пробы для определения количественных характеристик пикопланктона,
- на 21 станции отобрано 84 пробы фитопланктона,
- на 64 станциях отобрано 124 проб мезозоопланктона,
- на 46 станциях отобрано и обработано 73 пробы желетелого макропланктона,
- на 76 станциях отобрано 76 проб ихтиопланктона вертикальными ловами,
- на 79 станциях отобрано 79 проб ихтиопланктона горизонтальным тралением,
- на 34 станциях выполнено 73 спуска дночерпателя, в том числе 18 – для других отрядов,

- на 8 станциях отобрана 21 проба воды для определения содержания нефтепродуктов,
- на 8 станциях отобрана 21 проба воды для определения содержания полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), хлорорганических пестицидов (ХОП), полихлорированных бифенилов (ПХБ),
- на 8 станциях отобрана 21 проба воды для определения содержания тяжелых металлов и мышьяка,
- на 5 станциях отобрано 5 проб донных отложений для определения содержания нефтепродуктов, полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), хлорорганических пестицидов (ХОП), полихлорированных бифенилов (ПХБ), тяжелых металлов и мышьяка,
- на 5 станциях отобрано 5 проб донных отложений для определения содержания радионуклидов (^{90}Sr и ^{137}Cs).

Основные результаты экспедиции

В период с 11 июля по 5 августа 2019 г. проведен комплексный мониторинг состояния гидрологических, гидрохимических, метеорологических, гидробиологических полей и биогеохимических характеристик донных отложений Черного и Азовского морей в летний сезон 2019 г., результатом которого являются следующие новые данные:

- массив данных по температуре, солености и скоростям течений в диапазоне глубин от 0 до 500 м для районов Черного и Азовского морей в летний период 2019 г.,
- массив данных для изучения особенностей распределения гидрохимических характеристик поверхностного слоя вод Черного и Азовского морей,
- массив данных для изучения особенностей вертикального распределения гидрохимических характеристик водной толщи Черного и Азовского морей,
- массив данных для изучения особенностей формирования химической структуры поровых вод донных отложений прибрежных районов Крыма,
- массивы гидрометеорологических параметров: температура воздуха, температура воды, атмосферное давление, влажность воздуха, модуль скорости ветра,
- массив данных для оценки пространственно-временной и сезонной изменчивости поля биолюминесценции Черного моря, данные для определения качественно-количественного состава мезо- и макропланктонной фракции черноморских биолюминесцентных в слоях максимальной интенсивности поля биолюминесценции в летний период,
- данные о видовом составе, численности и пространственном распределении микроскопических грибов в пелагиали прибрежных и открытых районах Черного и Азовского морей,
- массив данных для оценки современного гидрохимического состояния водной среды исследуемой части акватории Черного и Азовского морей,
- массив данных для проведения оценки пространственного распределения концентрации хлорофилла *a* в прибрежной и глубоководной частях Черного моря в летний период 2019 года,
- данные для определения содержания АТФ и хлорофилла *a* микропланктона для оценки стадии продукционно-деструкционной сукцессии сообщества в исследованных водах, в середине летнего сезона,
- данные для изучения таксономического состава и количественных характеристик фитопланктона в прибрежной и глубоководной частях Черного моря в летний период 2019 года,
- данные о состоянии макрофитобентоса и популяций ключевых видов макрофитов Каркинитского залива на нижней границе их произрастания (глубина 15–60 м),

- данные для уточнения ареала раритетных и охраняемых видов макрофитов, занесенных в Красные книги Российской Федерации, Крыма и Чёрного моря,
- данные для оценки состояния и пространственно-временной динамики биологического разнообразия бентоса у берегов Крыма в Чёрном и Азовском морях,
- данные о наличии заражения потенциально промысловых двустворчатых моллюсков гельминтами у побережья Крыма,
- данные о количественном составе аэробно-анаэробных групп бактерий в донных отложениях в прибрежных водах Крыма и Кавказа,
- данные о бактериальной деструкции нефтяных углеводородов в процессе эксперимента, проводимого на борту судна,
- данные о вертикальном распределении структурных и некоторых функциональных показателей пикопланктона на кросс-шельфовых разрезах Чёрного моря,
- данные для получения таксономических и количественных характеристик зоопланктона в летний период 2019 г.,
- данные для определения особенностей пространственного распределения зоопланктона в пелагиали Чёрного и Азовского морей в зависимости от гидрологических условий,
- данные для оценки уровня развития кормового зоопланктона в летний нерестовый сезон 2019 г.,
- данные для проведения оценки смертности перидиниевого фитопланктона вследствие его выедания зоопланктоном в слое максимума биолюминесценции и за пределами этого слоя, валидация гипотезы о возрастании интенсивности биолюминесценции динофлагеллят, подверженных прессу выедания со стороны зоопланктона,
- данные о питании и обеспеченности пищей личинок рыб в летний нерестовый сезон 2019 г., позволяющие сделать заключение о состоянии кормовой базы личинок рыб в летний нерестовый сезон,
- данные, позволяющие сделать заключение о состоянии ихтиопланктона в прибрежных и открытых водах Черного моря у Крымского и Кавказского побережья и в Азовском море в период массового нереста теплолюбивых видов рыб,
- данные для изучения закономерностей трансформации трофической структуры планктона на основных широтных и меридиональных разрезах Чёрного моря и анализ её связи с циркуляцией и гидрохимической структурой вод,
- данные о содержании нефтепродуктов, полициклических ароматических углеводородов, хлорорганических пестицидов, полихлорорганических бифенилов, тяжелых металлов и мышьяка, радионуклидов (^{90}Sr и ^{137}Cs) в донных отложениях глубоководных и прибрежных районов Черного и Азовского морей.

**ЭКСПЕДИЦИЯ В ЧЕРНОЕ И АЗОВСКОЕ МОРЯ
(110-й РЕЙС НИС «ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ» 4 - 23 октября 2019 г.)**

По результатам отчета начальника экспедиции (Бурдиян Н.В., 2019)

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского
Российской академии наук
299011 Севастополь, Нахимова проспект, 2
esimo@ocean.ru*

Научные исследования в рейсе осуществлялись в соответствии с темами государственного задания Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Морской гидрофизический институт РАН» (ФГБУН ФИЦ МГИ): «Фундаментальные исследования процессов взаимодействия в системе океан-атмосфера, определяющих региональную пространственно-временную изменчивость природной среды и климата», «Развитие методов оперативной океанологии на основе междисциплинарных исследований процессов формирования и эволюции морской среды и математического моделирования с привлечением данных дистанционных и контактных измерений», «Фундаментальные исследования океанологических процессов, определяющих состояние и эволюцию морской среды под влиянием естественных и антропогенных факторов, на основе методов наблюдения и моделирования», «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей». Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН» (ФИЦ ИнБЮМ): «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем», «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана», «Структурно-функциональная организация, продуктивность и устойчивость морских пелагических экосистем», «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом». Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт природно-технических систем» (ИПТС) (г. Севастополь): «Фундаментальные и прикладные исследования закономерностей и механизмов формирования региональных изменений природной среды и климата под влиянием глобальных процессов в системе океан-атмосфера и антропогенного воздействия».

Основные цели

- провести климатический мониторинг деятельного слоя Черного моря на вековом разрезе Херсонес-Босфор;
- изучить трансформацию вод ХПС в осенний период;
- исследовать гидролого-гидрохимические и биогеохимические свойства морских вод в осенний сезон 2019 года в прибрежной, шельфовой и глубоководной частях Черного моря;
- изучить вертикальное распределение скорости течений в исследуемых районах;
- исследовать гидрометеорологические условия в Чёрном море в пределах экономической зоны Российской Федерации;
- сбор материала для исследования седиментационной системы Черного моря, позволяющего оценить современные потоки вещества в море, в толще воды и на дно, а также биогеохимические процессы, воздействующие на осадочное вещество

в море и в донных осадках;

- изучить основные особенности физических механизмов формирования и эволюции тонкой структуры в верхних слоях Черного моря, оценить интенсивности вертикального турбулентного обмена в зависимости от стратификации;
- исследовать особенности пространственного распределения спектрального коэффициента яркости водной толщи и его характеристик;
- оценить пространственное и вертикальное распределение хлорофилла А и феофитина А в осенний период в водах вокруг п-ва Крым и у побережья Кавказа;
- определить количественное содержание и особенности распространения аэробно-анаэробных групп бактерий в донных отложениях южной части Азовского моря;
- постановка эксперимента по бактериальному разложению и трансформации нефтяных углеводородов;
- изучение закономерностей перераспределения радионуклидов, ХОС, тяжелых металлов, включая ртуть в морских экосистемах Азово-Черноморского бассейна на основе продолжения радиохеомоэкологического исследования, проводимого в системе мониторинга в глубоководных и прибрежных районах Черного и Азовского морей;
- оценка антропогенного воздействия на компоненты экосистем Черного и Азовского морей;
- изучить современное состояние популяций желетелых (состав, распределение, численность, биомассу) в шельфовых и открытых районах Черного и Азовского морей.
- оценить хищнический пресс популяций желетелых на сообщества мезопланктонных организмов прибрежной и глубоководной эпипелагиали Чёрного моря;
- исследовать распределение, структуру популяции, численность и биомассу, а также аккумуляцию резервных липидов у копеподы *Calanus euxinus* в открытых районах Черного моря;
- оценить роль калянуса - как источника пищи желетелых хищников;
- изучить современное состояние ихтиопланктона (видовой состав, пространственное распределение, численность и трофические взаимоотношения личинок массовых видов рыб) в шельфовых и открытых районах Черного и Азовского морей;
- оценить результативность нереста массовых видов теплолюбивых и умеренноводных видов рыб;
- оценить обеспеченность пищей личинок рыб в осенний гидрологический сезон;
- исследовать закономерности формирования биоразнообразия и биоресурсного потенциала в бентали Азовского моря;
- исследование генетического разнообразия планктонных и бентосных организмов Черного и Азовского морей, репрезентативно представляющих различные таксоны и экологические группы;
- изучить пространственно-временное распределение качественно-количественного состава мезо- и микропластикового загрязнения донных отложений в различных районах Чёрного моря;
- исследовать пространственно-временную изменчивость температуры в водах Черного моря;
- исследовать пространственно-временную изменчивость водородного показателя в поверхностных водах Черного моря;
- исследовать пространственно-временную изменчивость биологических маркеров пассивной взвеси в поверхностных водах Черного моря.

Район работ

Работы проводились в Черном и Азовском морях в пределах территориальных вод и исключительной экономической зоны Российской Федерации (рис. 38).

Рис. 38. Карта-схема района исследований 110 рейса НИС «Профессор Водяницкий» и расположение станций

Использованное оборудование

- гидролого-гидрохимический зондирующий комплекс IDRONAUTOCEANSEVEN 320 PlusM;
- гидролого-гидрохимический зондирующий комплекс SEA-BIRD SBE 911plus;
- гидролого-гидрохимический зондирующий комплекс ШИК-3М;
- гидрологический CTD-зонд «ГАП-АК-16»;
- акустический доплеровский измеритель течений Workhorse Monitor 300 kHz ADCP;
- комплекс сбора гидрометеорологических данных КСГД;
- комплекс «Сигма 1»;
- спектральный автономный измеритель показателя ослабления направленного света СИПО4;
- спектрофотометр для измерения коэффициента яркости моря;
- одиночный батометр Нискина объемом 10 литров;
- планктонная сеть Богорова-Расса;
- планктонная сеть ИКС-80;
- планктонная сеть Джели, Ф-38 см;
- груз под сети при работе за бортом;
- судовая насосная установка для промывки сетей;
- дночерпатель BoxCorer
- дночерпатели «Океан-25»;
- дночерпатель «Океан-50»;
- система аквариумная для поддержания морских организмов;
- ПЦР бокс Lamsystems;
- низкотемпературный морозильник ULUF 125;
- морозильная камера Liebherr (-20);
- морозильная камера Arctico (-84);

- стереомикроскопа Zeiss Stemi 305 Lab;
- микроскоп биологический Zeiss Primo Star с подключенной видеокамерой Lumenera Infinity 3;
- фотоаппарат Nikon D5300 с объективом Nikon AF-S Micro Nikkor 40 mm, с поляризационным фильтром Hoya 52 mm PL;
- фотоштатив Velbon VS-443D;
- геологические бьюксы;
- набор грунтовых трубок для отбора колонок донных отложений;
- комплект для нарезки колонок донных отложений;
- фильтровальная установка Sartorius,
- установка для проточной фильтрации заборной воды;
- встряхиватель электрический,
- перистальтический насос; – насос вакуумный Value V-I 120;
- пластиковые емкости объемом 0,5 м³;
- пластиковые емкости объемом 1 м³;
- белый диск Секки;
- пластиковое и металлическое ведра;
- лабораторный флуориметр;
- дьюар со сжиженным азотом;
- гидрофон;
- лабораторный pH-метр;
- палубные лебедки;
- траловая лебедка и П-рама.

Выполненные работы

На 121 станции выполнен следующий объем работ:

- 123 зондирования гидролого-гидрохимическим зондирующим комплексом IDRONAUTOCEANSEVEN 320 PlusM,
- 13 зондирования гидрологическим CTD-зондом «ШИК-03» на 13 станциях,
- 120 зондирования акустическим доплеровским измерителем течений Workhorse Monitor 300 kHz ADCP,
- 6 зондирования гидрологическим CTD-зондом «ГАП-16»,
- 600 анализов проб воды, в том числе 360 на растворенный кислород, 240 – на сероводород,
- 13 определений относительной прозрачности по глубине видимости белого диска;
- 17 измерений спектров коэффициента восходящей яркости моря, выполненных на 13 станциях;
- 88 зондирований с помощью измерительного комплекса «Сигма 1» до глубин 70–150 м для сбора экспериментальных данных о тонкой структуре и микроструктуре полей скорости течения, температуры и электропроводности;
- измерения на 121 станциях гидрометеорологических параметров (скорость и направление ветра, температура атмосферы и воды, относительная влажность воздуха, атмосферное давление), а также характеристик волнения (визуально),
- поднята и повторно установлена 1 притопленная буйковая станция,
- на 21 станции отобрана и подготовлена к анализу 77 проб для определения концентрации феофитина А,
- на 21 станции отобрана и подготовлена к анализу 77 проб для определения концентрации хлорофилла А,
- на 5 станциях выполнен отбор проб донных отложений для определения количества сульфатредуцирующих, тионовых, денитрифицирующих, гетеротрофных и углеводородокисляющих групп бактерий,

- в экспериментальной установке отобрано по 15 проб морской воды для микробиологического и химического анализа,
- на 10 реперных станциях отобрано 43 дночерпательные пробы для исследования состава, обилия и распределения важнейших компонентов макробентоса в исследуемых регионах,
- на 8 станциях с поверхности дночерпательной пробы произведён сбор мейобентоса для дальнейшей его обработки в лабораторных условиях ФГБУН ИнБЮМ,
- на 3 станциях совместно с отрядом молисмологии произведён сбор донного грунта геологической трубой,
- на 14 станциях произведён сбор материала дночерпателем «Океан-50» и коробчатым дночерпателем для отряда молисмологии,
- на 8 станциях произведён сбор материала дночерпателем «Океан-50» для лаборатории геномики,
- на 8 станциях произведён сбор грунта дночерпателем «Океан -50» для определения содержания микропластика в донных отложениях,
- на 19 станциях отобрано 19 дночерпательных проб для определения содержания в донных осадках цианобактерий,
- на 5 станциях произведён сбор грунта дночерпателем «Океан-50» для микробиологических исследований,
- на 20 станциях отобрано 20 дночерпательных проб для отряда гидрохимии,
- на 6 станциях отобрано 6 тотальных проб микро- и мезозоопланктона для заморозки и последующего анализа генома и транскриптома,
- на 3х станциях отобрано 18 индивидуальных проб макрозоопланктона для фотофиксации, заморозки и последующего геномного анализа,
- на 1 станции отобрано 6 индивидуальных проб ихтиопланктона для заморозки и последующего анализа генома и транскриптома,
- на 10 станциях отобрано 140 индивидуальных проб бентосных организмов для фотофиксации, заморозки, и последующего геномного анализа,
- на 9 станциях отобрано 9 проб донных отложений с целью дальнейшей оценки в стационарных условиях их микропластикового загрязнения и гранулометрического анализа,
- на 70 станциях отобрано и частично обработано 70 проб желетелого макропланктона,
- на 20 станциях проанализирован состав пищи 150 разноразмерных особей гребневика *Mnemiopsis leidyi*,
- в экспериментах проанализирована плодовитость и готовность к размножению 11 особей гребневика *Mnemiopsis leidyi*,
- на 10 станциях отобрано 10 тотальных проб мезозоопланктона,
- на 79 станциях отобрано 79 проб ихтиопланктона вертикальными ловами,
- на 19 станциях отобраны и обработаны 24 пробы воды для определения содержания хлорорганических соединений (ХОС),
- на 10 станциях отобрана вода и выполнена экстракция в двух повторностях для определения содержания тяжелых металлов – всего 20 проб,
- на 15 станциях отобраны 17 проб воды на содержание ртути,
- на 15 станциях отобраны 15 проб воды на содержание ^{90}Sr ,
- на 9 станциях отобраны 9 проб воды на содержание ^{137}Cs и выполнена их обработка,
- на 12 станциях отобрано 12 проб донных отложений для определения содержания хлорорганических соединений (ХОС),
- на 12 станциях отобрано 12 проб донных отложений для определения содержания радионуклидов (^{90}Sr и ^{137}Cs),

- на 3 станциях отобраны 3 пробы донных отложения геологической трубой длиной 3 м.,
- на 120 станциях проведены замеры pH в поверхностном слое воды,
- на 19 станциях отобрано 19 проб поверхностного слоя донных отложений.

Отрядом гидрологии и течений:

- получены экспериментальные данные о вертикальном распределении температуры и солености морской воды;
- получены новые экспериментальные данные о пространственно-временной структуре полей скоростей течений.

Гидрометеорологическим отрядом:

- проведены измерения на станциях и переходах скорости и направления ветра, температуры атмосферы и воды, относительной влажности воздуха, атмосферного давления, высоты ветрового волнения (визуально на станциях).

Отрядом гидрохимии:

- получены натурные данные для изучения особенностей вертикального распределения кислорода и сероводорода;
- получены натурные данные для изучения особенностей пространственного распределения кислорода в поверхностном слое вод моря в осенний период.

Отрядом гидрооптики:

- проведены измерения спектрального коэффициента яркости;
- выполнена статистическая обработка полученных данных.

Отрядом турбулентности:

- выполнены измерения тонкой структуры и микроструктуры гидрофизических полей в верхнем стратифицированном слое моря;
- на основе натурных данных по наработанной методике рассчитаны характеристики вертикального турбулентного обмена;
- проведен анализ пространственных изменений интенсивности турбулентного обмена.

Отрядом физиологии водорослей:

- отобраны и подготовлены пробы для проведения анализа мезомасштабной изменчивости концентрации хлорофилла А в слое ВКС вокруг п-ва Крым и у побережья Кавказа;
- отобраны и предобработаны на борту судна пробы для определения влияния основных океанологических факторов (температура, плотность воды) на вертикальное распределение хлорофилла;
- отобраны и предобработаны на борту судна пробы для сравнения вертикального распределения концентрации хлорофилла, полученного прямым методом и по его флуоресценции;

Отрядом физиологической экологии водных беспозвоночных и Отрядом ихтиопланктона совместно:

- собраны данные по видовому составу, численности, биомассе, структуре популяций и пространственному распределению желетелого макропланктона, а также составу и обилию мезозoopланктона Черного и Азовского морей;
- изучено влияние популяций желетелых на видовую структуру зоопланктонного сообщества и кормовую базу рыб. Оценены вероятные масштабы изъятия кормового зоопланктона, а также икры и личинок рыб макропланктонными хищниками;
- исследовано влияние внешних факторов и межвидовых отношений желетелых в 2019 г на популяции макропланктона. Выявлены возможные механизмы влияния среды на структурно-функциональные характеристики медуз и гребневиков в Черном море;

- оценены условия воспроизводства и развития молоди хамсы из районов Керченского предпролива и южного берега Крыма;
- выполнен анализ состояния ихтиопланктона в прибрежных и открытых водах Черного моря у Крымского и Кавказского побережья и в Азовском море в межнерестовый осенний период;
- изучены особенности питания и обеспеченность пищей личинок рыб осенью 2019 г.

Отрядом бентоса:

- отобраны пробы донных отложений и макробентоса с глубин 8-12 м для исследования состава, обилия и распределения важнейших компонентов бентоса на реперных бентосных станциях в Азовском море;
- отобраны пробы донных отложений и мейобентоса на станциях в районе постоянного бентосного полигона в Азовском море с глубин 8-12 м, а также на отдельных станциях в Чёрном море в диапазоне глубин 70-2000 для исследования состава, обилия и распределения важнейших компонентов мейобентоса;
- отобраны пробы донных отложений с целью дальнейшей оценки в стационарных условиях их микропластикового загрязнения и гранулометрического анализа.

Отрядом геномики:

- проведен сбор и пробоподготовка биологического материала для последующего молекулярно-генетического анализа с фокусом на наименее изученные группы Metazoa и их сестринские группы;
- начато формирование геномного банка Черного и Азовского морей;
- проведена апробация полевых методов и приборной базы для проведения геномных исследований в режиме реального времени на борту научно-исследовательского судна.

Отрядом планктона и Отрядом физиологической экологии водных беспозвоночных совместно:

- отобраны пробы ихтиопланктона планктонными сетями в режиме вертикальных ловов над глубиной до 100 м в слое от дна до поверхности; в глубоководных районах исследований от нижней границы кислородной зоны до поверхности;
- проведена подготовка планктонных проб для последующего анализа полученных данных по видовому составу, численности и пространственному распределению икры и личинок рыб;
- проведена подготовка проб для изучения видовой структуры ихтиопланктона, выделения массовых и редких видов;
- проведена подготовка проб для изучения состояния икры на разных этапах эмбрионального развития;
- проведена подготовка проб для изучения питания личинок рыб в различных районах исследований.

Отрядом молисмологии:

- отобраны и предобработаны на борту судна пробы воды для определения содержания ^{90}Sr , ^{137}Cs , ртути, тяжелых металлов и ХОС;
- выявлены межгодовые и сезонные изменения уровней содержания и распределения радионуклидов, хлорорганических соединений, ртути и ТМ в воде Черного и Азовского морей;
- отобраны пробы донных отложений колонками из бокс-корера для определения уровней содержания радионуклидов, ТМ, включая ртуть и ХОС в донных отложениях в современный период;
- отобраны пробы донных отложений геологической трубкой на шельфе и в сероводородной зоне, разделение керн по слоям в 5 см, фасовка и консервация для геохронологического анализа радиотрассерными методами;

- отобраны пробы донных отложений дночерпателем «Океан-50» для определения аэробно-анаэробных групп бактерий.

Отрядом ИПТС:

- получены экспериментальные данные о мезомасштабной изменчивости pH поверхностных вод (№ 0012-2019-0007);
- отобраны пробы поверхностного слоя донных отложений на наличие цианобактерий (№ 0012-2019-0007).

Основные результаты экспедиции

Результатом комплексного мониторинга состояния вод Черного и Азовского морей являются следующие новые данные:

- массив данных по температуре, солёности и скоростям течений в диапазоне глубин от 0 до 500 м для исследуемых районов Черного и Азовского морей в осенний период 2019 г.,
- массив данных для изучения особенностей распределения гидрохимических характеристик поверхностного слоя вод Черного и Азовского морей,
- массив данных для изучения особенностей вертикального распределения гидрохимических характеристик водной толщи Черного и Азовского морей,
- массивы гидрометеорологических параметров: температура воздуха, температура воды, атмосферное давление, влажность воздуха, модуль скорости ветра,
- массив данных для изучения особенностей пространственного распределения спектрального коэффициента яркости водной толщи,
- данные для исследования видового разнообразия и пространственного распределения ихтиопланктона на шельфе и в глубоководных районах исследований,
- данные для изучения видовой структуры, выделения массовых и редких видов икры и личинок рыб в осенний гидрологический сезон 2019 г.,
- данные для изучения размерно-весовой структуры личинок массовых видов рыб, исследования питания и трофических взаимоотношений личинок рыб в планктонном сообществе различных районов исследований,
- данные для проведения оценки межгодовой динамики состояния ихтиопланктонных комплексов в период межсезонья (конца нерестового сезона теплолюбивых видов рыб и начала нерестового сезона умеренноводных видов рыб) и выделения благоприятных районов для выживания рыб в период эмбрионального и постэмбрионального развития,
- данные для изучения влияния биотических и абиотических факторов на выживание икры и личинок рыб на шельфе и в глубоководных районах исследований в осенний гидрологический сезон 2019 г.,
- данные для оценки состава и пространственного распределения макро- мезо- и ихтиопланктона Чёрного и Азовского морей в осенний период 2019 г.,
- данные для оценки состава пищи гребневика мнемнопсиса и степени его трофического влияния на мезопланктонное сообщество Чёрного и Азовского морей,
- данные для оценки скорости роста медузы в 2019 г. и межпопуляционными отношениям в сообществе желетелых хищников в настоящий период,
- данные для оценки уровня развития кормового зоопланктона в осенний нерестовый сезон 2019 г.,
- данные о количественном составе аэробно-анаэробных групп бактерий в донных отложениях южной части Азовского моря,
- данные о бактериальной деструкции нефтяных углеводородов в процессе эксперимента, проводимого на борту судна,

- данные для определения таксономического разнообразия и количественного состава доминирующих видов мейо- и макробентоса в районе бентосного полигона в Азовском море,
- данные для определения таксономического разнообразия и количественного состава доминирующих видов мейобентоса на реперных станциях в Чёрном море,
- данные о пространственно-временной и вертикальной изменчивости концентрации хлорофилла А в осенний период 2019 г,
- данные о содержании хлорорганических соединений (ХОС), тяжелых металлов и ртути, а также радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде глубоководных и прибрежных районов Черного и Азовского морей,
- данные о содержании хлорорганических соединений (ХОС), радионуклидов (^{90}Sr и ^{137}Cs) в донных отложениях глубоководных и прибрежных районов Черного и Азовского морей,
- новые данные по перераспределению ТУЭ в Черном море в биотических и абиотических компонентах и оценке запасов ТУЭ в донных отложениях Черного моря в современные период в российском секторе моря,
- будет выполнена современная оценка антропогенного воздействия на компоненты экосистем Черного и Азовского морей,
- данные для формирования базы данных геномного банка планктонных и бентосных организмов Черного и Азовского морей,
- фото и видеоматериалы, репрезентативно представляющие различные планктонные и бентосные организмы Черного и Азовского морей,
- данные для дальнейшего анализа пространственно-временного распределения качественно-количественного состава мезо- и микропластикового загрязнения донных отложений и поверхностного слоя водной толщи в различных районах Чёрного моря в осенний период.

ЭКСПЕДИЦИЯ В ЧЕРНОЕ И АЗОВСКОЕ МОРЯ
(111-й РЕЙС НИС «ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ» 6 декабря – 31 декабря
2019 г.)

По результатам отчета начальника экспедиции (Бурдиян Н.В., 2019)

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского
Российской академии наук
299011 Севастополь, Нахимова проспект, 2
esimo@ocean.ru*

Научные исследования в рейсе осуществлялись в соответствии с темами государственного задания Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Морской гидрофизический институт РАН» (ФГБУН ФИЦ МГИ): «Фундаментальные исследования процессов взаимодействия в системе океан-атмосфера, определяющих региональную пространственно-временную изменчивость природной среды и климата», «Развитие методов оперативной океанологии на основе междисциплинарных исследований процессов формирования и эволюции морской среды и математического моделирования с привлечением данных дистанционных и контактных измерений», «Фундаментальные исследования океанологических процессов, определяющих состояние и эволюцию морской среды под влиянием естественных и антропогенных факторов, на основе методов наблюдения и моделирования», «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей». Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН» (ФИЦ ИнБЮМ): «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем», «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана», «Структурно-функциональная организация, продуктивность и устойчивость морских пелагических экосистем». Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт природно-технических систем» (ИПТС) (г. Севастополь) «Фундаментальные исследования процессов в климатической системе, определяющих пространственно-временную изменчивость природной среды», а также в соответствии с договором №157 от 10.04.2019, заключенным между ФИЦ ИнБЮМ и Федеральным государственным бюджетным научным учреждением «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ФГБНУ ВНИРО) по научной программе «Комплексная океанографическая съемка Черного и Азовского морей, изучение загрязнения воды и донных отложений (без изъятия водных биоресурсов)».

Цель экспедиции – провести комплексный мониторинг в Чёрном и Азовском морях в пределах экономической зоны Российской Федерации.

Основные задачи

- провести климатический мониторинг деятельного слоя Черного моря на вековом разрезе Херсонес-Босфор;
- изучить трансформацию вод ХПС в зимний период;
- изучить вертикальное распределение скорости течений в исследуемых районах;
- исследовать гидрометеорологические условия в Чёрном море в пределах экономической зоны Российской Федерации;

- исследовать особенности пространственного распределения показателя ослабления направленного света;
- оценить пространственно-временную и сезонную изменчивость поля биолуминесценции Черного моря и качественный и количественный состав мезо- и макропланктонной фракций черноморских биолуминесцентных в слоях максимальной интенсивности поля биолуминесценции в зимний период;
- изучить закономерности перераспределения радионуклидов, ХОС, тяжелых металлов, включая ртуть в морских экосистемах Азово-Черноморского бассейна на основе продолжения радиохимикоэкологического исследования, проводимого в системе мониторинга в глубоководных и прибрежных районах Черного и Азовского морей;
- оценить антропогенное воздействие на компоненты экосистем Черного и Азовского морей;
- определить количественное содержание и особенности распространения аэробно-анаэробных групп бактерий в поверхностном слое воды и донных отложениях прибрежной акватории Черного и Азовского морей;
- исследовать бактериальное разложение и трансформацию нефтяных углеводородов в экспериментальных условиях;
- изучить загрязнения водной толщи и донных отложений приоритетными токсикантами в системе мониторинга глубоководных и прибрежных районов Черного моря;
- выполнить наблюдения за морскими млекопитающими с судна;
- исследовать количественные показатели и таксономическое разнообразие основных компонентов планктонного сообщества (макро-, мезозоо-, ихтиопланктона) в пелагиали Черного и Азовского морей.
- исследовать пространственно-временную изменчивость водородного показателя в поверхностных водах Черного моря;
- исследовать состав микроводорослей и цианобактерий в донных отложениях.

Район работ

Работы проводились в Черном и Азовском морях в пределах территориальных вод и исключительной экономической зоны Российской Федерации (рис. 39).

Рис. 39. Карта-схема района исследований 111 рейса НИС «Профессор Водяницкий» и расположение станций

Использованное оборудование

- гидролого-гидрохимический зондирующий комплекс IDRONAUTOCEANSEVEN 320 PlusM;
- гидрологический CTD-зонд «ГАП-АК-16»;

- акустический доплеровский измеритель течений Workhorse Monitor 300 kHz ADCP;
- спектральный измеритель показателя ослабления направленного света (СИПО-4);
- комплекс сбора гидрометеорологических данных КСГД;
- анемометр ручной;
- психрометр.
- одиночный батометр Нискина объемом 10 литров;
- планктонная сеть Богорова-Расса;
- планктонная сеть ИКС-80;
- планктонная сеть Джеди, Ф-38 см;
- груз под сети при работе за бортом;
- судовая насосная установка для промывки сетей;
- дночерпатель «Океан-50»;
- геологические бьюксы;
- набор грунтовых трубок для отбора колонок донных отложений;
- комплект для нарезки колонок донных отложений;
- фильтровальная установка Sartorius;
- установка для проточной фильтрации заборной воды;
- встряхиватель электрический;
- насос вакуумный Value V-I 120;
- белый диск Секки;
- пластиковое и металлическое ведра;
- рН-метр рН-150МИ.;
- палубные лебедки;
- траловая лебедка и П-рама.

Выполненные работы

На 142 станциях выполнен следующий объем работ:

- 134 зондирования гидролого-гидрохимическим зондирующим комплексом IDRONAUTOCEANSEVEN 320 PlusM на 134 станциях, отобрано 84 батометра проб воды на 8 горизонтах,
- 8 зондирований гидрологическим зондом ГАП-АК-16Р,
- 134 зондирования акустическим доплеровским измерителем течений Workhorse Monitor 300 kHz ADCP.
- 114 измерений показателя ослабления направленного света, в том числе 75 измерений совместно с макетом измерителя флюоресценции и рассеяния света;
- на 142 станциях измерения гидрометеорологических параметров (скорость и направление ветра, температура атмосферы и воды, относительная влажность воздуха, атмосферное давление), а также характеристик волнения (визуально),
- на 4 станциях отобрано 16 проб воды для определения таксономического состава и количественных характеристик фитопланктона,
- отобрано и заморожено 37 проб гребневиков Черного моря для проведения токсикологического анализа,
- выполнены экспериментальные исследования параметров свечения 43 экземпляров *Mnemiopsis leidyi* в Азовском море,
- выполнены экспериментальные исследования параметров свечения 109 экземпляров *Beroe ovata* и 100 экз *Pleurobrachia pileus* в Черном море в зимний период,
- на 5 станциях выполнен отбор проб донных отложений для определения количества сульфатредуцирующих, тионовых, денитрифицирующих, гетеротрофных и углеводородокисляющих групп бактерий,
- на 30 станциях отобрана 91 проба мезозoopланктона,

- на 72 станциях отобрано 73 пробы ихтиопланктона вертикальными ловами,
- отобрано 15 проб морской воды для определения содержания нефтяных углеводов в морской воде,
- отобрано 15 проб морской воды для определения численности гетеротрофных и углеводородокисляющих бактерий,
- отобрано 26 проб мейобентоса,
- на 15 станциях отобраны пробы воды с поверхностного горизонта для определения количественного состава аэробных групп бактерий,
- выполнено 4 запуска мини-ROV GNOME в испытательных целях,
- на 22 станциях отобраны и обработаны 24 пробы воды для определения содержания хлорорганических соединений (ХОС),
- на 12 станциях отобрана вода и выполнена экстракция (в двух повторностях) для определения содержания тяжелых металлов, на 2 станциях дополнительно отобраны пробы с придонных горизонтов – всего 28 проб,
- на 12 станциях отобраны 14 проб воды на содержание ртути,
- на 22 станциях отобраны 22 пробы воды на содержание ^{90}Sr ,
- на 4 станциях отобраны 4 пробы воды на содержание ТУЭ и выполнена их предобработка,
- на 10 станциях отобрано и обработано 10 проб воды для определения концентрации взвешенного вещества,
- на 7 станциях отобрано 7 проб донных отложений для определения содержания хлорорганических соединений (ХОС) и радионуклидов (^{90}Sr и ^{137}Cs),
- на 1 станции отобрана колонка донных отложений 0-20 см для определения вертикального распределения ТУЭ,
- на 9 станциях отобрано и заморожено 27 проб воды на определение биогенных веществ (азота аммонийного, нитритного, нитратного, фосфатов, кремниевой кислоты), общих форм азота и фосфора,
- на 9 станциях отобрано и подготовлено к анализу 108 проб воды для определения содержания нефтепродуктов, полициклических ароматических углеводов (ПАУ), хлорорганических пестицидов (ХОП), полихлорированных бифенилов (ПХБ), тяжелых металлов и мышьяка,
- на 4 станциях отобрано и подготовлено к анализу 8 проб донных отложений (0-5 см слой) для определения гранулометрического состава донных отложений, содержания нефтепродуктов, полициклических ароматических углеводов (ПАУ), хлорорганических пестицидов (ХОП), полихлорированных бифенилов (ПХБ), тяжелых металлов и мышьяка, радионуклидов (^{90}Sr и ^{137}Cs),
- на 61 станции отобрано и подготовлено к анализу 61 проба ихтиопланктона,
- на 31 станции отобрано и обработано 31 проба желтого макропланктона,
- на переходах между станциями проведён количественный учёт морских млекопитающих,
- на 130 станциях проведены замеры pH в поверхностном слое воды,
- на 11 станциях отобраны 11 проб поверхностного слоя донных отложений для микробиологических исследований,
- на 9 станциях отобрано 9 проб воды из поверхностного слоя для микробиологических исследований.

Основные результаты экспедиции

Отрядом гидрологии и течений:

- получены экспериментальные данные о вертикальном распределении температуры и солености морской воды;
- получены новые экспериментальные данные о пространственно-временной структуре полей скоростей течений.

Отрядом гидрооптики:

- проведены измерения показателя ослабления направленного света;
- проведены испытания макета измерителя флюоресценции и рассеяния света.

Гидрометеорологическим отрядом:

- проведены измерения на станциях и переходах скорости и направления ветра, температуры атмосферы и воды, относительной влажности воздуха, атмосферного давления, высоты ветрового волнения (визуально на станциях).

Отрядом новых методов биомониторинга:

- выполнен отбор активных экземпляров *Mnemiopsis leidyi*, *Beroe ovata*, *Pleurobrachia pileus* из проб зоопланктона, полученных методом вертикального лова планктонными сетями, для проведения экспериментальных работ по изучению светоизлучения гребневиков Черного моря в зимний период;
- проведены эксперименты по изучению влияния органического загрязнителя полихлорорганических бифенилов (ПХБ) различных концентраций на параметры светоизлучения *Pleurobrachia pileus* в зимний период;
- проведены измерения основных параметров светоизлучения *Mnemiopsis leidyi* в Азовском море;
- получены данные параметров светоизлучения малоразмерной группы *Beroe ovata*;
- собран материал для проведения токсикологического анализа гребневиков Черного моря (*Mnemiopsis leidyi*, *Beroe ovata*, *Pleurobrachia pileus*).

Отрядом планктона:

- отобраны пробы мезозоо- и ихтиопланктона планктонными сетями в режиме вертикальных ловов над глубиной до 100 м в слое от дна до поверхности для исследования видового разнообразия и количественных характеристик мезозоопланктона, а также оценки состояния кормовой базы личинок рыб в пелагиали у берегов Крыма в зимний период;
- отобраны пробы ихтиопланктона в глубоководных районах исследований от нижней границы кислородной зоны до поверхности для исследования видового состава и распределения ихтиопланктона в глубоководных районах Черного моря в период размножения умеренноводных рыб;
- отобраны пробы мезозоопланктона в глубоководных районах исследований послойно для анализа вертикального распределения мезозоопланктона на океанографических разрезах через шельфовые и глубоководные районы Черного моря в связи с особенностями гидрологического и гидрохимического режима вод в зимний период.

Отрядом молисмологии:

- отобраны и предобработаны на борту судна пробы воды для выявления межгодовых и сезонных изменений уровней содержания и распределения радионуклидов, хлорорганических соединений, ртути и ТМ в воде Черного и Азовского морей;
- отобраны пробы донных отложений дночерпателем «Океан 50» для определения уровней содержания радионуклидов и ХОС в современный период;
- осуществлен отбор и предобработка на борту судна проб воды (поверхностный горизонт) для определения содержания нефтяных углеводородов и выявления трендов распределения нефтяных углеводородов в морской воде;
- отобраны и обработаны на борту судна пробы морской воды и донных отложений для определения численности аэробно-анаэробных групп бактерий.

Отрядом АзНИИРХ:

- отобраны и заморожены пробы воды на определение биогенных веществ (азота аммонийного, нитритного, нитратного, фосфатов, кремниевой кислоты), общих форм азота и фосфора;
- отобраны и предобработаны на борту судна пробы воды для определения содержания нефтепродуктов, полициклических ароматических углеводородов

(ПАУ), хлорорганических пестицидов (ХОП), полихлорированных бифенилов (ПХБ), тяжелых металлов и мышьяка;

- отобраны пробы желтого планктона;
- отобраны пробы ихтиопланктона;
- проведены количественный учет и фиксация встреч морских млекопитающих с использованием аппаратуры определения местоположения (GPS) и фотоаппаратуры;
- определены видовой состав регистрируемых морских млекопитающих и их поведенческие реакции.

Отрядом ИПТС:

- отобраны пробы воды для исследования пространственно-временной изменчивости водородного показателя в поверхностных водах Черного моря;
- отобраны пробы поверхностного слоя донных отложений на наличие микроводорослей и цианобактерий.

Результатом комплексного мониторинга состояния вод Черного и Азовского морей являются следующие новые данные:

- массив данных по температуре, солености и скоростям течений в диапазоне глубин 0 - 500 м для исследуемых районов Черного и Азовского морей в зимний период 2019 г.,
- массивы гидрометеорологических параметров: температура воздуха, температура воды, атмосферное давление, влажность воздуха, модуль скорости ветра,
- массив данных для изучения особенностей пространственного распределения спектрального показателя ослабления направленного света,
- массив данных пространственно-временного распределения интенсивности флуоресценции фитопланктона и растворённого органического вещества,
- массив данных параметров свечения *Mnemiopsis leidyi* в Азовском море в зимний период,
- массив данных параметров свечения малоразмерной фракции *Beroe ovata* в Черном море в зимний период,
- массив данных параметров свечения *Pleurobrachia pileus* в Черном море в зимний период,
- данные для получения таксономических и количественных характеристик зоопланктона в зимний период 2019 г.,
- данные для определения особенностей пространственного распределения зоопланктона в пелагиали Чёрного и Азовского морей в зависимости от гидрологических условий,
- данные для оценки уровня развития кормового зоопланктона в период размножения умеренноводных рыб,
- данные о содержании нефтяных углеводов в поверхностном слое морской воды в прибрежных водах Крыма и Кавказа,
- данные о количественном составе аэробно-анаэробных групп бактерий в донных отложениях южной части Азовского моря;
- данные о бактериальной деструкции нефтяных углеводов в процессе эксперимента, проводимого на борту судна,
- данные, позволяющие сделать заключение о состоянии ихтиопланктона в прибрежных и открытых водах Черного моря у Крымского и Кавказского побережья и в Азовском море в период размножения умеренноводных рыб,
- данные о распространении и количественном составе гетеротрофных и углеводородокисляющих бактерий в поверхностном слое морской воды прибрежной акватории,

- данные о содержании хлорорганических соединений (ХОС), тяжелых металлов и ртути, а также радионуклидов в воде глубоководных и прибрежных районов Черного и Азовского морей,
- данные о содержании хлорорганических соединений (ХОС) и радионуклидов в донных отложениях прибрежных районов Черного и Азовского морей.
- данные о содержании биогенных веществ (азота аммонийного, нитритного, нитратного, фосфатов, кремниевой кислоты), общих форм азота и фосфора в воде;
- данные о содержании нефтепродуктов, полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), хлорорганических пестицидов (ХОП), полихлорированных бифенилов (ПХБ), тяжелых металлов и мышьяка в воде;
- данные о гранулометрическом составе донных отложений, содержании нефтепродуктов, полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), хлорорганических пестицидов (ХОП), полихлорированных бифенилов (ПХБ), тяжелых металлов и мышьяка, радионуклидов (^{90}Sr и ^{137}Cs) донных отложений (0-5 см слой),
- данные по обилию, видовому составу и пространственному распределению ихтиопланктона,
- данные по численному, видовому составу желетелого макропланктона,
- данные по численному, видовому составу морских млекопитающих,
- массив данных для оценки пространственно-временной и сезонной изменчивости pH поверхностного слоя вод исследуемой части акватории Черного моря,
- образцы поверхностного донного слоя (донных осадков) в Черном и Азовском морях для микробиологических исследований в лабораторных условиях на берегу,
- образцы поверхностного слоя вод в Черном и Азовском морях для микробиологических исследований в лабораторных условиях на берегу.

**МОРСКИЕ ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
НА НИС «ДЕНЕБ»
в 2019 году**

КОМПЛЕКСНЫЕ ЭКОСИСТЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АЗОВСКОГО И ЧЕРНОГО МОРЕЙ

(НИС «ДЕНЕБ», 14 февраля -21 октября 2019 г.)

По результатам отчета начальника экспедиции (Бердников С.В., 2020)

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр Южный научный центр
Российской академии наук
344006 Ростов-на-Дону, проспект Чехова, 41
esimo@ocean.ru*

Экспедиция проведена в соответствии разрешением на проведение морских научных исследований №ДН-09-57/9 от 16.01.2019 г. Экспедиция осуществлялась в рамках Государственного задания на 2019 г. раздел «Перевозка пассажиров и (или) грузов морским транспортом при обеспечении проведения научных исследований» и в рамках тем НИР: «Морские биогеосистемы юга России и их водосборы в условиях аридного климата, хозяйственного освоения и современных геополитических вызовов» № гр. проекта АААА-А18-118122790121-5 (руководитель академик Г.Г. Матишов), "Палеоэкологические и биогеоэкологические изменения в морских и наземных экосистемах южных регионов Северной Евразии как отражение глобальных событий позднего кайнозоя" № гр. 01201363186 (руководитель академик Г.Г. Матишов), "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 (руководитель академик Г.Г. Матишов), "Разработка методов геоинформационного моделирования морских и наземных экосистем Юга России" № гр. 01201363188 (руководитель д.г.н. С.В. Бердников).

Цель экспедиции – сбор научного материала по программе исследований.

Задачи экспедиции

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

1. оценка видового разнообразия различных групп морской биоты (микроводоросли, планктонные и донные беспозвоночные, морские, проходные и полупроходные рыбы, водные и околоводные птицы, морские млекопитающие), особое внимание – инвазивным (чужеродным) видам в пелагических и донных сообществах Азовского и Черного морей;
2. изучение особенностей функционирования и динамики морских систем в условиях климатических изменений и антропогенной деятельности;
3. описание палеогеографических особенностей формирования рельефа дна и береговой зоны Азовского моря в позднем голоцене.

Район работ

Экспедиция была начата и завершена в с.Кагальник. В период с апреля по ноябрь проведено 7 экспедиций на Нижнем Дону (от нижнего бьефа Цимлянского водохранилища до устья Дона) и в восточной части Таганрогского залива (рис. 40). Общая продолжительность экспедиций составила 90 судосудок.

Рис. 40. Карта-схема маршрутов экспедиции на НИС «Денеб» в 2019 г.

Использованное оборудование

- Зонд SBE 19 SEACATS
- Зонд SBE 19plus V2 с пробоотборным устройством на 12 батометров объемом 4 литра для отбора проб воды;
- Зонд Aanderaa RCM 9LW;
- Батометр Нискина;
- Батометр Молчанова;
- Фотометр Эксперт-003;
- Планктонная сеть Апштейна;
- Планктонная сеть Джели;
- Диск Секки;
- Дночерпатель Ван-Вина;
- pH метр;
- Eh метр;
- Проточная система (стационарно установлена на НИС «Денеб») для регистрации температуры, электропроводности и флуоресценции хлорофилла а.

Основные результаты экспедиции

1. Впервые после тотальной бентосной съемки (исследование донной фауны) Азовского моря в 2006 г. была проведена аналогичная бентосная съемка после продолжительного осолонения моря, начавшегося в 2007 г. Полученный гидробиологический материал находится в стадии обработки. Вместе с тем выявлено увеличение ареала недавнего вселенца – полихеты *Marenzelleria neglecta* (отмеченного впервые в 2014 г. в экспедиции ЮНЦ РАН), которая активно расширяет зону обитания

и проникла из Таганрогского залива (места первичной инвазии) в Азовское море (обнаружена также в районе Керченского пролива). На Нижнем Дону наращивает свое присутствие другой чужеродный вид – двустворчатый моллюск *Corbicula fluminea* (идентифицированный по конхологическим признакам), представляющий существенную опасность местным гидробионтам и внесенный в список 100 опасных инвазивных видов Европы.

2. Соленость воды в центральной части Азовского моря стабилизировалась на уровне 14–15‰. По результатам наблюдений в акватории Азовского моря установлено, что система дрейфовых течений не претерпела значительных изменений по сравнению с периодом распреснения начала 2000-х, исключением является юго-восточная часть Азовского моря, где наблюдается усиление скорости придонного течения из Черного моря.

3. Ихтиологические работы в юго-восточной части Черного моря выявили снижение плотности скоплений промысловых видов рыб (в первую очередь шпрота *Sprattus sprattus*) в этой части моря по сравнению с предшествующим периодом.

4. Ихтиологические исследования в Азовском море показали увеличение в уловах доли бычка кругляка *Neogobius melanostomus* и карася *Carassius gibelio* при одновременном снижении встречаемости таких видов как лещ *Abramis brama*, рыбец *Vimba vimba*, судак *Sander lucioperca*.

5. В ходе осенних морских судовых наблюдений за птицами и морскими млекопитающими в юго-восточной части Черного моря выявлено, что 90 % птиц относились к группе «морских», выраженной миграции птиц вдоль береговой линии не наблюдалось, что, вероятно, связано с погодными условиями в период наблюдений. Массово отмечены два вида черноморских дельфинов – дельфин-белобочка *Delphinus delphis* и черноморская афалина *Tursiops truncatus ponticus*, занесенная в Красную книгу РФ. Большинство дельфинов держалось у береговой кромки над глубинами до 200 м, активно охотясь. Расчетная плотность морских млекопитающих совпадала со среднепогодными значениями, что свидетельствует о стабильной ситуации в популяциях, обитающих в юго-восточной части Черного моря.

6. В морских рейсах на НИС «Денеб» выполнялась калибровка и доработка проточного флуориметра ЮНЦ РАН, разработанного и модернизированного в 2016–2018 гг.

**МОРСКИЕ ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
НА МНИС «АШАМБА»
в 2019 году**

**КОМПЛЕКСНАЯ ПРИБРЕЖНО-МОРСКАЯ НАУЧНАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ
«ЧЕРНОЕ МОРЕ-2019»
(МНИС «Ашамба», март -декабрь 2019 г.)**

По результатам отчета начальника экспедиции (Зацепин А.Г., 2020)

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт океанологии им. П.П. Шишова
Российской академии наук
117997 Москва, Нахимовский проспект, 36
esimo@ocean.ru*

ИО РАН совместно с Южным отделением выполнил комплексную прибрежно-морскую научную экспедицию «Черное море – 2019» в марте – декабре 2019 г. с целью изучения физических, химических, биологических и геолого-геофизических процессов в морской среде, а также комплексного мониторинга состояния экосистемы прибрежной зоны северо-восточной части бассейна. Экспедиционные исследования производились на МНИС «Ашамба» в прибрежной зоне российского сектора Черного моря: Феодосийско-Керченский, Темрюкский и Туапсинский р-ны, муниципальные образования Анапа, Новороссийск и Геленджик Краснодарского края РФ. В общей сложности выполнено 90 экспедиционных выходов.

Цель экспедиции – изучение физических, химических, биологических и геолого-геофизических процессов в морской среде, а также комплексного мониторинга состояния экосистемы прибрежной зоны северо-восточной части черноморского бассейна..

Задачи экспедиции

Этап 1. Поддержание кластера автономных станций на Полигоне «Геленджик», изучение гидрофизических процессов на шельфе и континентальном склоне дистанционными и контактными методами.

Этап 2. Гидрохимические исследования, анализ концентраций загрязняющих веществ (нефтепродуктов, фенолов, СПАВ, ХОП, ПАУ, тяжелых металлов и др.) в водной толще и в донных осадках Геленджикской и Голубой бухт.

Этап 3. Исследования влияния гидрофизических процессов на распределение гидрохимических и биологических параметров прибрежных экосистем северо-восточной части Черного моря.

Этап 4. Совершенствование аппаратно-программного комплекса для геомагнитной съёмки и разработка методик измерений магнитных полей, характерных для акваторий окраинных и шельфовых морей.

Этап 5. Испытание новых автономных зондирующих аппаратов

Этап 6. Гидрооптика, изучение влияния цветения кокколитофорид на оптические характеристики вод.

Этап 7. Мониторинг прибрежных донных сообществ.

Этап 8. Геохимия форм серы в воде Черного моря.

Этап 9. Исследование антропогенных загрязнений в акватории г. Анапа и западнее до Керченского пролива.

Этап 11. Комплексный экологический мониторинг морской среды и пелагических сообществ.

Этап 12. Исследование межгодовой динамики желетелого макропланктона, включая гребневиков вселенцев и их влияния на прибрежную экосистему, в т.ч. зоопланктон и ихтиопланктон.

Район работ

Экспедиция была начата и завершена в с.Кагальник. В период с апреля по ноябрь проведено 7 экспедиций на Нижнем Дону (от нижнего бьефа Цимлянского водохранилища до устья Дона) и в восточной части Таганрогского залива. Общая продолжительность экспедиций составила 90 судосуток (рис. 41-46).

--- 12-мильная зона; ■ – границы полигонов; → – маршрут движения судна; ● – место дислокации судна;

Рис. 41. Карта-схема маршрутов экспедиции на МНИС «Ашамба» в 2019 г.

Рис. 42. Геленджикский полигон. Пунктирные линии со стрелочками – галсы буксировки профилографа течений ADCP.

Рис. 43. Схема отбора проб на химический анализ в Геленджикской и Голубой бухтах (этап 2)

Рис. 44. Схема отбора биологических проб на Геленджикском полигоне (этап 12)

Рис. 45. Схема станций Феодосийского полигона

Рис. 46. Карта схема расположения точек отбора проб для исследований бентосных сообществ

Использованное оборудование

1. Экспедиционное оборудование:
 - гидрофизические зонды "SeaBird"-3 шт. (один из них с кассетой батометров);
 - гидрофизический зонд YSI 6600 с проточной системой – 1 шт.;
 - зонд для измерения флуоресценции пигментов фитопланктона "in situ";
 - акустические доплеровские профилографы скорости течения (для донных постановок и буксировки за судном в гондоле) – 5 шт.,
 - автономные мобильные зонды «Аквалог» на заякоренных буйковых станциях – 2 шт.;
 - заякоренные термокосы – 4 шт.;
 - плавающий спектрорадиометр PRO-1- 1 шт.;
 - спектрорадиометр BIC серии 2100 – 1 шт.;
 - портативный спектрофотометр в конфигурации ICAM – 1 шт.;
 - двухканальный лазерный спектрометр ЛС-2 – 1 шт.;
 - спектрометрический измерительный комплекс ЭММА ГИРО -1 шт.;

- измеритель светового режима (Е-метр)- 1 шт.;
- измеритель вертикального распределения показателя ослабления света и температуры ПУМ-А – 1 шт.;
- лазерный сканер поверхности моря (лидар УФЛ-9)- 1 шт.,
- акустические размыкатели – 4 шт.,
- дрейфтеры верхнего слоя с GPS-приемниками и мобильной связью для оперативной передачи информации – 10 шт.;
- многоканальный химический анализатор – 1 шт.;
- планктонные сети с замыкателями – 3 шт.,
- нетоксичные батометры - 6;
- пластиковые 5-литровые батометры Нискина;
- дночерпатели Петерсена – 2 шт.;
- дночерпатель «Океан-0.1» – 1 шт.;
- трал Сигсби (0.9 м) – 1 шт.;
- бентосные тралы – 2 шт.,
- шельфовый гидролокатор бокового обзора «Микросаунд»– 1 шт.;
- подводные фото- и видеокамера – 2 шт.;
- трубки «Ниемисто» - 4 шт.;
- дифференциальный GPS-приемник Sigma-G3T фирмы Javad;
- высокоразрешающий ГБО «YellowFin» фирмы Imagenex;
- сейсмопрофилограф «АП-5-ИОРАН»;
- буксируемый цезиевый магнитометр G822 фирмы “Geometrix”;
- надувная мотолодка для проведения прибрежных водолазных исследований 2 шт.;
- диск Секки – 1 шт.;
- акваланги и прочее водолазное оборудование;
- 2. Лабораторное оборудование:
 - компьютеры, принтеры и другая оргтехника;
 - Атомно-абсорбционный спектрометр (ААС) «КВАНТ-2А»;
 - Жидкостной хроматограф «Люмекс»;
 - Газовый хроматограф «Кристалюкс-4000М»;
 - Флюорат 02 3М;
 - Анализатор ртути Юлия-5 КМ;
 - Фотоколориметры: Nach (Германия), КФК 3;
 - Титраторы: Metrohm (Германия), АТП-02 (Россия);
 - Цифровая бюретка: “Digitrate 810” (США), “Аквилаб” (Россия);
 - рН-метр И-500, WDW-330 i (Россия, Германия);
 - Концентратомер (ИК) КН-2М;
 - Электронные весы AV264C (США);
 - Деионизатор: Simplicity 185, D-301;
 - измеритель окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) поровой воды донных осадков (SanXin SX630) – 1 шт.;
 - ТитраторКЕМАТ-710 с комбинированным серебряным электродом;
 - Спектрофотометр Leki CC1207;
 - Система очистки кислот DST-1000;
 - Электропечь ЭКПС V10М;
 - Необходимое оборудование для функционирования химической лаборатории (дистилляторы, вытяжные шкафы, сушильные шкафы, химическая посуда и пр.)
 - Спектрофотометр Turner Trilogy Design
 - Микроскопы – 3 шт.

Основные результаты экспедиции

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

2. Выполнено 13 мониторинговых выходов МНИС «Ашамба» с работами на стандартном поперечном берегу разрезе со станциями STD-зондирований и комплексными станциями, включавшими отбор проб воды для химического и биологического анализа, сетные ловы зоопланктона, измерение прозрачности воды диском Секки. Получены новые данные для комплексной оценки текущего состояния прибрежной экосистемы.

3. Установлено, что после сравнительно теплой зимы 2018-2019г.г. холодный промежуточный слой (ХПС) в своем классическом определении, как слой воды с температурой менее 8°C, в 2019 г., как и в 2018 г., не был сформирован. Температура воды в этом слое составляла 8.2–8.4°C и увеличивалась на протяжении теплого сезона года. Максимальный прогрев верхнего перемешанного слоя был ниже обыкновенного и наблюдался в июне, а не в августе, как обычно. Это связано с ранним наступлением жаркой погоды и отсутствием сильного ветрового воздействия в начале летнего сезона.

4. Продолжено начатое в 2018 г. экспериментальное исследование возможности вентиляции аэробного слоя Черного моря, связанной с опусканием кислородосодержащих вод вниз по склону дна в экмановском пограничном слое. С этой целью в 2019 г. осуществлена долговременная (2 месяца) постановки автоматических донных станций на шельфе/континентальном склоне в на поперечном берегу разрезе на траверзе Толстого мыса Геленджикской бухты. Станции регистрировали гидрофизические (температура и соленость воды, давление и скорость течения) и гидрохимические (концентрация растворенного кислорода) параметры на расстоянии 0.5 – 2.5 м от дна. Получены данные, пригодные для оценки пространственно-временных масштабов перемещения воды в придонном слое вверх и вниз по склону, в зависимости от направления и интенсивности вдольберегового течения. По изменению плотности воды в фиксированных точках придонного слоя установлено, что эти перемещения достигают 80-90 м. Однако диапазон изменения плотности вод в придонном слое за счет перемещений воды вверх и вниз по склону оказался примерно таким же, как в водной толще на тех же глубинах. Этот факт ставит под сомнение эффективность экмановского переноса в придонном слое как механизма вентиляции вод верхней части континентального склона Черного моря.

5. Успешно проведены измерения комплекса оптических характеристик, включающего спектральные характеристики. Получены данные сопутствующих измерений, которые в сочетании с результатами спутниковых наблюдений, будут использованы для дальнейшего усовершенствования спутниковых методов оценки биооптических характеристик вод поверхностного слоя в северо-восточной части Черного моря.

6. Анализ данных спутниковых измерений и результаты натурных измерений показали, что в июне 2019 г. в районе проведения исследований (Полигон «Геленджик»), вопреки прогнозам, было сильное цветение кокколитофоридного фитопланктона в прибрежной зоне моря. При этом следует отметить, что спутниковые данные показывают отсутствие обильного цветения в центральных частях моря. Можно полагать, что источником биогенных элементов для поддержания цветения в прибрежной зоне северо-восточной части моря являлся береговой сток, а также приток эвтрофированных вод Азовского моря в Черное море.

7. Сезонная динамика хлорофилла-а в 2019 г. характеризовалась отсутствием ярко выраженного весеннего максимума. Наибольшие концентрации хлорофилла были зарегистрированы в июне на всех станциях мониторингового разреза. Этот год также характеризовался низким уровнем осеннего цветения. Следует отметить некоторое уменьшение среднегодового значения содержания хлорофилла-а в 2019 г., по сравнению с предыдущими годами.

8. Характер вертикального распределения хлорофилла-а сильно изменялся в течение года. В значительной степени эти изменения были связаны с особенностями гидрофизического режима: воздействием ветра, температурной стратификацией (глубиной залегания сезонного термоклина), меандрированием Основного черноморского течения.

9. В 2019 г. среднегодовая биомасса желетелого макрозоопланктона в сумме составила 178 ± 50 мг С/м². Доля медузы *Aurelia aurita* в общей биомассе составила 84%. В первой половине года наблюдалось абсолютное доминирование медуз по численности и биомассе, в то время как во второй половине года в макропланктоне по численности доминировали гребневики *Mnemiopsis leidyi*, а биомасса этих двух видов была сопоставимой. При этом гребневик *Beroe ovato* практически отсутствовал. Это могло отрицательно сказаться на среднегодовой биомассе мезозоопланктона, но она пока не оценена. Для сравнения, в 2018 г. среднегодовая биомасса желетелого макрозоопланктона составила 197 ± 40 мг С/м², а доля медуз достигала 95% общей среднегодовой биомассы желетелого макропланктона.

10. В рамках этапа по исследованию донных сообществ был выполнен плановый отбор проб зообентоса на глубинах 10-30 м на стандартных разрезах на Северо-Кавказском побережье Черного моря (п. Дивноморское и бухта Инал), пробы были разобраны первично и обобщен материал предыдущих съемок (2001-2018 г.г.) Отмечается стабилизация структуры сообществ в 2010-х г.г. после периода нестабильности 2001-2007 г.г. и возвращение их к состоянию до начала периода гиперэвтрофикации Черного моря.

11. На пирсе ЮО ИО РАН были обнаружены прикрепленные к сваям разноразмерные экземпляры устриц *Crasso streagigas*, что указывает на натурализацию этого вида в Черном море.

12. В 2019 г. проведены работы по исследованию бентоса зоны гипоксии в области глубин 80-195 м для двух разных геоморфологических районов: мыса Малый Утриш и Голубой бухты. Граница отсутствия многоклеточного бентоса в этих районах проходила глубже 145 м. Основными факторами, определяющими структуру макро- и мейобентоса в диапазоне глубин 20-195 м являются плотностная стратификация, и связанное с ней вертикальное распределение кислорода, а также тип грунта. Было отмечено более глубокое залегание богатых видами сообществ макрозообентоса в районе м. М. Утриш по сравнению с районом Голубой бухты, что объясняется заглублением кромки шельфа в районе м. М. Утриш. Биоразнообразие макрозообентоса на всех исследованных глубинах в районе м. Утриш значительно выше, чем в районе Голубой бухты. Этот результат был положен в основу обоснования расширения морской зоны Заповедника «Утриш» в сторону открытого моря.

13. В 2019 г. апробирована новая методика оперативных судовых исследований. Натурный эксперимент включал в себя пространственную съемку структуры поля течения шельфовой зоны на акватории Полигона «Геленджик» с помощью доплеровского акустического профилографа ADCP WH 600, установленного в буксируемой за судном гондоле или монтированного в шахту судна, с одновременным измерением гидрологических и гидрохимических (содержание кислорода) параметров STD-зондом (Sea&Sun 48Mc) на ходу судна. Данная методика имеет преимущества перед ранее использовавшейся, т.к. позволяет одновременно исследовать структуру течений на полигоне и термохалинные параметры морской среды, вертикальное распределение которых во многом определяются этой структурой.

14. На геленджикском полигоне продолжено функционирование треугольного кластера близкорасположенных (с расстоянием около 100 м одна от другой) заякоренных термокос. Каждая из них регулярно (каждые 30 с) регистрирует температуру водной среды на 20-ти горизонтах. Показано, что данная система является эффективным инструментом для получения оценок субмезомасштабной и короткопериодной пространственно-временной изменчивости температуры вод шельфа, а также для

изучения физических механизмов формирования этой изменчивости, в том числе, обусловленной прохождением цугов нелинейных внутренних волн и термических фронтов.

15. Как и в предыдущие годы, установлено, что для прибрежных вод моря в районе г. Геленджик средние величины содержания загрязняющих веществ не имеют устойчивого превышения существующих норм предельно допустимых концентраций (ПДК) за исключением содержания пестицидов. Тем не менее, полученные диапазоны изменчивости загрязняющих веществ (ЗВ) показывают, что для вод Геленджикской и Голубой бухт время от времени наблюдаются локальные максимумы концентраций, превышающие нормы ПДК. Так, за 2019 г., зафиксировано неоднократное превышение нормы содержания для таких элементов, как: железо, марганец, свинец и практически все видов пестицидов. Сравнительный анализ концентраций ЗВ в водах Геленджикской и Голубой бухт показывает, что уровень техногенных загрязнений (ТЗ) этих акваторий различается существенным образом. Для Геленджикской бухты следует отметить стабильно повышенный фон содержания ЗВ по сравнению с Голубой бухтой.

16. В донных осадках Геленджикской бухты превышают нормы допустимых концентраций (ДК) средние значения величин – γ -ГХЦГ (линдан), суммы ДДТ, ДДД и ДДЭ и суммы ХОП.

17. Продолжены исследования распределения восстановленных форм серы в верхней части анаэробной зоны Черного моря. Глубина ежегодного мониторинга водной толщи достигала 600 м, как и в предыдущем 2018 году. Это расширило представления о распределении измеряемых параметров. Получены новые данные по распределению восстановленных форм серы в верхней части анаэробной зоны Черного моря двумя независимыми методами. Ко времени написания данного отчета, полученные пробы полностью не обработаны.

18. Концентрация кислорода в окисленном слое морской воды существенно не изменилась с 2017 года, когда произошла последняя интенсивная зимняя конвекция. Концентрации сероводорода относительно плотности и солености практически неизменны на протяжении шести лет наблюдения (2014-2019).

19. Результаты по определению хлорности относительно кондуктометрической солености показали хорошую сходимость с данными 2018 года. Впервые в отчетной экспедиции данные по хлорности были откалиброваны по стандарту морской воды IAPSO (PracticalSalinity 34.993; Batch P162). Хлорность, полученная в ходе экспедиции, будет в дальнейшем построена относительно концентрации сульфата.

20. Успешно прошел морские испытания макет стационарной станции для автоматического вертикального зондирования природных водоемов на основе донной лебедки. Данная станция обеспечивает периодическое измерение профилей температуры с помощью датчиков температуры и давления, размещенных в общем обтекаемом корпусе (зонде) от придонного слоя до поверхности водоема. Имеется возможность ее дооснащения биооптическими и гидрохимическими датчиками и использования для комплексного экологического мониторинга водной среды. В 2020 году планируется начало штатной эксплуатации станции на акватории Полигона «Геленджик» (ИО РАН). Данные измерений будут оперативно передаваться в береговой коммуникационный центр с помощью проложенного по дну моря кабелю. По этому кабелю будет осуществляться также электропитание станции.

21. Доработан и модернизирован опытный образец мобильной автономной заякоренной станции автоматического зондирования водной толщи до поверхности моря с системой передачи данных измерений в реальном времени по каналу GSM-связи. Проведены успешные натурные испытания разработанного оборудования. Испытан обновленный по сравнению с 2018 г. коммуникационно-поисковый модуль, предназначенный для надежного обнаружения мобильной станции в случае ее отрыва от якоря и свободного дрейфа на морской поверхности.

22. Успешно выполнены опытные измерения магнитного поля на Геленджикском полигоне в районе затопления судна «Сакко и Ванцетти» с помощью современного цезиевого буксируемого магнитометра G882 фирмы ‘Geometrics’. Усовершенствована методика измерений геомагнитного поля на прибрежных и шельфовых участках акваторий с учетом возможностей магнитометра G882, модифицирован программный комплекс, позволяющий оперативно и качественно преобразовать входной поток исходных магнитных и навигационных данных в пригодный для количественной интерпретации материал.

**МОРСКИЕ ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
НА НИС «ВЛАДИМИР КАСЬЯНОВ»
в 2019 году**

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭПИФАУНЫ В ЗАЛИВЕ ПЕТРА ВЕЛИКОГО (НИС «Владимир Касьянов», 15 июня - 9 июля 2019 г.)

По результатам отчета начальника экспедиции (Лысенко В.Н., 2020)

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Национальный научный центр морской биологии имени А.В.Жирмунского
Дальневосточного отделения Российской академии наук
690041 Владивосток, ул. Пальчевского, 17
esimo@ocean.ru*

Экспедиция проведена в рамках гостемы 0268-2018-0003 «Динамика морских экосистем в условиях глобальных климатических изменений и антропогенного воздействия».

Цель экспедиции – проведение исследований по бесконтактному мониторингу морских экосистем и определение численности и плотности популяций промысловых и экологически важных видов морских гидробионтов с применением телеуправляемых подводных аппаратов в заливе Петра Великого.

Задача экспедиции

Исследование распределения эпифауны в сообществах в заливе Петра Великого с использованием ТНПА «РБ-МИРАЖ». Задача экспедиции соответствует планируемому результату по изучению динамики морских экосистем по гостеме 0268-2018-0003.

Район работ

Работы проведены в заливе Посыета, расположенном в юго-западной части залива Петра Великого (рис. 47).

Рис. 47. Карта-схема маршрутов экспедиции в 2019 г.

Использованное оборудование

Телеуправляемый подводный аппарат (ТНБА) «РБ-МИРАЖ»

Основные результаты экспедиции

В заливе Посьета обследовано 4577 м² с помощью ТПА «Мираж» на глубинах от 17,5 до 72 м. Продолжительность отснятого видеоматериала составила 421 мин (7 часов).

Преобладающим типом грунта на обследованных станциях был ил (73,3 %), илисто-песчаный грунт составил 23,3 %, один разрез (3,4 %) был на мелкозернистом песке.

В видеопробах было отмечено 17 массовых таксонов эпифауны, 7 составляли иглокожие, 3 – ракообразные, по 2 – кораллы и стрекающие, 1 – асцидии, 1 – губки и брюхоногие моллюски.

Самыми распространенными организмами, встреченными при видеосъемке дна, были морская звезда *Asterias amurensis*, морская звезда *Distolasterias nipon* и офиуры, их встречаемость в видеопробах равна 58,7 %, 54,3 % и 51,9 % соответственно.

Самым многочисленным представителем эпифауны являются офиуры, отмеченные в диапазоне глубин 27,0–44,5 м, причем их скопления расположены не глубже 40,0 м, в диапазоне глубин 40,1–44,5 м они встречаются штучно. При средней плотности поселений 434.76 ± 38.86 экз/м² максимальная плотность поселений достигает 2129 экз/м². Несколько локальных скоплений с плотностью поселений более 1000 экз/м² расположены в центральной части исследованной акватории. Гребешковая патирия отмечена на глубинах от 17,5 м (наиболее мелководные районы работ) до 51,0 м. Она встречается на всей исследованной акватории. При средней плотности поселения морской звезды на обследованном участке дна 0.650 ± 0.159 экз/м² ее максимальная величина достигает 24,7 экз/м² на мелкозернистом песке на глубине 17,5 м в бухте Теляковского, где и расположено локальное скопление с плотностью поселений более 10 экз/м². Основные скопления морской звезды *A. amurensis* с плотностью поселений более 1 экз/м² располагаются южнее мыса Гамова на глубинах более 55 м на илистых грунтах. Средняя плотность поселений этой звезды составляет 0.282 ± 0.028 экз/м², а максимальная плотность достигает величины 2,694 экз/м².

Локальные скопления *D. nipon* с плотностью поселений более 0,1 экз/м² распределены по всей исследованной акватории, они приурочены к илисто-песчаным грунтам. При средней плотности поселений 0.090 ± 0.009 экз/м² ее максимальная величина достигает 0,594 экз/м². Поселения кукумарии японской, зафиксированные на глубинах от 27,0 до 71,0 м, расположены по всей исследованной акватории. Средняя плотность ее поселений составляет 0.012 ± 0.003 экз/м², хотя она образует два локальных скопления плотностью более 0,2 экз/м² юго-западнее бухты Троицы и мыса Гамова.

Раки-отшельники отмечены на всех обследованных глубинах - от 17,5 м до 72,0 м на всей исследованной акватории. Средняя плотность их поселений составляет 0.103 ± 0.014 экз/м², а максимальная достигает 1,162 экз/м². Скопления с плотностью поселений более 0,5 экз/м² расположены юго-восточнее мыса Гамова на глубинах более 55 м. В видеопробах отмечены два массовых вида актиний – *M. senile* и *Cribrinopsis* sp. Первая отмечена на глубинах от 32,0 до 61,0 м, средняя плотность поселений 0.035 ± 0.005 экз/м², вторая – от 38,2 до 70,0 м, средняя плотность поселений 0.006 ± 0.001 экз/м². Наиболее плотные скопления *M. senile* (более 0,4 экз/м²) расположены в центральной части района исследования, а *Cribrinopsis* sp. (более 0,1 экз/м²) – южнее мыса Гамова на глубинах более 60 м. Средняя плотность поселений асцидии *H. aurantium* составляет 0.038 ± 0.009 экз/м², но в скоплениях, которые расположены на илисто-песчаных субстратах в западной части района исследований, ее максимальная плотность достигает 1,00 экз/м².

Средняя плотность поселений брюхоногих моллюсков, которые отмечены на глубинах 29,0–72,0 м, составляет 0.018 ± 0.003 экз/м², но максимальная плотность достигает 0,297 экз/м², а скопления с плотностью более 0,2 экз/м² расположены южнее и восточнее мыса Гамова на глубинах более 60 м. Средняя плотность поселений одиночных кораллов рода *Seriantharia* достигает 0.352 ± 0.156 экз/м², их скопления с плотностью поселений более 10 экз/м² располагаются южнее мыса Гамова на глубинах более 65 м. Средняя плотность поселений колониальных кораллов составляет

0.019±0.004 экз/м², их скопления с плотностью более 0.3 экз/м² располагаются восточнее мыса Гамова на глубинах более 65 м, на обследованной акватории залива Посьета они отсутствуют. Средняя плотность поселений губок составляет 0.111±0.028 экз/м², их скопления с плотностью более 2.0 экз/м² располагаются восточнее мыса Гамова на глубинах более 65 м, на обследованной акватории залива Посьета они отсутствуют.

**МОРСКИЕ ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
НА НИС «ПРОФЕССОР ПАНОВ»
в 2019 году**

**КОМПЛЕКСНЫЕ ЭКОСИСТЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТАГАНРОГСКОГО
ЗАЛИВА АЗОВСКОГО МОРЯ И НИЖНЕГО ДОНА
(НИС «ПРОФЕССОР ПАНОВ», 6 апреля -14 ноября 2019 г.)**

По результатам отчета начальника экспедиции (Бердников С.В., 2020)

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр Южный научный центр
Российской академии наук
344006 Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41
esimo@ocean.ru*

Экспедиция осуществлялась в рамках Государственного задания на 2019 г., раздел «Перевозка пассажиров и (или) грузов морским транспортом при обеспечении проведения научных исследований» и в рамках тем НИР: «Морские биогеосистемы юга России и их водосборы в условиях аридного климата, хозяйственного освоения и современных геополитических вызовов» № гр. проекта АААА-А18-118122790121-5 (руководитель академик Г.Г. Матишов), "Палеоэкологические и биогеоценотические изменения в морских и наземных экосистемах южных регионов Северной Евразии как отражение глобальных событий позднего кайнозоя" № гр. 01201363186 (руководитель академик Г.Г. Матишов), "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 (руководитель академик Г.Г. Матишов), "Разработка методов геоинформационного моделирования морских и наземных экосистем Юга России" № гр. 01201363188 (руководитель д.г.н. С.В. Бердников).

Цель экспедиции – сбор научного материала по программе исследований.

Задачи экспедиции

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

1. оценка видового разнообразия различных групп морской биоты (микроводоросли, планктонные и донные беспозвоночные, морские, особое внимание – инвазивным (чужеродным) видам в пелагических и донных сообществах Азовского и Черного морей;
2. изучение особенностей функционирования и динамики морских систем в условиях климатических изменений и антропогенной деятельности;
3. описание палеогеографических особенностей формирования рельефа дна и береговой зоны Азовского моря в позднем голоцене

Район работ

Работы в 2019 году на НИС «Профессор Панов» проведены в Таганрогском заливе Азовского моря и на Нижнем Дону (рис. 48).

Рис. 48. Карта-схема маршрутов экспедиции на ПТР «Профессор Панов» в 2019 г. в Таганрогском заливе Азовского моря (сверху) и на Нижнем Дону (снизу).

Использованное оборудование

- Метеостанция – meteoscan 937PRO;
- Зонд CTD60M;
- Вертушка речная ИСВП ГР-21М;
- Батометр СП-16;
- Батометр Молчанова;
- Фотометр Эксперт-003;
- Планктонная сеть Апштейна;
- Диск Секки;
- Дночерпатель Петерсена;
- рН метр;
- Eh метр;
- Зонд Aanderaa RCM 9LW;
- Сеть Джеди;
- Психрометр.

Гидрологические работы проводились в дрейфе судна на станциях от поверхности до дна. При проведении гидрохимических анализов использовались стандартные, принятые в океанологии методы определения содержания растворенного кислорода, рН, кремния, силикатов, фосфатов, нитратов и нитритов.

Основные результаты экспедиции

1. Продолжены наблюдения особенностей адвекции трансформированных морских вод в Таганрогский залив. Судовые наблюдения 2019 г. подтвердили сделанные ранее выводы, что в условиях сильных нагонов при юго-западных ветрах трансформированная черноморская вода достигает восточной части Таганрогского залива и проникает в дельту Дона. Наблюдается перестройка в пресноводной экосистеме дельты в сторону доминирования солоноводных комплексов пелагических и бентических сообществ. Во время нагонных явлений с ростом концентрации взвеси в воде отмечен рост концентраций растворенных форм металлов (особенно выражено для свинца и меди в поверхностном горизонте; свинца, кадмия и меди - в придонном горизонте). Полученные данные свидетельствуют о значительной роли нагонных явлений в поступлении взвешенных веществ и тяжелых металлов в дельту Дона со стороны Таганрогского залива, особенно в условиях сокращения жидкого и твердого речного стока.

2. Выполнено изучение кислородного режима Нижнего Дона. Наибольшие значения концентрации растворенного кислорода в водах Нижнего Дона наблюдались в апреле в период весеннего половодья. В июле фиксировались признаки гипоксии на Нижнем Дону. Так у ст. Романовской (нижний бьеф Цимлянского г/у) концентрация растворенного кислорода составила всего 2,49 мг/л, увеличиваясь к устью (Ростов н/Дону, Азов) до 5-6 мг/л, что может быть связано с поглощением кислорода на окисление органического вещества, поступающего из Цимлянского водохранилища в этот период.

3. Установлено влияние подготовительных работ на участке строительства Багаевского гидроузла на содержание общей взвеси. Так в сентябре-октябре 2019 г. величина скачка содержания общей взвеси между станциями пгт. Багаевский и х. Арпачин составила 8-13 раз. Шлейф влияния такого резкого скачка, наблюдается и на станциях, расположенных ниже по течению реки Дон. Так, в устье на участке г. Ростов-на-Дону - г. Азов содержание общей взвеси достигало 68-69 мг/л.

4. В межгодовой динамике отмечено увеличение содержания общей взвеси в период весеннего половодья (в 1,5-2 раза) для многоводного 2018 г. в сравнении с маловодными 2016 и 2019 гг. Содержание общей взвеси для маловодных 2016 и 2019 гг. изменялось от 10,3-11,9 г на участке нижнего бьефа Кочетовского г/у, до 20,2-40,9 мг/л для участка Азов (водозабор) - г. Ростов-на-Дону. Для многоводного 2018 г. содержание общей взвеси изменялось от 23,6 на участке нижнего бьефа Кочетовского г/у до 46 мг/л в Азове.

5. Проведен мониторинг состояния экосистемы р. Дон и восточной части Таганрогского залива в различные сезоны года результатом которого являются следующие новые данные:

- Массив данных по температуре и солёности в диапазоне глубин от поверхности до дна на станциях;
- Массив гидрохимических данных для комплексной характеристики биогеохимического режима Нижнего Дона и Таганрогского залива;
- Данные о количественном распределении фитопланктона, микрзоопланктона, зоопланктона, бентоса.
- Массив данных о пространственном распределении температуры и солёности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящий сборник подготовлен по материалам экспедиционных исследований на научно-исследовательских судах организаций, подведомственных Минобрнауки РФ, в рамках государственного задания №0149-2019-0016 коллективом Центра ЕСИМО НКОЦ РАН. В сборнике содержится информация 34-х научных экспедиций, проведенных в 2019 г. в арктических, дальневосточных, в Балтийском, Черном и Азовском морях, а также в отдельных районах Мирового океана, представляющих особый научный интерес и важных для Российской Федерации в стратегическом плане.

Наряду с этим в рамках государственного задания №0149-2019-0016 после обработки полученных отчетов о проведенных в 2019 году экспедициях, на поставщике данных ЕСИМО НКОЦ РАН

- обновлен и пополнен экземплярами информационный ресурс «Каталог экспедиционных данных», содержащий метаданные и отчеты о проведенных экспедициях;
- создан информационный ресурс «Данные наблюдений и измерений на судах Минобрнауки России. Формы ФОДЭН 2019», содержащий информацию о первичных данных измерений в таблицах - формах описания данных экспедиционных наблюдений.

Литература

- Баширова Л.Д., 2020. Предварительный отчет о выполнении морских научных исследований в 2019 году в экспедиции НИС «Академик Борис Петров», №44, Восточная тропическая Атлантика (09.10.19 – 24.10.19),
http://esimo.ru/restserver/services/resources/RU_SCOC_77/file?name=1605305058369_report-ao-ioran-UIMS-44-2019.pdf
- Бердников С.В., 2020. Предварительный отчет о выполнении морских научных исследований в 2019 году в экспедиции НИС «Денеб», Азовское море, Черное море, (14.02.2019 – 21.10.2019 г.),
http://esimo.ru/restserver/services/resources/RU_SCOC_77/file?name=1605356272826_report-yunc-ran-deneb-2019.pdf
- Бердников С.В., 2020. Предварительный отчет о выполнении морских научных исследований в 2019 году в экспедиции НИС «Профессор Панов», Таганрогский залив Азовского моря, Нижний Дон, (06.04.2019 – 14.11.2019 г.),
http://esimo.ru/restserver/services/resources/RU_SCOC_77/file?name=1605356936920_report-yunc-ran-panov-2019.pdf
- Босин А.А., 2020. Предварительный отчет о выполнении морских научных исследований в 2019 году в экспедиции НИС «Академик М.А.Лаврентьев», рейс №87 в Японском и Охотском морях (05 сентября – 17 октября 2019 г.),
http://esimo.ru/restserver/services/resources/RU_SCOC_77/file?name=1605299593652_report-toi-dvo-ran-UBWR-87-2019.pdf
- Бурдиян Н.В., 2019. Предварительный отчет о выполнении морских научных исследований в 2019 году в экспедиции НИС «Профессор Водяницкий», 106 рейс, Черное и Азовское моря, (18 апреля 2019 г. – 13 мая 2019 г.),
http://esimo.ru/restserver/services/resources/RU_SCOC_77/file?name=1605357896406_report-mgi-ran-ubco4-106-2019.pdf
- Бурдиян Н.В., 2019. Предварительный отчет о выполнении морских научных исследований в 2019 году в экспедиции НИС «Профессор Водяницкий», 108 рейс, Черное и Азовское моря, (11 июля 2019 г. – 5 августа 2019 г.),
http://esimo.ru/restserver/services/resources/RU_SCOC_77/file?name=1605358256111_report-mgi-ran-ubco4-108-2019.pdf
- Бурдиян Н.В., 2019. Предварительный отчет о выполнении морских научных исследований в 2019 году в экспедиции НИС «Профессор Водяницкий», 110 рейс, Черное и Азовское моря, (4 октября 2019 г. – 23 октября 2019 г.),
http://esimo.ru/restserver/services/resources/RU_SCOC_77/file?name=1605358529041_report-mgi-ran-ubco4-110-2019.pdf
- Бурдиян Н.В., 2019. Предварительный отчет о выполнении морских научных исследований в 2019 году в экспедиции НИС «Профессор Водяницкий», 111 рейс, Черное и Азовское моря, (06 декабря – 31 декабря 2019 г.),
http://esimo.ru/restserver/services/resources/RU_SCOC_77/file?name=1605358758347_report-mgi-ran-ubco4-111-2019.pdf
- Валитов М.Г., 2020. Предварительный отчет о выполнении морских научных исследований в 2019 году в экспедиции НИС «Академик М.А.Лаврентьев», рейс 85, Японское море – Татарский пролив (18 мая – 24 июня 2019 г.),
http://esimo.ru/restserver/services/resources/RU_SCOC_77/file?name=1605297989971_report-toi-dvo-ran-UBWR-85-2019.pdf
- Гладышев С.В., 2020. Предварительный отчет о выполнении морских научных исследований в 2019 году в экспедиции НИС «Академик Мстислав Келдыш», 77 рейс, Северная Атлантика (07 августа - 15 сентября 2019 г.),
http://esimo.ru/restserver/services/resources/RU_SCOC_77/file?name=1605301733486_report-io-ran-UFJI-77-2019.pdf

- Даутова Т.Н., 2020. Предварительный отчет о выполнении морских научных исследований в 2019 году в экспедиции НИС «Академик М.А.Лаврентьев», №86, Императорский хребет (Северо-западная часть Тихого океана) (02 июля – 23 августа 2019), http://esimo.ru/restserver/services/resources/RU_SCOC_77/file?name=1605298325179_report-nncmb-dvo-ran-UBWR-86-2019.pdf
- Дерябин А.А., 2019. Предварительный отчет о выполнении морских научных исследований в 2019 году в экспедиции НИС «Дальние Зеленцы», номер рейса: б/н, Баренцево море, 2-21 апреля 2019 г., http://esimo.ru/restserver/services/resources/RU_SCOC_77/file?name=1605353658222_report-mmbi-knc-ran-UHZN-02-21-04-2019.pdf
- Дерябин А.А., 2019. Предварительный отчет о выполнении морских научных исследований в 2019 году в экспедиции НИС «Дальние Зеленцы», номер рейса: б/н, Баренцево и Карское моря, 23 октября – 11 ноября, 20-27 ноября 2019 г., http://esimo.ru/restserver/services/resources/RU_SCOC_77/file?name=1605355315750_report-mmbi-knc-ran-UHZN-09-23-11-2019.pdf
- Дерябин А.А., 2019. Предварительный отчет о выполнении морских научных исследований в 2019 году в экспедиции НИС «Дальние Зеленцы», номер рейса: б/н, Баренцево и Гренландское моря, 12 – 19 ноября 2019 г., http://esimo.ru/restserver/services/resources/RU_SCOC_77/file?name=1605355683036_report-mmbi-knc-ran-UHZN-23-10-27-11-2019.pdf
- Дорохов Д.В., 2020. Предварительный отчет о выполнении морских научных исследований в 2019 году в экспедиции НИС «Академик Борис Петров», 42 рейс, Юго-Восточная Балтика (17 – 27 августа 2019 г.), http://esimo.ru/restserver/services/resources/RU_SCOC_77/file?name=1605304368642_report-ao-ioran-UIMS-42-2019.pdf
- Дорохов Д.В., 2020. Предварительный отчет о выполнении морских научных исследований в 2019 году в экспедиции НИС «Академик Борис Петров», 46-й рейс, южная часть Балтийского моря (02 – 18 декабря 2019 г.), http://esimo.ru/restserver/services/resources/RU_SCOC_77/file?name=1605305761965_report-ao-ioran-UIMS-46-2019.pdf
- Дорохова Е.В., 2020. Предварительный отчет о выполнении морских научных исследований в 2019 году в экспедиции НИС «Академик Борис Петров», 43 рейс, Юго-Восточная Балтика (21 сентября – 09 октября 2019 г.), http://esimo.ru/restserver/services/resources/RU_SCOC_77/file?name=1605304591743_report-ao-ioran-UIMS-43-2019.pdf
- Зацепин А.Г., 2020. Краткий отчет о выполнении комплексной прибрежно-морской научной экспедиции «Черное море» в марте-декабре 2019 г. на МНИС «Ашамба», прибрежная зона российского сектора Черного моря. http://esimo.ru/restserver/services/resources/RU_SCOC_77/file?name=1605357574422_report-ioran-MNIS-Ashamba-03-12-2019.pdf
- Иванова Е.В., 2020. Предварительный отчет о выполнении морских научных исследований в 2019 году в экспедиции НИС «Академик Борис Петров», 45 рейс, Центральная Атлантика (25.10 – 01.12.2019 г.), http://esimo.ru/restserver/services/resources/RU_SCOC_77/file?name=1605305448372_report-ioran-UIMS-45-2019.pdf
- Клювиткин А.А., 2020. Предварительный отчет о выполнении морских научных исследований в 2019 году в экспедиции НИС «Академик Мстислав Келдыш», 75-й рейс, Норвежское море, Гренландское море, Баренцево море (27 мая - 30 июня 2019 г.) http://esimo.ru/restserver/services/resources/RU_SCOC_77/file?name=1605300930403_report-io-ran-UFJI-75-2019.pdf
- Крек А.В., 2020. Предварительный отчет о выполнении морских научных исследований в 2019 году в экспедиции НИС «Академик Борис Петров», 45 рейс, Российский сектор

- Юго-Восточной Балтики (13-22.07.2019), http://esimo.ru/restserver/services/resources/RU_SCOC_77/file?name=1607255143576_report-ao-io-ran-UDVX-45-2019.pdf
- Крек А.В., 2020. Предварительный отчет о выполнении морских научных исследований в 2019 году в экспедиции НИС «Академик Николай Страхов», 39 рейс, Российский сектор юго-восточной части Балтийского моря, российский сектор Финского залива (11-20.05.2019),
http://esimo.ru/restserver/services/resources/RU_SCOC_77/file?name=1605303088132_report-ao-ioran-UIMS-39-2019.pdf
- Лысенко В.Н., 2020. Предварительный отчет о выполнении морских научных исследований в 2019 году в экспедиции НИС «Владимир Касьянов» в заливе Посьета 17.05-17.06.2019,
http://esimo.ru/restserver/services/resources/RU_SCOC_77/file?name=1605352811123_report-nncmb-dvo-ran-vlad-kasyan-2019.pdf
- Мещеряков Н.И., 2019. Предварительный отчет о выполнении морских научных исследований в 2019 году в экспедиции НИС «Дальние Зеленцы», номер рейса: б/н, Баренцево море, 18 июня – 07 июля 2019 г.,
http://esimo.ru/restserver/services/resources/RU_SCOC_77/file?name=1605354957519_report-mmbi-knc-ran-UHZN-18-06-07-07-2019.pdf
- Морозов Е.Г., 2020. Предварительный отчет о выполнении морских научных исследований в 2019-2020 году в экспедиции НИС «Академик Мстислав Келдыш», номер рейса 79, район работ пролив Дрейка, пролив Брансфилда, море Уэддела (1 декабря 2019 г. – 8 мая 2020 г.),
http://esimo.ru/restserver/services/resources/RU_SCOC_77/file?name=1605302311721_report-io-ran-UFJI-79-2019-2020.pdf
- Никифоров С.Л., 2020. Предварительный отчет о выполнении морских научных исследований в 2019 году в экспедиции 41-го рейса НИС «Академик Николай Страхов», Баренцево море, (25 июня-9 августа 2019 г.),
http://esimo.ru/restserver/services/resources/RU_SCOC_77/file?name=1605303990748_report-ioran-UIMS-41-2019.pdf
- Семилетов И.П., 2019. Предварительный отчет о выполнении морских научных исследований в 2019 году в экспедиции НИС «Академик Мстислав Келдыш», 78 рейс, моря Восточно-Сибирское, Лаптевых, Карское, (17.09.2019 – 01.11.2019),
http://esimo.ru/restserver/services/resources/RU_SCOC_77/file?name=1607076027040_report-toi-dvo-ran-UFJI-78-2019.pdf
- Сергеев А.Ф., 2019. Предварительный отчет о выполнении морских научных исследований в 2019 году в экспедиции НИС «Академик Опарин», рейс №57, Японское море, (2-21 октября),
http://esimo.ru/restserver/services/resources/RU_SCOC_77/file?name=1605351723688_report-toi-dvo-ran-UFPD-57-2019.pdf
- Сергеев А.Ф., 2019. Предварительный отчет о выполнении морских научных исследований в 2019 году в экспедиции НИС «Академик Опарин», рейс №58, Японское море, (24 октября – 24 ноября),
http://esimo.ru/restserver/services/resources/RU_SCOC_77/file?name=1605352094933_report-toi-dvo-ran-UFPD-58-2019.pdf
- Сивков В.В., 2020. Предварительный отчет о выполнении морских научных исследований в 2019 году в экспедиции НИС «Академик Сергей Вавилов», №49, Балтийское море, (29.08.19 – 07.09.19),
http://esimo.ru/restserver/services/resources/RU_SCOC_77/file?name=1605352432972_report-ao-ioran-UAUO-49-2019.pdf
- Солдатов А.С., 2020. Предварительный отчет о выполнении морских научных исследований в 2019 году в экспедиции НИС «Академик Николай Страхов», 40-ой рейс, Баренцево море, (30 мая – 24 июня 2019 г.),

http://esimo.ru/restserver/services/resources/RU_SCOC_77/file?name=1605303644928_report-ibraen-ran-UIMS-40-2019.pdf

Флинт М.В., 2020. Предварительный отчет о выполнении морских научных исследований в 2019 году в экспедиции 76 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в Карское море (03 июля - 05 августа 2019 г.),

http://esimo.ru/restserver/services/resources/RU_SCOC_77/file?name=1605300978394_report-io-ran-UFJI-76-2019.pdf

Шакиров Р.Б., 2020. Предварительный отчет о выполнении морских научных исследований в 2019 году в экспедиции НИС «Академик М.А.Лаврентьев», рейс 88, Территориальные воды Вьетнама Южно-Китайского моря (25 октября – 08 декабря 2019 г.),

http://esimo.ru/restserver/services/resources/RU_SCOC_77/file?name=1605300278556_report-toi-dvo-ran-UBWR-88-2019.pdf

Юрченко А.Н., 2020. Предварительный отчет о выполнении морских научных исследований в 2019 году в экспедиции НИС «Академик Опарин», №56 в Охотском море и северо-западной части Тихого океана, (23 июня–07 июля и 25 июля–26 августа 2019 г.),

http://esimo.ru/restserver/services/resources/RU_SCOC_77/file?name=1605351386974_report-tiboh-dvo-ran-UFPD-56-2019.pdf

Marine expedition research on R/V of the Ministry of Science and
Higher Education of the Russian Federation in 2019
Managing Editor of issue: S.M. Shapovalov

P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences (IO RAS)
36, Nakhimovskiy Prospekt, Moscow, 117997, Russia
Tel. +7 (495) 719-0035, e-mail: esimo@ocean.ru

Редактор-корректор: **Ю.В. Воробьева** Editor-proofreader: **Yu.V. Vorobyeva**

Фото на обложке: коллаж фотографии
Cover photo: collage of R/V photo

Регистрация РИНЦ, CrossRef: **И.А. Уманская, Ю.В. Новиков**
eLibrary and CrossRef registration: **I.A. Umanskaya, Yu.V. Novikov**

Техподдержка онлайн версии: **А.В. Муратов**
Online support: **A.V. Muratov**
Online version: <https://www.ocean.ru/index.php>

Сдано в набор **28.10.2020** г. Подписано к печати **28.11.2020** г. Формат бумаги 60х84/8
Усл. печ. л. 22 Тираж 5 экз. Зак. № 150844 от 04.12.2020

Отпечатано в типографии: ООО «А3Плюс», info@a3plus.net
117292, Москва г, ул. Ивана Бабушкина, дом № 23, корп.3