

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ТИХООКЕАНСКИЙ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. В.И. ИЛЬЧЕВА
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Материалы
XI Всероссийской конференции
молодых учёных
с международным участием

Наука. Океан. Инновации. Открытия



**ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ**



Владивосток
26-30 мая 2025

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ТИХООКЕАНСКИЙ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ИМ. В.И. ИЛЬЧЕВА
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**V.I. IL'ICHEV PACIFIC OCEANOLOGICAL INSTITUTE
FAR EASTERN BRANCH
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCE**

**ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
XI Всероссийская конференция молодых ученых**

с международным участием

26 - 30 мая 2025 г.
г. Владивосток, Россия

Материалы конференции

**OCEANOLOGICAL RESEARCH
XI All-Russian Conference of Young Scientists with International
Participation**

May 26 – 30, 2025, Vladivostok, Russia

Collection of papers

**Владивосток
ТОИ ДВО РАН 2025**

УДК 551.46.+551.585.1+577.1+551.35+550.4 (265)

Океанологические исследования: материалы XI Всероссийской конференции молодых ученых с международным участием, 26 – 30 мая 2025 г., Владивосток, Россия. – Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2025. – 159 с.

ISBN: 978-5-6052787-5-7

DOI: 10.62994/b7314-9428-9558-w

В сборнике представлены материалы конференции по результатам исследований молодых ученых и специалистов РАН и отраслевых институтов, аспирантов и студентов российских и зарубежных ВУЗов. Рассматривается широкий круг вопросов океанологии, геофизики, геохимии, экологии и биоресурсов морей Мирового океана, включая современные информационные технологии, численные методы и технические средства исследования океана.

Сборник рассчитан на широкий круг специалистов в области наук о Земле.

Oceanological Research: Proceedings of the XI All-Russian Conference of Young Scientists with International Participation, May 26–30, 2025, Vladivostok, Russia. – Vladivostok: POI FEB RAS, 2025. – 159 p.

ISBN: 978-5-6052787-5-7

DOI: 10.62994/b7314-9428-9558-w

The collection presents conference materials based on research by young scientists and specialists from the Russian Academy of Sciences and industry institutes, as well as postgraduate students and undergraduates from Russian and foreign universities. It covers a wide range of topics in oceanography, geophysics, geochemistry, ecology, and marine bioresources of the World Ocean, including modern information technologies, numerical methods, and technical means of ocean research.

The collection of papers is addressed to a wide range of specialists in the field of Earth sciences.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель научного комитета

директор ТОИ ДВО РАН

д.ф.-м.н., Макаров Денис Владимирович

Состав научного комитета

Зам. директора ТОИ ДВО РАН

к.г.н. Василенко Юрий Павлович

Зам. директора ТОИ ДВО РАН

к.г.-м.н. Чаркин Александр Николаевич

Учёный секретарь

к.г.н. Клещёва Татьяна Игоревна

Председатель оргкомитета

к.ф.-м.н. Липинская Надежда Александровна, ТОИ ДВО РАН

Состав оргкомитета

ТОИ ДВО РАН:

Баранюк Анастасия Вячеславовна

Лукьянова Наталья Борисовна

к.г.-м.н. Обрезкова Мария Сергеевна.

Сорокин Михаил Андреевич

Удалов Александр Алексеевич

Чичкин Максим Русланович

Шамбарова Юлиана Вениаминовна

Горбов Максим Иванович

Шмыков Никита Васильевич

члены Совета молодых ученых

Председатели секций

к.ф.-м.н. Буланов Алексей Владимирович, ТОИ ДВО РАН
к.г.н. Василенко Юрий Павлович, ТОИ ДВО РАН
к.б.н. Еськова Алёна Игоревна, ТОИ ДВО РАН
Легкодимов Алексей Александрович, ТОИ ДВО РАН
к.ф.-м.н. Липинская Надежда Александровна, ТОИ ДВО РАН
к.б.н. Масленников Сергей Иванович, ННЦМБ ДВО РАН
к.г.-м.н. Обрезкова Мария Сергеевна, ТОИ ДВО РАН
к.г.н. Пичугин Михаил Константинович, ТОИ ДВО РАН
к.ф.-м.н. Салюк Павел Анатольевич, ТОИ ДВО РАН
к.б.н. Слободскова Валентина Владимировна, ТОИ ДВО РАН
Сорокин Михаил Андреевич, ТОИ ДВО РАН
к.г.н. Сумкина Александра Андреевна, ВНИРО
к.г.-м.н. Сырбу Надежда Сергеевна, ТОИ ДВО РАН
PhD/к.ф.-м.н. Файман Павел Аркадьевич, ТОИ ДВО РАН
д.ф.-м.н. Чупин Владимир Александрович, ТОИ ДВО РАН
Якимов Тимур Сергеевич, ТОИ ДВО РАН

Пленарная сессия

Dr. Zou Jianjun, First Institute of Oceanography, MNR (China)
к.г.н. Каплуненко Дмитрий Дмитриевич, ТОИ ДВО РАН
к.б.н. Масленников Сергей Иванович, ННЦМБ ДВО РАН
д.ф.-м.н. Митник Леонид Моисеевич, ТОИ ДВО РАН
к.ф.-м.н. Салюк Павел Анатольевич, ТОИ ДВО РАН
к.б.н. Слободскова Валентина Владимировна, ТОИ ДВО РАН
PhD/к.ф.-м.н. Файман Павел Аркадьевич, ТОИ ДВО РАН

Ведущие круглого стола

ТОИ ДВО РАН

к.ф.-м.н. Буланов Алексей Владимирович
Гаревских Георгий Павлович
к.г.н. Каплуненко Дмитрий Дмитриевич
к.г.н. Пичугин Михаил Константинович
к.ф.-м.н., Салюк Павел Анатольевич
PhD/к.ф.-м.н. Файман Павел Аркадьевич

Материалы конференции публикуются в авторской редакции

Составитель:

к.ф.-м.н. Липинская Надежда Александровна

Содержание

<i>Dong Jiang, Shi Xuefa, Dai Haijin, Lu Zhengyao, Liu Xiting, Astakhov Anatolii S., Hu Limin, Yang Gang, Vasilenko Yuri, Bosin Alexander, Gao Jingjing, Liu Yanguang, Zou Jianjun, Yao Zhengquan, Li Anchun</i> ARCTIC SEA ICE LOSS WARMED THE TEMPERATE EAST ASIAN WINTER IN THE MID-HOLOCENE	12
<i>Dong Zhi, Shi Xuefa, Zou Jianjun, Wang Shizhu, Ge Chendong, Liu Yanguang, Wu Yonghua, Dou Ruxi, Zou Xinqing</i> GLOBAL SEA LEVEL CONTROLLED THE DEEP LOW-SALINITY POOL EVOLUTION IN THE JAPAN SEA SINCE THE LAST GLACIAL PERIOD	13
<i>Feng H., Yao Z., Shi X., Zhang Z., Lu H., Zhang H., Liu Y., Shan X., Dong J., Dong L., Yang G., Hu L., Vasilenko Y., Astakhov A., Bosin A.</i> ARCTIC ZIRCON U-PB AGES REVEAL MULTIPHASE GLACIATIONS IN EAST SIBERIA DURING THE LATE QUATERNARY 14	
<i>Fan Lei, Wang Guozhi, Holzheid Astrid, Zoheir Basem, Shi Xuefa, Li Chuanshun, Frische Matthias</i> FLUID EVOLUTION RECORDED IN TRACE ELEMENT VARIATIONS OF PYRITES FROM THE XUNMEI HYDROTHERMAL FIELD, MID-ATLANTIC RIDGE.....	15
<i>Xuguang Feng, Jianjun Zou, Xuefa Shi, Zhengquan Yao, Zhi Dong, Jiang Dong, Yonghua Wu, Ruxi Dou, Hualong Jin, Aimei Zhu, Xiaojing Wang, Qingchao Wang, Lingfeng Luo, Sergey A. Gorbarenko, Yuriy P. Vasilenko, Aleksandr A. Bosin</i> ABRUPT ENHANCED PACIFIC WARM WATER INTRUSION INTO THE SEA OF OKHOTSK SINCE THE EARLY HOLOCENE ..	16
<i>Zou Jianjun, Shi Xuefa, Dong Zhi, Feng Xuguang, Dou Ruxi, Wang Qingchao, Vasilenko Yuriy</i> ENVIRONMENTAL CHANGES IN THE NORTHWESTERN PACIFIC DURING THE LATE QUATERNARY	17
<i>Алаторцев А.В., Аксентов К.И., Ким Д.В., Яроцук Е.И.</i> ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ АМУРСКОГО ЗАЛИВА (ЯПОНСКОЕ МОРЕ) ЗА ПОСЛЕДНИЕ 100 ЛЕТ	18
<i>Анисимова Е.В., Лавинен Н.А., Шахматова А.Е., Тарасенко А.Д.</i> ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОЛОЖЕНИЯ ОСНОВНЫХ ФРОНТОВ В ИНДИЙСКОМ СЕКТОРЕ ЮЖНОГО ОКЕАНА ПО ПОВЕРХНОСТНОМУ РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ	20
<i>Атаев Я, Палязова Я.З., Гурбанова О.Я.</i> ТУРКМЕНСКОЕ ОЗЕРО, СОЗДАННОЕ В ПУСТЫНЕ КАРАКУМЫ	22
<i>Антонов В.А., Долгих С.Г.</i> КОЭФФИЦИЕНТ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРИДОННОГО ДАВЛЕНИЯ В МИКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ	24
<i>Баженов И.И., Василенко Ю.П., Горбаренко С.А.</i> АНАЛИЗ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БЕРИНГОВА МОРЯ В ПОЗДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ-ГОЛОЦЕНЕ (НА ОСНОВЕ IRD)	25
<i>Байгубеков К.Р., Семкин П.Ю., Барабаничиков Ю.А.</i> ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ДИНАМИКА ВОД В ПЕНЖИНСКОЙ ГУБЕ И ЗАЛИВЕ ШЕЛИХОВА В ЛЕТНИЙ СЕЗОН	26
<i>Баранюк А.В., Пичугин М.К., Гурвич И.А., Кулешов В.П., Хазанова Е.С.</i> СПУТНИКОВОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАМЕРЗАЮЩИХ ОСАДКОВ НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ	28

<i>Бернадо А.В., Белоненко Т.В., Будянский М.В.</i> КРАТКОСРОЧНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОКЕАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ АТМОСФЕРНОГО ЦИКЛОНА ВДОЛЬ КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ	30
<i>Булавинова В.И., Белоненко Т.В., Будянский М.В.</i> ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ КВАЗИСТАЦИОНАРНОГО ИТУРУПСКОГО АНТИЦИКЛОНА (КУРИЛЬСКАЯ КОТЛОВИНА).....	31
<i>Боровкова К.А., Мошаров С.А., Малышева А.С.</i> ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИТОПЛАНКТОНА В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКЕ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫМ МЕТОДОМ.....	33
<i>Буртнык Д.Д., Якимов Т.С., Чернов Д.Д., Вороных В.О.</i> АУТИГЕННАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЁРНОГО МОРЯ (РЕЙС №125 НИС "ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ")	35
<i>Васильева Е.А., Васильев П. А.</i> ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ ДАННЫХ РЕАНАЛИЗА И ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ	36
<i>Вороных В.О., Якимов Т.С., Калгин В.Ю., Чернов Д.Д., Буртнык Д.Д.</i> МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АУТИГЕННОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ЮЖНО - КИТАЙСКОГО МОРЯ.....	37
<i>Валитова А.М., Пушкин П.А.</i> ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАУЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ	38
<i>Георгиевская А.В., Белоненко Т.В., Будянский М.В.</i> СУЩЕСТВУЕТ ЛИ КРОСС-ФРОНТАЛЬНЫЙ ПЕРЕНОС ЧЕРЕЗ СТРУЮ КУРОСИО В ВОСТОЧНО-КИТАЙСКОЕ МОРЕ?	40
<i>Гаревских Г.П., Липинская Н.А.</i> МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ОКЕАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....	41
<i>Горбарев А.А.</i> ИКАИТ В ГОЛОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ МОРЕЙ ВОСТОЧНОЙ АРКТИКИ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	42
<i>Горбов М.И., Салюк П.А., Липинская Н.А.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ОСЛАБЛЕНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИ-АКТИВНОЙ РАДИАЦИИ В АМУРСКОМ ЗАЛИВЕ В СИСТЕМЕ "ВОДНАЯ ТОЛЩА- МОРСКОЙ ЛЕД" С ПОМОЩЬЮ ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И ГИДРООПТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ	44
<i>Гребенкин П.В., Орлова Т.Ю.</i> ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА ФИТОПЛАНКТОНА АМУРСКОГО ЗАЛИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УМАР	45
<i>Двоеглазова Н.В., Чубаренко Б.В., Иванов Ю.В.</i> СЕЗОННАЯ МИГРАЦИЯ УСТЬЕВОЙ ЗОНЫ СМЕЩЕНИЯ Р. ПРЕГОЛИ И ЕЁ СВЯЗЬ С ПЕРЕКРЫТИЯМИ ВОДОЗАБОРОВ Г. КАЛИНИНГРАДА (ПО ДАННЫМ 2024 Г.)	46
<i>Долгих Г.И., Будрин С.С., Долгих С.Г., Болсуновский М.А., Иванов М.П.</i> СОЗДАНИЕ ПЛАНЕТАРНОЙ ЛАЗЕРНО-ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ.....	48
<i>Демченко А.Ю., Будянский М.В., Башмачников И.Л., Удалов А.А.</i> ЛАГРАНЖЕВ ПОДХОД В ИССЛЕДОВАНИИ РЕЦИРКУЛИРУЮЩИХ АТЛАНТИЧЕСКИХ ВОД В ПРОЛИВЕ ФРАМА	49
<i>Диденко В.В.</i> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ ИЗ ГЛУБОКОГО МОРЯ НА ШЕЛЬФ	50

<i>Дидов А.А., Будянский М.В., Улейский М.Ю., Файман П.А.</i> 2/3D ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СУБ- И МЕЗОМАСШТАБНЫХ ПРОЦЕССОВ В ОКЕАНЕ СРЕДСТВАМИ GMT	51
<i>Доманюк А.В., Саломатин А.С., Шахова Н.Е., Семилетов И.П., Черных Д.В.</i> РАЗЛИЧИЯ МЕЛКОВОДНЫХ ОБЛАСТЕЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ РАЗГРУЗКИ МЕТАНА, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ В КАРСКОМ МОРЕ, МОРЕ ЛАПТЕВЫХ И ВОСТОЧНО-СИБИРСКОМ МОРЕ	52
<i>Доронин Д.О., Ноговицын Д.Д., Доронина А.В.</i> МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ИСКОПАЕМЫХ ОСТАТКОВ МАМОНТОВОГО ФАУНИСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА ШЕЛЬФОВЫХ РОССЫПЯХ	53
<i>Еськова А.И., Рыжманова Я.В., Трубицын В.Э., Полоник Н.С., Пономарева А.Л., Щербакова В.А.</i> <i>DESULFOSPOROSINUS SHAKIROVI</i> SP. NOV., НОВАЯ СУЛЬФАТВОСТАНАВЛИВАЮЩАЯ БАКТЕРИЯ, СПОСОБНАЯ К БИОДЕГРАДАЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ НЕФТИ.....	54
<i>Зарипова К.М., Тихонова Е.А.</i> ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮЖНЫХ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ П-ВА КАМЧАТКА	55
<i>Иванов М.П., Долгих С.Г.</i> ДИНАМИКА МИКРОСЕЙСМ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ТАЙФУНОВ.....	56
<i>Ильин В.И., Архипкин В.С., Медведев И.П.</i> СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРИЛИВНЫХ ГАРМОНИК В ЯПОНСКОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И МОДЕЛИРОВАНИЯ	57
<i>Казакова У.А., Полухин А.А.</i> СООТНОШЕНИЕ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ КАРСКОГО МОРЯ.....	59
<i>Калюжный Д.С., Соколов Д.Д., Горячев В.А.</i> CS-137 В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА ЛЕТОМ 2024 ГОДА	61
<i>Канталин В.А., Телегин Ю.А.</i> ПРОБЛЕМА МЕТЕОТРОПНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА	62
<i>Курносов Д.С., Колобухова М.Д.</i> НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЗАПРОРЫ <i>ZAPRORA SILENUS</i> В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА	64
<i>Кортаева Н.Н.</i> МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИБРЕЖНЫХ ОЗЁР КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ	66
<i>Костык В.А., Вихренко С.В., Лисина И.А.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОГРАФИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАЛОГО ВОДОСБОРНОГО БАСЕЙНА С ПОМОЩЬЮ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ИЗВИЛИНКА, ПРИМОРСКИЙ КРАЙ)	68
<i>Красиков В. А., Чаркин А. Н., Леусов А.Э.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ РАДИЯ ДЛЯ ТРАССИРОВАНИЯ РАЗГРУЗКИ СУБМАРИННЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И АПВЕЛЛИНГА В ЗАЛИВЕ ПОСЬЕТА ОСЕНЬЮ 2024 ГОДА	70
<i>Кременчуцкий Д.А., Дымова О.А., Гуров К.И., Евстигнеева Н.А., Гурова Ю.С.</i> ВКЛАД ОСЕДАЮЩЕГО ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА В ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ БЕРИЛЛИЯ-7	72

<i>Кузьмина В.А., Артемова А.В., Лю Я.</i> ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ БЕРИНГОВА МОРЯ ПРИ ПЕРЕХОДЕ ОТ ПЛЕЙСТОЦЕНА К ГОЛОЦЕНУ НА ОСНОВЕ ДИАТОМОВОГО АНАЛИЗА	73
<i>Кулагина К. С., Чижова Т. Л., Кудряшова Ю. В., Исакова Д. А., Патрушев М. Г.</i> ОЦЕНКА УРОВНЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИМИ АРОМАТИЧЕСКИМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО (ЯПОНСКОЕ МОРЕ).....	75
<i>Кулешова Л.А., Баширова Л.Д., Овсепян Е.А.</i> ГЛУБОКОВОДНЫЕ БЕНТОСНЫЕ ФОРАМИНИФЕРЫ И ТРОХ-МОДЕЛЬ: КРИТИЧЕСКИЙ ВЗГЛЯД НА ПРИМЕРЕ ДАННЫХ С ЗАПАДНОГО СКЛОНА ВОЗВЫШЕННОСТИ РИУ-ГРАНДИ (ЮГО-ЗАПАДНАЯ АТЛАНТИКА)	77
<i>Куликова Ж.М.</i> РАЙОНИРОВАНИЕ ТРОПИЧЕСКОЙ АТЛАНТИКИ ПО ГИДРОХИМИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ В АБИССАЛЬНЫХ ВОДАХ.....	79
<i>Корнейчук И.А., Чутьчекова Д.А.</i> ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕВЕРНОЙ (<i>PANDALUS EOUS</i> MAKAROV, 1935) И ГРЕБЕНЧАТОЙ (<i>PANDALUS HYP SINOTUS</i> BRANDT, 1851) КРЕВЕТОК СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ.....	80
<i>Лебедева М.А., Будянский М.В., Пранц С.В., Лобанов В.Б., Удалов А.А., Дидов А.А.</i> ЦИКЛОНИЧЕСКИЕ РИНГИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПЕРЕНОС ПОПЕРЕК СТРУИ ПРОДОЛЖЕНИЯ КУРОСИО – НАБЛЮДЕНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ	82
<i>Легкодимов А.А.</i> ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРОВИНЦИИ ВЬЕТНАМСКОГО ШЕЛЬФА В ЮЖНО-КИТАЙСКОМ МОРЕ	83
<i>Лисовицкий А.С., Чупин В.А., Московченко Л.Г.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ФРАКТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ МИКРОДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ.....	85
<i>Магаева А.А.</i> ЛЕДЯНЫЕ ТОРОСИСТЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ АЗОВСКОГО И КАСПИЙСКОГО МОРЕЙ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА	87
<i>Марчук Е.А., Чечин Д.Г., Репина И.А., Артамонов А.Ю.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЗОМАСШТАБНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ЦИРКУЛЯЦИЙ ВО ВРЕМЯ МОРСКИХ ХОЛОДНЫХ ВТОРЖЕНИЙ В АРКТИКЕ ПО ДАННЫМ РЕЙСА НИС «АКАДЕМИК СТРАХОВ» В 2021 ГОДУ	88
<i>Малыгин Е.Ю., Курносова А.С.</i> ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА В ПРОМЕЖУТОЧНОМ СЛОЕ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА	89
<i>Малышева А.С., Кивва К.К.</i> ФЕНОЛОГИЯ ВЕСЕННЕГО «ЦВЕТЕНИЯ» ФИТОПЛАНКТОНА В БЕРИНГОВОМ МОРЕ В 1998-2023 ГГ.	91
<i>Медведев И.П., Ширьборова А.И.</i> ПРИЛИВНОЙ РЕЗОНАНС В ТАТАРСКОМ ПРОЛИВЕ	93
<i>Моисеева Ю.А., Пургина Д.В., Поливанова Т.К.</i> ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОД УСТЬЕВЫХ ОБЛАСТЕЙ РЕК СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЁРНОГО МОРЯ	95
<i>Мотора А. П., Зобов В. Ю.</i> ОСОБЕННОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ МАКРОБЕНТОСНЫХ СООБЩЕСТВ В ЗОНЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОЙ ЭКСПОЗИЦИИ АНТРОПОГЕННЫХ	

ЗАТОПЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ (НА ПРИМЕРЕ Б. ТРУДА, ОСТРОВ РУССКИЙ, ЯПОНСКОЕ МОРЕ).....	96
<i>Нежданова А.С., Обрезкова М.С.</i> КОЛИЧЕСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАТОМЕЙ В ГОЛОЦЕНОВЫХ ОСАДКАХ ЧУКОТСКОГО МОРЯ.....	98
<i>Никольникова А.М., Костык В.А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ ЗАПОЛНЕНИИ ПРОПУСКОВ В РЯДАХ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ И ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА	99
<i>Новоселова Е.В., Будянский М.В., Улейский М.Ю., Белоненко Т.В.</i> РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ ВИХРЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАГРАНЖЕВА ПОДХОДА (LEBDA).....	100
<i>Оберемок И.А., Гусева Н.В., Гершелис Е.В.</i> ВЛИЯНИЕ МЕТАНОВЫХ СИПОВ НА СОСТАВ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМЫ «ДОННЫЕ ОСАДКИ – ПОРОВАЯ ВОДА – ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО» НА ШЕЛЬФЕ МОРЕЙ ВОСТОЧНОЙ АРКТИКИ.....	101
<i>Овчинникова М.Р., Донец М.М., Боровкова А.Д., Столбова М.С., Беланов М.А., Карпенко И.В., Литвиненко А.В., Цыганков В.Ю.</i> СТОЙКИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА (СОЗ) В ГОРБУШЕ (<i>ONCORHYNCHUS GORBUSCHA</i>) ОХОТСКОГО МОРЯ.....	103
<i>Осинов И.Е.</i> НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ В ШИРОКОЙ ЧАСТОТНОЙ ПОЛОСЕ ИЗ ШЕЛЬФА НА КОНТИНЕНТАЛЬНЫЙ СКЛОН.....	105
<i>Паничева Е.Д., Глухов В.А., Гольдин Ю.А., Глитко О.В.</i> ЛИДАРНАЯ РЕГИСТРАЦИЯ СВЕТОРАССЕИВАЮЩИХ СЛОЕВ В ОХОТСКОМ МОРЕ.....	106
<i>Перцовская В.К., Белоненко Т.В., Будянский М.В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ В РАЙОНЕ ИМПЕРАТОРСКИХ ГОР	107
<i>Пилик Д.И., Медведев И.П., Цуканова Е.С.</i> ЦУНАМИ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ	109
<i>Поливанова Т.К., Новиков М.О., Гершелис Е.В., Якушев Е.В.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ БИОГЕОХИМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ВОДНОЙ ТОЛЩИ И ДОННЫХ ОСАДКОВ НА ШЕЛЬФЕ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ	111
<i>Пургина Д.В., Моисеева Ю.А., Поливанова Т.К., Гершелис Е.В.</i> ГЕОХИМИЯ ПОРОВЫХ ВОД ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ШЕЛЬФА КАРСКОГО МОРЯ	112
<i>Рубан А.С., Дударев О.В., Рудмин М.А.</i> МОРФОЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ АУТИГЕННОГО ПИРИТА МОРЯ ЛАПТЕВЫХ: ВЛИЯНИЕ РАЗГРУЗКИ МЕТАНСОДЕРЖАЩИХ ФЛЮИДОВ	113
<i>Сазонов А.Д., Московец А.Ю., Клещанков А.В.</i> РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА АЗОВСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 2024 ГОДА	115
<i>Сергеев В.А., Харченко Т.А.</i> ПЕТРОФИЗИКА МАГМАТИЧЕСКИХ (ИНТРУЗИВНЫХ) КОМПЛЕКСОВ ОСТРОВОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО	117
<i>Сергеева В.М., Лейченко Г.Л., Гусева Ю.Б.</i> ТЕКТОНИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ АНТАРКТИЧЕСКОГО СЕКТОРА ТИХОГО ОКЕАНА	119

<i>Сигеев И.А., Прошкина З.Н.</i> ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ ЮЖНОГО ЗАМЫКАНИЯ ЮЖНО-ТАТАРСКОГО БАССЕЙНА	120
<i>Соколов Д. Д., Калюжный Д. С., Горячев В. А.</i> СОДЕРЖАНИЕ ТРИТИЯ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА В 2024 ГОДУ	122
<i>Соколова Е.Н., Лобанова П.В., Семкин П.Ю.</i> ВНУТРИГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОТОКОВ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ (НА ПРИМЕРЕ ОСЕННЕГО И ВЕСЕННЕГО СЕЗОНОВ)	123
<i>Солонец И.С., Файман П.А.</i> ТРЕХМЕРНОЕ ЛАГРАНЖЕВО МОДЕЛИРОВАНИЕ АПВЕЛЛИНГА НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ ЯПОНСКОГО МОРЯ	125
<i>Сошникова В.А., Зеленина Д.А., Мюге Н.С.</i> АЗИАТСКИЙ КИЖУЧ: ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ВЕРОЯТНОЕ ПРОИСХОЖДЕНИЕ.....	126
<i>Столбова М.С., Донец М.М., Боровкова А.Д., Овчинникова М.Р., Беланов М.А., Карпенко И.В., Литвиненко А.В., Цыганков В.Ю.</i> ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИЕ АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ В ГОРБУШЕ (<i>ONCORHYNCHUS GORBUSCHA</i>) ОХОТСКОГО МОРЯ	128
<i>Сумкина А.А., Кивва К.К.</i> ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕПЛООБМЕНА В БАРЕНЦЕВОМ И БЕРИНГОВОМ МОРЯХ.....	130
<i>Травкина О.С., Баимачников И.Л.</i> ЭВОЛЮЦИЯ НЬЮФАУНДЛЕНДСКОГО ВИХРЯ В «ТРАНЗИТНОЙ ЗОНЕ» АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА	131
<i>Уголькова Е.А., Гершелис Е.В., Дударев О.В., Семилетов И.П.</i> ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ШЕЛЬФА СИБИРСКОЙ АРКТИКИ.....	133
<i>Удалов А.А., Лобанов В.Б., Ладыченко С.Ю., Будянский М.В., Пранц С.В., Салюк А.Н.</i> ПЕРЕПИСЬ И СВОЙСТВА МЕЗОМАСШТАБНЫХ ФРОНТАЛЬНЫХ ВИХРЕЙ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ В 1993-2022 ГГ.	135
<i>Хмель Д.С.</i> РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НОВЫХ ВИДОВ РАДИОЛЯРИЙ ИЗ РОДА <i>CARPOCIUM</i> В ОТЛОЖЕНИЯХ ЮЖНЫХ ГАЙОТОВ ИМПЕРАТОРСКОГО ХРЕБТА	136
<i>Холмогоров А.О., Сырбу Н.С., Лобанов В.Б., Жарков Р.В., Мальцева Е.В.</i> ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ МАКСИМУМОВ МЕТАНА, ГЕЛИЯ И ВОДОРОДА В ПРОЛИВЕ ЛАПЕРУЗА	137
<i>Худякова С.П., Белоненко Т.В., Будянский М.В., Улейский М.Ю.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДООБМЕНА МЕЖДУ БЕРИНГОВЫМ МОРЕМ И ТИХИМ ОКЕАНОМ ЧЕРЕЗ ПРОЛИВ БЛИЖНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ GLORYS12V1, GOFS 3.1 И JSCORE2M.....	138
<i>Холмогоров А.О., Сырбу Н.С., Лобанов В.Б., Жердев П.Д., Мальцева Е.В.</i> ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛЕЙ ПОВЫШЕННЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ МЕТАНА НА ВОСТОЧНОМ ШЕЛЬФЕ ОСТРОВА САХАЛИН	139
<i>Чевычелова Е.А., Анисимова Е.В., Духова Л.А., Суворова А.С.</i> МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ВОД СРЕДНЕГО КАСПИЯ	141
<i>Чернявская Д.К., Файман П.А.</i> РАСЧЕТ ПЕРЕНОСА ПАССИВНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПОВЕРХНОСТИ УССУРИЙСКОГО ЗАЛИВА В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2018 ГОДА	143

<i>Чернов Д.Д., Якимов Т.С., Вороных В.О., Буртнык Д.Д. ОСОБЕННОСТИ ГРАНИТОИДОВ ОСТРОВА АСКОЛЬД (ЗАЛИВ ПЕТРА ВЕЛИКОГО, ЯПОНСКОЕ МОРЕ)</i>	<i>145</i>
<i>Шабельникова С.К., Чупин В.А. ДИНАМИКА МИКРОСЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ, ВЫЗЫВАЕМЫХ ВЕТРОВЫМИ ВОЛНАМИ ТАЙФУНА ХАГУПИТ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЯ ЛАЗЕРНО-ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОГО КОМПЛЕКСА</i>	<i>146</i>
<i>Шадрина Д.А., Бережная Е.Д. МАРГАНЦЕВЫЕ МИКРОКОНКРЕЦИИ БРАЗИЛЬСКОЙ КОТЛОВИНЫ.....</i>	<i>147</i>
<i>Шенцов Н.А., Костык В.А. ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОВНЯ МОРЯ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ПРИМОРСКОГО КРАЯ В УСЛОВИЯХ РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ СЦЕНАРИЕВ</i>	<i>149</i>
<i>Ширьборова А.И., Медведев И.П. ВАЛИДАЦИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ ПРИЛИВНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ЯПОНСКОГО МОРЯ</i>	<i>151</i>
<i>Шмыков Н.В., Буланов А.В. СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ПРИМЕРЕ МОРСКИХ ЗОНДОВ ТИПА SEABIRD SBE-37</i>	<i>153</i>
<i>Шамбарова Ю.В., Степочкин И.Е., Захарков С.П. ДОЛГОВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРОДУКЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФИТОПЛАНКТОНА В ЯПОНСКОМ МОРЕ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ (2002 ПО 2023 ГГ.).....</i>	<i>155</i>
<i>Яцкая Н.А., Магаева А.А., Мисиров С.А., Валов Г.В. ДИНАМИКА БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ АЗОВСКОГО МОРЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ И ЛЕДОВЫХ ЯВЛЕНИЙ.....</i>	<i>156</i>
<i>Якимов Т.С. ОЛИГОЦЕН-МИОЦЕНОВЫЕ ГРАНИТОИДЫ ЯПОНСКОГО МОРЯ</i>	<i>158</i>

ARCTIC SEA ICE LOSS WARMED THE TEMPERATE EAST ASIAN WINTER IN THE MID-HOLOCENE

**Dong Jiang^{1,2}, Shi Xuefa^{1,2}, Dai Haijin³, Lu Zhengyao⁴, Liu Xiting⁵, Astakhov Anatolii S.⁶,
Hu Limin⁵, Yang Gang¹, Vasilenko Yuri⁶, Bosin Alexander⁶, Gao Jingjing¹, Liu Yanguang^{1,2},
Zou Jianjun^{1,2}, Yao Zhengquan^{1,2}, Li Anchun⁷**

¹Key Laboratory of Marine Geology and Metallogeny, First Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Qingdao, China, jdong@fio.org.cn

²Laboratory for Marine Geology, Qingdao Marine Science and Technology Center, Qingdao, China

³College of Meteorology and Oceanography, National University of Defense Technology, Changsha, China

⁴Department of Physical Geography and Ecosystem Science, Lund University, Lund, Sweden

⁵College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao, China

⁶V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

⁷Key Laboratory of Marine Geology and Environment, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, China

The recent colder winters in midlatitude Eurasia have been proposed to result from Arctic sea-ice decline. However, large uncertainties remain regarding this link in the present variable climate. Here, we present ice-rafted debris records from the eastern Arctic and geochemical data from the temperate East China Sea to reconstruct Holocene changes in sea ice and the East Asian winter monsoon. Our reconstructions and climate numerical simulations revealed enhanced Arctic sea-ice decline but warmer winters in East Asia in the mid-Holocene than in the late Holocene. In the warmer mid-Holocene, enhanced Arctic sea-ice loss transferred more heat from intensive summer solar insolation to the winter atmosphere, suppressing meridional heat transport; thus, less high-latitude cold air moved to lower latitudes in Asia due to the weakened winter monsoon. Our findings imply that the colder winters in East Asia may not change the long-term trend toward winter warming in the context of Arctic sea-ice decline.

GLOBAL SEA LEVEL CONTROLLED THE DEEP LOW-SALINITY POOL EVOLUTION IN THE JAPAN SEA SINCE THE LAST GLACIAL PERIOD

**Dong Zhi^{1,3}, Shi Xuefa^{1,2}, Zou Jianjun^{1,2}, Wang Shizhu^{4,5}, Ge Chendong³, Liu Yanguang^{1,2},
Wu Yonghua^{1,2}, Dou Ruxi^{3,1}, Zou Xinqing³**

¹Key Laboratory of Marine Geology and Metallogeny, First Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Qingdao, zhidong@fio.org.cn

²Laboratory for Marine Geology, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao

³MOE Key Laboratory for Coast and Island Development, Collaborative Innovation Center of South China Sea Studies, Nanjing University, Nanjing

⁴Key Laboratory of Marine Science and Numerical Modeling, First Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Qingdao

Understanding past changes in oceanic circulation and the corresponding heat, salt delivery variations are essential for assessing the climatic roles of ocean dynamic processes since the last glacial period. Unravelling salinity budget variation in the North Pacific and its controls is important to better understand the North Pacific Intermediate/Deep Water formation and associated climate impacts. The Tsushima Warm Current (TWC), the northernmost Kuroshio branch entering the semi-closed Japan Sea through the shallow strait, is regarded as a fundamental component for oceanographic changes in the Japan Sea. To obtain a comprehensive history of the Japan Sea salinity budget, this study reconstructed the evolution history of the TWC inflow by compiling paleo-hydrographic records in the Japan Sea, including the radiolarian, diatom, coccolithophore, and planktonic foraminiferal assemblages. Following a persistent but weakened TWC inflow during Marine Isotope Stage 3, radiolarian assemblage data revealed that the TWC taxa disappeared since ~30 thousand years ago (ka). The synchronous onset of the low salinity anomaly event was in response to the cutoff of saline TWC inflow due to the rapid fall in global sea level at 30 ka. Extreme restriction of seawater exchange caused a persistent freshening of the glacial Japan Sea and formed a low-salinity water mass in the upper ocean. The compiled microfossil data confirmed that the Japan Sea accumulated excess freshwater during the glacial sea-level lowstands and the low-salinity pool extended downward to ~900 m depths. Coinciding with the peak of the low salinity anomaly event (minimum values of ~20 psu), re-emerging TWC inflow after 19 ka reflected the reconnection of the open ocean to the Japan Sea. The persistent TWC inflow mainly drove the reduction in magnitude of the deep low-salinity pool during the last deglaciation. As a large and isolated freshwater sink for the glacial North Pacific, the deep low-salinity pool evolution could potentially have strong impacts on the North Pacific salinity budget and subsequent large-scale circulation

ARCTIC ZIRCON U-PB AGES REVEAL MULTIPHASE GLACIATIONS IN EAST SIBERIA DURING THE LATE QUATERNARY

Feng H.¹, Yao Z.^{1,2,7}, Shi X.^{1,2}, Zhang Z.³, Lu H.⁴, Zhang H.⁴, Liu Y.^{1,2,8}, Shan X.^{1,2}, Dong J.^{1,2}, Dong L.^{1,2}, Yang G.¹, Hu L.^{2,5}, Vasilenko Y.⁶, Astakhov A.⁶, Bosin A.⁶

¹Key Laboratory of Marine Geology and Metallogeny, First Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Qingdao, fenghan@fio.org.cn

²Laboratory for Marine Geology, Qingdao Marine Science and Technology Center, Qingdao

³Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, School of Physics, Peking University, Beijing,

⁴School of Geography and Ocean Science, Nanjing University, Nanjing

⁵College of Marine Geosciences, Key Laboratory of Submarine Geosciences and Prospecting Technology, Ocean University of China, Qingdao

⁶V.I.II'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Vladivostok

⁷Key Laboratory of Deep Sea Mineral Resources Development, Shandong (preparatory), Qingdao

⁸College of Ocean Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao

Tracing ice-rafted debris (IRD) in Arctic Ocean sediments is crucial for understanding the evolution of Northern Hemisphere ice cover. However, distinguishing IRD sources across the circum-Arctic continental shelves has remained a challenge, which complicates the reconstruction of the East Siberian Ice Sheet's evolution. Here, we conduct a provenance analysis based on a substantial dataset of detrital zircon U-Pb ages, comprising 10,111 new dates from surface sediments on the circum-Arctic shelves and IRD from deep-sea cores in the central Arctic Ocean. Our results reveal distinctive zircon age distributions across different regions of the circum-Arctic continental shelves. Notably, a prominent zircon age peak at ~90-110 Ma serves as a fingerprint for sediments derived from the East Siberian continent and shelf. Central Arctic Ocean sediments from at least four glacial periods contain coarse zircon grains that bear a diagnostic ~90–110 Ma age peak, most likely indicating iceberg transport of debris from East Siberia. This implies that the East Siberian continent and shelf underwent multiple glaciations, likely within the past three glacial-interglacial cycles. The repeated glaciation of East Siberia exerted significant, though poorly understood, influences on both polar and global climates during the late Quaternary. Our findings provide new insights into the history of Northern Hemisphere glaciation and propose a novel approach for reconstructing the ice sheet evolution.

FLUID EVOLUTION RECORDED IN TRACE ELEMENT VARIATIONS OF PYRITES FROM THE XUNMEI HYDROTHERMAL FIELD, MID-ATLANTIC RIDGE

**Fan Lei^{1,2,3}, Wang Guozhi², Holzheid Astrid³, Zoheir Basem^{3,4}, Shi Xuefa¹, Li Chuanshun¹,
Frische Matthias⁵**

¹Key Laboratory of Marine Geology and Metallogeny, First Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Qingdao, China, lei.fan@fio.org.cn

²Faculty of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu, China

³Institute of Geosciences, Kiel University, Kiel, Germany,

⁴Department of Geology, Faculty of Science, Benha University, Benha, Egypt

⁵GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung, Kiel, Germany

The trace element variations in morphologically different pyrites from seafloor massive sulfide deposits effectively record submarine hydrothermal mineralization processes. LA-ICP-MS analyses of inactive chimney samples collected from the basalt-hosted Xunmei hydrothermal field (26°S) on the Mid-Atlantic Ridge elucidates systematic correlations between trace element zoning patterns and multi-stage fluid evolution during chimney growth.

Morphologically different pyrite, transitioning from porous colloform textures (low-temperature, outermost chimney wall) to dense euhedral textures (higher-temperature inner conduit), exhibit a significant dependence on the temperature gradient of hydrothermal fluid evolution. Three distinct fluid evolution stages are identified by elemental variations, i.e., evolved from an initial low-temperature, low-chloride, Zn-Cd-Tl-Ag-Pb-Mo-V-rich liquid-dominated fluid to a higher temperature, Cu-Au-Te-Bi-rich vapor-dominated fluid, and then to a terminal high-temperature, Co-Se-enriched fluids with late-stage trace element depletion. Temperature-dependent incorporation mechanisms indicate that low-temperature regimes favor nano-inclusions (Cu, Zn, Ag) and surface adsorption (V, Mo), whereas higher-temperature conditions promote lattice substitution (Co, Se). This work systematically deciphers the multistage fluid-response mechanisms of pyrites from basalt-hosted systems, establishing new constraints for understanding the evolution of hydrothermal fluids.

ABRUPT ENHANCED PACIFIC WARM WATER INTRUSION INTO THE SEA OF OKHOTSK SINCE THE EARLY HOLOCENE

Xuguang Feng^{1,2,3}, Jianjun Zou^{1,2,3}, Xuefa Shi^{1,2,3*}, Zhengquan Yao^{1,2,3}, Zhi Dong^{1,2,3}, Jiang Dong^{1,2,3}, Yonghua Wu^{1,2,3}, Ruxi Dou¹, Hualong Jin⁴, Aimei Zhu^{1,2,3}, Xiaojing Wang^{1,2,3}, Qingchao Wang¹, Lingfeng Luo¹, Sergey A. Gorbarenko⁵, Yuriy P. Vasilenko⁵, Aleksandr A. Bosin⁵

¹Key Laboratory of Marine Geology and Metallogeny, First Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Qingdao 266061, China;

²Laboratory for Marine Geology, Qingdao Marine Science and Technology Center, Qingdao 266237, China;

³Key Laboratory of Deep Sea Mineral Resources Development, Shandong (preparatory), Qingdao 266061, China;

⁴Key Laboratory of Marine Geology and Environment, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China;

⁵V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far East Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok 690041, Russia.

* Corresponding author. E-mail address: Prof. Xuefa Shi (xfshi@fio.org.cn)

As the main heat and water mass sources, the warm and saline Pacific waters have significant influence on sea ice and intermediate water circulation in the Sea of Okhotsk (SO). However, the long-term history of Pacific warm water intrusion into the SO remains unknown, impeding accurate predictions of its future changes. In this study, provenance proxies (clay mineral assemblages and trace element ratios ($<2 \mu\text{m}$)) from surface sediments and Site LV87-55-1 were used to investigate the history of Pacific water intrusion into the SO over the past 20 kyr. Provenance analysis indicates that sediments in the central SO primarily originated from the Amur River before 11.7 ka, with a significant rise in sediment input from the Kamchatka Peninsula since that time. By integrating published data on sediment grain size, sea surface temperature (SST), and sea-ice diatoms, we observed that the enhanced inflow of Pacific warm water into the SO led to intensified counterclockwise surface currents and the retreat of sea ice since the early Holocene, which subsequently resulted in a noticeable shift in sediment sources in the central SO. Furthermore, based on modern observation and TraCE-21 model simulations, we deduce that the intensified Aleutian Low (AL) since the early Holocene stimulated the East Kamchatka Current (EKC) through increased Sverdrup transport caused by cyclonic wind patterns. This, in turn, facilitated greater intrusion of Pacific warm water into the SO. Overall, our findings suggest an increase in Pacific warm water intrusion into the SO under future global warming scenarios, potentially posing a significant threat to the marine environment of both the SO and the subarctic Pacific.

ENVIRONMENTAL CHANGES IN THE NORTHWESTERN PACIFIC DURING THE LATE QUATERNARY

**Zou Jianjun¹, Shi Xuefa¹, Dong Zhi¹, Feng Xuguang¹, Dou Ruxi¹, Wang Qingchao¹,
Vasilenko Yuriy²**

¹*First Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Qingdao, China, zoujianjun@fio.org.cn*

²*V.I. Ilyichev Pacific Oceanological Institute, Far East Branch
of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok*

The environmental evolution of the marginal seas in the Northwest Pacific has always attracted extensive attention from international paleoceanography and paleoclimatology research community. In recent years, we have conducted in-depth research on the evolution process of the marine environment of the Okinawa Trough (East China Sea), the Sea of Japan, and the Sea of Okhotsk during the late Quaternary. In the Okinawa Trough, we have found that the hydrodynamics of the Kuroshio Current significantly increased during the interglacial period, and there are characteristics of millennial-scale changes in ventilation of the subtropical intermediate water in the western North Pacific. We proposed a mechanism in which tropical and subtropical processes jointly control the Kuroshio hydrodynamics at the orbital scale, and the Atlantic Meridional Overturning Circulation regulates the millennial-scale ventilation changes of the intermediate water in the subtropical North Pacific. In the Sea of Japan, we ascertained the timing of invasion of the Tsushima Warm Current to the Sea of Japan, discovered the spatial heterogeneity of the source of clastic materials and ventilation, and clarified the main factors controlling the environmental changes in the Sea of Japan. In the Sea of Okhotsk, we found that the marine environment during the Last Glacial Period (30 - 18 thousand years ago) is characterized by low sea surface temperature, expansion of sea ice, weak ventilation of the intermediate water, and low surface productivity. In the late Holocene (< 6 thousand years ago), the marine environment is characterized by high sea surface temperature, retreat of sea ice, strong ventilation of the intermediate water, and high surface productivity, and the sediment composition is mainly siliceous ooze. We established a conceptual model of environmental evolution of the "glacial type" mainly controlled by sea ice and the "interglacial type" mainly controlled by sea ice and ocean currents. These findings improve our understanding of the environmental evolution process in the Northwest Pacific and have implications for the long-term prediction of future environmental changes.

ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ АМУРСКОГО ЗАЛИВА (ЯПОНСКОЕ МОРЕ) ЗА ПОСЛЕДНИЕ 100 ЛЕТ

Алаторцев А.В., Аксентов К.И., Ким Д.В., Ярошук Е.И.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток,
alatorsev@poi.dvo.ru*

К числу тяжелых металлов (ТМ) относят Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, Mo, Cd, Sn, Sb, Te, W, Hg, Tl, Pb, Bi. Главными природными источниками тяжелых металлов являются породы (магматические и осадочные) и породообразующие минералы. Многие минералы в виде высокодисперсных частиц включаются в качестве микропримеси в массу горных пород. В последние десятилетия в процессы миграции ТМ в природной среде интенсивно включилась антропогенная деятельность человечества. Количества химических элементов, поступающие в окружающую среду в результате техногенеза, в ряде случаев значительно превосходят уровень их естественного поступления.

Амурский залив подвержен влиянию тайфунов, которое сопровождается крупными наводнениями. Вследствие этого реками выносятся грунт и почвы с водосборных площадей на территории которых расположены города и поселки, промышленные зоны и сельскохозяйственные земли. Почвы и грунты содержат повышение концентрации тяжелых металлов в результате антропогенной деятельности. Конечным пунктом миграции поллютантов являются донные отложения Амурского залива. Средние скорости современного осадконакопления составляют 0,15-0,42 см/год. Тем самым по изменению концентрации ТМ в толще донных отложений можно проследить динамику их поступления во времени.

Для этого нами были выбраны крены донных отложений в местах с известными скоростями осадконакопления в Амурском заливе. Пробы донных отложений сушились в лиофильной сушилке, растирались в агатовой ступке. Анализ проводился методами РФС, ИСП-МС, ИСП-АЭС. Гранулометрический состав определялся на анализаторе частиц Analysette 22 NanoТес plus.

В кутовой части залива распространены илистые отложения светло-коричневого до оливкового-зеленого цвета. На траверзе остров Русский – река Барабашевка расположено поднятие рельефа, устланное среднезернистыми песками желто-светло-коричневого цвета.

Максимальные концентрации халькофильных элементов (Pb, Cu, Hg, Zn) тяготеют к побережью административной границе города Владивосток. Значения концентраций здесь составили: Pb – 48-110 мкг/кг; Cu – 38-91 мкг/кг; Zn 132-150 мкг/кг; Hg 0,25-0,472 мкг/кг. Концентрирование Mn наблюдается непосредственно в приустьевых зонах рек северной части залива. Вариации концентраций Mn составили 0,0232-0,0726 %. Аккумуляция Fe происходит в северной части залива, которое подвержено выносам реки Раздольная. Концентрации Fe достигают до 5,5 % при минимальных 1,3-1,5 %.

Распределение ТМ в толще донных отложениях имеет малую изменчивость, наблюдается незначительное увеличение к поверхности на значительной части залива. Контрастное увеличение к поверхности дна имеется у халькофильных элементов в прибрежной зоне города Владивосток. Начало накопление ТМ оценивается 1960-ми годами. Согласно известным скоростям современного осадконакопления были определены фоновые концентрации ТМ в слоях донных отложений, накопленных в доиндустриальный период. Вычисленный нами фон составляет: Pb – 25 мкг/кг; Cu – 27 мкг/кг; Zn – 107 мкг/кг; Hg – 0,030 мкг/кг; Cd – 0,19 мкг/кг; Ni – 44 мкг/кг; Co – 13 мкг/кг; Cr – 103 мкг/кг; Mn – 0,027 %; Fe – 5,5 %. Отмечено, что гранулометрический состав во всех ядрах был постоянен во всей толще отложений, следовательно, можно говорить о высокой достоверности полученного фона для экологических расчетов, в особенности при

отсутствии санитарно-гигиенических нормативов в России для морских донных отложений. Для оценки степени загрязнения ТМ акватории использовался коэффициент концентрации – K_k (отношение концентрации элемента в современных горизонтах донных отложений к его фоновой концентрации). Наибольшее степень загрязнения наблюдается у Hg ($K_k = 16$). Коэффициенты концентрации для Pb и Cu равны 4,5 и 3,6 соответственно. Наименьший K_k обнаружен у Zn, превышение всего в 1,5 раза.

В ходе проведенных исследований установлено, что с 1960-х гг. наблюдается постепенное увеличение накопления ТМ в донных отложениях Амурского залива. Наиболее загрязненные участки залива расположены в прибрежной зоне г. Владивостока. Значимыми поллютантами являются халькофильные элементы (Pb, Cu, Hg). Постепенный рост аккумуляции ТМ может свидетельствовать о постоянном сносе с водосборной площади во время тайфунов уже загрязненных почв и грунтов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-27-20074, <https://rscf.ru/project/25-27-20074/>

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОЛОЖЕНИЯ ОСНОВНЫХ ФРОНТОВ В ИНДИЙСКОМ СЕКТОРЕ ЮЖНОГО ОКЕАНА ПО ПОВЕРХНОСТНОМУ РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Анисимова Е.В.^{1,2} Лавинен Н.А.², Шахматова А.Е.², Тарасенко А.Д.²

¹*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, г. Москва,
e.v.anisimova@inbox.ru*

²*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург,
natasha_lav85@mail.ru, Naska.shahmatova@mail.ru, tad.ocean@gmail.com*

В данной работе проведён анализ гидрохимических исследований Индийского сектора южного океана с борта НЭС «Академик Фёдоров». Отбор проб воды был произведён по ходу судна, из порта Кейптаун в южном направлении к полярным станциям, пересекая все основные фронтальные зоны Южного океана (район между 15° и 30° в.д.). Подобные исследования выполняются сотрудниками ААНИИ и ФГБНУ «ВНИРО» с 2008 года, что позволяет нам сравнить полученные результаты с ранее выявленными и опубликованными особенностями распределения гидрохимических характеристик в различных фронтальных зонах. Данные для анализа в данной работе были полученные в летний сезон южного полушария, в декабре и январе с 2021 г. по 2024 г. Изучение расположения поверхностных фронтов носит не только фундаментальный характер, но и вносит вклад в промысел Антарктического криля.

Циркуляция вод в Южном океане имеет особенную систему поверхностных фронтов и структуру глубинных вод. С севера на юг выделяют три основных фронта: субантарктический фронт (САФ) и южный фронт антарктического циркумполярного течения (ЮФАЦТ), соответственно являющиеся северной и южной границей Антарктического циркумполярного течения (АЦТ), внутри вод АЦТ выделяют ещё южный полярный фронт (ЮПФ), который отличается повышением концентраций кремния. Важно отметить и зону высокоширотных вод, которая располагается южнее ЮФАЦТ, с максимальными концентрациями биогенных веществ и отрицательными температурами воды в поверхностном слое, такие зоны называют в литературе высокоширотными «оазисами», т.к. в летний сезон они очень продуктивны.

Субантарктический фронт, как северная граница зоны АЦТ, выделяется по заметному росту концентраций фосфора и падению температуры. В декабре 2021 и 2022 года САФ был зафиксирован на 46,5° и 46,2° ю.ш. соответственно, где резко концентрации фосфора выросли до 1,4 мкг-ат/л и 1,5 мкг-ат/л, когда в зоне субтропических вод концентрации фосфора были меньше 1 мкг-ат/л, также отмечалось заметное падение температуры воды. 2024 год для исследуемого района был достаточно тёплым, что могло стать причиной смещения фронта южнее, чем в предыдущие годы, резких градиентов не наблюдалось. В начале января САФ достигал 47° ю.ш., а в конце 48° ю.ш. с характерным повышением концентраций фосфора.

Южный полярный фронт выражен резким увеличением концентраций кремния, в районе фронта значения достигают 20 мкг-ат/л и после продолжают расти уже в зоне АЦТ. ЮПФ в 2021 году был зафиксирован в районе 50° ю.ш., в 2022 резкий рост кремния отмечен уже на 48,4° ю.ш. В 2024 году в соответствии со смещением САФ южнее оказался и ЮПФ: на 51° ю.ш. в начале января и на 51,9° ю.ш. в конце месяца. 2024 год был тёплым в районе исследований, как отмечалось ранее, температура воды даже в районе 60° ю.ш. не опускалась ниже 0°С, что, предположительно, вызвало активное цветение фитопланктона, сопровождающееся изъятием кремния из поверхностных вод, в районе ЮПФ, поэтому выделить его однозначно, по имеющимся данным, не удалось.

Зона Антарктического циркумполярного течения с юга ограничена южным фронтом АЦТ. В 2021 он был выражен достаточно явно в районе 52-53° ю.ш. с ростом концентраций кремния до 42,5 мкг-ат/л и температурой, опустившейся до 1°С. В

исследованиях через год характерные показатели ЮФАЦТ были зафиксированы на 53,3° ю.ш., но пробы отбирались западнее относительно исследований в 2021 году, где оказывает влияние круговорот Удделла. Возвратная ветвь круговорота внесла воды с меньшими концентрациями биогенных веществ в районе 54,5° ю.ш., поэтому ЮФАЦТ также был отмечен на 58° ю.ш., где концентрации кремния достигали 40 мкг-ат/л и продолжали расти с продвижением на юг. Северная граница высокоширотных вод в начале января 2024 года с ростом концентраций кремния в воде до 50 мкг-ат/л зафиксирована на 56,6° ю.ш., а в конце месяца она же сдвинулась южнее на 60,6° ю.ш., однако концентрация кремния была ниже обычного распределения и составила в ЮФАЦТ 38,4 мкг-ат/л.

Рассмотрев, полученные результаты можно отметить, что расположение фронтов и гидрохимические характеристики в 2021 и 2022 году были типичными для района исследований. Однако были и особенности распределения гидрохимических параметров связанные с динамическими процессами, влиянием круговорота Удделла. Отметить годовую изменчивость положения фронтов удалось в 2024 году, который был одним из самых тёплых за последнее время, из-за чего последовало смещение положения фронтальных зон на юг и вызвало сложности при определении ЮПФ, в результате продукционно-деструкционных процессов.

Автор выражает благодарность сотрудникам АНИИ и НЭС «Академик Фёдоров», принимавшим участие в экспедиционных работах и Сергею Кашину за предоставленные данные. Полевые исследования выполнялись в рамках работ Российской Антарктической Экспедиции.

ТУРКМЕНСКОЕ ОЗЕРО, СОЗДАННОЕ В ПУСТЫНЕ КАРАКУМЫ

Атаев Я¹, Палязова Я.З.², Гурбанова О.Я.³

*Туркменский сельскохозяйственный институт, г. Дашогуз, Туркменистан
yangiljonnazikjemat@gmail.com*

Для дальнейшего расширения площади орошаемого земледелия в нашей стране необходимо использовать дополнительные источники воды, проводить углубленные исследования растений, устойчивых к засолению почв, и проводить их выборочную посадку. Растения, которые обычно произрастают на засоленных участках и солончаках, образуют на почве густой растительный покров, более устойчивы к засолению почв и токсичному воздействию вредных солей, называются галофитами — растениями солончаков.

Изучение этих растений имеет большое значение как с научной, так и с производственной точки зрения. Основной причиной этого является создание обильных пастбищ для сельскохозяйственных животных в зоне Туркменского озера «Алтын Асыр» и его притоков, подбор высокоурожайных культур для орошаемого земледелия на засоленных территориях, орошение сельскохозяйственных культур минерализованными водами, и вопрос получения адекватных урожаев.

Таким образом, подбор растений, устойчивых к токсическому воздействию вредных солей, и орошение их соленой водой слабой концентрации минерализованных вод позволяет значительно расширить масштабы орошаемого земледелия в нашей стране.

Грунтовые воды, собранные с орошаемых земель страны, сбрасываются в Туркменское озеро — естественную впадину Карашор, расположенную в самом сердце пустыни Каракум.

Пустыня Каракумы богата слабоминерализованными водами, запасы которых весьма велики. Такое огромное изобилие воды создало большие возможности для ее широкого использования в различных секторах национальной экономики. Оно имеет огромное значение для расширения пахотных земель, обогащения флоры и фауны пустыни Каракумы и регулирования экологических условий пустыни.

Значимость использования слабосоленых и минерализованных вод в сельском хозяйстве для решения этих важнейших задач доказана учеными нашей страны на протяжении многолетнего лабораторного и полевого опыта.

Сельскохозяйственные культуры существенно различаются по своей устойчивости к засухе, жаре и засолению. Опыты наших ученых показывают, что высокие урожаи кормовых, зерновых и овощных культур, таких как подсолнечник, кукуруза, просо, сахарный тростник, рис и другие культуры, были получены при использовании поливной воды, содержащей до 3 граммов/литр солей.

Минерализованные дренажные воды можно использовать не только для орошения сельскохозяйственных культур, но и для вымывания солей из сильнозасоленных почв. Повысить продуктивность пастбищ можно путем вымывания соли.

Используя поливную воду в течение двух лет, можно создать пастбища с обильным кормом. По результатам исследований, содержание общих солей в слое почвы 175 см с минерализованной водой снизилось до 0,35%, а содержание ионов хлора — до 0,07%.

По научным данным, при концентрации питательных веществ в почвенном растворе 0,01–0,05% растения очень хорошо усваивают питательные вещества. В естественных условиях концентрация солей в незасоленных почвах составляет всего 0,02–0,2%. Растения также могут использовать эти решения для нормального роста и получения очень высоких урожаев. Если концентрация почвенных растворов составляет 0,3% и выше, в растениях снижается усвоение питательных веществ и накапливаются вредные солевые соединения. Эти вредные соли не только препятствуют усвоению азота, фосфора и других питательных веществ из почвы, но и оказывают токсическое воздействие на

организм растений, вызывая увядание и увядание молодых растений, замедление роста и низкую урожайность. Участки, содержащие 0,3% и более солей в почвенном растворе, называются засоленными почвами. На засоленных территориях для повышения эффективности воды и удобрений необходимо в первую очередь вымыть водой вредные соли из почвы.

В период роста сельскохозяйственных культур вода должна быстро впитываться на участках с легкими и засоленными почвами в объеме 600-800 м³/га, а на незасоленных суглинистых и глинистых почвах в объеме 800-1000 м³/га. ха. При капельном и дождевом орошении достаточно 500-600 м³/га воды.

Для Говачи рекомендуется использовать соотношение водоудержания 65/70 - 70/75 - 60/65 на незасоленных почвах и 75/80 - 70/80 - 65 на засоленных участках из-за ограниченного потока воды. Засоленные почвы следует часто поливать, чтобы нейтрализовать воздействие вредных солей.

Для достижения стабильно высоких урожаев ячменя и пшеницы рекомендуется использовать воду и удобрения с учетом приведенной выше информации.

В засушливом климате страны сельское хозяйство является крупнейшим потребителем воды в производственном секторе. Расход воды на выращивание сельскохозяйственных культур. На орошаемых площадях, м³/га:

рис – 16 000–20 000; сады – 7000-8000; кукуруза – 1800-4000; зеленные культуры – 3000-8000; зерновые культуры – 1800-3200; люцерна – 3000-6000; Хлопок (вода, необходимая для производства 1 тонны хлопка) – 7500 м³/га.

Вода играет активную роль в формировании земной поверхности и растительного покрова в природе. Вода — универсальное соединение, которое растворяет, диспергирует, вымывает и переносит в другие места различные неорганические вещества, участвуя в формировании осадочных пород и почвы.

В настоящее время 70% поверхности Земли покрыто водой. В то же время человечество может использовать лишь 1% этой воды. С годами проблема доступа к водным ресурсам становится все более острой.

Все живое на Земле, даже на бесплодной земле, нуждается в воде, которая является жителем силой. Живые организмы не могут выживать без воды.

КОЭФФИЦИЕНТ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРИДОННОГО ДАВЛЕНИЯ В МИКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

Антонов В.А., Долгих С.Г.

*Тихоокеанский Океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток,
antonov.va@poi.dvo.ru*

В работе проводится количественная оценка влияния вариаций придонного давления на верхний слой земной коры, создаваемого ветровыми волнами и волнами зыби, сгенерированными тайфунами и атмосферными вихрями, проходившими над акваторией Японского моря в 2018, 2019 и 2024 г. Актуальность вопроса связана с изучением вклада микросейсмического шума в диапазоне гравитационных волн в общую напряженность упругого полупространства, которое может повлиять на возникновение опасных геодинамических явлений. Для этого рассчитывается коэффициент трансформации, определяемый как отношение смещения земной поверхности (мкм) к амплитуде вариаций придонного давления (Па) в зависимости от частоты морского волнения.

Регистрация микросейсмических колебаний верхнего слоя земной коры осуществлялась с помощью двух неравноплечих лазерных деформографов: «Север-Юг 1» и «Север-Юг 2» установленных на скальных породах на расстоянии 100 м от берега. Данные приборы разработаны на основе неравноплечного интерферометра Майкельсона с длиной измерительного плеча 52,5 м. Длина измерительного плеча позволяет регистрировать микросмещения верхнего слоя земной коры с точностью до 0,3 нм в частотном диапазоне от 0 (условно) до 1000 Гц. Для регистрации вариаций придонного давления использовался лазерный измеритель вариаций давления гидросферы, установленного на расстоянии 150 м от береговой линии на глубине 20 м. Он позволяет регистрировать вариации придонного давления с точностью 1,8 мкПа в том же диапазоне частот.

Для изучения зависимости коэффициента трансформации от частоты анализировались 25 часовые записи, каждый из которых разбивался на 20 минутные участки. Для каждого участка строился спектр, и определялись амплитудные максимумы в диапазоне частот гравитационных волн. Далее, с помощью методов регрессионного анализа строилась модель взаимосвязи амплитуд микросейсм от вариаций давления.

В результате исследования установлено, что коэффициент трансформации в исследуемом диапазоне частот имеет характер степенной функции, и уменьшается в сторону увеличения частоты. Основная энергия концентрируется в диапазоне от 0,06 до 0,1 Гц, именно в этом диапазоне трансформация энергии является наиболее эффективной.

АНАЛИЗ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БЕРИНГОВА МОРЯ В ПОЗДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ-ГОЛОЦЕНЕ (НА ОСНОВЕ IRD)

Баженов И.И., Василенко Ю.П., Горбаренко С.А.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
г. Владивосток, bazhenov.ii@poi.dvo.ru*

Изучение ледовых условий Берингова моря в позднем плейстоцене-голоцене позволяет оценить прошлые климатические колебания, выявить взаимосвязи между ледовитостью, атмосферной циркуляцией и гидрологическим режимом, а также оценить потенциальные риски, связанные с изменением климата.

Материалом для исследования послужил керн донных осадков LV76-26-2, отобранный в Беринговом море в районе подводного хребта Ширшова в ходе российско-китайской научно-исследовательской экспедиции на борту НИС «Академик М.А. Лаврентьев» (рейс №76). Координаты станции отбора: 56°58.9' с.ш., 170°39.5' в.д. Глубина моря на станции составила 1165 м. Длина керна — 807 см.

Возрастная модель керна LV76-26-2 построена на основе мультипараметрического анализа данных палеопродуктивности, изотопной геохимии, цветности и магнитной восприимчивости осадка. Были выделены границы морских изотопных стадий (MIS) и интерстадиалов, а также палеомагнитных экскурсов Mono Lake, Laschamp и Blake за последние 130 тыс. лет. В итоге были получены реперные точки, которые использовались для построения графика «возраст–глубина» с применением байесовского анализа в программе Bacon 3.4.2 (в среде R 4.4.3), что позволило определить доверительные интервалы и средние значения возраста для каждого сантиметра керна. Для реконструкции ледовых условий было изучено 403 образца на содержание материала ледового разноса (IRD) — индикатора формирования льда, его дрейфа и суровости климатических условий.

В MIS 5.5 отмечается высокое содержание и низкие потоки IRD. Период характеризуется сокращением ледового покрова из-за активного таяния льдов под воздействием юго-западных ветров, переносивших тепло из Тихого океана. В MIS 4 резкие пики IRD на фоне умеренных значений связаны с периодическим усилением ветрового переноса, вызванного доминированием северо-западных ветров и устойчивым Сибирским антициклоном. Сравнение керна LV76-26-2 с данными по изученному керну LV28-44-4 (Охотское море) выявило в MIS 3 совпадение пиков содержания IRD со стадиалами, что обусловлено усилением Сибирского антициклона, влиявшего на ветровой режим. Это характеризуется усилением северо-восточных и восточных ветров во время этих периодов, что способствовало активному переносу льда. В MIS 2 содержание IRD было умеренным и низким. Этот период характеризуется суровыми климатическими условиями, устойчивым ледяным покровом и доминированием северных и северо-западных ветров, которые отесняли лед из области отбора, снижая поступление IRD. В период MIS 1 отмечены минимальное содержание и потоки IRD, которые связаны с мягкими ледовыми условиями и доминированием юго-западных ветров, которые ограничивали распространение ледового покрова. Полученные данные подчеркивают ключевую роль атмосферной циркуляции (Сибирского антициклона) в формировании ледовых условий и динамике IRD в Беринговом море на протяжении позднего плейстоцена-голоцена.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ДИНАМИКА ВОД В ПЕНЖИНСКОЙ ГУБЕ И ЗАЛИВЕ ШЕЛИХОВА В ЛЕТНИЙ СЕЗОН

Байгубеков К.Р., Семкин П.Ю., Барабанищikov Ю.А.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток,
baukir@gmail.com*

Эстуарии характеризуются высокой динамичностью, в рамках которой биогеохимические реакции значительно трансформируют химический состав речных вод. Циркуляция биогенных элементов в этих зонах определяется сочетанием гидродинамических условий, морфологических особенностей, стока пресной воды и активности микробных сообществ. Ожидается, что климатические изменения, воздействуя на температурный режим, ветровой режим и уровень моря, модифицируют поведение питательных веществ, что может усилить эвтрофные процессы.

Одним из таких эстуариев с большим влиянием приливов, является Пенжинская губа Охотского моря. Исследования, проводившиеся в июле 2023 года, лабораторией гидрохимии ТОИ ДВО РАН, показали сильную пространственно-временную изменчивость параметров карбонатной системы в вершине Пенжинской губы. В августе 2024 года состоялась вторая экспедиция с целью комплексно исследовать пространственную изменчивость гидрохимических характеристик и динамику вод Пенжинской губы и залива Шелихова в летний сезон.

Для исследования и суточной изменчивости каждый час СТД-зондом SBE 19 PLUS (Вашингтон, США) проводилось зондирование от поверхности до придонного слоя в верховье Пенжинской губы. Затем пробы воды на рН и общую щелочность отбирались с помощью пробоотборной системы SBE 55 с 5-литровыми батометрами Niskin из поверхностного (глубина 0,5–1,5 м) и придонного (1,0–2,0 м от дна) слоев воды. То же самое было проведено на каждой станции и в заливе Шелихова при площадной съемке.

В Пенжинской губе, несмотря на сильное приливное перемешивание, хорошо выражена суточная изменчивость параметров карбонатной системы. Во время фазы отлива, когда в область Пенжинской губы, где происходили измерения, поступают речные воды, рН снижается с 8 до 7.85 на поверхности несмотря на то, что в придонном слое воды, где должны преобладать деструкционные процессы, это снижение меньше (до 7.95). Общая щелочность, которая прямо пропорциональна солености, также уменьшается с 1.9 ммоль/л до 1.6 ммоль/л. Парциальное давление $p\text{CO}_2$ в первые два часа отлива ниже равновесного с атмосферой (420.15 мкАтм), что означает, что в этот период происходит поглощение углекислого газа из атмосферы. В некоторых случаях в придонном слое, $p\text{CO}_2$ даже ниже, чем в поверхностном, что объясняется тем, что приливное перемешивание доходит до дна. Однако, это увеличение все равно ниже, чем в точке, которая ближе к реке (от 500 до 1300 мкАтм).

Во время прилива, когда в эту область поступают соленые морские воды, рН, ТА и DIC увеличиваются, а парциальное давление уменьшается, однако оно не всегда становится ниже равновесного, что означает, что большую часть времени данная область является источником углекислого газа в атмосферу.

Поскольку в приустьевой зоне речная вода значительно теплее, то формируется фронтальная зона при входе в Пенжинскую губу с градиентом $\Delta T \approx 6-8$ °С. Сильных различий по солености между поверхностным и придонным слоем не наблюдается, а это значит, что вся водная масса однородна. Максимальные концентрации O_2 (около 320–330 мкмоль/кг) зафиксированы в приповерхностном слое центральной части Шелихова залива, вероятно, в результате эффекта ветровой «вертикальной конвекции» и активного фотосинтеза (хлорофилл-а до 4 – 6 мкг/л) в пределах фронтальной зоны. При этом прибрежные мелководья демонстрируют пониженные значения O_2 (≤ 290 мкмоль/кг), что

связано с интенсификацией турбулентного перемешивания и повышенной мутностью (до 1.5 NTU) в результате приливно-отливных течений.

В поперечном разрезе, при глубинах > 100 м, фиксируется температура ≤ 0 °C и солёность ~ 33 psu, что указывает на наличие зимней «тяжёлой» воды, интрузивной по своей природе, с глубинным максимумом плотности $\sigma_p \approx 27.5$ кг/м³. В продольном направлении наблюдается постепенное повышение температуры до 12 °C и понижение солёности до 30 psu в устьевой зоне Пенжинской губы, поскольку речное распреснение остаётся поверхностным и слабо перемешивается при отливах.

На входе в Пенжинскую губу наблюдается фронтальная зона по температуре (от 2,5°C до 7,5°C), а вот по солёности эта фронтальная зона (от 28 psu до 32 psu) смещена на 250 км вглубь Пенжинской губы, ближе к «горлу». С распределением температуры хорошо коррелирует распространение хлорофилла-а и мутности. Данная фронтальная зона является барьером для прохождения вод Пенжинской губы с высокой мутностью (до 10 NTU) в залив Шелихова.

Измерение течений было произведено измерителем течений «Infiniti-EM» в июле 2023 года в ходе 67-го рейса на НИС «Академик Опарин». Станция располагалась в Пенжинской губе посередине между входом в нее и ее «горлом». В течение суток измерялось направление и скорость течения. Течения фиксировались каждый час раз в секунду в течение 30 секунд, позже было произведено поминутное осреднение полученных данных. Максимальные скорости течения достигали до 2 м/с. Минимальные наблюдались в момент смены фазы прилива и отлива.

Физико-химические параметры Пенжинской губы в большей степени зависят от интенсивного приливного перемешивания, что подтверждается вертикальными, однородными по температуре, солёности и кислороду профилями. Также на это указывает высокое значение мутности во всей водной толще, а также высокое значение гуминовых веществ.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №23-77-10001 "Эффект экстремальных приливов и материкового стока на потоки веществ и формирование "горячих биогеохимических точек" в Пенжинской губе и прилегающей акватории Охотского моря"

СПУТНИКОВОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАМЕРЗАЮЩИХ ОСАДКОВ НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ

Баранюк А.В., Пичугин М.К., Гурвич И.А., Кулешов В.П., Хазанова Е.С.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
г. Владивосток, vykochko@poi.dvo.ru*

Замерзающие осадки (дождь, морось) относятся к опасным природным явлениям. Гололедные отложения, наблюдающиеся при замерзающих осадках, наносят значительный ущерб городской инфраструктуре, лесному хозяйству, приводят к обрыву электропередач и нарушению работы транспорта, что делает их исследования актуальными. Большинство замерзающих осадков наблюдается в США, Канаде, Европе и в западной части России. На Дальнем Востоке интенсивные замерзающие осадки случаются реже и, как правило, наносят меньший ущерб. Однако за последнее десятилетие в южных районах зарегистрирован ряд продолжительных случаев с катастрофическими последствиями для местной инфраструктуры, включая ледяной шторм 18-19 ноября 2020 г. во Владивостоке с ущербом более 1 миллиарда рублей.

В настоящей работе исследована возможность применения спутникового дистанционного зондирования для косвенной индикации замерзающих осадков на основе данных микроволнового радиометра GMI (Microwave Imager) и двухчастотного дождевого радиолокатора DPR (Dual-frequency Precipitation Radar), сканирующего на частотах 13.5 ГГц (KuPR) и 35.5 ГГц (KaPR). Дополнительно привлекаются изображения облачности со спутников Aqua, Himawari-8, Suomi NPP и карты синоптического анализа ЯМА (Японское метеорологическое агентство), данные радиозондирования атмосферы Wyoming. Анализ характеристик замерзающих осадков, подкреплялся данными реанализа ERA-5 с применением диагностического метода их регистрации, адаптированного к дальневосточному региону. По данным сформированного архива метеонаблюдений замерзающих осадков на Дальнем Востоке были выбраны продолжительные (≥ 6 часов) события как в континентальной, так и островной областях.

Замерзающие осадки обычно регистрируются при южных синоптических процессах. Две ориентированные зонально параллельные фронтальные системы и выход южного циклона на территорию Приморского края привели к возникновению замерзающих осадков 18-19 ноября 2020 г., продолжительность на метеостанции Владивосток -15 часов, а на метеостанции УНВВ - 26 часов. Максимальный диаметр отложения составлял 28 мм. 7-9 ноября 2021 г. замерзающие осадки регистрировались в Китае и Хабаровском крае, когда южный циклон сформировался под глубокой высотной ложбиной. Продолжительность события составила 17 часов с перерывами и 6 часов без перерывов, на метеостанциях УННН и ЗУНВ, соответственно. 1 декабря 2016 г. замерзающие осадки регистрировались на о. Хоккайдо. На развитие процесса оказывал влияние смещающийся южный циклон с фронтальными разделами. На двух метеостанциях регистрировались замерзающие осадки различной интенсивности. Продолжительность на метеостанции RJCV превысила 5,5 часов.

Поля яркостных температур Тя, восстановленные из измерений микроволнового радиометра GMI на частоте $\nu = 183.31 \pm 3, 7$ ГГц на вертикальной поляризации дают общую картину распределения зон твердых и жидких осадков благодаря рассеянию микроволнового излучения на гидрометеорах. Поля Тя на частоте $\nu = 183,31 \pm 3$ ГГц, чувствительные к глубокой конвекции и осадкам во всей толще тропосферы (при их наличии), оказались менее информативны для индикации замерзающего дождя, по сравнению с Тя на $\nu = 183,31 \pm 7$ ГГц.

Вертикальные разрезы Тя на $\nu = 166,5$ ГГц, построенные через выделенные участки с замерзающими осадками, продемонстрировали устойчивый диапазон изменчивости Тя: от 240 до 260 К на горизонтальной поляризации; и от 248 до 262 К на вертикальной.

Полученные значения T_y на $v = 166,5$ ГГц согласуются с их распределением в районах регистрации замерзающих осадков по региональному алгоритму.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы, регистрационный номер 124022100080-0.

КРАТКОСРОЧНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОКЕАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ АТМОСФЕРНОГО ЦИКЛОНА ВДОЛЬ КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ

Бернадо А.В.¹, Белоненко Т.В.¹, Будянский М.В.^{1,2}

¹Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург,
bernado.alina@gmail.com

²Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток

Заполняющийся супертайфун «Mindulle» прошел через район Курильских островов 2-3 октября 2021 года, в рассматриваемые сутки он классифицировался как внетропический циклон. Средняя скорость перемещения составляла 45 км/ч в северо-восточном направлении, тогда «Mindulle» двигался быстрее относительно других периодов своего существования (средняя скорость перемещения за весь период — 18 км/ч), давление в центре — 976 гПа, максимальная устойчивая скорость ветра уменьшалась с 30 до 20 м/с. Траектория перемещения указана по данным JMA. В представленной работе проводится анализ изменений пространственных распределений океанологических полей в период прохождения тайфуна «Mindulle» через исследуемую акваторию по данным вихреразрешающего реанализа Мирового океана GLORYS12v1. Используются и сравнены версии реанализа: Global Ocean Physics Reanalysis и Global Ocean Physics Analysis and Forecast. Для наблюдения за эволюцией «Mindulle» после его ослабления и перемещения во внетропических широтах выбраны данные атмосферных реанализов, спутниковые снимки и синоптические карты. Рассматриваются часовые изменения на поверхности как составного поля скорости океанических течений, так и его компонент по отдельности: квазигеострофической, ветровой, приливной. Кроме того, внимание обращено на термохалинные изменения. Значения скорости течений, температуры и солёности водной поверхности использованы для составления вертикальных профилей до глубины 50 и 100 метров.

Определено, что прохождение тайфуна «Mindulle» в районе Курильской островной дуги привело к увеличению интенсивности океанических течений и термохалинным изменениям в верхнем перемешанном слое.

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ КВАЗИСТАЦИОНАРНОГО ИТУРУПСКОГО АНТИЦИКЛОНА (КУРИЛЬСКАЯ КОТЛОВИНА)

Булавинова В.И.¹, Белоненко Т.В.¹, Будянский М.В.²

¹Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, v.bulavinowa@yandex.ru

²Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток

Курильская котловина – наиболее глубоководная часть Охотского моря, в пределах которой глубины достигают 3000 м и более. Ее акватория является одной из самых динамически активных зон Охотоморского бассейна, где круглогодично наблюдается генерация большого числа вихревых структур синоптического масштаба, что обусловлено контактом холодных и более пресных вод Восточно-Сахалинского течения, теплых и соленых вод течения Соя, а также проникающих через Курильские проливы Тихоокеанских вод. При этом отмечается круглогодичное существование квазистационарного антициклона на траверзе о. Итуруп. Было установлено, что постоянство данной вихревой структуры, названной Итурупским антициклоном, обеспечивается ее слиянием с более молодыми антициклонами, образовавшимися в других районах Курильской котловины и сместившимися к о. Итуруп под действием топографического и динамического факторов.

Так как в прикурильском районе на границах антициклонических вихрей наблюдаются аномально высокие концентрации хлорофилла-а в поверхностном слое вод, изучение данного квазистационарного антициклона — это актуальная научная задача, решение которой может способствовать повышению продуктивности рыбного промысла в исследуемой области.

Целью исследования является изучение механизмов устойчивого поддержания квазистационарного Итурупского антициклона в акватории Курильской котловины, включая анализ слияния с другими антициклоническими вихрями.

Указанная цель реализуется путем решения следующих задач:

- изучение мест генерации и путей миграции антициклонов Курильской котловины к траверзу о. Итуруп;
- описание механизмов генерации Итурупского антициклона;
- анализ взаимодействий Итурупского антициклона с другими мезомасштабными антициклонами;
- описание сезонной изменчивости характеристик Итурупского антициклона.

На основании проведенного исследования, по данным атласа мезомасштабных вихрей МЕТА 3.2 и реанализа, были получены следующие выводы.

Итурупский антициклон — это квазистационарный вихрь синоптического масштаба, расположенный на траверзе о. Итуруп. Он обладает холодным, относительно окружающих вод, ядром, значительными орбитальными скоростями и радиусом до 100 км. Итурупский антициклон не является одним стабильным вихрем, существующим на протяжении множества лет, но регулярно обновляется благодаря слиянию с другими вихрями. Всего за 30 лет наблюдений в области о. Итуруп была зафиксирована диссипация 42 антициклонов, с продолжительностью жизни более 90 дней, в большинстве случаев связанная с их слиянием с другими вихрями. Приходящие антициклоны могут быть сгенерированы не только непосредственно в самой области около о. Итуруп, но и восточнее, приближаясь к району траверза о. Итуруп в результате миграции по акватории Курильской котловины. Сам процесс слияния антициклонов хорошо прослеживается по данным альтиметрии и протекает по классической схеме: при достижении критического расстояния, антициклоны равного масштаба вытягивают друг друга и их воды постепенно наматываются на ядра, а в случае различного масштаба взаимодействующих вихрей — меньший антициклон наматывается на периферию большего.

В зимние месяцы, несмотря на общее снижение активности вихрегенеза в

Курильской котловине и уменьшение масштабов антициклонов, наблюдается большее количество случаев их слияния и увеличение скорости данного процесса, по сравнению с другими сезонами. В летние месяцы объединение вихрей происходит реже и более медленно, однако по данным альтиметрии процесс выражен ярче, благодаря большему превышению уровня моря в антициклонах, увеличению их радиусов и орбитальных скоростей.

Для более четких представлений о вихревых процессах, протекающих в исследуемом районе, необходимы комплексные исследования, включающие детальное изучение распространения течений, в зависимости от различных условий, получение данных о характеристиках вихрей, в том числе и *in situ*, и сопоставление их с глобальными и локальными атмосферными процессами.

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИТОПЛАНКТОНА В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКЕ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫМ МЕТОДОМ

Боровкова К.А.¹, Мошаров С.А.², Малышева А.С.³

¹Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград,
kristina.borovkova.99@bk.ru

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, sampost@list.ru

³Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва,
aleksa.malyshewa@yandex.ru

Балтийское море до сих пор остаётся акваторией с высоким уровнем эвтрофированности. Исследования скорости фотосинтеза и физиологического состояния фитопланктона вносят значительный вклад в оценку динамики экосистемы Балтийского моря. Помимо образования первичной продукции, в процессе фотосинтеза фитопланктон поглощает CO₂, что особенно актуально в рамках климатических исследований.

Флуоресценция хлорофилла «а» является наиболее чувствительным сигналом, который отражает текущее фотофизиологическое состояние фитопланктона. Целью работы было изучить пространственную изменчивость фотосинтетической активности фитопланктона в юго-восточной части Балтийского моря с использованием параметров активной флуоресценции хлорофилла «а».

Наши измерения были проведены в период с 2022 по 2025 года в Юго-Восточной части Балтийского моря и охватывают как прибрежные акватории (район вдоль Куршской косы и Самбийского полуострова (район 3), а также район Гданьской впадины, находящийся под влиянием Балтийского пролива (район 2)), так и район открытого моря (Восточная часть Гданьского бассейна (район 1)). Активную флуоресценцию хлорофилла «а» измеряли с помощью флуориметра WATER-PAM-II (Walz, Германия). В работе рассмотрены два параметра - максимальная фотохимическая квантовая эффективность (F_v/F_m) и относительная скорость электронного транспорта (rETR). Параметры были рассчитаны по следующим формулам:

$$1) F_v / F_m = (F_m - F_0) / F_m \quad (1),$$

где F₀ – фоновая флуоресценция, а F_m – максимальная флуоресценция.

$$2) rETR = Y \times E_i \times 0,5, \quad (2),$$

где Y – фотохимическая эффективность фотосистемы II при определенной освещенности; E_i – это уровень естественного освещения образца в камере ПАМ-флуориметра (мкмоль фотонов/м² в сек), а коэффициент 0.5 учитывает распределение фотонов между фотосистемами I и II.

Соотношение F_v/F_m характеризует максимально возможную эффективность фотосинтеза в случае, если бы фитопланктон находился в идеальных экологических условиях. Величина rETR отражает реальную скорость фотосинтеза при натуральных уровнях освещения. Анализ данных параметров позволяет оценить потенциально максимальную и реальную фотосинтетическую активность фитопланктона. На ряде станций также был измерен профиль фотосинтетически активной радиации (ФАР, 400-700 нм) с помощью подводного и надводного датчиков LI-190R и LI-192, и интегратора DataLogger LI-1500. Данные ФАР использовались для расчёта эвфотического слоя, и в дальнейшем для расчёта интегральных значений rETR для эвфотического слоя – rETR_{int}.

По результатам исследования, диапазон значений F_v/F_m составлял от 0.42 до 0.72 в тёплый период, в холодный период – от 0.62 до 0.7. Минимальные значения F_v/F_m были отмечены в районе 1 как в холодный, так и в тёплый периоды. Максимальные значения находилось на станциях, расположенных на пороге Гданьской впадины также в оба периода. Медианное значение F_v/F_m в тёплый период (май-сентябрь) составило 0.58 в

районе 1, 0.6 в районе 2, 0.57 в районе 3. Медианное значение F_v/F_m в холодный период (ноябрь) составило 0.67 для районов 1 и 2, и 0.68 для района 3.

Диапазон значений $rETR_{int}$ составлял от 390 до 20 отн.ед. в тёплый период, в холодный период – от 181 до 33 отн.ед. Максимальное значение в тёплый период было на станции в северо-западной части открытого моря (район 1). Минимальное значение также было отмечено в районе 1 на станции, расположенной в Готландской впадине. В холодный период максимальное значение $rETR_{int}$ было отмечено в районе 2 на станции, расположенной в Гданьской впадине. Минимальное значение было на станции, расположенной на пороге Гданьской впадины. Медианное значение $rETR_{int}$ в тёплый период составило 177 отн.ед. в районе 1, 193 отн.ед. в районе 2, 170 отн.ед. в районе 3. В холодный период значения составили 93 отн.ед. в районе 1, 100 отн.ед. в районе 2, 91 отн.ед. в районе 3. Таким образом, незначительное повышение значений характерно для района Гданьской впадины.

Анализ результатов показал, что в теплый период пространственная изменчивость F_v/F_m и $rETR_{int}$ была более выражена по сравнению с холодным периодом. Район 3 был наиболее неоднородным с точки зрения фотосинтетической активности фитопланктона. Здесь был отмечен широкий диапазон квартильных значений $rETR_{int}$ по сравнению с остальными районами (130-250 отн.ед.). Квартильные значения F_v/F_m в данном районе были ниже, чем в остальных районах (0.53-0.59). Медианные значения F_v/F_m и $rETR_{int}$ в данном районе также были ниже относительно других. Такие результаты могут обуславливаться гидродинамическим режимом района: распространением относительно холодных пресных вод, частыми апвеллингами и штормами.

В холодный период пространственное распределение значений как F_v/F_m , так и $rETR_{int}$ было относительно однородным во всех районах, кроме Гданьской впадины, где наблюдался максимум $rETR_{int}$ в ноябре 2022 г., и минимум $rETR_{int}$ в ноябре 2023 за весь период исследований. В тёплый период для Гданьской впадины были выявлены повышенные значения $rETR_{int}$ относительно остальных районов. Значения F_v/F_m в Гданьской впадине в среднем также были выше, чем в остальных районах. Повышенные значения F_v/F_m и $rETR_{int}$ в районе Гданьской впадины могут быть обусловлены влиянием Балтийского пролива и взаимодействием между морскими и пресными водами с побережья.

Таким образом, параметры фотосинтетической активности характеризовались выраженной сезонностью. В холодный период наблюдалось повышение значений F_v/F_m , в то время как в тёплый период повышались значения $rETR_{int}$. Наибольшая вариабельность параметров фотосинтетической активности была отмечена в тёплый период в районе 3. В среднем, наибольшие значения параметров F_v/F_m и $rETR_{int}$ достигались в районе 2 в Гданьской впадине, что указывает на необходимость проведения более частых измерений в данном районе.

Финансирование. Экспедиционные исследования выполнены в рамках госзадания ИО РАН (тема №FMWE-2024-0025). Анализ и интерпретация полученных данных выполнены в рамках госзадания БФУ им. И. Канта по теме № FZWM-2024-0015.

АУТИГЕННАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЁРНОГО МОРЯ (РЕЙС №125 НИС "ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ")

Буртнык Д.Д.¹ Якимов Т.С.^{1,2}, Чернов Д.Д.¹, Вороных В.О.¹

¹Дальневосточный федеральный университет г. Владивосток, *burtnyk.dd@dvfu.ru*

²Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток,
iakimov.ts@poi.dvo.ru

Индикация проявлений нефтегазоносности провинций является одним из важных направлений в изучении аутигенной минерализации донных осадков.

В 2022 проходил 125-й рейс НИС "профессор Водяницкий", по результатам которого на половине станций обнаружена аутигенная минерализация. В данной работе будет рассмотрена аутигенная сульфидная минерализация со станции PV125-135.1GC, которая находится в прибрежной зоне северо-восточной части Чёрного моря около континентального шельфа.

В ходе исследований на сканирующей электронной микроскопии установлено, что аутигенная сульфидная минерализация представлена окисленным пиритом. Как известно аутигенный пирит формируется в восстановительной среде, у данных же образцов наблюдается окисление из чего можно сделать вывод, что происходит смена условий среды. Морфологически минерал представляет собой фрамбоиды состоящие из октаэдрических кристаллов. Морфологический анализ фрамбоидов в количестве 925 зерен со средним размером 5,58 мкм выявил 7 фракций от 2,5 мкм до 10 мкм, с преобладающей фракцией в 3 мкм, при стандартном отклонении 2,68 мкм.

Большое количество фрамбоидального пирита с данными характеристиками (средний размер < 6 мкм (μm), стандартное отклонение < 3 мкм) встречается в сульфидной морской среде, с небольшим размером и узким диапазоном распространения [Wilkin et al., 1996; Wilkin и Barnes, 1997; Bond and Wignall, 2010].

Таким образом по результатам морфологического анализа установлено, что фрамбоиды пирита формировались в сульфидной морской среде. Выявлены процессы смены восстановительной среды на окислительную в аутигенной сульфидной минерализации. Предполагается, что формирование сульфидной аутигенной минерализации происходило за счёт микробиальной активности.

Литература

1. Bond, D.P.G., Wignall, P.B., 2010. Pyrite framboid study of marine Permian-Triassic boundary sections: a complex anoxic event and its relationship to contemporaneous mass extinction. *Geol. Soc. Am. Bull.* 122, 1265–1279.
2. Wilkin, R.T., Barnes, H.L., Brantley, S.L., 1996. The size distribution of framboidal pyrite in modern sediments: an indicator of redox conditions. *Geochem. Cosmochim. Acta* 60, 3897–3912.
3. Wilkin, R.T., Barnes, H.L., 1996. Pyrite formation by reactions of iron monosulfides with dissolved inorganic and organic sulfur species. *Geochim. Cosmochim. Acta*. *Zaici*60 (21), 4167–4179.
4. Wilkin, R.T., Barnes, H.L., 1997. Formation processes of framboidal pyrite. *Geochem. Cosmochim. Acta* 61, 323–339.

ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ ДАННЫХ РЕАНАЛИЗА И ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ

Васильева Е. А.^{1,2}, Васильев П. А.¹

¹ Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, г. Калининград, evasileva@kantiana.ru,
pavel.img@gmail.com

² Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, г. Москва, vasilyeva.ea@atlantic.ocean.ru

Хорошо известно, что данные реанализа широко применяются в океанографических исследованиях. Применение данных BALTICSEA_MULTIYEAR_PHY_003_011 для исследований изменчивости прибрежных вод юго-восточной части Балтийского моря имеет ограничения - в частности, в связи с недостаточностью натуральных данных в этой области. Сравнительный анализ показал определенные расхождения между модельными и натурными данными. В данной работе проведено сравнение данных реанализа с измерениями температуры, полученными на нескольких горизонтах при помощи термокосы, установленной на платформе D6 у берегов Куршской косы.

Калининградская область обладает песчаными пляжами, которые являются ключевым ресурсом для развития туристической отрасли. Однако в последние десятилетия наблюдается постепенное сокращение площадей пляжей из-за естественной эрозии берегов и антропогенного воздействия. Чтобы иметь возможность предотвратить природное разрушение береговой линии и, возможно, даже обратить этот процесс, необходимо определить основную причину такой динамики.

Наблюдения за температурой морской воды при помощи термокосы в юго-восточной части Балтийского моря выявили наличие определенных различий в температурном режиме между октяблями 2016 и 2018 годов. Октябрь 2016 года характеризовался аномально высокой штормовой активностью, что привело к интенсивному перемешиванию водных масс и значительным суточным колебаниям температуры, достигавшим 6°C в поверхностном слое. Эти экстремальные условия стали причиной серьезных расхождений между модельными прогнозами и натурными данными – среднеквадратичное отклонение достигало 2°C, что свидетельствует о недостаточном учете натуральных данных в нашей области исследований.

Октябрь же 2018 года отличался стабильными метеорологическими условиями с минимальной штормовой активностью. Суточные колебания температуры не превышали 1°C, а среднеквадратичное отклонение между модельными и измеренными значениями составило всего 0,35°C, что в 5,7 раз меньше, чем в 2016 году. Такие условия позволили температурной модели достаточно точно воспроизводить стратификацию водной толщи.

Выполнено сравнение температурных показателей реанализа и датчика термокосы на трех горизонтах расчета среднеквадратичного отклонения этих полей. Проведено прямое попарное сравнение величин по идентичным глубинам и временным срезам, что наглядно демонстрировало систематический характер расхождений в период штормовой активности. Анализ массивов данных позволил не только количественно оценить расхождения, но и установить их связь с гидродинамическими особенностями сравниваемых периодов, особенно в контексте различий интенсивности вертикального перемешивания вод.

Благодарности. Работа выполнена в рамках госзадания ИО РАН (тема №FMWE-2024-0025).

МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АУТИГЕННОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ЮЖНО - КИТАЙСКОГО МОРЯ.

Вороных В.О.¹, Якимов Т.С.^{1,2}, Калгин В.Ю.³, Чернов Д.Д.¹, Буртнык Д.Д.¹

¹Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, voronykh_vo@mail.ru

²Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток,
iakimov.ts@poi.dvo.ru

³Институт океанологии РАН, г. Москва

Индикация проявлений нефтегазоносности провинций является одним из важных направлений в изучении аутигенной минерализации донных осадков.

В ходе экспедиции 88-го рейса НИС "Академик М.А. Лаврентьев" в 2019 году были отобраны образцы, включающие в себя аутигенную минерализацию.

Аутигенная минерализация представлена пиритом в виде фрамбоидов до 30 мкм и трубчатых стяжений длиной до 5 см [Калгин и др. 2022].

Для морфологического анализа были проанализированы результаты сканирующей электронной микроскопии образца из станции LV88-20/1GC бассейна Фу Хань. Всего было насчитано 232 зерна размером от 10 до 30 микрон. Вследствие чего разделены на 3 фракции: 10 мкм-111 штук, 20 мкм-65 штук, 30 мкм-56 штук. Преобладает наиболее тонкая фракция из представленных, далее количество зерен с ростом фракции уменьшается. Стандартное отклонение составляет 7,07 микрон.

Большое количество фрамбоидального пирита с данными характеристиками (средний размер > 6 мкм (μm), стандартное отклонение > 3 мкм) встречается в окисленной морской среде [Lin et al., 2016]. Обычно считается, что фрамбоидальный пирит, образующийся в СМТЗ, имеет больший средний диаметр > 20 мкм и более широкое распределение по размерам, диапазон стандартного отклонения > 3 мкм. Измеренные фрамбоиды характерны для сульфат-метановой транзитной зоны. Стоит отметить, что размерные характеристики фрамбоидального пирита, образовавшегося в СМТЗ, могут не отражать эффективно окислительно-восстановительные условия окружающей среды, лежащей в основе осаждения [Lin et al., 2016].

Таким образом по результатам морфологического анализа установлено, что фрамбоиды пирита формировались, предположительно, в окисленной морской среде. Формирование происходило за счёт активного просачивания метана из сульфат-метановой транзитной зоны.

Литература

1. Калгин, В. Ю. Особенности распространения и генезиса аутигенной сульфидной минерализации в донных отложениях Привьетнамского шельфа и склона Южно-Китайского моря / В. Ю. Калгин, А. И. Еськова, А. А. Легкодимов // Литология и полезные ископаемые. – 2022. – № 5. – С. 452-464. – DOI 10.31857/S0024497X22040024.
2. Lin, Z., Sun, X., Peckmann, J., Lu, Y., Xu, L., Strauss, H., Zhou, H., Gong, J., Lu, H., Teichert, B.M.A., 2016c. How sulfate-driven anaerobic oxidation of methane affects the sulfur isotopic composition of pyrite: a SIMS study from the South China Sea. Chem. Geol. 440, 26–41.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАУЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Валитова А.М.¹, Пушкин П.А.²

¹*Институт математики и компьютерных технологий ДВФУ, г. Владивосток, ann_val@mail.ru*

²*Приморский политехнический колледж, г. Владивосток*

Для эффективного выполнения исследований, особенно требующих экспериментальных и натуральных измерений, необходима не только обеспеченность организации современным научным оборудованием, но и использование его с максимальной отдачей. Одной из решаемых задач, решаемых для достижения этой цели, является организация прозрачного планирования и мониторинга использования научного оборудования.

В данной работе предлагается рассмотреть систему учета использования научного оборудования, которая могла бы использоваться в организации такой как Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН

Необходимо сразу сделать ремарку, что ниже будет предложена одна из возможных систем учета и контроля использования научного оборудования для успешного функционирования которой необходимо соблюдать несколько условий, одним из которых является стабильное финансирование, направленное на обновление материально-технической базы, а также равный доступ всех участников процесса к этому финансированию.

Как уже было отмечено выше, целью нашей работы являлось разработка программного обеспечения для оптимизации системы управления по использованию научного оборудования.

На первом этапе были проанализированы основные этапы экспериментальной деятельности в организации, способы использования оборудования сотрудниками и составлен проект использования оборудования. Проект включает в себя четыре основные модели:

1) Сотрудники; 2) Оборудование; 3) Заявление на бронирование; 4) Отчёт.

Модель «Сотрудники» используется для связи с оборудованием и заявлением на бронирование. За счёт этой связи к каждому оборудованию и к каждому заявлению на бронирование присваивается ID выбранного сотрудника. У каждого сотрудника есть лаборатория, к которой он относится, а у каждой лаборатории есть свой отдел.

Помимо этого, сотрудники подразделяются на три основные группы:

1) Администраторы; 2) Ответственные за оборудование сотрудники; 3) Научные сотрудники.

Роль «Администратор» — это пользователь, который отвечает за внутренние процессы в разрабатываемом проекте, а именно: добавление новых данных (Оборудование и сотрудники) и их изменение, настройка почтового сервиса. Роль «Ответственный за оборудование сотрудник» — это ответственное лицо, на подотчете которого находится оборудование, «владелец оборудования». Роль «Научный сотрудник» — это конечный пользователь научного оборудования, непосредственно работающий на нём, «пользователь».

Модель «Оборудование» используется для связи с заявлением на бронирование. За счёт этой связи к каждому заявлению на бронирование присваивается ID выбранного оборудования. У каждого оборудования есть свой тип и статус, по которому можно определить возможность бронирования оборудования.

Помимо этого, в зависимости от статуса, оборудование подразделяется на три группы:

1) Готово к использованию; 2) Не готово к использованию; 3) Забронировано или эксплуатируется.

Статус «*Готово к использованию*» означает, что оборудование исправно и готово для дальнейших бронирований. Статус «*Не готово к использованию*» означает, что оборудование неисправно (требуется ремонт и/или замены расходных материалов) и не готово для дальнейших бронирований. Статус «*Забронировано или эксплуатируется*» означает, что оборудование в данный момент забронировано или эксплуатируется каким-то сотрудником, но при этом всё равно есть возможность его забронировать на другой период времени.

Модель «*Заявление на бронирование*» используется для связи с отчётом. За счёт этой связи к каждому отчёту присваивается ID выбранного заявления на бронирование. У каждого заявления на бронирование есть своё основание на бронирование.

Модель «*Отчёт*» используется для связи с фотографиями оборудования, для которого создаётся отчёт, с ремонтом оборудования во время бронирования и с заменой расходных материалов во время бронирования. За счёт этой связи к каждой фотографии оборудования, к каждому ремонту оборудования во время бронирования и каждой замене расходных материалов во время бронирования присваивается ID выбранного отчёта. Помимо этого, у каждого отчёта есть свой тип работы и место использования оборудования.

Таким образом, работа системы учета оборудования выглядит следующим образом. *Администратор* создает базу данных, включающих *Пользователей* – сотрудников, желающих использовать оборудование, *Владельцев оборудования* – сотрудников, которые принимают решения об использовании оборудования, находящегося в их подотчётности, и собственно *Оборудования*, закрепленного за этими *Владельцами*.

Далее *Пользователь* находит в базе данных доступное для бронирования *Оборудование* и бронирует его на определенное время, при условии, что это время свободно. При бронировании *Пользователь* заполняет регистрационную форму, где указывает период, цель и место использования оборудования и другие параметры. Эта регистрационная форма попадает к *Владельцу оборудования*, который принимает решение об удовлетворении этой заявки. В случае удовлетворения заявки *Оборудование* считается забронированным и другой *Пользователь* не сможет подать заявку на это оборудование, которая даже частично включала бы забронированный ранее период. По истечении срока *Бронирования* *Пользователь* возвращает оборудование *Владельцу* и пишет краткий *Отчет*, в том числе о работоспособности оборудования, ремонтах или замене расходных материалов, если это потребовалось. Подписанный *Пользователем* *Отчет* попадает на утверждение *Владельцу оборудования* и если он соглашается с этим *Отчетом*, то принимает его, тем самым завершая цикл *Бронирования*. В противном случае *Владелец* отмечает свое несогласие с состоянием оборудования и *Отчет* направляется *Администратору*, который привлекает администрацию Института для решения возникшей проблемы в режиме оффлайн.

Помимо непосредственного бронирования оборудования разработанная система ведет статистику загруженности и востребованности научного оборудования, что может быть полезно при планировании обновления материально-технической базы организации.

Программное обеспечение разработано на модульной платформе «.NET». Это модульная платформа для разработки программного обеспечения с открытым исходным кодом. Она совместима с операционной системой Windows. Для разработки программного обеспечения использовались два инструментальных средства, а именно: Microsoft Visual Studio и SQL Server Management Studio 19.

СУЩЕСТВУЕТ ЛИ КРОСС-ФРОНТАЛЬНЫЙ ПЕРЕНОС ЧЕРЕЗ СТРУЮ КУРОСИО В ВОСТОЧНО-КИТАЙСКОЕ МОРЕ?

Георгиевская А.В.¹, Белоненко Т.В.¹, Будянский М.В.^{1,2}

*¹Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург,
aalesia.geo.spb@gmail.com*

²Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток

Течение Куроисио — западное пограничное течение, расположенное в северо-западной части Тихого океана, которое играет ключевую роль в переносе тепла и питательных веществ в субтропическом круговороте. В Восточно-Китайском море ось течения достаточно стабильна благодаря топографическим особенностям, однако в зимний период при ослаблении Куроисио течение меандрирует, и его воды проникают на шельф Восточно-Китайского моря. В целом, фронт Куроисио образует естественный барьер, препятствующий перемешиванию вод Тихого океана с шельфовыми водами Восточно-Китайского моря. Роль мезомасштабных вихрей в кросс-фронтальном переносе в данном регионе остаётся неопределённой.

Исследование охватывает период с января 1993 по февраль 2022 год и основано на комплексном анализе спутниковых данных и реанализа. В работе использовались данные глубин GEBCO 2024, атлас траекторий вихрей AVISO META3.2, спутниковые измерения температуры поверхности океана OSTIA, реанализ GLORYS12V1, альтиметрические данные L4 Copernicus, а также уравнение состояния морской воды TEOS-10 для расчёта плотности воды. Особое внимание было уделено анализу поведения мезомасштабных вихревых структур, их взаимодействия с основным потоком течения и влиянию на процессы кросс-фронтального переноса.

Основные выводы работы заключаются в следующем:

1. В регионе, прилегающем к Восточно-Китайскому морю, формируется примерно одинаковое количество циклонов и антициклонов (более 2000). Отдельные антициклоны участвуют в кросс-фронтальном переносе струи Куроисио в Восточно-Китайское море.

2. Циклоны не участвуют в кросс-фронтальном переносе из Тихого океана в Восточно-Китайское море.

3. По данным AVISO META 3.2 за 1993-2022 гг. выявлено 6 антициклонов, которые пересекли Куроисио и проникли в Восточно-Китайское море. Этот процесс наблюдается преимущественно в зимний период и связан с ослаблением интенсивности течения.

4. Хотя большинство вихрей диссипируют вскоре после пересечения струи Куроисио, зафиксирован долгоживущий антициклон (214 дней), сохранявшийся в течении полугода после проникновения на шельф. Этот вихрь продемонстрировал ожидаемое сокращение вертикального масштаба с 400 м до глубин шельфа (50-100 м), а также уменьшение скоростей вращения, но сохранил ядро. Этот случай демонстрирует потенциальную роль вихрей не только в кратковременном переносе, но и в длительной модификации водных масс шельфовой зоны.

Результаты исследования подтвердили, что мезомасштабные вихри являются важным элементом системы водообмена между Тихим океаном и Восточно-Китайским морем, а полученные данные вносят существенный вклад в понимание динамики региональных океанологических процессов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 25-17-00021.

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ОКЕАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Гаревских Г.П., Липинская Н.А.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток,
garevskih.gp@poi.dvo.ru*

Мониторинг качества воды и состояния водных экосистем является важной задачей в современных экологических исследованиях. Эффективное управление водными ресурсами требует своевременного выявления изменений, вызванных природными процессами и антропогенным воздействием. Традиционно, используемые подходы включают непосредственное взятие проб и лабораторные анализы, однако такие методы требуют значительных временных затрат и финансовых ресурсов. Поэтому всё большую популярность приобретают технологии дистанционного зондирования, позволяющие оперативно получать информацию о состоянии водоёмов.

Одним из наиболее эффективных инструментов такого мониторинга являются спутники дистанционного зондирования Земли. Современные космические аппараты оснащаются чувствительными сенсорами, способными фиксировать изменения состава воды. Одним из ключевых показателей, используемых в таком анализе, является концентрация хлорофилла-а — пигмента, содержащегося в клетках водорослей и фитопланктона. Высокая концентрация хлорофилла свидетельствует о наличии большого количества фитопланктона, играющего важную роль в функционировании всей водной экосистемы. Также он может свидетельствовать о чрезмерном росте водорослей («цветении»), которое часто связано с повышенным содержанием питательных веществ в воде.

Современные спутниковые системы позволяют проводить оперативный мониторинг акваторий больших размеров, обеспечивая возможность регулярного обновления картографических материалов и быстрого реагирования на обнаруженные проблемы. Анализ полученных изображений осуществляется с помощью различных методик, в частности искусственных нейронных сетей и компьютерного зрения.

Искусственные нейронные сети способны эффективно обрабатывать большие объемы данных, автоматически классифицируя различные типы объектов на изображениях, таких как вихри. Компьютерное зрение же помогает извлекать полезную информацию из визуальных данных, определяя ключевые характеристики исследуемых территорий.

Внедрение открытых источников программного обеспечения делает возможным создание универсальных модулей, легко интегрируемых в существующие информационные системы. Такая модульная структура обеспечивает высокую гибкость и адаптируемость решений, позволяя применять их для широкого спектра задач мониторинга и управления состоянием водных ресурсов.

Работа выполнена в рамках заданий по государственным бюджетным темам ТОИ ДВО РАН №124042300003-5 «Организация комплексного океанографического мониторинга дальневосточных акваторий гидрофизическими, оптическими и акустическими методами» и №124022100080-0 «Комплексное использование методов дистанционного зондирования Земли, а также наземных и подводных измерительных систем в исследованиях морских погодных образований, гидродинамических и биогеохимических процессов в верхнем слое океана и морей».

ИКАИТ В ГОЛОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ МОРЕЙ ВОСТОЧНОЙ АРКТИКИ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Горбарев А.А.^{1,2}

¹*Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток*

²*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
г. Владивосток, gorbarev.aa@dvfu.ru*

Икаит – неустойчивый минерал, водный карбонат кальция с химической формулой $\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Формируется при низких температурах от -2 до $+7$ °С исключительно в четвертичных отложениях, при дестабилизации разлагается на безводные карбонаты кальция. К факторам, которые в той или иной степени контролируют кристаллизацию и устойчивость икаита, относят повышенное содержание сульфат-иона, фосфат-иона, иона магния, а также щелочность (высокий pH). Интерес к икаиту и соответствующим псевдоморфозам (глендониты) обусловлен прежде всего индикацией мест разгрузки углеводородов и перспективой использования в палеоклиматических исследованиях в качестве маркера холодных условий. Наиболее крупное современное обобщение по икаиту и глендонитам сделано М. Роговым с соавторами (Rogov et al., 2021, 2023).

В докладе представлен актуальный на 2025 г. обзор литературы по находкам икаита в голоценовых отложениях восточно-арктических морей – Лаптевых, Восточно-Сибирского, Чукотского. Рассмотрены такие вопросы, как частота обнаружения, особенности локализации в осадочной толще, характеристики вмещающих осадков, морфология, химический и изотопный состав кристаллов икаита/кальцита. По итогам обзора сделаны следующие выводы.

1. Среди восточно-арктических морей первая фиксация (Schubert et al., 1997) и максимальное количество находок икаита сделаны в море Лаптевых (Rogov et al., 2021, 2023). В Чукотском море описано три находки (Колесник и др., 2025). В Восточно-Сибирском море известна одна находка, сделанная сотрудниками ТОИ ДВО РАН (Kolesnik et al., 2025). Большинство находок сконцентрировано на мелководном шельфе с глубинами моря до 50–60 м. Случаи обнаружения в каньонах, прорезающих мелководный шельф, и на континентальном склоне относительно редки (Schubert et al., 1997; Крылов и др., 2019; Колесник и др., 2025). Вероятно, это связано в том числе с меньшей доступностью глубоководных районов для отбора проб. Следует также отметить, что существенное количество находок икаита в восточно-арктических морях зафиксировано либо в виде устных сообщений без публикации результатов, либо попутно в публикациях, касающихся вопросов осадконакопления.

2. В восточно-арктических морях, как и во всем мире, икаит встречается главным образом в глинистых и алевроитовых осадках (до 75 % и около 10 % от общего числа находок соответственно) (Rogov et al., 2023). В принципе, в современных условиях икаит формируется только в мягких рыхлых отложениях: такая консистенция осадка не препятствует росту кристаллов. В публикациях по находкам икаита параметры вмещающих осадков, требующие лабораторных исследований, описаны довольно слабо, обычно характеристика ограничивается полевым литологическим описанием. Все находки икаита сделаны ниже поверхности дна в восстановленных осадках на поддонных глубинах от 31 до 315 см (Крылов и др., 2015; Kolesnik et al., 2025). Икаит бывает представлен единичными пирамидальными, копьевидными кристаллами или их звездчатыми агрегатами диаметром до 7–8 см. Икаит в осадках легко диагностируется по янтарному цвету и прозрачности, при переходе в кальцит мутнеет и белеет. В некоторых случаях при переходе икаита в кальцит отмечается временное присутствие в пробах ватеритовой фазы.

3. Сведения о химическом составе икаита восточно-арктических морей скудны и касаются только проб, проанализированных после перехода икаита в кальцит (Schubert et al., 1997; Колесник и др., 2025; Kolesnik et al., 2025). Есть данные о присутствии в

кальците небольшого количества магния, железа, кремния, алюминия, органического углерода (десятые доли процента). Из микроэлементов на уровне сотен граммов на тонну содержится только стронций. Содержание остальных микроэлементов не превышает десятков граммов на тонну.

4. Икаиты восточно-арктических морей, как и другие икаиты, тяготеющие к группе морских икаитов восстановительных обстановок (Rogov et al., 2023), при переходе в кальцит характеризуются низкими значениями $\delta^{13}\text{C}$ от -36.3 до -14.8 ‰ V-PDB, что указывает на смешанный источник углерода от окисления органического вещества (в подавляющем большинстве случаев резко преобладает либо является единственным) и метана. Максимально “метановый” икаит зафиксирован на континентальном склоне моря Лаптевых (Schubert et al., 1997). Значения $\delta^{18}\text{O}$ в проанализированных пробах укладываются в диапазон от -3.2 до +3.2 ‰ V-PDB, что в целом сопоставимо со значениями $\delta^{18}\text{O}$ для морской воды (Rogov et al., 2023).

5. Приоритетным направлением дальнейших работ можно считать общее расширение базы данных по икаиту в малоизученном восточно-арктическом регионе за счет новых научно обоснованных находок икаита. Особый акцент в исследованиях должен быть сделан на минералого-геохимических и изотопных трансформациях в цепочке икаит-кальцит, а также на физических свойствах и вещественном составе вмещающих донных отложений с уточнением факторов, контролирующих кристаллизацию и устойчивость икаита в осадочной толще. Полученная информация будет способствовать укреплению индикаторной роли икаита.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность к.г.-м.н. Колесник О.Н. и к.г.-м.н. Колеснику А.Н. за всестороннюю помощь в освоении материала.

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-00098, <https://rscf.ru/project/24-27-00098/>.

Литература

Колесник О.Н., Колесник А.Н., Карабцов А.А., Василенко Ю.П., Горбарев А.А. Икаит в голоценовых осадках Чукотского моря // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2025. Т. 520. № 2. С. 138–144.

Крылов А.А., Гусев Е.А., Семенов П.Б., Кузнецов А.Б., Кржижановская М.Г., Малышев С.А., Литвиненко И.В. Новые находки икаита ($\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) в море Лаптевых // Геология морей и океанов: Материалы XXIII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. II. М.: ИО РАН, 2019. С. 290–292.

Крылов А.А., Логвина Е.А., Матвеева Т.В., Прасолов Э.М., Сапега В.Ф., Демидова А.Л., Радченко М.С. Икаит ($\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) в донных отложениях моря Лаптевых и роль анаэробного окисления метана в процессе его формирования // Записки Российского минералогического общества. 2015. № 4. С. 61–75.

Kolesnik O.N., Kolesnik A.N., Gorbarev A.A., Karabtsov A.A., Vologina E.G., Zarubina N.V. A First Ikaite Find in Bottom Sediments of the East Siberian Sea // Doklady Earth Sciences. 2025. V. 522:41. DOI: 10.1134/S1028334X25600045.

Rogov M., Ershova V., Gaina S., Vereshchagin O., Vasileva K., Mikhailova K., Krylov A. Glendonites throughout the Phanerozoic // Earth-Science Reviews. 2023. V. 241. Art. No. 104430.

Rogov M., Ershova V., Vereshchagin O., Vasileva K., Mikhailova K., Krylov A. Database of global glendonite and ikaite records throughout the Phanerozoic // Earth System Science Data. 2021. V. 13. P. 343–356.

Schubert C.J., Nürnberg D., Scheele N., Pauer F., Kriews M. ^{13}C isotope depletion in ikaite crystal: evidence for methane release from the Siberian shelves? // Geo-Marine Letters. 1997. V. 17. P. 169–174.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ОСЛАБЛЕНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИ-АКТИВНОЙ РАДИАЦИИ В АМУРСКОМ ЗАЛИВЕ В СИСТЕМЕ "ВОДНАЯ ТОЛЩА- МОРСКОЙ ЛЕД" С ПОМОЩЬЮ ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И ГИДРООПТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Горбов М.И.^{1,2}, Салюк П.А.¹, Липинская Н.А.¹

¹Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
г. Владивосток, *maxgorbov@mail.ru*

²Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

Исследование направлено на определение показателя ослабления фотосинтетически-активной радиации (ФАР) в системе «водная толща – морской лёд» в Амурском заливе. Методы включали прямые измерения с помощью зонда SBE 19 plus, оснащённого датчиками солёности, температуры, флуоресценции (для определения концентрации окрашенного растворённого органического вещества (ОРОВ) и, хлорофилла-а (хл-а)) и датчиком ФАР. Также использовались данные с гиперспектрометра для регистрации падающего и прошедшего сквозь лёд света (измерения проводились в три этапа: над льдом, подо льдом и в водной толще) и спутниковые данные Sentinel-2 (зимний период) с цветокоррекцией для визуализации льда с промежуточным органическим слоем.

Ключевые результаты показали, что наличие промежуточного органического слоя во льду приводит к трёхкратному увеличению ослабления ФАР (*K_{par}*). Основным фактором ослабления ФАР в водной толще оказалось ОРОВ, что подтвердилось как летними, так и зимними данными. На глубинах до 4 метров заметно влияние поверхностного отражения, но ниже этой границы *K_{par}* хорошо согласуется с летней моделью. Зимние и летние модели ослабления ФАР отличаются лишь константой, что связано с изменением диффузности солнечного излучения при наличии ледяного покрова.

Органический слой во льду значительно усиливает ослабление ФАР, что важно для понимания светового режима подлёдных экосистем. ОРОВ остаётся ключевым фактором ослабления света в воде независимо от сезона. Полученные данные уточняют модели переноса излучения в системе «лёд–вода» и могут быть использованы для мониторинга арктических и субарктических акваторий.

Работа выполнена в рамках заданий по государственным бюджетным темам ГОИ ДВО РАН №124042300003-5 «Организация комплексного океанографического мониторинга дальневосточных акваторий гидрофизическими, оптическими и акустическими методами» и №124022100080-0 «Комплексное использование методов дистанционного зондирования Земли, а также наземных и подводных измерительных систем в исследованиях морских погодных образований, гидродинамических и биогеохимических процессов в верхнем слое океана и морей».

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА ФИТОПЛАНКТОНА АМУРСКОГО ЗАЛИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ UMAP

Гребенкин П.В.¹, Орлова Т.Ю.²

¹Институт Мирового океана ДВФУ, Владивосток, grebenkin.pv@mail.ru

²ННЦМБ им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток

Амурский залив представляет собой часть залива Петра Великого и является важной акваторией с точки зрения рекреации, марикультуры, морского транспорта. Амурский залив ограничивает полуостров Муравьева-Амурского с запада и является довольно изученным объектом мониторинга фитопланктона, проводимого с различной периодичностью с 1960-х годов сотрудниками Лаборатории морской микробиоты ННЦМБ ДВО РАН.

Накопленная информация требует анализа и всестороннего рассмотрения. Одним из инструментов визуализации данных являются алгоритмы понижения размерности.

UMAP (Uniform Manifold Approximation and Projection) - метод нелинейного уменьшения размерности, который отображает многомерные данные в пространство меньшей размерности путем создания и компоновки графа данных.

В данной работе был проведен подбор параметров алгоритма UMAP для визуализации динамики состояния фитопланктонного сообщества. Все вычисления проводились на базе Jupyter Notebook с использованием модулей pandas, numpy, scikit-learn, umap.

Наболее информативной метрикой расстояний для множества данных оказалась Canberra. Количество ближайших соседей 13, минимальная дистанция 0,2. Удалось зафиксировать сезонность и непрерывность переходов состояний фитопланктонного сообщества.

Применение подобных методов позволяет визуализировать сложные наборы данных в дополнение к другим методам анализа. Однако следует с осторожностью подходить к интерпретации результатов понижения размерности, т.к. редукция данных до меньшего количества измерений в любом случае устраняет информацию, наличие которой может быть критично для дальнейшей работы.

СЕЗОННАЯ МИГРАЦИЯ УСТЬЕВОЙ ЗОНЫ СМЕШЕНИЯ Р. ПРЕГОЛИ И ЕЁ СВЯЗЬ С ПЕРЕКРЫТИЯМИ ВОДОЗАБОРОВ Г. КАЛИНИНГРАДА (ПО ДАННЫМ 2024 Г.)

Двоеглазова Н.В.¹, Чубаренко Б.В.¹, Иванов Ю.В.²

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, *nadya2eyes@mail.ru*

²Государственное предприятие Калининградской области «Водоканал», г. Калининград

Река Преголя впадает в юго-восточную часть Балтийского моря. Её устьевая область состоит из устьевого взморья - Калининградского залива и Калининградского морского канала (протяжённость от моря до устья реки 35 км) и устьевого участка (протяжённость от устья до разделения реки на Нижнюю Преголю и Дейму 55 км). Устьевая зона смешения мигрирует внутри устьевого участка реки в зависимости от сезона и текущего баланса между стоком речных вод и подпором со стороны вод залива.

Согласно исследованиям 1999-2014 гг. действие активных нагонов провоцировало движение солоноватых вод вверх по р. Преголе в осенний сезон, и максимальная инструментально зафиксированная дальность составляла 20 км от устья. В период проведения натурных наблюдений в 2024 г. проникновение солоноватых вод от устья реки Преголи до водозабора ЮВС-2 (расстояние 21 км от устья) наблюдалось в течение всего года, а наиболее дальнее проникновение изогалины 1 psu в придонном горизонте удалось зафиксировать в ноябре 2024 г. в 43-44 км от устья.

В период с 01.02.2024 по 11.12.2024 г. исследования гидрологических условий на устьевом участке р. Преголи проводились вдоль русла с периодичностью один раз в 2-4 недели с учащением измерений (1 раз/сут.) в периоды экстремальных нагонов (всего 27 обследований). Протяжённость района проведения работ составляла 63 км, от входных молв Калининградского морского канала, г. Балтийск, до 44 км вверх по реке от устья. Общее количество станций – 60 шт. Измерения осуществлялись приборами Ocean Seven 316Plus Multiparameter и Probe и Sea&Sun Technology CTD48 Mc в режиме вертикальных зондирований с борта маломерного плавсредства (солёность и температура).

В работе использованы данные о концентрации хлоридов в речной воде, полученные возле водозабора Южной водопроводной станции №2 (ЮВС-2) в течение периода наблюдений.

Весной 2024 г. (07.03-14.05.2024 г.) устьевая зона смешения р. Преголи располагалась в пределах устьевого взморья (Калининградский морской канал) и первых 6-9 км устьевого участка. Распределение солёности имело сильную вертикальную стратификацию во все даты измерений. Протяжённость фронтальной подзоны в пределах устьевого участка смешения ситуационно менялась в пределах 15-40 км.

Летом 2024 г. (31.05-20.08.2024 г.) протяжённость фронтальной подзоны устьевого участка смешения увеличилась за счет подъёма внутренней границы выше по реке на 9-17 км от устья. В течение всего сезона присутствовала вертикальная стратификация, протяжённость фронтальной подзоны составляла 20-40 км.

В конце осени 2024 г. удалось зафиксировать экстремальное проникновение солоноватых вод с наибольшей дальностью 43-44 км (22.11.2024 г.) выше устья. Под действием штормового нагона (до 15-17 м/с) устьевая зона смешения продвигалась вверх по устьевому участку, протяжённость фронтальной подзоны в этот момент составила 34 км, и водная толща имела однородную вертикальную структуру. По окончании нагона в результате воздействия речного стока вертикальная стратификация водной толщи восстановилась, фронтальная подзона восстановилась, сдвинувшись вниз по течению.

По данным **ЮВС-2** в осенний сезон водозаборы системы водоснабжения перекрывались как на длительные периоды в ноябре (30.10-06.11.2024/08.11.2024, 18-30.11.2024), так и кратковременно в сентябре и октябре (30.09.2024 г., 14-16.10.2024, 23-24.10.2024).

Зимой, когда натурные наблюдения вдоль русла не проводились, случаи увеличения концентрации хлоридов в р. Преголе возле ЮВС-2 были зафиксированы ГПКО «Водоканал» в декабре (16-18.12.2024) и январе (31.12.2024-05.01.2025, 10-13.01.2025).

Устьевая зона смешения перемещается вдоль русла в течение всего года, меняя местоположение в зависимости от сезона. Результаты показали, что не только осенью, но и зимой внутренняя граница устьевой зоны смешения находится так далеко вверх по течению, что может влиять на работу ЮВС-2.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-44-20027 (<https://rscf.ru/project/24-44-20027/>) с целью оценки сезонной миграции устьевой зоны смешения в 2024 г., как фактора воздействия на перемещение частиц микропластика. В работе использованы архивные данные АО ИО РАН. Автор благодарит Крека А.В. за содействие в проведении работ и Килесо А.В. за помощь в проведении измерений.

СОЗДАНИЕ ПЛАНЕТАРНОЙ ЛАЗЕРНО-ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

Долгих Г.И.¹, Будрин С.С.¹, Долгих С.Г.^{1,2}, Болсуновский М.А.^{1,2}, Иванов М.П.^{1,2}

¹*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, г. Владивосток,
bolsunovsky.ma@poi.dvo.ru*

²*Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, г. Владивосток,
bolsunovsky.ma@poi.dvo.ru*

Сейсмоакустические колебания земной коры широкого диапазона частот являются как следствием, так и причиной различных геофизических процессов. Исследование этих колебаний необходимо не только для изучения природы породивших их явлений, но и для изучения взаимодействия физических процессов и выявления причинно-следственной связи возникающих колебаний и волн в формировании различных гео- и биосферных явлений на Земле и в окружающем пространстве. Каждое колебание определяется параметрами своего источника. По амплитудно-фазовым вариациям конкретных колебаний можно судить о характере поведения различных процессов и явлений.

В настоящее время изучение амплитудно-частотных характеристик сейсмических процессов проводят с помощью инерционных и безинерционных приборов. Существенное отличие в конструкции приборов этих двух классов проявляется в возможности исследования колебаний и волн различного диапазона частот. К приборам инерционного типа относятся различные сейсмографы, измеряющие колебания и волны в узком диапазоне частот. Приборы безинерционного типа предназначены для исследования колебаний и волн более широкого диапазона частот.

Началом введения в эксплуатацию высокочувствительных приборов безинерционного типа можно связать с стрейн-сейсмографом Бениоффа, созданным в 1935 г. Хьюго Бениоффом в Калифорнийском технологическом институте. Первые сведения о создании длиннобазового лазерного интерферометра для геофизических приложений относятся к 1965 г., когда Вейли, Крогстад и Мосс сообщили о создании работающего макета лазерного деформографа на основе интерферометра Майкельсона. Практически все лазерные деформографы в настоящее время работают индивидуально, решая узко поставленные задачи. Как показывают отдельные работы, сравнение синхронных данных пространственно-разнесённых лазерных интерферометров позволяет получать результаты планетарного масштаба.

Для решения проблемы изучения сейсмических колебаний и их природы была создана планетарная лазерно-интерферометрическая сейсмоакустическая обсерватория, состоящая из пяти стационарных однокоординатных лазерных деформографов и одного двухкоординатного лазерного деформографа объединённых в единую измерительную сеть, которые способны регистрировать смещения на своих базах с точностью до 10 пм в диапазоне частот от 0 (обычно) до 1000 Гц. На базе данной обсерватории были разработаны основы пеленгования различных инфразвуковых возмущений на любом планетарном расстоянии. Используя данные пространственно-разнесённых лазерных деформографов, можно определить природу расхождения этих сигналов, первичный источник деформационных инфразвуковых возмущений с первичными амплитудами от 100 нм, а также потерю их энергии в среде распространения.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта № 075-15-2024-642 «Исследование процессов и закономерностей возникновения, развития и трансформации катастрофических явлений в океанах и на континентах методами сейсмоакустического мониторинга».

ЛАГРАНЖЕВ ПОДХОД В ИССЛЕДОВАНИИ РЕЦИРКУЛИРУЮЩИХ АТЛАНТИЧЕСКИХ ВОД В ПРОЛИВЕ ФРАМА

Демченко А.Ю.¹, Будянский М.В.^{1,2}, Баимачников И.Л.^{1,3}, Удалов А.А.²

¹*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург,
asha.demchenko@gmail.com*

²*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева, г. Владивосток*

³*«Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена», г. Санкт-Петербург*

Пролив Фрама является одним из “ворот” для атлантических вод в Северный Ледовитый океан. При этом некоторое количество атлантических вод рециркулирует в южном направлении, что непосредственно влияет на распределение потока тепла в Арктику. Цель работы – используя лагранжев подход, определить механизмы переноса маркеров, характеризующих адвекцию от створа Западно-Шпицбергенского течения до меридионального разреза, пересекающего основные ветви рециркулирующих атлантических вод (РАВ).

В исследовании использовались поля скорости реанализа GLORYS12V1 с пространственным разрешением $1/12^\circ$ за 2021–2023 гг. Для анализа лагранжева переноса использовался горизонт 109 м, на котором возможно отследить основные пути движения как атлантических вод, так и РАВ. Ежедневно в период с 1 января 2021 года по 16 июня 2023 года отрезок с координатами 76.5° с.ш., $6-15^\circ$ в.д. засеивался 5000 пассивными маркерами. Для каждого маркера затем производился численный расчет траектории в течении 185 суток, после чего все траектории проверялись на факт пересечения отрезка ($77.5-79.5^\circ$ с.ш., 4° в.д.), соответствующего меридиональному разрезу РАВ. В анализе рассматривались только те маркеры, траектории которых пересекли указанный отрезок. Далее был проанализирован набор статистик, отражающих временные характеристики адвекции маркеров от створа ЗШТ до отрезка РАВ.

Было выявлено, что существует два режима перемещения маркеров: быстрый (адвективно-вихревой) и медленный (вихревой). Быстрый перенос маркеров связан с адвекцией средним течением, преимущественно на начальном этапе пути маркеров, или движением вдоль периферий цепочек вихрей. Медленный перенос обусловлен длительным удержанием маркеров вихрями разной полярности. При этом маркеры перемещаются на запад либо вместе с движущимися вихрями, либо “передаваясь” от одного вихря другому. Также определены транспортные коридоры – наиболее вероятные пути перемещения маркеров в зоне рециркуляции. Отмечается порционность прихода рециркулирующих быстрых маркеров в пределах выделенных транспортных коридоров. Медленные маркеры поступают на меридиональный разрез в области рециркуляции вод ЗШТ практически непрерывно.

Работа поддержана РНФ в рамках проекта № 25-17-00021. Поля скорости обработаны на вычислительном кластере в рамках государственного задания ТОИ ДВО РАН № 124022100072–5.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ ИЗ ГЛУБОКОГО МОРЯ НА ШЕЛЬФ

Диденко В.В.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток,
didenko.vv@poi.dvo.ru*

В условиях стремительно нарастающего числа вызовов в сфере экономического прогресса, обороны и в целом устойчивого развития государства, перед учеными возникает ряд задач, решению которых способствует развитие передовых научно-исследовательских разработок. В области оперативно развивающегося направления гидроакустики высокий приоритет имеют модельно-ориентированные исследования, направленные на создание, улучшение и последующее применение на практике методик, в основе которых лежит экспериментальное моделирование в целях обеспечения высокой точности при выполнении гидроакустических задач путем использования сложных акустических сигналов различной частоты. Для успешной реализации поставленных целей исследователями проводятся экспериментальные работы на различных акустических трассах, в рамках которых апробируются методики, позволяющие быстро и безошибочно решать задачи звукоподводной связи, акустической томографии, дальнометрии и позиционирования.

Экспериментальное исследование особенностей распространения сложных акустических сигналов проводилось в июле 2024 года в рамках научной экспедиции в Японском море. Излучение сигнального пакета осуществлялось в нескольких точках с помощью излучателя, опускаемого с борта научно-исследовательского судна (НИС) «Академик Опарин», находящегося на некотором расстоянии от побережья Приморского края. Принятые сигналы регистрировались на две приемные системы, расположенные в бухте Витязь залива Посьет. Таким образом, характер акустической трассы имел вид, при котором излучение производилось из глубокого моря на шельф. Анализ полученного материала включал построение импульсных характеристик акустического волновода, вычисление зависимости эффективной скорости и времени распространения сигнала от его несущей частоты, а также расчет значений отношения «сигнал-шум». Помимо этого, было реализовано компьютерное моделирование распространения акустических сигналов вдоль заданной трассы с использованием программной модели RAMS (Range-dependent Acoustic Model) с целью сравнения с натурными данными. На основе анализируемых параметров имитационной модели обнаружения подводных объектов в глубоком море рассматриваются наиболее выгодные условия расположения приемных систем на шельфе, позволяющие точно определять местоположение источника излучения с наименьшими энергетическими потерями. Полученные в ходе обработки экспериментальных данных результаты в будущем могут быть применены в целях совершенствования методов решения задач гидроакустики.

2/3D ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СУБ- И МЕЗОМАСШТАБНЫХ ПРОЦЕССОВ В ОКЕАНЕ СРЕДСТВАМИ GMT

Дидов А.А., Будянский М.В., Улейский М.Ю., Файман П.А.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
г. Владивосток, didov.aa@poi.dvo.ru*

На основе пакета программ с открытым исходным кодом Generic Mapping Tools (GMT) разработан авторский программный модуль, позволяющий оперативно скачивать большие массивы спутниковых, натуральных и модельных гидрологических данных, проводить их обработку и представлять в комбинированном 2D/3D графическом и/или анимационном виде.

В настоящий момент большинство программ с широким набором инструментов для визуализации скалярных и векторных данных являются платными, и, кроме того, даже их возможностей не хватает для решения реальных океанологических задач.

В настоящей работе рассматривается задача адвекции вод реки Туманная в заливе Посьета. Для анализа используются данные численной модели ROMS с высоким пространственным (600м) и временным (1 час) разрешениями. Для визуализации адвекции речных вод предложены два способа – на горизонтальных плоскостях (визуализация типа “sandwich”), расположенных на разных глубинах, и на трех перпендикулярных плоскостях (визуализация типа “box”), образующих грани куба и являющихся границами региона исследования.

Отдельно рассматривается задача деления мезомасштабного антициклонического вихря, сформированного вблизи острова Камчатка в Авачинском заливе. Эволюция вихря исследуется на основе данных судовых гидрологических измерений и данных реанализа GLORYS12V1. Для выделения границ вихрей (материнского и дочернего) на разных горизонтах используются контуры вихрей, полученные алгоритмом автоматического выделения вихрей AMEDA. Для визуализации деления вихрей используется способ типа “sandwich”.

В задаче моделирования эволюции антициклонического вихря, адвектируемого от острова Хоккайдо в сторону восточного берега Приморского края, предложен метод 3D визуализации гидрологических полей, когда линия пересечения вертикальных плоскостей привязана к центру вихря, выделенного на определенном горизонте. Моделирование проводится на основе спутниковых данных и модели ROMS.

Предложенные методы визуализации могут быть применены для любых типов океанических вихрей (разной полярности и размеров), а также обладают достаточной оперативностью для их использования во время реальных научных рейсов с учетом ограниченного доступа к сети интернет.

РАЗЛИЧИЯ МЕЛКОВОДНЫХ ОБЛАСТЕЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ РАЗГРУЗКИ МЕТАНА, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ В КАРСКОМ МОРЕ, МОРЕ ЛАПТЕВЫХ И ВОСТОЧНО-СИБИРСКОМ МОРЕ

Доманюк А.В.¹, Саломатин А.С.¹, Шахова Н.Е.², Семилетов И.П.¹, Черных Д.В.¹

¹ Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток,
domaniuk.av@poi.dvo.ru

² Институт динамики геосфер им. академика М. А. Садовского РАН, г. Москва

Исследования шельфовых морей Арктики играют ключевую роль в понимании процессов миграции углеводородных газов, в том числе метана, из донных отложений в воду и приводные слои атмосферы. Газовые факелы или сипы, представляют собой локализованные потоки пузырьков, всплывающих из морского дна в водную толщу. Сипы являются важным индикатором геологических и биогеохимических процессов. Исследования данных объектов позволяют оценить масштаб и динамику эмиссии углеводородов, а также выявить их влияние на климатическую систему и экосистемы.

Пузырьковые сипы обнаружены в разных районах Мирового Океана: моря Восточной Арктики, Охотское море, Черное море, Норвежское море, Мексиканский залив и др. Прямые измерения показали, что в составе газовой смеси, переносимой всплывающими пузырьками, преобладает метан – второй, после углекислого газа, по значимости парниковый газ. Мониторинг его атмосферной концентрации, проводимый в период с 2000 по 2019 гг., показал, что к концу второй декады 21 века, доля метана в Земной атмосфере увеличилась на 9% или на 50 млн. тонн. При этом его атмосферная концентрация, определяемая NOAA с 1983 г (более 40 лет), имеет восходящий тренд и, что особенно важно, в последние три года ее ежегодный прирост максимален.

В настоящее время для обнаружения сипов применяются различные типы эхолотов, в том числе и многолучевые. Современные гидроакустические устройства способны зарегистрировать всплывающий пузырек на глубинах более трех километров, определить его размеры и оценить скорость всплытия. Если рассматривать российскую Арктику, то сипы были зарегистрированы повсеместно как на мелководном Восточно-Сибирском шельфе, так и на его склоне. В случае арктических морей метановые сипы приурочены к районам с деградирующей подводной мерзлотой. В работе представлено исследование мелководных сипов, зарегистрированных в Карском, Лаптевых и Восточно-Сибирском морях, на глубинах, не превышающих 40 метров, в период с 2018 по 2024 гг. Приводятся количественные характеристики исследования: общее количество выявленных газовых факелов на каждом полигоне, пройденное расстояние и озвученная площадь. Выполнена оценка плотности распределения газовых факелов на морском дне для каждого из исследуемых морей.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 22-67-00025 и госзадания № 124022100074-9.

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ИСКОПАЕМЫХ ОСТАТКОВ МАМОНТОВОГО ФАУНИСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА ШЕЛЬФОВЫХ РОССЫПЯХ

Доронин Д.О.¹, Ноговицын Д.Д.², Доронина А.В.¹

¹ФГБУ «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», г. Санкт-Петербург, dd@denisdoronin.ru

²ФБУ «Якутский ЦСМ», г. Якутск, ndmdm@mail.ru

В северо-восточной части шельфа Арктики в современных прибрежно-морских и аллювиальных осадках располагаются россыпные залежи ископаемых остатков мамонтового фаунистического комплекса. Экономический интерес в первую очередь представляют бивни мамонтов.

Согласно Концепции развития сбора, изучения использования, переработки и реализации палеонтологических материалов мамонтовой фауны (утверждена Распоряжением Главы Якутии от 13.08.2018 № 649-РГ), необходимо проведение экспертизы с четко прописанными параметрами сортности для оценки сырья, а также для исключения субъективизма экспертов-оценщиков. С целью оценки добываемого сырья разработаны национальные стандарты, содержащих требования к сортности бивней. Однако для установления соответствия сырья нормированным требованиям необходимо провести измерения характерных параметров бивней, а также обеспечить единство измерений и достаточную точность.

В рамках проведенного научного исследования установлено, что для идентификации добытого сырья, а именно определения вида хоботного млекопитающего, которому принадлежал бивень или полуфабрикат из бивня (мамонт, морж, нарвал и т.п.) достоверным признаком является наличие на поперечном срезе бивня линий в дентине, образующих угол Шрегера. В результате 201 измерений были получены результаты распределения значений угла Шрегера на 81 образцах. По литературным источникам установлено, что бивни мамонта имеют угол Шрегера меньше 125°. По итогам измерений разработаны основные положения методики измерений углов Шрегера. В настоящий момент методика проходит апробацию.

Вторым значимым параметром является цвет бивня, напрямую влияющий на отнесение образца определенному сорту. Разработаны основные положения методики измерений координат цвета бивней в колористической системе CIE LAB.

Установлены референтные значения координат цвета, показатели точности, значения цветового отличия для цветов бивня: «белый», «белый с кремовым оттенком», «бежевый» и «светло-коричневый». В перспективе референтные данные будут представлены как рекомендованные стандартные справочные данные. Разработанная методика позволит обеспечить единство измерений координат цвета инструментальным методом, для исключения неопределенности при оценке сырья и определения сорта.

Путем применения рассмотренных методик, внедрения национальных стандартов реализовывается комплексная методика оценки сырья и полуфабрикатов из ископаемых остатков мамонтовой фауны, добываемых на россыпных залежах северо-восточного шельфа Арктики.

**DESULFOSPOROSINUS SHAKIROVI SP. NOV.,
НОВАЯ СУЛЬФАТВОСТАНАВЛИВАЮЩАЯ БАКТЕРИЯ,
СПОСОБНАЯ К БИОДЕГРАДАЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ НЕФТИ**

**Еськова А.И.¹, Рыжманова Я.В.², Трубицын В.Э.², Полоник Н.С.¹, Пономарева А.Л.¹,
Щербакова В.А.²**

¹Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, 690041, Владивосток,
Россия, eskova.ai@poi.dvo.ru

²Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина Российской академии наук –
обособленное подразделение ФГБУН “Федеральный исследовательский центр “Пушкинский научный центр
биологических исследований Российской академии наук”, 142290, Московская область, Пушкино, Россия

В морской среде алканы встречаются в районах выхода природного газа и просачивания сырой нефти, в газовых гидратах или антропогенно-загрязненных районах и являются важными источниками углерода и энергии для микроорганизмов. В донных отложениях кислород, как правило, детектируется только в пределах верхних слоёв осадка, поэтому деградация органических соединений в основном происходит в анаэробных условиях. Анаэробное окисление алканов осуществляется в присутствии сульфата, нитрата, марганца или Fe (III) как конечных акцепторов электронов либо сульфатвосстанавливающими бактериями (СВБ), либо археями в тесной ассоциации с СВБ.

Из донных отложений северной части Японского моря выделена новая сульфатвосстанавливающая бактерия (штамм SRJS8^T), обладающая способностью к биодеградации углеводородов нефти.

Клетки новой бактерии представлены грамположительными подвижными одиночными спорообразующими палочками размером 0.4–0.5 × 2.0–5.0 мкм. Штамм SRJS8^T рос в диапазоне температуры 6–30°C (оптимум 25°C), pH 6.3–7.7 (оптимум 7.3) и концентрации NaCl от 0 до 20 г/л (оптимум 2 г/л). Штамм SRJS8^T использовал бутанол, глицерин, метанол, этанол, бутират, лактат, пируват, формиат, дрожжевой экстракт, H₂/CO₂, сырую нефть в качестве доноров электронов и источника углерода в присутствии сульфата. В качестве акцепторов электронов штамм использовал сульфат, сульфит, тиосульфат, элементную серу, фумарат и Fe(III), но не нитрат, арсенат и ДМСО.

Сравнение фенотипических свойств новой бактерии с таковыми близкородственного вида *D. lacus* STP12^T показывает, что штамм SRJS8^T отличается более низким температурным оптимумом и способностью использовать элементную серу и фумарат в качестве акцепторов электронов. Для профиля жирных кислот клеточных стенок штамма SRJS8^T характерно преобладание не только C16:1 и C16:0, как у типовых штаммов близкородственных видов, но и жирной кислоты с более короткой цепью (C14:0, 18.1%). Учитывая, что значения ДНК–ДНК гомологии (57.4%) и ANI (93.69%) штамма SRJS8^T с близкородственным видом *D. lacus* STP12^T ниже пороговых значений межвидового барьера 70 и 95–96% соответственно, штамм SRJS8^T отнесен к новому виду рода *Desulfosporosinus*, для которого предложено название *Desulfosporosinus shakirovi* sp. nov.

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮЖНЫХ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ П-ВА КАМЧАТКА

Заринова К.М., Тихонова Е.А.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь, km.zaripova@mail.ru

Прибрежные акватории юга Камчатки, включая Авачинскую губу, испытывают антропогенное воздействие, связанное с судоходством и хозяйственной деятельностью. Эти районы играют роль геохимического барьера, где происходит аккумуляция загрязняющих веществ, в том числе нефтяных углеводородов и тяжёлых металлов. Особую роль в удержании и перераспределении поллютантов играет органическое вещество донных отложений.

Отбор проб проводился в поверхностном слое донных отложений (0–3 см) в ходе рейса ПС «Профессор Мультиановский» в летне-осенний период 2023 г на 16 станциях. Пробы отбирались с использованием бокс-корера. Хлороформ-экстрагируемые вещества (ХЭВ) определялись весовым методом, нефтяные углеводороды (НУ) — методом ИК-спектрометрии. Для определения общего содержания органического вещества в донных отложениях использовали метод потерь при прокаливании.

Анализ донных отложений прибрежных акваторий южной Камчатки выявил значительное варьирование содержания НУ, значения которых колебались от 0,3 до 93 мг/100 г. На ряде станций концентрации превышали международные пороги безопасного (ISQG/ERL) и токсического (PEL/ERM) воздействия, что указывает на потенциальную угрозу для бентосных сообществ. Коэффициент углеводородной нагрузки для большинства проб превышало пороговое значение, что может свидетельствовать о высоком уровне углеводородного загрязнения и сниженной способности осадков к самоочищению.

Также были установлены положительные корреляционные связи между содержанием НУ и концентрациями ряда тяжёлых металлов (Cu, Zn, Pb), что может указывать на их сопряжённые источники поступления. Максимальные значения содержания меди зарегистрированы в центральной части Авачинской губы.

Полученные данные подчёркивают значимость органического вещества как ключевого фактора, влияющего на распределение и удержание загрязнителей в донных отложениях прибрежных экосистем юга Камчатки.

Работы по отбору проб были произведены в рейсе 23/4 ПС «Профессор Мультиановский» в рамках научно-образовательной программы «Плавающий университет» (соглашение № 075-01593-23-06) при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, исследование проведено в рамках темы госзадания ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН (ФИЦ ИнБЮМ) «Изучение биогеохимических закономерностей радиоэкологических и хемозкологических процессов в экосистемах водоемов Азово-Черноморского бассейна в сравнении с другими акваториями Мирового океана и отдельными водными экосистемами их водосборных бассейнов для обеспечения устойчивого развития на южных морях России» (№ гос. регистрации 124030100127-7).

ДИНАМИКА МИКРОСЕЙСМ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ТАЙФУНОВ

Иванов М.П.^{1,2}, Долгих С.Г.^{1,2}

¹*Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия, ivanov.mp@poi.dvo.ru*

²*Институт автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия*

В работе представлены результаты сопоставления данных в диапазоне периодов от 2 до 20 с, полученных во время прохождения тайфунов в Хасанском районе Приморского края. Анализ основан на данных трёх приборов, размещённых вблизи морского побережья: лазерного измерителя вариаций давления гидросферы, лазерного деформографа и широкополосного сейсмометра. Основное внимание уделено событиям, связанным с тайфунами «Симарон» 2018 г., «Конг-Рэй» 2018 г. и «Хагупит» 2020 г. Исследование направлено на выявление особенностей генерации и трансформации морского волнения в первичные и вторичные микросейсм.

Натурные данные лазерно-интерференционных приборов и широкополосного сейсмометра получены на МЭС ТОИ ДВО РАН «м. Шульца», где установлены измерительные приборы. Лазерный измеритель вариаций давления гидросферы регистрирует колебания давления на дне, вызванные воздействием морского волнения. Лазерный деформограф фиксирует упругие деформации земной коры, возникающие под воздействием внешних нагрузок. Трехосный широкополосный сейсмометр CMG-3ESP, в свою очередь, измеряет скорость сейсмических колебаний, возникающих в твёрдом грунте. Совместное использование этих устройств позволяет комплексно оценивать, как гидродинамические, так и сейсмические эффекты, вызванные штормовыми событиями.

Данные анализировались в спектральной области с применением нормализованных спектрограмм. Временной охват – не менее 50 часов, во время прохождения каждого тайфуна. Особое внимание уделялось диапазонам периодов, относящимся к ветровому волнению и волнам зыби.

Во время прохождения тайфунов на записях деформографа отчётливо фиксируются первичные микросейсм, обладающие большей амплитудой по сравнению с вторичными, которые также присутствуют, но выражены значительно слабее. Аналогичная картина наблюдается и в данных лазерного измерителя вариаций давления гидросферы: колебания, соответствующие ветровому волнению с периодами от 2 до 6 секунд, регистрируются, однако их интенсивность существенно уступает колебаниям, с периодами от 6 до 12 секунд. Таким образом, и первичные, и вторичные микросейсм имеют обоснованные источники в спектре морского волнения различной природы. При этом на спектрограммах сейсмометра, регистрирующего скорость движения частиц, амплитуда вторичных микросейсм оказывается выше, чем амплитуда первичных, что связано как с особенностями механизма генерации, так и с амплитудно-частотными характеристиками прибора.

Финансирование: Работа выполнена при финансовой поддержке гранта № 075-15-2024-642 «Исследование процессов и закономерностей возникновения, развития и трансформации катастрофических явлений в океанах и на континентах методами сейсмоакустического мониторинга».

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРИЛИВНЫХ ГАРМОНИК В ЯПОНСКОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ильин В.И.^{1,2}, Архипкин В.С.¹, Медведев И.П.²

¹МГУ, г. Москва, Россия, vsevolod_ilin@mail.ru, victor.arkhipkin@gmail.com

²ИО РАН, г. Москва, Россия, vsevolod_ilin@mail.ru, medvedev@ocean.ru

Японское море, будучи окраинным морем, связано с соседними морскими бассейнами через четыре пролива, что формирует его уникальные приливные особенности. Такие географические особенности положения требуют тщательного изучения приливных процессов, поскольку они обуславливают расположение амфидромических точек в проливах и приводит к значительному различию значений приливных амплитуд — от небольших значений до существенных, как, например, в районе северной части Татарского пролива, где высота приливов может достигать более двух метров.

Актуальность исследования сезонного хода приливных гармоник в Японском море обусловлена необходимостью понимания приливных процессов для решения научных и практических задач. Приливы оказывают значительное влияние на морскую среду, включая динамику течений, транспорт осадков, эрозию берегов и экологические процессы. Изучение сезонной изменчивости приливных гармоник особенно важно для прогнозирования изменений в прибрежных зонах. Японское море, отличающееся сложной батиметрией и особыми гидродинамическими условиями, характеризуется значительными годовыми вариациями приливных параметров. Целью работы является исследование сезонного хода приливных гармоник M_2 , S_2 , K_1 и O_1 , включая анализ их амплитуд и фаз, для выявления закономерностей изменчивости. Это необходимо для развития гидродинамических моделей и повышения точности приливных прогнозов. Результаты исследования имеют практическую ценность для навигации, проектирования береговой инфраструктуры, а также способствуют глобальному пониманию приливной динамики.

Использованные в данной работе данные представляют собой ряды часовых наблюдений с 6 российских станций: Де-Кастри, Углегорск, Невельск, Рудная пристань, Владивосток и Посьет, с 4 японских станций: Вакканаи, Отару, Отаруко, Матсумае, полученные из проекта GESLA.

При анализе сезонной изменчивости приливов были использованы следующие приливные гармоники: M_2 , S_2 , K_1 и O_1 . Проводился расчет средних амплитуд и фаз приливных волн за каждый отдельный месяц по ряду данных с 1983 по 1987 года. Для этого проводился гармонический анализ методом наименьших квадратов с использованием библиотеки Python UTide. Дополнительно был выполнен спектральный анализ по процедуре процедура Блэкмена-Тьюки, позволивший оценить распределение энергии колебаний уровня моря по частотам.

Для проведения численного моделирования использовалась численная океаническая модель ADCIRC. Для неё была создана триангуляционная расчетная сетка с изменяющимся шагом от 150 метров у береговой линии и до 25 км в открытой части моря. Для цифровой модели дна использовались оцифрованные навигационные карты и база батиметрических данных GEBCO-2022. В качестве граничных условий задавались приливные колебания уровня, которые рассчитываются в программе по гармоническим составляющим, взятых из глобальной модели приливов FES2014, и данные реанализа ERA5 с часовым временным разрешением значений среднего давления на уровне моря, концентраций льда, а также U и V компоненты скорости ветра на высоте 10 метров. С помощью неё было промоделировано сезонное изменение и пространственное распределение приливов. В том числе для оценки миграции амфидромических точек.

Максимальные значения амплитуд гармоник M_2 , S_2 наблюдаются в пунктах, которые находятся в Татарском проливе, с увеличением к северу. Обратная ситуация

наблюдаются для гармоник K1 и O1, где они приблизительно равны во всех пунктах и максимумы для них в определенные месяцы наблюдались в Невельске.

Максимальные амплитуды гармоник M2 и S2 наблюдаются в Татарском проливе с увеличением к северу, тогда как амплитуды гармоник K1 и O1 относительно равномерны по станциям, с максимумами в отдельные месяцы в Невельске. Графики сезонной изменчивости амплитуд и фаз демонстрируют выраженные годовые изменения, подтверждая наличие сезонной динамики приливов. Сравнительный анализ данных станций выявил как общие тенденции сезонного хода гармоник, так и локальные особенности, связанные с региональными особенностями. По результатам спектрального анализа было получено, как в течении года изменяется спектральная плотность энергии приливных гармоник, а также изменение вклада других процессов. Например, в Де-Кастри в течении всего года максимум приходится на период, соответствующий гармонике M2, а для Владивостока в определенные месяцы наибольшая спектральная плотность приходится на процессы с периодом более 100 часов.

В работе проведено комплексное исследование сезонного хода приливных гармоник M2, S2, K1 и O1 в Японском море, основанное на анализе часовых данных с 6 российских станций и 4 японских станций за период 1983–1987 годов. Для анализа применялись методы гармонического анализа с использованием библиотеки Python UTide и спектрального анализа по процедуре Блэкмена-Тьюки, что позволило оценить распределение энергии колебаний уровня моря. Численное моделирование с использованием ADCIRC обеспечило воспроизведение пространственно-временных характеристик приливов. Результаты подчеркивают важность учета сезонной изменчивости приливов для разработки точных гидродинамических моделей, улучшения приливных прогнозов, обеспечения безопасности навигации и проектирования береговой инфраструктуры.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 24-17-00313.

СООТНОШЕНИЕ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ КАРСКОГО МОРЯ

Казакова У.А., Полухин А.А.

Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, г. Москва, kazakova.ua@ocean.ru

Арктический регион подвержен наиболее ярко выраженным климатическим изменениям. Такие наблюдающиеся процессы как атлантификация, сокращение ледового покрова, увеличение речного стока, бореализация морским экосистем, асидификация вод и другие оказывают большое влияние на экосистемы арктических морей. Карское море – одно из окраинных морей Северного Ледовитого океана. В него впадают крупные сибирские реки Обь и Енисей, вместе с которыми в море поступает не только большой объем пресных вод, но и различные растворенные и взвешенные вещества. Основными гидрохимическими маркерами речного стока являются щелочность и растворенный кремний. Поступающие с речным стоком питательные вещества способствуют функционированию экосистемы Карского моря, формируя зоны повышенной продуктивности. Однако некоторые вещества также могут лимитировать развитие первичной продукции. Известно, что в морской части основным лимитирующим элементом является азот, в пресноводных экосистемах первичную продукцию лимитирует фосфор. Однако в районе взаимодействия река-море

Цель работы – уточнить закономерности распределения биогенных элементов и их соотношений в Карском море. В частности, было рассмотрено распределение нитратов и фосфатов, как основных элементов, лимитирующих развитие фитопланктона.

Работа основана на данных экспедиций Института океанологии имени П.П. Ширшова РАН в Карское море в 2015-2024 гг. Все гидрохимические параметры были определены в соответствии с общепринятыми методиками. Ввиду сильной сезонной изменчивости таких факторов как ледовый режим, поступление речного стока и биологическая активность данные экспедиций были классифицированы в зависимости от сезона наблюдений.

По данным о концентрации неорганических форм азота и фосфора (нитраты и фосфаты соответственно), было рассчитано соотношение N/P. Также на основе соотношения Редфилда ($N/P=16$) был рассчитан параметр $N^* = NO_3 - PO_4$ [$\mu M/kg$]. Для определения влияния вод речного генезиса было рассмотрено отклонение от среднего значения в поверхностном слое ($N^*_d = NO_3 - PO_4 + N^*_m$).

Для более детального анализа сезонной изменчивости соотношения нитратов и фосфатов в водах Карского моря данные экспедиций были разделены по сезонам наблюдений: начиная от периода схода сезонного льда (июнь-июль), оканчивая сезоном ледообразования (октябрь).

Было рассчитано среднее значение N^* для верхнего 100-метрового слоя вод Карского моря. При определении среднего значения рассматривались так называемая поверхностная вода арктических морей. По определенным критериям исключались воды, подверженные опреснению ($S < 28$ епс, $Alk/S > 70$), и воды атлантического генезиса, наблюдающиеся в северной части моря в желобе Св. Анны и желобе Воронина.

Средние значения N^* и N/P для вод Карского моря составили $-1.76 \mu M/kg$ и 7.5 соответственно. Полученные величины отличаются от глобальных значений этих параметров: $-3.5 \mu M/kg$ и 16. Это свидетельствует о том, что в водах Карского моря преобладают фосфаты, и основным лимитирующим параметром является азот нитратов.

В период схода сезонного льда основная часть акватории характеризовалась отрицательными значениями N^*_d , что показывает лимитирование нитратами. В районе южной части центрального отрога желоба Св. Анны наблюдались положительные значения N^*_d , что может быть обусловлено влиянием вод атлантического генезиса, распространяющихся из Баренцева моря. В июле-октябре большая часть акватории

характеризовалась положительными значениями N^*_d в поверхностном слое, а в зоне влияния речного стока – отрицательными. Несмотря на общее утверждение, что в речной части эстуарных областей рек основным лимитирующим элементом является фосфор, в Карском море это утверждение не совсем верно, поскольку отрицательные величины N^*_d показывают недостаток нитратов относительно фосфатов, соответственно, лимитирование первичной продукции в зоне влияния речного стока в Карском море определяют нитраты. Возможной причиной этого явления может быть обусловлено процессами трансформации речного стока в эстуарных областях рек (Обская губа и Енисейский залив), которые играют важную роль в перераспределении биогенных элементов.

В целом, параметр N^* может быть использован как маркер речного стока. Воды атлантического генезиса, наблюдающиеся на глубинах около 100 м в глубоководных желобах, характеризуются положительными значениями N^* и соотношением N/P близком к соотношению Редфилда: варьирует от 14 до 16.

CS-137 В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА ЛЕТОМ 2024 ГОДА

Калюжный Д.С., Соколов Д.Д., Горячев В.А.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток,
kalughniy.ds@poi.dvo.ru*

Пик радиоактивного загрязнения Мирового океана приходится на период наиболее интенсивных испытаний ядерного оружия в начале 60-х годов. Поверхностный слой Мирового океана загрязнялся продуктами ядерных взрывов при глобальных выпадениях из атмосферы. После подписания в 1963 году Московского договора о запрещении испытаний ядерного оружия в трех средах и прекращения атмосферных ядерных испытаний уровень радиоактивного загрязнения поверхностного слоя Мирового океана постепенно снижался за счет распада и удаления искусственных радионуклидов на дно в составе осаждающейся взвеси. Однако, прекращение атмосферных ядерных испытаний не прервало поступление радионуклидов в прибрежные области от локальных источников. Последнее событие такого рода ядерная авария на АЭС Фукусима-1, произошедшая в марте 2011, приведшая к выбросу продуктов деления ядерного топлива в атмосферу и их поступление в Тихий океан в результате выброса в атмосферу контролируемых сбросов и неконтролируемых утечек высоко радиоактивных технологических вод контуров охлаждения.

Используемые в данной работе натурные данные по содержанию техногенного радионуклида цезия-137 в поверхностных и глубинных водах акватории Тихого океана к востоку от Японии и Курильских островов, а также Охотского и Японского морей, были получены в ходе рейса на НИС «Академик Опарин» (июнь-июль 2024 г.). Поверхностные пробы отбирались объемом по 200 литров при помощи проточной системы, а глубинные по 100 литров пробоотборной системой Rosette. Для концентрации изотопов радиоцезия использовался сорбент на основе ферроцианида меди на целлюлозном носителе. Гамма-активность проб определялась на γ -спектрометре с детектором из сверхчистого германия GEM150. Время измерения проб составляла от 1 до 2 суток.

В результате измерений установлено, что среднее содержание Cs-137 в Японском море было 2.8 Бк/м^3 , Охотском 1.6 Бк/м^3 , и Тихом океане 0.8 Бк/м^3 , что в 10-20 раз меньше наблюдавшихся нами в 2012 г., через год после аварии на АЭС Фукусима-1. Минимальные значения радиоцезия ($0,5 \text{ Бк/м}^3$) наблюдались в Тихом океане, а максимальные ($3,6 \text{ Бк/м}^3$) в Японском море, что не превышает безопасную норму для питьевой воды (11 Бк/л).

ПРОБЛЕМА МЕТЕОТРОПНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Канталин В.А., Телегин Ю.А.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток,
kantalin.va@poi.dvo.ru ,telegin@poi.dvo.ru*

Существует понятие в экологической климатологии, как *метеотропность* оно понимается как свойство живых организмов реагировать на воздействие погодно-климатических условий. У человека она проявляется в психоэмоциональных реакциях на перемену погоды, изменчивость климата, в аномальном изменении физиологических процессов в организме, приводящих к ухудшению самочувствия, возникновению клинических расстройств, обострению болезней. У здорового человека могут наблюдаться метеотропные проявления в виде легкого недомогания и ухудшения самочувствия. В проблеме метеотропности рассматриваются только физиологические реакции, и все же с достоверностью можно констатировать, что определенные атмосферные условия имеют отношение к концентрации внимания, работоспособности и эмоциональной устойчивости людей.

Целью работы является анализ атмосферных явлений, приводящих к метеопатическим реакциям и состояниям.

Исходные данные: срочные метеорологические наблюдения за атмосферными явлениями, в течение всего года на 62-х станциях за период 1994-2023гг.

Метод исследования математическая статистика и теория вероятностей (повторяемость метеоявления), климатическая обработка метеоданных. Выбирались метеорологические явления, оказывающие наибольшее влияние на состояние человека, в которые входят: дымка (человек испытывает боли в местах травм); туманы (человек испытывает раздражительность); метели (человек испытывает неспособность сосредоточиться); морось (человек испытывает сонливость); снегопад (у человека происходит ощущение тяжести в голове) и полярное сияние (человек испытывает тоскливость). Данные метеоявления связаны с температурно-влажностно-ветровым и геомагнитными факторами.

Климат Дальнего Востока определяется расположением территории в средних широтах и её протяженностью с севера на юг. Расположение территории на восточной окраине Евразии рядом с Тихим океаном и его морей создает муссонную циркуляцию воздушных масс.

Особенностью распределения числа срочных случаев с дымкой в зимнее время на территории является их увеличение от прибрежной к континентальной части до 84 срочных случаев в год (Якутск), значит, жители Республики Саха наиболее восприимчивы к состоянию «боли в местах травм». А в летний период наблюдается противоположная особенность – количество повторяемости с явлением увеличивается от континента к прибрежным зонам территории, максимум повторяемости явлений в летний период наблюдается на юге о. Сахалин.

В летний период максимум повторяемости явлений с туманом наблюдается на мысовых метеостанциях Магаданской области – м. Алевина до 128; на полуострове Камчатского края – м. Лопатка до 129; абсолютный максимум повторяемости среди всех исследуемых станций приходится на Южно-Курильск до 164 срочных случаев в год, значит, на мысовых станциях в летний период люди более раздражительны.

Наибольшая повторяемость метелей в зимний период за 1994-2023гг. на территории ДВ наблюдалось на юго-востоке Магаданской области и Камчатского края до 38 срочных случаев в год, на м. Лопатка люди, по субъективному состоянию, наиболее неспособны сосредоточиться к любой жизнедеятельности.

Повторяемость дождя в прибрежной части в Республике Саха колеблется в пределах от 22 до 44; на Чукотке от 18 до 28; в Магаданской области от 3 до 44; в Приморском крае от 29 до 57 (Тимирязевский) срочных случаев в год.

Снегопад может вызывать чувство тяжести в голове, к такому ощущению наиболее подвержены жители Республики Саха и Чукотского АО – в Якутске до 133 и Марково до 102 срочных случаев в год.

Повторяемость полярного сияния, которое может вызывать ощущение тоскливости, так, арктическая прибрежная зона находится за полярным кругом, и, возможно, жители могут испытывать чувство тоски при явлении полярного сияния в вечернее время, оно наступает в период с 15-17:00 по местному времени.

Таким образом, можно прийти к выводу, что в прибрежных населенных пунктах люди чаще всего подвержены к негативному психоэмоциональному состоянию: к раздражительности, тоскливости, чувству тяжести в голове. При ухудшении самочувствия в неблагоприятные погодные дни следует обращаться к врачу. Психологическая поддержка: в случае сезонных изменений настроения полезно обращаться за поддержкой к специалистам. Это важный аспект, который необходимо учитывать как в личной жизни, так и в профессиональной деятельности.

Литература

1. ВНИГМИ-МЦД – <http://www.meteo.ru/>
2. Исаев. А. А. Экологическая климатология / — 2. изд., испр. и доп. — Москва. Науч. мир, 2003. — 472 с.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЗАПРОРЫ *ZAPRORA SILENUS* В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА

Курнос Д.С.¹, Колобухова М.Д.²

¹Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), г. Владивосток, denkurnos@mail.ru

²Дальневосточный федеральный университет ДВФУ, г. Владивосток, mariykolobukhova@gmail.com

Запрора (*Zaprora silenus*) – единственный современный вид семейства *Zaproridae*. Этот эврибатный вид широко распространён в северной части Тихого океана: от побережья Калифорнии и Берингового моря до Камчатки и острова Хоккайдо (включая Охотское море). Молодь запроры обычно встречается в пелагиали, в то время как взрослые особи ведут придонный образ жизни. Несмотря на широкий ареал, запрора редко попадает в промысловых тралах, что ограничивает возможности её изучения. В настоящей работе на основе анализа данных собранных во время научных и промысловых экспедиций ТИНРО в 1963–2024 гг., исследованы пространственное распределение, сезонная встречаемость и размеры запроры на северо-западе Тихого океана.

Проведённый анализ размерного состава, сезонной и пространственной изменчивости запроры позволил установить закономерности, отражающие пелагический и донный этапы её жизненного цикла. Средняя длина особей, выловленных эпипелагическими тралами, составила около 209 мм, в то время как при донных тралениях она достигала 392 мм. Для пелагического жизненного цикла выявлены достоверные различия в длине особей по регионам: в Беринговом море преобладали мелкие рыбы, тогда как в Охотском море и особенно в северо-западной части Тихого океана встречались значительно более крупные экземпляры.

В пелагических уловах наибольшее количество особей отмечалось в июле, августе и сентябре, с максимальным пиком в августе. В зимние месяцы (декабрь–февраль) встречаемость была минимальной. В донных тралениях ситуация иная: встречаемость была максимальной в феврале и марте, с умеренно высокими значениями в октябре–ноябре. Весной и летом встречаемость снижалась.

Полученные данные подтверждают характерный для запроры двухфазный жизненный цикл: личинки и молодые особи обитают в верхней пелагиали, а по достижении порядка 50 см переходят к придонному образу жизни. В нашей выборке наиболее мелкие особи преобладали в осенние месяцы, после чего средний размер пелагических уловов рос, отражая рост рыб и их начало миграции в придонные горизонты.

Отсутствие молоди запроры в пелагиали западных частях ареала (в Беринговом и Охотском морях, а также в северо-западной части Тихого океана) позволяет выдвинуть гипотезу о том, что залив Аляска является, возможно, единственным (или основным) центром нереста данного вида. Анализ географического распределения показывает, что ключевую роль в переносе молоди запроры за пределы залива Аляска играют океанические течения. Аляскинское течение и образующийся из него Аляскинский поток движутся на запад вдоль шельфа, проникая через алеутские проливы в Берингово море. Этот поток, вероятно, переносит молодь запроры от нерестовых участков залива Аляска по восточному побережью Камчатки к югу и далее в Охотское море и северо-западную часть Тихого океана.

Таким образом, пелагические особи запроры, найденные в Беринговом, Охотском морях, и северо-западной части Тихого океана скорее всего, являются мигрантами, принесёнными течениями из центрального нерестового района. Подрастая, эти особи начинают вести придонный образ жизни, и вероятно, не участвуют в местном воспроизводстве.

Эта интерпретация требует дальнейших подтверждений, однако уже сейчас подчёркивает ведущую роль гидродинамических процессов и единого нерестового очага в формировании популяционной структуры запроры.

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИБРЕЖНЫХ ОЗЁР КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Коротаева Н.Н.

*Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта
г. Калининград, korotaevann8@mail.ru*

Береговая зона и прилегающие к ней территории являются наиболее подверженными различным изменениям. Они испытывают влияние как антропогенной деятельности, включающее в себя преобразование естественных форм рельефа, так и природные механизмы трансформации, связанные с разрушением (эрозия, абразия, размыв берега) и восстановлением (увеличение ширины пляжей, образование конусов выноса). Следует учитывать, что эти процессы действуют в тесной взаимосвязи, когда деятельность человека запускает ряд изменений природной среды. Ярким примером преобразований береговой зоны можно назвать появление новых прибрежных озёр, исчезновение старых, а также, трансформацию уже имеющихся.

Первые упоминания самого термина «прибрежные озёра» встречаются в профильной литературе начала XX века. В русскоязычной литературе можно встретить следующее определение: **лиманные (прибрежные) озёра** – это озёра, появившиеся благодаря дифференциации части моря песчаными и илистыми наносами. Также, в данном исследовании, нас интересуют не только озёра, но и пруды, так как, в некоторых случаях, они могут иметь схожие с естественными объектами механизмы влияния на состояние природной среды. В некоторых случаях, возникновение и динамика подобных озёр и прудов может стать причиной интрузии и инфильтрации морских вод что, в свою очередь, нанесёт ущерб геоэкологической обстановке близлежащих территорий. Таким образом, для того, чтобы проследить динамику подобных явлений, выявить закономерности, спрогнозировать возможные последствия и разработать пути оптимизации, необходимо проведение комплекса мероприятий, направленных на изучение рассматриваемых природных объектов.

Территорией исследования является прибрежная зона Калининградской области, где располагаются водные объекты. Для оценки был выбран картографический метод, а работа проводилась с использованием анализа и обработки спутниковых снимков, преимущественно при помощи платформы “Google Earth Pro”. В программе изображения уже “привязаны” в системе координат WGS84. Это даёт возможность получать координаты исследуемых объектов и проводить необходимые изменения прямо на снимке.

Первым этапом был выполнен поиск и анализ материалов. Выяснилось, что, по рассматриваемому региону, открытых актуальных сведений крайне мало. Наибольшее внимание, зачастую, уделяется изучению гидробиологических показателей (зоопланктону, трофности, эвтрофикации). Также, важно отметить, что публикаций, в которых все прибрежные водные объекты области рассматривались бы в комплексе, на сегодняшний день, практически нет. Соответственно, для того чтобы расширить имеющиеся, на сегодняшний день, материалы по изучению и мониторингу прибрежных озёр и прудов Калининградской области, была проведена их инвентаризация.

Данная работа включала в себя поиск объектов через спутниковые снимки, уточнение информации по картам и публикациям, проведение морфометрических измерений, вычленение недостающих данных из научных публикаций и, в итоге, создание общей базы данных. Рассматривались пруды и озёра не только на территории морского побережья, но и в береговой зоне Куршского и Калининградского заливов.

Важно отметить, что для корректного сбора данных, были сформулированы, своего рода, критерии отбора объектов. Поскольку, для дальнейшего продолжения исследований, наибольший интерес представляет геоэкологический аспект (а именно – теоретически

возможное повышение солёности пресных водоёмов за счёт проникновения в них морских вод), было принято решение рассматривать объекты, находящиеся не только в непосредственной близости к морю, но и удалённые, имеющие связывающий их водоток. Таким образом, в работу попали водные объекты, находящиеся на относительном удалении от моря или залива, но имеющие с ними связь. Следовательно, к понятию «прибрежные озёра» стоит относить водные объекты природного и антропогенного происхождения, находящиеся в прибрежной зоне, и имеющие связь с принимающим морским объектом.

Были исключены озёра, имеющие слишком малую величину или являющиеся эфемерными. Так, на момент исследования, на территории Калининградской области было выявлено 25 водных объектов, соответствующих заявленным выше критериям. Отдельно стоит отметить, что большое количество прудов и озёр не имеют официально закреплённых названий, что также может свидетельствовать, в том числе, и о недостаточной изученности объектов.

По классификации П.В. Иванова, на исследуемой территории преобладают озёрки – 14 шт. (0.01–0.09 км² по площади акватории), далее очень малые водоёмы – 8 шт. (0.18–0.69 км²), и малые водоёмы – 3 шт. (1.06–1.34 км²). По удалённости от вод моря/заливов, наиболее отдаленной является система Тавских озёр – до 5 км (но имеющих связь через р. Товарную), наименее – водоём, располагающийся в корне Куршской косы – 7 м. Протяженность вдоль побережья варьируется от 110 до 1990 м, ширина объектов (относительно побережья) – от 40 до 1350 м. Береговые линии, в большинстве своем, достаточно извилисты, их длина колеблется от 0,40 до 6,57 км. Что касается интересующей нас солёности – согласно официальным источникам, все рассматриваемые объекты являются пресными, однако, в научных публикациях, исследователи фиксировали в отдельных объектах повышение солёности во время особых климатических событий (пример: например заток или инфильтрацию во время нагонов и повышения уровня моря/залива). Соответственно, актуальным направлением является дополнение данных после проведения полевых исследований с дальнейшим выявлением взаимосвязи морфометрических характеристик и геоэкологического аспекта.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОГРАФИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАЛОГО ВОДОСБОРНОГО БАСЕЙНА С ПОМОЩЬЮ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ИЗВИЛИНКА, ПРИМОРСКИЙ КРАЙ)

Костык В.А., Вихренко С.В., Лисина И.А.

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, kostyk.va@dvfu.ru

Наблюдения за параметрами окружающей природной среды на станциях и постах сети Росгидромет являются важной составляющей процесса мониторинга гидрометеорологической обстановки. В условиях недостаточной изученности речных бассейнов все чаще рассматривается возможность применения дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Гидрографические характеристики речных бассейнов традиционно рассчитываются с помощью топографических карт, справочной информации, натурных наблюдений. В связи с активным применением цифровых технологий данные о рельефе, растительности, типах почв, можно получить с помощью дистанционных методов в удобном для расчетов формате. Кроме того, данные ДЗЗ будут иметь более актуальную (по датам съемки) информацию о местности, в отличие от редко обновляемых топографических карт или справочников. Внедрение результатов ДЗЗ в расчеты гидрографических характеристик существенно снижает трудозатратность вычислений. Стоит отметить, что для натурных измерений дистанционные методы расширяют возможности проведения полевых работ, например, беспилотные летательные аппараты (БПЛА), профилографы, автоматизированные комплексы.

Река Извилинка находится в Приморском крае и является притоком р. Уссури, берет свое начало на склоне г. Облачная (1854 м). Бассейн реки покрыт хвойно-широколиственными лесами, бурыми лесными почвами.

Для работы с площадным объектом более тысячи км² использованы спутниковые данные ДЗЗ. В качестве примера цифровой модели рельефа (ЦМР) использована Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) с пространственным разрешением 30 метров. Для получения дополнительной информации использованы снимки со спутников Landsat, Sentinel и тайловые изображения ESRI Imagine, Google Earth.

Для малых объектов, таких как русло реки и территория вокруг замыкающего створа, имеется возможность уточнять натурные данные с использованием дистанционных методов съемки местности с БПЛА (DJI Phantom), получение рельефа дна реки с помощью профилографа (Garmin echoMAP). Описанные возможности БПЛА и эхолота предоставлены сотрудниками гидрографической партии Примгидромета.

Данные ДЗЗ обработаны с помощью специализированного ПО: Agisoft PhotoScan, ArcGIS, QGIS. В результате обработки получены для замыкающего створа р. Извилинка: ортофотоплан, цифровая модель рельефа, цифровая модель местности, карта рельефа дна реки. Для территории бассейна р. Извилинка получены: границы бассейна, речная сеть, классификация по типу землепользования.

По результатам обработки данных ДЗЗ для бассейна реки Извилинка определены гидрографические характеристики картометрическим способом согласно нормативным документам. Результаты сравнивались с принятыми за эталон данными гидрологических справочников и ежегодников. Из 12 основных характеристик (площадь бассейна, длина реки, коэффициент извилистости, длины всех рек бассейна, густота речной сети, средняя высота бассейна, средний уклон водосбора, ширина бассейна, лесистость, ширина речной долины по замыкающему створу и по реке) в справочных данных присутствуют пять. В таком случае данные ДЗЗ могут служить основой для заполнения пропусков в гидрологической изученности. По результатам сравнения имеющихся в справочниках и рассчитанных по данным ДЗЗ характеристик определена средняя разница в 2,6%,

максимальная не превышает 8,1% (при допустимой погрешности в 10%). Следует сделать вывод, что данные ДЗЗ, обрабатываемые в геоинформационном ПО, представляют большой интерес для задач уточнения гидрографических характеристик бассейнов с малой изученностью, что расширяет возможности не только в области обновления справочной информации, но и подготовки входных данных для гидрологических моделей.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ РАДИЯ ДЛЯ ТРАССИРОВАНИЯ РАЗГРУЗКИ СУБМАРИННЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И АПВЕЛЛИНГА В ЗАЛИВЕ ПОСЬЕТА ОСЕНЬЮ 2024 ГОДА

Красиков В. А., Чаркин А. Н., Леусов А.Э.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
г. Владивосток, krasikov.va@poi.dvo.ru*

Залив Посьета, расположенный в юго-западной части залива Петра Великого (Японское море), представляет собой уникальную экосистему, где биогеохимические процессы тесно связаны с гидрологическими особенностями. Муссонный климат формирует сезонную динамику: летом теплые океанические воздушные массы прогревают поверхностные воды до $+18-23^{\circ}\text{C}$, стимулируя стратификацию, а зимой холодные материковые ветра охлаждают акваторию до $-1,8^{\circ}\text{C}$, вызывая кратковременное льдообразование и усиление вертикальной конвекции. Малая глубина залива способствует выраженным температурным колебаниям — как краткосрочным, так и сезонным, которые охватывают не только поверхностные, но и придонные слои воды. Река Туманная, впадающая в северную часть залива, создает зону опреснения с соленостью 28–30‰, контрастирующую с открытыми водами (33–34‰). Эти условия, дополненные полусуточными приливами (амплитуда до 0,5 м), сгонно-нагонными ветрами, способствуют активному перемешиванию водных масс и подъему глубинных потоков, богатых биогенами — явление, известное как прибрежный апвеллинг.

Субмаринная разгрузка подземных вод (СПВ) и апвеллинг выступают ключевыми источниками азота и фосфора, поддерживающих высокую продуктивность фитопланктона. Прибрежный апвеллинг в акватории залива Петра Великого на сегодняшний день остаются малоизученным, а информация о наличии разгрузки СПВ полностью отсутствует. Для изучения особенностей формирования данных процессов в рамках 91 экспедиции НИС «Профессор Гагаринский» были использованы радиоизотопные методы. Короткоживущие изотопы радия (^{224}Ra , ^{223}Ra), поступающие преимущественно из прибрежных подземных источников, а также донных осадков, регистрировались системой RaDeCC по альфа-излучению от распада дочерних изотопов радона (^{219}Rn и ^{220}Rn). Для углубленного понимания долгосрочных изменений, системой RaDeCC определялся долгоживущий изотоп ^{228}Ra (период полураспада 5,75 лет). Интеграция данных по изотопам с разными периодами полураспада в рамках комплексного подхода, объединяющего гидрологические, геохимические и биологические методы, повышает точность моделей, показывающих взаимодействие геосфер в разных временных отрезках. Полученные данные позволили отследить смешение водных масс и определить время жизни радия — от минут до нескольких десятков дней, предоставляя возможность локализовать возможные зоны апвеллинга и разгрузки СПВ в связке с аномальными значениями по биогенным элементам.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 25–67–00001 «Оценка влияния Чаунского рефугиума на гидрофизические, биогеохимические и гидробиологические режимы шельфовых вод восточной части Восточно-Сибирского моря».

Литература

1. Charkin A. N. et al. A unique warm-water oasis in the Siberian Arctic's Chaun Bay sustained by hydrothermal groundwater discharge //Communications Earth & Environment. – 2024. – Т. 5. – №. 1. – С. 393.
2. Luo X. et al. Evaluation of water residence time, submarine groundwater discharge, and maximum new production supported by groundwater borne nutrients in a coastal upwelling shelf system //Journal of Geophysical Research: Oceans. – 2018. – Т. 123. – №. 1. – С. 631-655.
3. Moore W. S. Sources and fluxes of submarine groundwater discharge delineated by radium isotopes //Biogeochemistry. – 2003. – Т. 66. – С. 75-93.

4. Григорьева Н. И., Федосеев В. Я., Кучерявенко А. В. Абиотические условия среды в местах размещения плантаций марикультуры залива Посьета (залив Петра Великого, Японское море) //Известия ТИНРО (Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра). – 2001. – Т. 128. – №. 1-2. – С. 501-514.
5. Garcia-Orellana J. et al. Radium isotopes as submarine groundwater discharge (SGD) tracers: Review and recommendations //Earth-Science Reviews. – 2021. – Т. 220. – С. 103681.

ВКЛАД ОСЕДАЮЩЕГО ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА В ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ БЕРИЛЛИЯ-7

Кременчуцкий Д.А., Дымова О.А., Гуров К.И., Евстигнеева Н.А., Гурова Ю.С.

Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь, d.kremenchutsky@gmail.com

Бериллий-7 – естественный радионуклид космогенного происхождения, непрерывно образующийся в атмосфере. В морскую среду он поступает преимущественно с потоком влажных атмосферных выпадений. Этот радионуклид находит применение в роли трассера процессов поступления и транспорта различных веществ в морской среде. В отдельных случаях адсорбция радионуклида на взвеси может приводить к искажению получаемых результатов. Целью исследования являлась оценка вклада седиментационных процессов в вертикальный транспорт этого радионуклида.

В работе использовалась трехмерная термогидродинамическая модель циркуляции Черного моря (модель МГИ), дополненная блоком транспорта бериллия-7. Численные эксперименты проводились на регулярной сетке $1,6 \times 1,6$ км, 27 горизонтов по вертикали. Атмосферный форсинг – данные атмосферного реанализа ERA5. Поступление бериллия в морскую среду происходило с потоком сухих и влажных атмосферных выпадений, которые задавались с использованием оригинальной модели, разработанной нами ранее. При проведении численных экспериментов проводилась ассимиляция натуральных данных температуры и солености с буев Арго и полученных в рейсах НИС «Профессор Водяницкий». Численные эксперименты охватывали периоды 2015–2020 гг. и 2022–2023 гг. По результатам численных экспериментов были получены ежесуточные данные о термохалинных и гидродинамических характеристиках вод, концентрации бериллия-7, и вклада различных процессов (адвекция, диффузия, седиментация и радиоактивных распад) в изменение концентрации радионуклида в каждой ячейке. Валидация результатов численных экспериментов (полей концентрации температуры, солености и концентрации бериллия) проводилась по натурным данными, полученным в рейсах НИС «Профессор Водяницкий» и с буев Арго (только для температуры и солености). Результаты валидации позволили сделать вывод, что точность получаемых оценок позволяет использовать эти результаты для анализа пространственно-временной изменчивости поля концентрации бериллия.

Результаты анализа указывают на то, что в глубоководной части моря (глубины >200 м) вклад седиментации в вертикальный транспорт бериллия в слое 0–100 м не превышает 2%, на шельфе в диапазоне глубин ~ 50 –200 м – значение вклада обычно не превышает 20%, на шельфе при глубине места до ~ 50 м значение вклада может достигать 70%. Минимальный вклад седиментации отмечался в осенний сезон, максимальный – в зимне-весенний.

Пробы морской воды отбирались и обрабатывались в рейсах НИС «Профессор Водяницкий» в рамках темы гос. задания FNNN-2024-0001. Численные эксперименты и анализ полученных результатов был выполнен в рамках гранта РФФ № 22-77-10056.

ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ БЕРИНГОВА МОРЯ ПРИ ПЕРЕХОДЕ ОТ ПЛЕЙСТОЦЕНА К ГОЛОЦЕНУ НА ОСНОВЕ ДИАТОМОВОГО АНАЛИЗА

Кузьмина В.А.¹, Артемова А.В.¹, Лю Я.²

¹Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, Балтийская 43, kuzmina.va@poi.dvo.ru

²Ключевая лаборатория морской седиментологии и геологии окружающей среды, Первый институт океанографии, Министерство природных ресурсов КНР, г. Циндао, КНР

Берингово море играет важную роль в глобальной климатической системе благодаря своему уникальному географическому положению между Тихим и Северным Ледовитым океанами и высокой биопродуктивности экосистемы. Последнее влияет на его участие в регуляции углеродного цикла через активное поглощение CO₂ фитопланктоном, что ускоряет процесс осаждения углерода на дно.

Диатомовые водоросли, благодаря высокой скорости воспроизводства, широкой географической распространённости и хорошей сохранности в донных отложениях, являются ценными индикаторами условий для палеоклиматических реконструкций. Их анализ позволяет получать данные об изменениях в температурном режиме, солёности, биопродуктивности и ледовитости акватории, что делает их важным инструментом в палеоклиматологии.

Переход от плейстоцена к голоцену представляет особый интерес для понимания климатических механизмов. Этот период связан с дегляциацией, повышением уровня моря и выбросами парниковых газов из тающих ледников, что усилило естественное потепление. Изучение данных процессов позволяет провести параллели между естественной изменчивостью климата и антропогенным воздействием.

Материалом для изучения послужила колонка глубоководных осадков ARC B11, которая была отобрана в Беринговом море на глубине 1530 м (длина керна — 610 см). Возрастная модель построена Лю Я. с применением радиоуглеродного датирования. Количественный и качественный анализ диатомовых водорослей выполнен при помощи микроскопа Микмед-6 (увеличение ×600–×1200). Видовой состав и концентрация створок сопоставлялись с геохимическими и другими данными (Cорг., SiO₂%, соотношения C/N, Ca/Ti, Si/Al, содержание материала ледового разноса (IRD)). Полученные данные соотнесены с результатами предыдущих исследований для реконструкции палеоклиматических условий последних 23 тыс. лет.

Анализ колонки ARC B11 позволил выделить четыре ключевых периода динамики продуктивности диатомовых водорослей как отражение климатических изменений в Беринговом море.

Последний ледниковый максимум (23–14,7 тыс. лет назад). В это время низкая продуктивность диатомей была обусловлена экстремально холодными условиями. Обширный морской лёд ограничивал проникновение света и поступление питательных веществ. В видовом составе доминируют холодноводные открыто-океанические виды (*Thalassiosira antarctica*), адаптированные к низким температурам. Высокая доля ледовых диатомей (*Fragilariopsis cylindrus*, *F. oceanica* и т.д.) указывает на длительный зимний сезон и продолжительный ледовый покров. Встречаются переотложенные виды из-за регрессии моря и активной эрозии шельфа. В осадке преобладают терригенные вещества над биогенными. Высокое содержание песка и IRD в осадке связано с большими объёмами образующегося и тающего льда в это время.

Бёллинг-Аллерёд (14,7–12,9 тыс. лет назад). Этот период стал переломным этапом, когда потепление и подъём уровня моря запустили механизмы биологической компенсации углеродного цикла и резкое сокращение льда позволило усилить поступление питательных веществ, вызвав быстрый рост продуктивности диатомей. Содержание диатомовых створок в осадках увеличивается в 3 раза по сравнению с

предыдущим периодом. Происходит изменение видового состава диатомей. Появляется и становится доминантным вид *Neodenticula seminae*, который является индикатором тихоокеанских вод и свидетельствует об улучшении сообщения Берингова моря с Тихим океаном. Резкий скачок содержания ледовых видов и появление в осадке видов, обитающих обычно в шельфовой зоне (*Paralia sulcata* и др.), говорит об активном переносе льда. Происходит рост доли пресноводных диатомей, принесенных речным стоком, что является следствием таяния ледников и повышения уровня моря.

Поздний дриас (12,9–11,7 тыс. лет назад). Кратковременное похолодание отразилось в увеличении IRD, как свидетельство усиления ледового переноса. Несмотря на похолодание, диатомеи реагируют слабо небольшим снижением численности в начале похолодания, а видовой состав не демонстрирует выраженной реакции на этот глобальный климатический период.

Голоцен (с 11,7 тыс. лет назад). Доминирование диатомовых водорослей в осадке, высокий SiO₂% и Si/Al, и низкое IRD отражают слабое влияние льда в это время. Продуктивность диатомей достигает максимума. Видовой состав приближен к современному: большая часть сообщества — типичные для Берингова моря виды. Открытие Берингова пролива усилило водообмен с Тихим океаном, обеспечив приток питательных веществ. Сокращение ледового сезона создало условия для длительной весенне-летней вегетации диатомей.

Выявленные периоды показывают тесную связь глобальных климатических изменений с ледовой обстановкой и биопродуктивностью, где биопродуктивность напрямую зависит от баланса между ледовым покровом и поступлением тихоокеанских вод.

ОЦЕНКА УРОВНЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИМИ АРОМАТИЧЕСКИМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО (ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

Кулагина К.С., Чижова Т.Л., Кудряшова Ю.В., Исакова Д.А., Патрушев М.Г.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток,
chizhova@poi.dvo.ru, kulagina.ks@dvfu.ru*

Загрязнение окружающей среды полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ, полиарены) представляет собой серьезную проблему, связанную с токсичностью этих соединений и их негативным влиянием на здоровье человека и состояние окружающей среды. ПАУ — это группа органических соединений, состоящих из двух и более конденсированных ароматических колец, образующихся в результате неполного сгорания органических веществ.

Многие ПАУ широко известны как канцерогены, мутагены и тератогенные вещества и, таким образом, представляют значительную опасность для здоровья и людей. ПАУ способны биоаккумулироваться и передаваться по пищевым цепям, что может приводить к нарушению функционирования экосистем и снижению биоразнообразия. Понимание источников, путей переноса и факторов, влияющих на аккумуляцию ПАУ в морских отложениях, критически важно для оценки экологического риска и разработки эффективных стратегий управления загрязнением.

Залив Петра Великого, расположенный в важном промышленном регионе, подвержен воздействию различных источников загрязнения, включая сточные воды, выбросы предприятий и судоходство. Целью данного исследования является комплексная оценка уровней ПАУ, определение основных источников загрязнения и оценка экологического риска в донных отложениях залива Петра Великого.

Донные отложения, собранные в заливе Петра Великого в ходе рейсов НИС «Профессор Гагаринский» в 2022 г., подвергались экстракции дихлорметаном с использованием ультразвуковой обработки и последующим удалением растворителей. Количественное определение 14 ПАУ, которые входят в список приоритетных загрязнителей Агентства по охране окружающей среды США (US EPA), было выполнено методом ВЭЖХ-ФД с внешними стандартами для определения концентраций на основе калибровочных кривых.

Концентрации 14 ПАУ в донных отложениях варьировались от 27 до 2432 нг/г, в среднем составляя 553 нг/г, что сопоставимо с другими регионами с аналогичной антропогенной нагрузкой. Пространственное распределение ПАУ определялось прежде всего техногенными факторами: наиболее высокие концентрации были зафиксированы в районе г. Владивостока, особенно в области внешнего рейда морского порта (ст. 85-19). Вероятными источниками загрязнения являются сбросы нефтепродуктов и льяльных вод с судов, а также последствия прошлой деятельности полигона ТБО, ранее расположенного близ прибрежной зоны. Помимо этого, важную роль в распространении ПАУ в заливе играют и гидрологические условия. В частности, высокая концентрация ПАУ в донных отложениях рядом с устьем р. Туманной (ст. 83-18), несмотря на удаленность от локальных антропогенных источников, обусловлена переносом загрязненных вод, дренирующих в среднем течении территорию северо-восточного Китая. Можно отметить, зависимость концентрации ПАУ от гранулометрического состава донных отложений и содержания органического углерода, особенно для высокомолекулярных ПАУ, отличающихся повышенными сорбционными свойствами.

В составе ПАУ в донных отложениях зал. Петра Великого преобладали соединения с 4-6 кольцами (в среднем 67%), наибольший вклад в состав внесли фенантрен (Phe), флуорантен (Flu) и пирен (Pyr). Исключением являлась ст. 83-18, расположенная в зоне влияния р. Туманной, композиционный состав которой отличался высоким процентом

нафталина. Наблюдаемые пространственные вариации состава ПАУ указывают на различные источники загрязнения: повышенное содержание нафталина может быть связано с утечками топлива и вымыванием из угольных пластов, а преобладание 5-6-кольцевых ПАУ на судоходных путях – с выбросами от сгорания дизельного топлива и мазута.

Для определения источников ПАУ использовались концентрационные соотношения изомеров, в частности, $\Sigma\text{LMW}/\Sigma\text{HMW}$, $\text{Ant}/(\text{Ant}+\text{Phe})$, $\text{Flu}/(\text{Flu}+\text{Pyr})$ и BaP/BPe . Анализ соотношения $\Sigma\text{LMW}/\Sigma\text{HMW}$ указывает на преимущественно пирогенное происхождение ПАУ в большинстве проб, за исключением ст. 83-18, где преобладали петрогенные ПАУ, вероятно, связанные с ископаемым топливом. Значения $\text{Flu}/(\text{Flu}+\text{Pyr})$ соответствуют сжиганию угля и древесины, что указывает на вклад сгорания топлива в центральных и местных системах отопления и лесных пожаров.

Определение экологических рисков проводили с помощью сравнения установленных концентраций индивидуальных соединений ПАУ с пороговыми концентрациями, разработанных US EPA. Для большей части донных отложений внутреннего шельфа зал. Петра Великого было установлено превышение порога ERL у следующих ПАУ: аценафтена, бензо[а]антрацена, бензо[б]флуорантена, бензо[ghi]перилена и дибенз[а,h]антрацена. Это означает, что данные соединения могут быть причиной проявлений негативных эффектов у высокочувствительных видов гидробионтов, обитающих в этой части залива.

Оценка суммарной токсичности смеси ПАУ проводилась с применением коэффициентов канцерогенности и мутагенности, предложенных Nisbet and LaGoy (1992), отражающих токсичность отдельных соединений ПАУ относительно токсичности бензапирена, принятой за 1. На основе этих коэффициентов был произведен расчет показателей токсичности и мутагенности (ПТ и ПМ). Значения ПТ и ПМ варьировались от 2 до 182 нг/г и от 2 до 201 нг/г, со средними значениями 44 и 50 нг/г, соответственно. Сравнение ПТ и ПМ с ПДК бензапирена для почв не выявило их превышения порогового значения. Стоит отметить, что в донных отложениях с преобладанием тонкозернистых фракций эти показатели были в 3-4 раза выше по сравнению с песками.

ГЛУБОКОВОДНЫЕ БЕНТОСНЫЕ ФОРАМИНИФЕРЫ И TROX-МОДЕЛЬ: КРИТИЧЕСКИЙ ВЗГЛЯД НА ПРИМЕРЕ ДАННЫХ С ЗАПАДНОГО СКЛОНА ВОЗВЫШЕННОСТИ РИУ-ГРАНДИ (ЮГО-ЗАПАДНАЯ АТЛАНТИКА)

Кулешова Л.А.¹, Баширова Л.Д.^{1,2}, Овсепян Е.А.¹

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, kuleshova.la@atlantic.ocean.ru

²Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград

Бентосные фораминиферы (БФ) — раковинные одноклеточные организмы из группы протистов, обитающие преимущественно в поверхностном слое морских осадков на различных батиметрических уровнях, — представляют собой один из наиболее информативных инструментов палеоокеанографических реконструкций. Благодаря способности этих организмов быстро реагировать на изменения условий окружающей среды, их высокому видовому разнообразию, а также устойчивости многих раковин к растворению, БФ широко используются в биостратиграфических и палеоокеанологических исследованиях.

К основным факторам, контролирующим распределение *глубоководных* комплексов БФ, относятся интенсивность поступления органического вещества (ОВ) на дно и содержание кислорода в придонных и поровых водах (например, Gooday, 2003). Концепция тесной взаимосвязи между трофическим состоянием и кислородным режимом среды обитания БФ привела к созданию TROX-модели (TROphic-OXygen model) (Jorissen et al., 1995), которая впоследствии стала теоретической основой для выделения экологических групп БФ и интерпретации закономерностей их вертикального распределения относительно границы «вода–осадок». Согласно данной модели, в олиготрофных и хорошо аэрируемых условиях глубина обитания БФ в осадке определяется доступностью пищи. Напротив, в эвтрофных системах, характеризующихся избытком поступающего на дно ОВ, уровень содержания кислорода в придонных и поровых водах контролирует глубину зарывания видов.

Настоящее исследование направлено на выявление факторов, обуславливавших изменчивость глубоководных комплексов БФ в осадках олиготрофного района (Baumann et al., 2004) юго-западной Атлантики за последние 300 тысяч лет, а также на оценку соответствия выявленных закономерностей положениям TROX-модели. Материалом для исследования послужила колонка донных осадков АИ-3321 (30°56.85' ю.ш., 38°02.45' з.д., глубина океана 2969 м, длина осадочного разреза 2.93 м), отобранная с западного склона возвышенности Риу-Гранди в 2014 году в 46-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Иоффе» (Иванова и др., 2016). Возрастная модель колонки АИ-3321 построена на основе опубликованных изотопно-кислородных и радиоуглеродных данных (Ivanova et al., 2022) и корреляции со стандартной кривой LR04 (Lisiecki, Raymo, 2005). Полученные в Лаборатории исследований палеоклимата им. Годвина (г. Кембридж, Великобритания) данные о соотношении стабильных изотопов углерода в раковинах эпибентосного вида *S. wuellerstorfi* в колонке АИ-3321 были использованы для реконструкции границ распространения глубинных и придонных водных масс в масштабе ледниковых циклов. Сообщества БФ изучены в гранулометрической фракции >100 мкм: в пробах через каждые 3–4 см определялся видовой состав комплексов и процентное содержание индикаторных видов. Всего было исследовано 75 проб. Для интерпретации результатов микропалеонтологического анализа к ним применены методы статистической обработки, включающие факторный анализ и расчёт индексов биоразнообразия и доминирования в сообществе БФ.

В соответствии с имеющимися в литературе сведениями об экологических предпочтениях видов БФ, все таксоны в колонке АИ-3321 были разделены на три кислородозависимые группы: дизоксидную, субоксидную и оксидную. Выделение процентного содержания кислородозависимых групп БФ позволило применить

полуколичественный метод определения концентрации растворенного кислорода, предложенный М. Краннером и соавторами (Kranner et al., 2022). Таким образом, для последних 300 тысяч лет были реконструированы изменения концентрации растворенного кислорода в придонных водах над местом отбора колонки, указывающие на существование умеренно- (2.0–3.2 мл/л) и высоконасыщенных (3.2–6.0 мл/л) кислородом условий вблизи дна на протяжении всего интервала исследования.

При сопоставлении графика содержания кислорода с кривой изотопно-углеродного состава БФ в колонке АИ-3321 было выявлено, что на протяжении большей части изученного периода их изменчивость характеризуется схожими трендами, за исключением интервала ИКС 8–7. Это свидетельствует о существовании взаимосвязи между степенью насыщенности придонных вод растворенным кислородом и сменой доминирующего влияния водных масс различного происхождения на район поднятия Риу-Гранди на глубине ~3 км в пределах ИКС 9 (?) и ИКС 5–1. Важно отметить, что происходившие изменения в поступлении ОВ на дно также нашли свое отражение в смене комплексов БФ, судя по рассчитанным индексам биоразнообразия, а также вариациям распределения видов-оппортунистов с максимальными факторными нагрузками (*Alabaminella weddellensis* и *Epistominella exigua*). Последние чувствительны к сезонным колебаниям биопродуктивности поверхностных вод (например, Sun et al., 2006). В то же время максимальное содержание вида *Globocassidulina subglobosa* в сообществе БФ, также характеризующегося большой факторной нагрузкой, соответствует интервалам увеличения содержания кислорода вблизи дна (Кулешова, Овсепян, 2019).

Несовпадение трендов изменений изотопно-углеродной кривой с графиком содержания кислорода в интервале ИКС 7, по-видимому, обусловлено выраженным дефицитом пищи у дна. Это подтверждается низким биоразнообразием сообщества БФ в это время, а также минимальными значениями на кривой $\ln(\text{Sr}/\text{Ca})$, используемой в качестве индикатора продуктивности (Elderfield et al., 2002). Резкое увеличение доли ювенильных форм БФ в осадке в ИКС 8, скорее всего, связано с существенной изменчивостью условий поступления пищи – возможно, ввиду пульсационного/нерегулярного привноса ОВ придонными течениями.

Таким образом, изменения видового состава глубоководных комплексов БФ в осадках западного склона возвышенности Риу-Гранди обусловлены не только вариациями условий биопродуктивности поверхностных вод, но и, вероятно, колебаниями содержания кислорода у дна, связанными со сменой доминирования антарктических и североатлантических вод на протяжении трех последних ледниковых циклов. Следовательно, TROX-модель лишь частично объясняет закономерности видового распределения БФ в исследуемом районе. Важно подчеркнуть: сделанный в работе вывод не отрицает применимость TROX-модели в целом, а лишь указывает на её ограниченность в конкретных палеоокеанологических условиях юго-западной олиготрофной области Атлантического океана, что подтверждается результатами комплексного анализа осадочного разреза.

Исследование выполнено в рамках темы государственного задания № FMWE-2024-0025.

РАЙОНИРОВАНИЕ ТРОПИЧЕСКОЙ АТЛАНТИКИ ПО ГИДРОХИМИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ В АБИССАЛЬНЫХ ВОДАХ

Куликова Ж.М.^{1,2}

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

²*Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, г. Москва, kulikovazh9@gmail.com*

Тропическая Атлантика является важным географическим районом при исследовании перераспределения тепла, соли и углерода Атлантической меридиональной циркуляцией. Абиссальные воды Тропической Атлантики представлены несколькими компонентами Северо-атлантической глубинной водной массы (САГВ) и Антарктической донной водной массой (ААДВ), однако необходимо отметить, что структура вод по всей Тропической Атлантике не является единой. Естественной границей в распределении водных масс в Тропической Атлантике является Срединно-Атлантический хребет. Поступление вод из западной части в восточную связано с водообменом через трансформные разломы Срединно-Атлантического хребта, в то время как перемещение глубинных вод между северной и южной частями западной акватории происходит через экваториальный канал. По этой причине в данной работе рассмотрены бассейны 4 глубоководных котловин Атлантического океана: Северо-Американская котловина, котловина Зеленого мыса, Ангольская и Бразильская котловина. Каждая из перечисленных котловин отвечает за свой район Тропической Атлантики относительно Срединно-Атлантического хребта как природной границы. Целью данной работы было выделение пространственных закономерностей гидрохимических параметров в абиссальных водах Тропической Атлантики.

В представленном исследовании использовались натурные данные температуры и солености для расчета значений нейтральной плотности, содержания растворенного кислорода и биогенных элементов из базы данных GLODAPv2.2023, были рассчитаны соотношения Si/P, позволяющие отследить верхнюю границу ААДВ в западной части Тропической Атлантики, кажущееся потребление кислорода (АОУ) и также квазиконсервативный параметр PO₄*.

Для каждой котловины были получены средние распределения гидрохимических параметров по глубине и по нейтральной плотности. Только в районе Ангольской котловины отмечается снижение содержания фосфатов при глубинах свыше 4 км, в то время как в других рассматриваемых котловинах с увеличением глубины свыше 3,5-4 км наблюдается повышение содержания фосфатов. Наибольшие значения соотношений Si/P отмечаются в Бразильской котловине, они соответственно уменьшаются в Северо-Американской котловине и в котловине Зеленого мыса, что связано с сокращением поступления объема ААДВ, отличающейся повышенными значениями биогенных элементов. Значения Si/P в Ангольской котловине с глубиной повышается вплоть до значений характерных для верхней границы ААДВ в Бразильской котловине (~35), что связано исключительно с уменьшением содержания фосфатов, а не с наличием Антарктической донной водной массы в данной котловине.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ No 23-17-00032 «Взаимодействие Северо-атлантических глубинных и Антарктических водных масс в тропической части Атлантического океана».

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕВЕРНОЙ (*PANDALUS EOUS* MAKAROV, 1935) И ГРЕБЕНЧАТОЙ (*PANDALUS HYP SINOTUS* BRANDT, 1851) КРЕВЕТОК СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ

Корнейчук И.А., Чульчкова Д.А.

Тихоокеанский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), г. Владивосток,
daria.chulchekova@tinro.vniro.ru

Северная (*Pandalus eous* Makarov, 1935) и гребенчатая (*Pandalus hypsinotus* Brandt, 1851) креветки – наиболее востребованные промыслом представители каридных (инфраотряд Caridea) креветок семейства Pandalidae Дальневосточных морей России. Объёмы вылова названных видов в северо-западной части Японского моря превышают показатели в 3100 т и 1100 т (данные за 2024 г.) для северной и гребенчатой креветок соответственно. Однако в последние годы наблюдается тенденция к уменьшению промысловых запасов обоих видов в каждой из промысловых подзон рассматриваемой акватории. И даже при столь активном давлении промысла на оба вида гидробионтов, многие вопросы в отношении их биологических характеристик и даже пространственного распределения остаются неуточнёнными, что крайне важно с учётом их специфических особенностей жизненного цикла (массовые личинные процессы, протерандрический гермафродитизм, наличие постадийно линяющей пелагической личинки).

Таким образом, целью данной работы является исследование пространственного распределения и анализ биологических характеристик северной и гребенчатой креветок российских вод Японского моря.

Материалом для данного исследования послужили результаты донной траловой съёмки, проведённой на научно-исследовательском судне «Дмитрий Песков» («ВНИРО») в северо-западных водах Японского моря в марте-апреле 2023 года. Всего в ходе экспедиционных работ *P. eous* была обнаружена на 97-ми траловых станциях, а *P. hypsinotus* – на 90.

Северная и гребенчатая креветки весной 2023 года в северо-западной части Японского моря были распространены почти повсеместно вдоль всего материкового побережья, а также у западных берегов о. Сахалин. Наиболее плотные скопления (> 2000 кг/км²) *P. eous* и *P. hypsinotus* отмечались в южных районах подзоны Приморье южнее м. Золотой. В северной части Татарского пролива в момент исследования также наблюдались высокие показатели обилия гребенчатой креветки (до 2000 кг/км²), в то время как подобных результатов для северной креветки отмечено не было.

Батиметрическому распределению *P. eous* и *P. hypsinotus* района исследования в марте-апреле 2023 г. было присуще следующее: северная креветка обнаруживалась на глубинах от 100 до 600 м, а её максимальная средняя биомасса (до 1300 кг/км²) отмечалась на глубинах 200-400 м в подзоне Приморье южнее м. Золотой (в этом же районе отмечались и максимальные средние показатели биомассы гребенчатой креветки – до 900 кг/км² на глубинах 150-300 м); в целом же гребенчатая креветка попадалась в трал на изобатах от 60 до 500 м.

Известно, что в северо-западной части Японского моря у северной и гребенчатой креветок двухлетний репродуктивный цикл. Так, весной 2023 года в российских водах Японского моря биологическое состояние самок отражало преобладание особей второго года нереста. В этой группе креветок доминировали (28% от общего числа) экземпляры, чья икра уже имела глазок (ИГ) (личинки на стадии органогенеза). Чуть меньше оказалось самок, уже выпустивших личинок (ЛВ – 27% от общего числа). Выпускающих личинок (ВЛ) особей присутствовало в уловах в объёме 9% от общего числа. И креветок, находящихся в межнерестовом состоянии покоя (БИ) – 2%. Среди самок северной креветки первого года нерестового цикла почти все особи имели внутреннюю икру

третьей стадии развития (30% от общего числа) – эти креветки вступали в процессы массового нереста. Недавно отнерестившихся самок (ИЗ) было около 4%.

В марте-апреле 2023 года биологическое состояние самок гребенчатой креветки района исследования характеризовалось доминированием особей первого года нерестового цикла, которые почти полностью были представлены недавно отнерестившимися креветками с новой наружной икрой (ИЗ) – 70% от общего числа. Самок с внутренней икрой третьей стадии, которые готовятся к нересту (ИВЗ), было совсем немного – 4%. Самки *Pandalus hypsinotus* второго года нерестового цикла в 2023 году в Японском море оказались в меньшинстве. В этой группе креветок доминировали особи, личинки которых уже имели сформированные в яйцах глазки (ИГ – 23%). Выпускающие (ВЛ) и выпустившие (ЛВ) личинок креветки присутствовали в уловах в объёме 3% от общего числа.

Массовых личинных процессов в проанализированных скоплениях обоих видов креветок района исследования выявлено не было.

Размерные характеристики северной и гребенчатой креветок напрямую связаны с их главной биологической особенностью – протерандрией. Поскольку названные виды десятиногих ракообразных меняют пол в течение жизненного цикла: изначально вылупившаяся личинка после оседания превращается в самца, функционируя и принимая участие в размножении как самец на протяжении нескольких (двух-трёх) лет; затем происходит очень сложная функциональная перестройка, при которой семенники заменяются яичниками (эта стадия, когда изменения ещё не завершены окончательно, а в репродуктивной системе содержатся как сперматозоиды, так и ооциты, называется «интерсекс» – переходная особь), а сама креветка превращается в самку, далее жизнедеятельствуя исключительно в качестве самки. Такая особенность характеризуется гораздо меньшими размерами самцов в популяциях в сравнении с самками, что мы и наблюдаем по результатам весенних исследований 2023 года.

Так, длина тела *Pandalus eous* в момент исследования в северо-западной части Японского моря варьировала в диапазоне 35-139 мм, в среднем составляя 97,82 мм. Особи, достигшие промыслового размера (от 90 мм по длине тела), преобладали по численности и биомассе. Размеры самок изменялись в пределах от 91 до 139 мм, средний размер составлял 115,66 мм. Длины тела самцов, как и предполагалось, оказались значительно меньше – 35-116 мм (в среднем – 85,46 мм). Интерсексов весной 2023 г. было не более 10% от общего числа. Доля особей, зараженных паразитической изоподой *Vopyroides hippolytes*, составила менее 1%.

Размеры тела *Pandalus hypsinotus* весной 2023 года в районе исследования относились к значениям 28-183 мм (средняя – 112,72 мм). Особи, достигшие промыслового размера (от 130 мм по длине тела), у данного вида также преобладали по численности и биомассе. Самки традиционно оказались наиболее крупными – длины тела в диапазоне от 112 до 183 мм, при средней – 138,78 мм. Размеры тела самцов изменялись в пределах 28-154 мм, составляя в среднем 106,14 мм. Количество интерсексов не превышало 3%. Доля особей, зараженных паразитической изоподой *Vopyroides hippolytes*, также составила менее 1%.

ЦИКЛОНИЧЕСКИЕ РИНГИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПЕРЕНОС ПОПЕРЕК СТРУИ ПРОДОЛЖЕНИЯ КУРОСИО – НАБЛЮДЕНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

*Лебедева М.А.^{1,2}, Будянский М.В.^{1,2}, Пранц С.В.¹,
Лобанов В.Б.¹, Удалов А.А.¹, Дидов А.А.^{1,2}*

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

²Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

lebedevamasha671@gmail.com

Отслеживание распространения радионуклидов, образовавшихся после катастрофической аварии на АЭС «Фукусима» (АЭСФ) 11 марта 2011 года, а также после контролируемых сбросов очищенной радиоактивной воды в океан в 2023 и 2024 годах, важно не только для оценки радиационных рисков для морской среды, но и для понимания циркуляции водных масс в северной части Тихого океана. В субарктической области к северу от Продолжения Куроисио трассеры АЭСФ быстро распространяются на восток в поверхностном слое. Существует консенсус, что мощные струйные течения, такие как Гольфстрим и Продолжение Куроисио, являются непроницаемыми барьерами для поперечного транспорта. Однако после аварии на АЭСФ радиоактивный цезий был обнаружен в субтропической зоне к югу от Продолжения Куроисио. Возникает вопрос: как это могло произойти, особенно там, где меандрирующая струя Продолжения Куроисио наиболее сильна?

Длительный анализ поля скорости, полученного по альтиметрическим данным, позволил выявить основные меридиональные пути транспорта во фронтальной зоне, связанные со средним положением западных и восточных меандров Продолжения Куроисио. Моделирование движения частиц показало, что виртуальные трассеры, запущенные вблизи места аварии на АЭСФ, могут пересекать струю Продолжения Куроисио, двигаясь вдоль этих транспортных коридоров. Это может происходить как из-за изменений траектории Продолжения Куроисио и положения меандров, так и благодаря отщепляющимся к югу рингам Куроисио. В обоих случаях радионуклиды и другие трассеры с АЭСФ могут оказаться на южной стороне Продолжения Куроисио.

Поперечный перенос представляет собой событие, при котором группы трассеров пересекают струю течения за короткий промежуток времени, когда открываются соответствующие коридоры. Механизм, связанный с рингами, был детально изучен с использованием лагранжевых карт на основе альтиметрии, данных реанализа GLORYS12V1 и судовых CTD-измерений. В 2024 году виртуальные трассеры АЭСФ наблюдались внутри двух циклонических рингов на южной стороне Продолжения Куроисио. Разрез через один из этих рингов, выполненный во время экспедиции НИС «Академик Опарин» в июне 2024 года, показал, что он содержал воды субарктического происхождения. Это наблюдение было подтверждено лагранжевыми картами на основе альтиметрии, а также данными GLORYS12V1 о вертикальной термохалинной структуре этого ринга. Профили GLORYS12V1 оказались схожими с CTD-измерениями, что подтвердило субарктическое происхождение воды в ядре ринга и поперечный перенос трассеров АЭСФ.

ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРОВИНЦИИ ВЬЕТНАМСКОГО ШЕЛЬФА В ЮЖНО-КИТАЙСКОМ МОРЕ

Легкодимов А.А.

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

На основе результатов многолетних исследований были выделены три газогеохимические области на основе осадочных бассейнов, в которых они находятся. Провинции различаются по составу и генезису газа. Все описанные провинции находятся под влиянием рифтовой зоны Красной реки.

После открытия в южной части шельфового осадочного бассейна Вьетнама (далее ОБ) Кулонг крупного нефтяного месторождения Белый Тигр в 1981, 1983, 1989 и 1990 гг. на вьетнамской акватории проводились газогеохимические съемки, в том числе сотрудниками ТОИ Дальневосточного научного центра АН СССР. В результате этих экспедиций была выявлена изменчивость концентраций метана в придонных водах северной и южной частей шельфа.

Система рифтов Красной реки (РКР), пролегающая вдоль всего шельфа, скорее всего, является одним из основных поставщиков миграционных газов (в том числе углеводородов) в осадочные толщи Вьетнама. При этом флюид поступает не только в бассейны, через которые проходит ряд разломов, но и в прилегающие структуры и другие осадочные бассейны. Так, в заливе Бакбо (залив Токин), который предположительно не затронут РКР и считается находящимся вне зоны влияния, по результатам магнитотеллурического зондирования были выявлены сверхглубокие проницаемые зоны (1). Газогеохимическая съемка позволила установить миграционную составляющую газов, связанную с зоной глубокой проницаемости (5).

Целью данной работы является выявление особенностей распределения углеводородов и изучение их генетических особенностей в донных отложениях шельфа Вьетнама.

Материалы для исследования получены в результате многолетних исследований, проводимых в водах Вьетнама с 2013 года при участии сотрудников Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН, а также в ходе рейса на НИС «Академик М.А. Лаврентьев» в 2019 году (LV88). Карта фактического материала представлена на рисунке 1. Всего выполнено 226 станций отбора проб: 2013 год – 35; 2018 год – 67; 2019 год – 44. Хроматографических анализов – 677, анализов на определение изотопного состава углерода – 10. Донные отложения отбирались с помощью гравитационных пробоотборников длиной до 6 метров и внутренним диаметром до 120 мм. Отбор проб для газогеохимического анализа проводился по методике лаборатории газовой геохимии Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН, описанной в (2).

При определении фоновых концентраций газов использовались методы, регламентированные действующими нормативными документами по определению (установлению) фоновых концентраций веществ (газов) и имеющимися методическими вероятностно-статистическими литературными источниками. Лаборатория геохимии газа Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН имеет Сертификат Росстандарта № 58 к паспорту лаборатории ПС 1.051–21.

Впервые в западной части ЮКМ выделены три газогеохимические провинции на основе вмещающих их ОБ: Северная (залив Бакбо), Центральная (ОБ Фухань) и Южная (северная часть осадочного бассейна Намкомсон).

Выявленные закономерности распределения фоновых и аномальных геохимических полей указывают на новые перспективные зоны нефтегазообразования и миграции углеводородов.

Также при рассмотрении соотношения углеводов и изотопного состава, а также присутствия определенных групп микроорганизмов провинции (4) выделяются по генезису сл. образом:

Юг - метан преимущественно термогенного происхождения.

Центральный - метан смешанного генезиса (термогенный и микробный);

Северный - присутствует микробный, термогенный и метаморфогенный метан.

Построенные схемы распределения и изотопные характеристики метана, а также гелия и водорода в поверхностных осадках отражают миграционный характер УВГ, связанный с зоной глубокой проницаемости в северной части шельфа.

Литература

1. Ли В.З, Долгинов, Е.А. Горячая точка северного Вьетнама. // Тектоника. 2000. №1. С. 28-32.
2. Луонг Л.Д., Обжиров А.И., Хоанг Н., Шакиров Р.Б., Ань Л.Д., Сырбу Н.С., Туань Д.М., Тао Н., Ван, Хуанг Т.Т., Куонг Д.Х., Холмогоров А.О., Бин П., Мишукова Г.И., Еськова А.И. Распределение газов в донных отложениях юго-западного суббассейна Южно-Китайского моря // Тихоокеанская геология. 2021. № 15. С. 67-77. <https://doi.org/10.30911/0207-4028-2021-40-2-67-77>
3. Сырбу Н.С., Кыонг Д.Х., Якимов Т.С., Холмогоров А.О., Телегин Ю.А., Тсуногай У. Геологические условия формирования газогеохимических полей, в том числе гелия и водорода, в воде и осадках привьетнамской части Южно-Китайского моря // Георесурсы. 2021. №23. С.132-141. <https://doi.org/https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.16>
4. Eskova, A.I., Ponomareva, A.L., Legkodimov, A.A., Kalgin, V.Y., Shakirov, R.B., Obzhirov, A.I. Features of the distribution of indicator groups of microorganisms in bottom sediments of the South China Sea // News of the Irkutsk State University. Earth Sciences series. 2020. №33.
5. Shakirov, R.B., Sorochinskaya, A.V., Syrbu, N.S., Chung, N.N., Fat, F.V., Anh, L.D., Phi, Ch.T. (2017). Gas-geochemical features of sediments in the Gulf of Tonkin (South China Sea) // Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. №4. P. 3-41.

ПРИМЕНЕНИЕ ФРАКТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ МИКРОДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Лисовицкий А.С.¹, Чупин В.А.¹, Московченко Л.Г.²

¹*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения РАН, г. Владивосток, lisovitskii.as@poi.dvo.ru*

²*Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток*

В работе проводится фрактальный анализ временных рядов микродеформаций земной коры, зарегистрированных лазерными деформографами в сейсмически спокойный и сейсмически активный периоды. Данные лазерного деформографа изучаются для выявления долгосрочных эффектов, связанных с изменениями в земной коре в период подготовки тектонического землетрясения. Для анализа используется метод мультифрактального анализа флуктуаций (MF-DFA), а также модификация метода фрактальных длин – метод Хигучи.

Земной коре присуще свойство самоорганизованной критичности (СОК), то есть она в своем развитии приходит к такому устойчивому состоянию, для которого характерна фрактальность, когда части объекта подобны целому. Временные ряды микросмещений земной коры отражают это характерное свойство, что и обуславливает важность исследования их фрактальных характеристик. Данные брались с трех деформографов Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева, расположенных на полигоне «М. Шульца»:

1. Деформограф 1 — на песчаной поверхности, ориентация близка к С–Ю.
2. Деформограф 2 — установлен на плотном суглинке, перпендикулярен первому.
3. Деформограф 3 — на скальной поверхности, также ориентирован близко к С–Ю.

Для анализа выбраны данные, полученные в спокойный в сейсмическом отношении период 01.04 – 31.06.2017 и активные периоды, когда произошли землетрясения:

1. 01.10.2020 – 31.03.2021 (20.03.2021, 7.0 баллов, 30 км от Исиномаки (Япония); 13.02.2021, 7.1 баллов, 34 км от Намиэ(Япония))
2. 15.01.2022 – 16.03.2022 (21.01.2022, 6.3 баллов, 27 км от Намиэ(Япония); 16.03.2022, 7.3 баллов, 57 км от Намиэ(Япония))
3. 01.12.2022 – 15.02.2023 (06.02.2023, 7.8 баллов Пазарчик(Турция); 16.01.2023, 6.0 баллов, Хоккайдо (Япония))
4. 01.12.2023 – 29.02.2024 (27.12.2023, 5.2 баллов, Залив Петра Великого (Владивосток), 01.01.2024, 7.5 баллов, Ното (Япония))

Один из основных методов фрактального анализа геофизических рядов данных является метод фрактальных длин(L). Существует несколько вариантов реализации алгоритма расчета L(n). Метод Хигучи подразумевает, что при рассмотрении ряда Y(j), j=1,2, ..., N для каждого L(n) вычисление выполняется n раз. Длина кривой рассчитывается по точкам, относящимся к моментам m, m + n, m + 2n, где m = 1, 2, ..., n — начальное смещение:

$$L_m(n) = \left(\sum_{i=1}^{[(N-m)/n]} Y(m + in) - Y(m + (i - 1)n) \right) \frac{N - 1}{\left[\frac{N - m}{n} \right] n} \quad (1)$$

Окончательно длина кривой определяется как арифметическое среднее по n значений, каждое из которых есть Lm (n).

Анализ временных рядов также проводится с помощью метода MFDFFA, состоящего из несколько этапов.

1 этап: Вычислить флуктуационный профиль

2 этап: Разделить профиль Y(k) на непересекающиеся сегменты равной длины s.

3 этап: Вычисление локального тренда для каждого из $2N_s$ сегментов с помощью метода наименьших квадратов. Затем определяется дисперсия $F^2(v, s)$

$$F^2(v, s) \equiv \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \{Y[(v-1)s+i] - y_v(i)\}^2 \quad (2)$$

4 этап: Усреднение всех сегментов для получения q -го порядка функций флуктуаций

5 этап: Определение скейлингового поведения функций флуктуаций путем анализа графиков каждого из значений q , отложенных по осям $F_q(s)$ и s в логарифмическом масштабе. Определение мультифрактальных характеристик (Скейлинговые показатели степени $\tau(q)$ и обобщенные фрактальные размерности $h(q)$).

В результате была получена серия графиков, описывающих поведение мультифрактальных характеристик временных рядов каждого деформографа в спокойный и активный периоды. По результатам исследования были сделаны следующие выводы:

- Зафиксирована тенденция к увеличению фрактальной размерности D перед землетрясениями. У третьего деформографа (скальное основание) изменения более выражены: в активные периоды D в пределах (1:1.7), в спокойные в пределах (1:1.4). Значения $D > 1.6$ могут служить индикаторами нелинейности системы и возможной готовности системы к переходу.

- Уменьшение разброса экспонент сингулярности $\Delta h(q)$ в сейсмически активные периоды наблюдается у всех датчиков, что может указывать на перестройку структуры земной коры.

- В периоды с землетрясениями в Японии (2020 - 2024 г.) все деформографы показали схожие изменения фрактальных характеристик, что позволяет предположить их прогностическую значимость.

- В декабре 2022 – феврале 2023 гг. наблюдалось аномальное поведение данных, возможно связанное с землетрясением в Турции. Этот период требует дополнительного изучения.

- Постоянная сейсмическая активность вблизи полигона затрудняет выбор полностью спокойных периодов, что влияет на точность интерпретации результатов.

В заключении можно сказать, что фрактальная размерность D и ширина мультифрактального спектра $\Delta h(q)$ демонстрируют потенциальную прогностическую ценность. Однако выводы носят индикативный характер и требуют дальнейшей проверки и количественной оценки достоверности.

Работа выполнена при финансовой поддержке госбюджетной темы ТОИ ДВО РАН № 124022100074-9 «Изучение природы линейного и нелинейного взаимодействия геосферных полей переходных зон Мирового океана и их последствий».

ЛЕДЯНЫЕ ТОРОСИСТЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ АЗОВСКОГО И КАСПИЙСКОГО МОРЕЙ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Магаева А.А.

ФИЦ Южный научный центр РАН, г.Ростов-на-Дону, a.magaeva@mail.ru

Особенность ледовых условий Азовского и Каспийского морей – активное торошения льда, в результате которого образуются ледяные торосистые образования (ЛТО): торосы и барьеры торосов, а в некоторых случаях – стамухи. Данные процессы широко развиты на Азовском и северной части Каспийского морей ввиду их физико-географических особенностей: мелководность, извилистость береговой черты и довольно сложный рельеф дна с большим количеством банок, кос и островов в совокупности с ветровой активностью и колебаниями уровня создают благоприятные условия для формирования ледяных торосистых образований. Местоположение торосов и стамух варьируется год от года и зависит от степени суровости зимы, площади льда, текущего положения уровня моря и ветровой активности. Ввиду активной морехозяйственной деятельности в Азовском и Каспийском морях и происходящих климатических изменениях крайне важно иметь актуальную информацию о локализации ледяных торосистых образований.

С начала 1990-х гг. на Азовском и Каспийском морях наблюдается увеличение повторяемости мягких по температурным условиям зим, установлено сокращение ледовитости и продолжительности ледового сезона. Уровень Каспийского моря продолжает понижаться – по некоторым оценкам в конце 2024 г. уровень Каспийского моря достиг рекордно низкого уровня – минус 29,5 м.

В ходе работы на основе данных спутникового мониторинга ледяных торосистых образований, цифровых моделей рельефа дна и ГИС-инструментария выполнена оценка локализации ЛТО для периода 2015-2025 гг. Установлено, что наибольшее число ледяных торосистых образований формируется на глубинах 1-2 м. В Азовском море, на фоне сокращения площади льда, ледяные торосистые образования образуются преимущественно в Таганрогском заливе. В Каспийском море ввиду большего распространения припая и его динамики в течение зимнего сезона, зона активного торошения льда захватывает большую площадь, нежели на Азовском море. Наибольшее число ЛТО образуется в районе взморья дельты Волги и на мелководье восточной части Северного Каспия от устья Урала до полуострова Бузачи и в районе островов Кулалы. Однако продолжающееся в 2025 г. падение уровня Каспийского моря привело к смещению зоны максимальной концентрации ледяных образований.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-77-00088, <https://rscf.ru/project/24-77-00088/>.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЗОМАСШТАБНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ЦИРКУЛЯЦИЙ ВО ВРЕМЯ МОРСКИХ ХОЛОДНЫХ ВТОРЖЕНИЙ В АРКТИКЕ ПО ДАННЫМ РЕЙСА НИС «АКАДЕМИК СТРАХОВ» В 2021 ГОДУ

Марчук Е.А.¹, Чечин Д.Г.¹, Репина И.А.^{1,2}, Артамонов А.Ю.¹

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

²*Научно – исследовательский вычислительный центр МГУ, Россия, г. Москва
murchuk-ekaterin@mail.ru*

Холодным вторжением называют процесс, при котором холодные арктические или континентальные воздушные массы оказываются в результате адвекции над свободной ото льда поверхностью океана. В холодное время года это приводит к интенсивному энергообмену между атмосферой и океаном из-за значительной разницы температур между поверхностью воды и воздухом (Myslenkov et al. 2021). Во время холодных вторжений над океаном формируются мезомасштабные циркуляции различного генезиса и масштабов – от конвективных ячеек, линий неустойчивости, ледовых бризов до мезоциклонов. Эти мезомасштабные циркуляции играют важную роль в пространственно-временной неоднородности скорости ветра, потоков тепла и импульса на поверхности океана [Чечин, Пичугин, 2015], однако их характеристики и особенности генезиса еще недостаточно изучены.

В центре данного исследования – характеристики конвективных ячеек, связанные с ними амплитуды и горизонтальные масштабы изменчивости скорости ветра, температуры воздуха, турбулентных потоков импульса и тепла. Для оценок используются данные рейса на НИС «Академик Страхов» по маршруту Архангельск – Калининград в ноябре 2021 года и данные спутниковых РСА изображений Santinel-1. Проанализированы поля скорости ветра, полученные со спутниковых изображений. Оценены масштабы и амплитуда изменчивости ветра связанной с конвективными ячейками, формирующиеся при холодных вторжениях. Оценки по спутниковым данным сравниваются с измерениями на борту судна. *Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 24-17-00155.*

Литература

1. Чечин, Д. Г. Холодные вторжения над океаном в высоких широтах и связанные с ними мезомасштабные циркуляции в атмосфере: проблемы численного моделирования / Д. Г. Чечин, М. К. Пичугин // Исследование Земли из космоса. – 2015. – № 3. – С. 71. – DOI 10.7868/S0205961415020049.
2. Myslenkov S., Shestakova A., Chechin D. The impact of sea waves on turbulent heat fluxes in the Barents Sea according to numerical modeling // Atmospheric Chemistry and Physics. – 2021. – Т. 21. – №. 7. – С. 5575-5595.

ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА В ПРОМЕЖУТОЧНОМ СЛОЕ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА

Малыгин Е.Ю., Курносова А.С.

*Тихоокеанский филиал ГИЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), г. Владивосток,
kurnosova.anna@tinro.vniro.ru*

Исследование направлено на комплексную оценку тенденций изменения содержания растворенного кислорода и концентраций биогенных элементов (кремний, фосфор) в промежуточных слоях северо-западной части Тихого океана (СЗТО), с акцентом на Курильский район — ключевой регион формирования промежуточных вод, поступающих из Охотского моря через южные проливы (Буссоль, Крузенштерна). Эти воды, обогащенные кислородом в результате склоновой конвекции, играют критическую роль в поддержании кислородного баланса субарктической зоны. В рамках работы проанализированы данные десяти летних экспедиций НИС «ТИНРО» (2014–2023 гг.), охвативших два ключевых разреза: вдоль Курильской гряды, как район формирования течения Ойясио, и от Камчатского полуострова, завершающего субарктический циклонический круговорот. Отбор проб проводился на стандартных горизонтах до глубины 1000 м с использованием океанографического комплекса SBE, а гидрохимический анализ включал определение кислорода методом Винклера (точность 0.01 мл/л) и спектрофотометрические измерения биогенов (фосфаты — метод Мёрфи-Райли, кремний — метод Динерта-Ванденбукке). Значимость трендов была определена на основании проверки значимости коэффициента детерминации R^2 с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена и при помощи теста Манна-Кендалла, с визуализацией в программе ODV и библиотеках Python (plotly, pyMannKendall).

На основном Курильском разрезе (вдоль островов) выявлено статистически значимое снижение кислорода в промежуточных слоях (500–1000 м) со скоростью $-0,06$ мл/л в год ($p < 0,05$), с максимумом деоксигенации ($-0,10$ мл/л в год) в районе проливов Буссоль и Крузенштерна. Этот тренд объясняется сокращением поступления охотоморских вод из-за ослабления склоновой конвекции, вызванного уменьшением ледового покрова и изменением климатического режима. Параллельно зафиксирован рост концентрации кремния: $+1,78$ мкмоль/год на 50 м ($p < 0,05$) и до $+2,17$ мкмоль/год на 1000 м, что связано с усилением стратификации и накоплением биогенов в промежуточных слоях. Динамика фосфатов осталась статистически незначимой, согласуясь с долгосрочной стабильностью их концентраций в зоне течения Ойясио. Для проверки пространственного распространения промежуточных охотоморских вод изучен второй Курильский разрез (60 миль от основного), где значимого снижения кислорода не обнаружено. Это противоречит исходным ожиданиям и указывает на роль локальных факторов: приливное перемешивание, топография дна или краткость ряда данных (10 лет), маскирующая долгосрочные тренды.

Дополнительный анализ разреза от Камчатки, завершающего субарктический круговорот, подтвердил региональный масштаб деоксигенации: снижение кислорода на $0,02-0,03$ мл/л в год (500–1000 м, $p < 0,05$). Этот результат согласуется с гипотезой о системном ослаблении вентиляции промежуточных слоев из-за климатических изменений, однако механизмы требуют уточнения — например, через изучение связи с сокращением субдукции или изменением термохалинной структуры. Слабые тенденции к увеличению концентрации кремния на этом разрезе ($+0,8-1,2$ мкмоль/год) и фосфора ($+0,02$ мкмоль/год) подчеркивают трансформацию биогеохимических циклов, хотя их экологические последствия (например, для первичной продукции) остаются неясными.

Полученные данные подтверждают глобальный тренд деоксигенации промежуточного слоя океана, но раскрывают региональную специфику СЗТО. Ключевым драйвером выступает сокращение ледового покрова в Охотском море, ведущее к

ослаблению склоновой конвекции и снижению выноса насыщенных кислородом вод. Пространственная неоднородность (отсутствие трендов на втором разрезе) демонстрирует сложное взаимодействие климатических и локальных океанографических факторов. Рост концентраций кремния отражает изменения в вертикальном переносе биогенов, вызванные стратификацией. Отсутствие значимых трендов на втором Курильском разрезе подчеркивает пространственную неоднородность процессов деоксигенации, требующую дополнительных исследований. Для углубления понимания критически важен расширенный мониторинг, включая глубоководные районы, и интеграция данных с климатическими моделями. Перспективным направлением является изучение влияния деоксигенации на морские экосистемы, включая миграцию рыбных ресурсов и трансформацию трофических цепей.

ФЕНОЛОГИЯ ВЕСЕННЕГО «ЦВЕТЕНИЯ» ФИТОПЛАНКТОНА В БЕРИНГОВОМ МОРЕ В 1998-2023 ГГ.

Малышева А.С.^{1,2}, Кивва К.К.¹

¹*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва,
kivva@vniro.ru*

²*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Географический факультет,
кафедра океанологии, Москва, malysheva@vniro.ru*

Фенология весеннего «цветения» фитопланктона является одним из важнейших факторов, регулирующих сезонный цикл морских экосистем, поскольку даже слабые изменения в сроках и интенсивности весеннего «цветения» фитопланктона приводят к нарушению баланса между трофическими уровнями пищевой цепи, что в итоге отражается на численности промыслового запаса. Берингово море является одним из наиболее продуктивных районов Мирового океана. Изучение фенологии весеннего «цветения» фитопланктона в данном регионе важно для понимания процессов продуцирования фитопланктоном органического вещества в условиях современного изменения климата.

«Цветение» фитопланктона обычно проявляется в виде сезонного цикла: увеличение биомассы, достижение пика «цветения» и окончание «цветения». Для Берингова моря оценки фенологических параметров весеннего «цветения» были выполнены только для северо-восточного шельфа моря.

По данным дистанционного зондирования цвета океана оценена многолетняя изменчивость сроков «цветения» фитопланктона в Беринговом море за последние 27 лет. Данные по концентрации хлорофилла-а (мг/м^3) из базы Ocean Colour Climate Change Initiative (OC CCI) версии 5, объединенные с датчиков MODIS, MERIS, OLCI, SeaWiFS и VIIRS, были взяты с пространственным разрешением 4×4 км и временной дискретностью 1 день. Данные были перераспределены в пространственные ячейки, сформированные в полярной стереографической системе координат, размером 25×25 км. Проводилась пространственная (линейная) интерполяция данных для заполнения пустых ячеек, после чего применялось временное сглаживание с помощью локальной полиномиальной регрессии (LOESS – locally estimated scatterplot smoothing). Метод пространственной интерполяции данных был проверен на тестовой выборке (30 % от ячеек сетки моря ~ 3000 значений) и имеет высокое совпадение с исходными данными: $r = 0,93$, $\text{RMSE} = 0,4 \text{ мг/м}^3$. По превышению порогового значения концентрации хлорофилла-а (медианы годового временного ряда) определялась дата начала весеннего «цветения» фитопланктона. Раньше всего весеннее «цветение» начинается в шельфовой зоне и над континентальным склоном Берингова моря, а также вдоль восточной части Алеутской гряды (начало апреля). Позже в центральной глубоководной части и в северной части моря (начало мая). Позднее развитие весеннего «цветения» наблюдается к северу от Берингова пролива – середина-конец июня. Максимальное развитие весеннего «цветения» раньше всего (середина апреля) происходит в шельфовой области Бристольского залива. В течение апреля или к началу мая оно развивается в остальной прибрежной зоне Берингова моря. В конце мая максимум весеннего «цветения» проходит над континентальным шельфом и в северной части моря. В глубоководной части максимум достигается только к июню. Наиболее продолжительные «цветения» (более 45 дней) характерны для глубоководной части моря. В северной части моря наблюдаются менее длительные весенние «цветения» (менее 15 дней), область распространения которых соответствует площади, ежегодно занятой льдом. Вдоль континентального склона «цветения» длятся в среднем около 30 дней. Интенсивные «цветения» ($> 7,5 \text{ мг/м}^3$) наблюдаются в прибрежных областях севернее 60° с.ш.

В глубоководной части моря средние концентрации в период весеннего «цветения» не превышают 1 мг/м³.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФ № 25-27-00385.

ПРИЛИВНОЙ РЕЗОНАНС В ТАТАРСКОМ ПРОЛИВЕ

Медведев И.П., Ширыборова А.И.

Институт океанологии им. П.П. Ширинова РАН, г. Москва, Россия, medvedev@ocean.ru

Японское море — мезо-приливное море, связанное с другими морями пятью проливами. Приливная волна проникает в этот бассейн из Восточно-Китайского моря через Корейский пролив. Меньшую роль в формировании приливов в Японском море играют проливы Лаперуза, Сангарский пролив, пролив Невельского и Канмон. Важную роль в формировании приливных движений играет собственный прилив, создаваемый непосредственно приливообразующими силами. Внутри моря приливы имеют маленькую величину (менее 0.5 м) и различный характер прилива (суточный, полусуточный и смешанный). В Корейском и Татарском проливах происходит усиление приливных колебаний и преобладает полусуточный характер. Высота прилива в южной части Корейского пролива достигает 3 м, в вершине Татарского пролива – 2.2 м.

Сильный прилив в Корейском проливе формируется под влиянием индуцированных приливов из Восточно-Китайского моря, однако происхождение приливного усиления в Татарском проливе до сих пор остается открытым вопросом. Одним из возможных факторов аномально высоких приливов в Татарском проливе может быть приливной резонанс. Резонансный механизм усиления приливов был ранее выявлен в заливе Фанди и заливе Мэн, в системе залива Унгава/Гудзонова пролива, в проливе Хуан-де-Фука и в Адриатическом море. В настоящем исследовании мы использовали многолетние данные мареографов для оценки гипотезы о резонансной природе приливов в Татарском проливе.

Для исследования были выбраны десять мареографов с многолетними почасовыми наблюдениями за уровнем моря: Де-Кастри, Советская Гавань, Углегорск, Холмск, Невельск, Вакканай, Отару, Рудная Пристань, Владивосток и Посьет. Российские станции были собраны из разных российских архивов мареографов. Данные японских мареографов были доступны через проект GESLA. Продолжительность записей уровня моря составляет около 18-20 лет, за исключением Советской Гавани (4 года), Вакканая (39 лет) и Отеро (23 года). Ряды наблюдений были тщательно проверены, все всплески и сдвиги были устранены, а пробелы короче одного дня были интерполированы с помощью специальной итеративной процедуры, чтобы избежать искажения приливов.

Для изучения детальной пространственной приливной картины в Татарском проливе были использованы данные TRXO10v2. Приливные решения TRXO основаны на ассимиляции данных альтиметрии в глобальную модель мелководья. TRXO10-atlas-v2 (далее TRXO10) имеет гармонические константы на сетке с пространственным разрешением $1/30^\circ$. Это решение включает амплитуды и фазы для 15 приливных составляющих: суточных K_1 , O_1 , P_1 , Q_1 , S_1 ; полусуточных M_2 , S_2 , N_2 , K_2 , $2N_2$; длиннопериодных M_f и M_m ; и мелководных M_4 , MS_4 и MN_4 .

На основе анализа длительных временных рядов уровня моря на береговых мареографах были изучены моды собственных колебаний Татарского пролива Японского моря. По результатам спектрального и взаимного-спектрального анализа были выделены сейши с частотами 1.88 цикл/час ($T = 12.77$ ч) и 3.61 цикл/час ($T = 6.65$ ч). Эти моды собственных колебаний хорошо отражаются на спектрах колебаний уровня на всех станциях в Татарском проливе. Для этих двух мод характерна высокая когерентность от 0.47 до 0.90 даже для станций, расположенных в удаленных друг от друга частях Татарского пролива. Основная сейшевая мода с частотой 1.88 цикл/час имеет пространственную структуру в виде приливной амфидромии с вырожденной узловой точкой на западном побережье пролива, что очень похоже на котидальную карту гармоника M_2 для этой области моря. Вторая собственная мода имеет пространственную структуру, характерную для продольной сейши, в которой преобладают стоячие волны. Узловая линия этой сейши расположена между Де-Кастри и Советской Гаванью и

разделяет пролив на северную и южную области, колебания в которых происходят в противофазе. Поперечные сейши в Татарском проливе, видимо, слабо выражены и неустойчивы. Выделенные сейши обладают высокими значениями добротности: для первой моды $Q = 13.6-16.0$ и для второй моды $Q = 11.2-16.6$.

Анализ приливных колебаний на береговых мареографах и данных глобальной модели TRXO10 позволил обнаружить ярко выраженный приливной резонанс в Татарском проливе. Показано, что чем ближе частота приливной гармоник к собственной частоте бассейна 1.88 цикл/час, тем сильнее статический отклик гармоник R_j . При перемещении на север передаточная функция R_j для полусуточных приливов приобретает наклон: чем меньше частота гармоник, тем больше значение R_j . По данным наблюдений значения R_j для N_2 в два раза больше, чем R_j для K_2 : 40/20 в Углегорске и 101/56 в Де-Кастри. По данным TRXO10 в самой северной части расчетного полигона R_j меняется от 62 для K_2 до 145 для $2N_2$. Эти оценки близки к оценкам R_j , полученным по данным наблюдений на самой северной из имеющихся станций – Де-Кастри. Таким образом, полусуточные приливы в Татарском проливе имеют аномально высокие амплитуды из-за влияния основной сейшевой моды пролива с центральным периодом 12.77 ч.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 24-17-00313.

ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОД УСТЬЕВЫХ ОБЛАСТЕЙ РЕК СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЁРНОГО МОРЯ

Моисеева Ю.А., Пургина Д.В., Поливанова Т.К.

Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования “Научно-технологический университет “Сириус”, Федеральная территория “Сириус”, jamoiseeva@mail.ru

Исследования химической трансформации речного стока в устьевых областях рек всегда вызывало большой интерес со стороны учёных в связи с уникальной особенностью таких зон, а именно их главной роли в глобальных гидрологических процессах, ключевой роли в экологических процессах (биоразнообразие и переноса химических веществ, в том числе загрязняющих) и социально-экономического значения (богатство природных ресурсов и их добыча, порты). Проблема загрязнения речных и морских вод с каждым годом приобретает все большую актуальность. Особенно остро данная проблема стоит для прибрежных морских вод Большого Сочи из-за возрастающего загрязнения от хозяйственной деятельности, объектов курортной сферы, общебытовых стоков и расширении строительства на его берегах.

В данной работе рассматриваются характерные особенности поведения гидрохимических характеристик и биогенных соединений устьевых областей рек Большого Сочи (рр. Сочи, Мацеста, Хоста, Кудепста и Мзымта). Изучение химического состава вод устьевых областей рек было выполнено в ноябре месяце 2024 года в сезон осенне-зимних паводков. Всего было проанализировано 29 проб поверхностных вод. Пробы отбирались в соответствии с ГОСТ 31861-2012 в 1,5 литровые бутылки на определение биогенных элементов спектрофотометрическими методами (Si , PO_4^+ , NO_2^- , NO_3^-), макрокомпонентов методом капиллярного электрофореза и общей щелочности потенциометрическим методом прямого титрования. В полевые измерение входили определение pH, Eh, TDS, с помощью портативных влагозащищенных pH/EC/TDS-метра HI991300 и ОВП метра HM Digital ORP-200, температура воды определялась температурным датчиком, также фиксировался азот аммонийный по методике Сэджи-Солорзано с образованием фенол-гипохлоритного комплекса. Измерения растворенного кислорода были выполнены с помощью портативного датчика кислорода с точностью 0,01 мг/л.

В результате исследования были получены распределения гидрохимических характеристик вод, биогенных соединений и макрокомпонентного состав вод в зоне смешения морских и речных вод. Химический состав рек является гидрокарбонатным кальциевым, кроме р. Мацеста, для которой выявлен смешанный тип химического состава вод. Распределение растворенных форм фосфора и азота имеет неконсервативный тип распределения для всех устьевых областей. Наибольшие концентрации азотистых соединений выявлены для рр. Мацеста и Кудепста, фосфатов для р. Сочи. Для всех биогенных соединений отсутствуют превышения предельно допустимых концентраций для хозяйственно-бытовых нужд.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-20125, <https://rscf.ru/project/24-27-20125/>

ОСОБЕННОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ МАКРОБЕНТОСНЫХ СООБЩЕСТВ В ЗОНЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОЙ ЭКСПОЗИЦИИ АНТРОПОГЕННЫХ ЗАТОПЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ (НА ПРИМЕРЕ Б. ТРУДА, ОСТРОВ РУССКИЙ, ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

Мотора А.П., Зобов В.Ю.

Тихоокеанский океанологический институт имени В.И. Ильичёва Дальневосточного отделения РАН

Несмотря на вековую историю изучения макробентоса залива Петра Великого, до сих пор существует проблема слабой изученности донных сообществ небольших закрытых акваторий залива, к числу таких акваторий относятся бухта Труда бухты Новик острова Русский. Ранее нами были получены сведения о видовом составе и количественных показателях макробентоса в прибрежной зоне б. Труда.

Цель данной работы - получить представление о структуре доминирования, распределении и биоразнообразии сообществ макробентоса верхней сублиторали б. Труда.

Сбор материала проводился в летний период 2024 г. на 30 станциях на глубинах от 0,5 до 3 метров при помощи гидробиологической рамки размером 100x100 см. Станции располагали перпендикулярно берегу, с максимальным охватом биотопов.

Выделение сообществ выполнено двумя методами: по доминирующим видам, (степень доминирования определяли по доле в биомассе и по частоте встречаемости) и методом группировки станций по сходству видовой структуры (Q-анализ): факторный анализ – анализ главных компонент с последующим построением дендрограммы сходства между станциями по факторным значениям. Рассчитаны индексы разнообразия Симпсона и Шеннона, а также индекс выравненности Пиеллоу для каждого выделенного сообщества.

В б. Труда о. Русский выделены 5 сообществ, занимающих большую часть обследованной акватории: *Zostera marina* + *Chorda filum*, *Sargassum miyabei* + *Littorina brevicula*, *Batillaria cumingii* + *Pagurus pectinatus*, *Crassostrea gigas*, *Ruditapes philippinarum* + *Hemigrapsus takanoi*. На долю доминант этих сообществ приходится около 95% всей биомассы макробентоса бухты.

Сообщество *Z. marina* (станции 30, 29, 24, 22) отделяется на уровне сходства 60 %, на уровне 40% сходства формируются кластеры станций, входящих в сообщества *C. gigas* (станции 18-17), сообщество *S. miyabei* формирует три отдельных кластера (станции 1-6;). Сообщество *R. philippinarum* формирует отдельный кластер (станции 26-28). Внутри сообществ присутствуют локальные ценоотические группировки: *Hemigrapsus penicillatus* + *Pagurus pectinatus*, *Ischnochiton hakodadensis* + *Chorda filum*, *Chorda filum* + *Chthamalus sp.* и *Littorina brevicula* + *Batillaria cumingii*. Станция 12 отделяется от остальных кластерных групп на уровне различий близком к 100%. Вероятнее всего, связано это с тем, что точка располагалась в зоне экотона и имела видовое разнообразие вдвое большее, чем на других станциях.

Анализ главных компонент по факторным значениям, в основном, подтвердил выделение сообществ по доминирующим видам.

Максимальные значения индекса Симпсона характерны для сообществ *S. miyabei*, *C. gigas* и *Z. Marina* (таблица 1), составляющих более 90% всей биомассы макробентоса бухты Труда.

Таблица 1

Значения индексов видового разнообразия сообществ бухты Труда острова Русский

Сообщество	Индекс Симпсона	Индекс Шеннона	Индекс Пиеллоу
<i>S. miyabei</i> + <i>L. brevicula</i>	0,99	1,2	0,618
<i>B. cumingii</i> + <i>P. pectinatus</i>	0,35	1,08	0,602
<i>H. takanoi</i> + <i>P. pectinatus</i>	0,24	1,09	0,78

<i>L. brevicula + B. cumingii</i>	0,28	1,01	0,627
<i>P. pectinatus + L. mandshurica</i>	0,26	1,05	0,65
<i>C. gigas</i>	0,97	1,62	0,736
<i>Z. marina + C. filum</i>	0,87	1,74	0,755
<i>R. philippinarum + H. takanoi</i>	0,39	1,89	0,861

Наибольшее видовое разнообразие характерно для сообществ мористой части бухты, а также для сообществ устричника. Наименьшее наблюдается в кутовой распреснённой части акватории, населенной эвригалинными видами. Исключением является лишь 12 станция, представляющая собой экотон

Подводя итог проведённому нами биоценологическому анализу, можно сделать следующее заключение. В бухте Труда на глубинах 0,5-3 м располагаются крупные макробентосные сообщества, занимающие большую часть акватории. Их структура доминирования и распределение определяется, в основном, физическими и гидрохимическими факторами. Обследованные донные сообщества характеризовались незначительным разнообразием, низкой выровненностью, выраженными доминирующими видами, что, в целом, типично для прибрежных мелководий умеренных широт

КОЛИЧЕСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАТОМЕЙ В ГОЛОЦЕНОВЫХ ОСАДКАХ ЧУКОТСКОГО МОРЯ

Нежданова А.С., Обрезкова М.С.

*Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН им. В.И. Ильичева, Владивосток,
sashanezhdanova221097@yandex.ru*

Диатомовые водоросли играют ключевую роль в палеогеографических, биостратиграфических и экологических исследованиях донных отложений Северного Ледовитого океана и прилегающих арктических морей. Будучи одной из доминирующих групп фитопланктона в арктических и субарктических водах, диатомеи обладают кремневым скелетом, обеспечивающим их хорошую сохранность в осадках. Это позволяет использовать их в качестве индикаторов условий окружающей среды в прошлом.

Количественное распределение фитопланктона, включая диатомеи, служит важной характеристикой морских экосистем. Продуктивность диатомовых водорослей напрямую зависит от продолжительности их вегетационного периода. Высокая концентрация диатомей в осадках свидетельствует о длительных и интенсивных периодах их вегетации, что типично для межледниковых эпох в средних и высоких широтах (Пушкарь, Черепанова, 2001).

Целью данной работы являлось изучение количественного распределения диатомовых водорослей в голоценовых осадках Чукотского моря.

Материалом для изучения послужил керн LV90-26-1, отобранный в 95-м рейсе НИС «Академик М.А. Лаврентьев» в 2021 г. в центральной части Чукотского моря. Осадки керна (длина 420 см) накапливались в течение 8000 лет (Колесник А.Н., неопубл. данные). Образцы для количественного подсчета диатомей обрабатывались по стандартной методике (Жузе и др., 1974). Содержание диатомей изучено в 85 препаратах.

Содержание диатомей в осадках керна колеблется от 0,9 до 7 млн. экз. на 1 г. воздушно-сухого осадка. Наименьшие концентрации установлены в нижней части керна, накапливающейся в течение раннего голоцена. В среднем голоцене содержание возрастает, что может говорить о более благоприятных условиях для вегетации диатомей: усилении поступлении высокопродуктивных берингоморских вод в Чукотское море. Дальнейшее сопоставление полученных данных с результатами химического анализа осадков керна, позволит нам дать более подробную информацию о гидрологических обстановках в центральной части Чукотского моря в голоцене.

Работа выполнена в рамках госзадания ТОИ ДВО РАН (№ 124022100084-8).

Литература

Жузе А.П., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова-Порецкая В.С. Методика исследования // Глезер З.И. (ред.) Диатомовые водоросли СССР. Ископаемые и современные. Л.: Наука, 1974. – С. 50–79.

Пушкарь В.С., Черепанова М.В. Диатомеи плиоцена и антропогена Северной Пацифики (стратиграфия и палеоэкология). Владивосток: Дальнаука, 2001. 228 с.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ ЗАПОЛНЕНИИ ПРОПУСКОВ В РЯДАХ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ И ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

Никольникова А.М., Костык В.А

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, nikolnikova.am@dvfu.ru

Временные ряды являются одним из основных видов данных для анализа климатических изменений, динамики глобальных и региональных гидрометеорологических процессов. Для срочных метеорологических наблюдений во временных рядах могут возникать пропуски по причинам неисправности приборов, человеческого фактора, опасных явлений. Это приводит к необходимости использовать специализированные методы статистического анализа или выполнять предварительную процедуру восполнения этих данных. Наличие пропусков затрудняет статистическую обработку данных, снижает качество прогнозов и ограничивает возможность использования таких данных в моделировании.

В мировой практике разработано множество методов восстановления пропущенных значений: линейная интерполяция, регрессионные подходы и др. Среди них метод MissForest (основанный на случайных лесах) получил широкое распространение благодаря высокой точности заполнения, относительной простоте реализации и умеренным вычислительным затратам.

В данной работе была проведена оценка эффективности метода MissForest при различных подходах к обучению модели и на данных с различной природой — температура воздуха и атмосферные осадки. Эти параметры существенно различаются по своей структуре: температурные ряды обладают большей регулярностью и сезонностью, в то время как ряды осадков более хаотичны.

Для эксперимента были использованы среднесуточные данные метеостанции г. Владивосток за период, в котором отсутствовали пропуски. Эти данные были взяты с ресурса «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации - Мировой центр данных» (ВНИИГМИ-МЦД) и использовались как эталонный исходный ряд. На их основе были сгенерированы версии с искусственными пропусками в 10%, 20%, 50% и 80% значений.

Пропуски заполнялись методом MissForest при двух сценариях: 1. Обучение на полном ряде без пропусков; 2. Обучение на неполном ряде, содержащем пропуски. Для оценки точности восстановления использовался коэффициент детерминации R^2 , который показывает, насколько хорошо регрессионная модель соответствует фактическим данным. Другими словами, это мера общей точности модели.

В результате при обучении на полном ряде без пропусков значения R^2 температуры составили: 1 (10%), 0,99 (20%), 0,98 (50%) и 0,99 (80%). При обучении на неполном ряде: 0,99, 0,98, 0,96 и 0,88 соответственно. Таким образом, даже при большом количестве пропусков метод показал высокую точность, особенно в случае наличия полного обучающего ряда.

При обучении на полном ряде без пропусков MF дал значения R^2 для осадков: 1 (10%), 0,98 (20%), 0,98 (50%) и 0,97 (80%). При обучении только на ряде с пропусками: 0,91, 0,83, 0,54 и 0,26 соответственно. Однако в некоторых случаях были зафиксированы некорректные отрицательные значения осадков: до -6,1 мм при 50% пропусков, что указывает на потерю адекватности модели без эталонного ряда.

Таким образом, метод MissForest демонстрирует высокую устойчивость к большим объемам пропусков, особенно для температуры воздуха. Для атмосферных осадков целесообразно ограничивать использование модели при пропусках не более 20%, либо обязательно обеспечивать обучающую выборку без пробелов.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ ВИХРЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАГРАНЖЕВА ПОДХОДА (LEBDA)

Новоселова Е.В.^{1,2}, Будянский М.В.³, Улейский М.Ю.³, Белоненко Т.В.²

¹Научного Фонда "Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена, г. Санкт-Петербург, novoselovaa.elena@gmail.com

²Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

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

В настоящей работе представлен новый лагранжев алгоритм определения границ вихрей – Lagrangian Eddy Boundary Delineation Algorithm (LEBDA), предназначенный для определения горизонтальных границ мезомасштабных вихрей. В отличие от традиционных эйлеровых методов, используемых для решения аналогичных задач, LEBDA сводит к минимуму резкие изменения границ, что является важным преимуществом, особенно актуальным для анализа долгоживущих структур. Ключевой особенностью алгоритма является использование траекторий пассивных маркеров для построения R-контуров, что позволяет точно идентифицировать как ядро вихря, так и его периферию, эффективно отфильтровывая временные возмущения. Сравнение нашего метода с автоматизированным алгоритмом обнаружения мезомасштабных вихрей Automated Mesoscale Eddy Detection Algorithm (AMEDA) на примере Лофотенского вихря показало, что LEBDA обеспечивает более физически обоснованное и плавное во времени изменение границы вихря. В отличие от AMEDA, которая склонна завышать размеры вихрей (до 1,5 раз), LEBDA демонстрирует постепенную и реалистичную эволюцию границ. Анализ параметров Лофотенского вихря с помощью LEBDA выявил взаимосвязь между образованием лоб (узких, вытянутых складок на R-контуре), изменениями периметра контура вихря, взаимодействием с окружающим потоком и влиянием конвекции на форму и устойчивость вихря. В целом, LEBDA позволяет получить более физически обоснованные границы вихрей, что делает его предпочтительным методом долгосрочного мониторинга и анализа вихревых структур.

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФ № 24-77-00063.

ВЛИЯНИЕ МЕТАНОВЫХ СИПОВ НА СОСТАВ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМЫ «ДОННЫЕ ОСАДКИ – ПОРОВАЯ ВОДА – ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО» НА ШЕЛЬФЕ МОРЕЙ ВОСТОЧНОЙ АРКТИКИ

Оберемок И.А.¹, Гусева Н.В.², Гершелис Е.В.³

¹Научно-технологический университет «Сириус», Федеральная территория «Сириус»,
oberemok.ia@talantiuspeh.ru

²Национальный исследовательский «Томский политехнический университет», г. Томск

³Научно-технологический университет «Сириус», Федеральная территория «Сириус»

Шельф морей Восточной Арктики является ключевым регионом для изучения взаимодействия климата и криолитозоны. Интенсивное таяние подводной мерзлоты и деградация газогидратов приводят к массивным выбросам метана, что формирует не только положительные обратные связи в климатической системе, но и трансформирует геохимические циклы многих элементов. Исследование реакции системы «поровая вода – донные осадки – органическое вещество» в условиях метановой разгрузки необходимо для прогнозирования последствий дестабилизации арктических резервуаров углерода и анализа экосистемной устойчивости акваторий в условиях климатического стресса.

Пробы донных осадков (24 образца) отобраны с восточной и северо-восточной части моря Лаптевых (Ленский трансект) и западной части Восточно-Сибирского моря с участков разгрузки газовых флюидов (3 станции), документированных по гидроакустическим исследованиям, а также из фоновых участков (5 станций) в ходе рейса АМК-82 на борту НИС «Академик М. Келдыш» осенью 2020 года. Образцы донных осадков отбирались с использованием мультикорера и нарезались послойно на горизонты. Для анализа были взяты образцы (0-1 см; 6-10 см; 12-17,5 см). Образцы поровых вод (40 образцов) отбирались *in situ* с интервалом 3-5 см с использованием пробоотборников Rhizon. Органическая компонента донных осадков анализировалась пиролитическим (Rock Eval 6 Turbo фирмы Vinci Technologies, режим Reservoir) и хромато-масс-спектрометрическими методами (хлороформенная экстракция, 57 и 74 m/z) (Agilent 7890B (GC) – Agilent Q-TOF 7200 (MS)). Также донные осадки были подвергнуты процедуре селективного выщелачивания BCR по Rauret (1999) с определением четырех форм нахождения:

- (1) обменная, водо- и кислоторастворимая фракция (связанная с растворимыми в воде веществами, карбонатами и обменными катионами);
- (2) восстанавливаемая (связанная с окислами/гидроокислами Fe и Mn);
- (3) окисляемая (связанная с ОВ и сульфидами);
- (4) остаточная (не связанная с силикатами).

Валовый элементный состав фракций селективных вытяжек и поровых вод был определен методом ICP-MS (NexIon 300D, Perkin Elmer, Waltham, MA, USA). Для донных осадков также был применен ИНАА для определения содержания 28 элементов.

Анализ органического вещества (ОВ) донных осадков подтвердил его высокую диагностическую значимость для седиментологической идентификации. Интегрированный органо-геохимический сигнал позволил установить устойчивый латеральный перенос наземного ОВ от прибрежной зоны до внешнего шельфа, обусловленный терригенным сносом (речной сток и термоабразия берегового ледового комплекса), существенно определяющий геохимический облик моря Лаптевых.

Море Лаптевых и Восточно-Сибирское море имеют близкую литогеохимическую специализацию по рассматриваемому спектру элементов. При этом обогащение донных осадков прибрежной зоны и среднего шельфа моря Лаптевых Ca, As, Sr, La, Ce, Nd, Sm, Tb, Au и Th обусловлено влиянием наземного сигнала, отражающего вклад береговой эрозии и стока реки Лены, дренирующей Алданский кристаллический щит с многообразными проявлениями обогащённых лантаноидами карбонатитов, фторидов и

лампроитов, что потенциально позволяет рассматривать их как индикаторы терригенного сноса.

В условиях метанового просачивания химический тип поровых вод остается практически неизменным, в то время как микроэлементный состав претерпевает значительные изменения за счет анаэробного окисления метана и сульфатредукции. В зонах метановых просачиваний на шельфе моря Лаптевых поровые воды характеризуются повышенными концентрациями P, Fe, W, Ba, B, Ag, Sb и Cr, в то время как в Восточно-Сибирском море наблюдается увеличение P, Fe, Pb, Sn и Th. Напротив, в рассматриваемых зонах отмечается уменьшение содержания U, Ti, Mo, PЗЭ, Pb, Zn, а также U, Ti, Sb, Au.

Соотношение форм нахождения химических элементов претерпевает значительные изменения в ответ на разгрузку метан-содержащих флюидов, причем величина этих изменений служит косвенным индикатором аутигенного карбонато- и сульфидообразования, а также анаэробного разрушения оксидов/гидроксидов Fe и Mn.

В зонах разгрузки на шельфе моря Лаптевых наблюдается заметный рост вклада обменной формы для Mg, Ca, Sr и Mn, а также окисляемой для Fe, Cu и Mn (> 10 п.п.), связанное с процессами аутигенного карбонато- и сульфидообразования, соответственно. Кроме того, увеличение обменной и окисляемой фракций на 5 – 10 п.п. свидетельствует об участии Co, Ni, Zn и U в аутигенном карбонатообразовании, а P, Cr и As – в аутигенном сульфидообразовании. Более того, изменения соотношений форм нахождения химических элементов в ответ на эмиссию метана менее выражены в донных осадках Восточно-Сибирского моря, где преобладает пузырьковый перенос метана.

Данное исследование показывает, что геохимические характеристики зон метановыделения зависят не только от интенсивности потока метана, но и от способа его переноса. Эти результаты дают ценное представление о биогеохимическом круговороте элементов в динамичных и геохимически чувствительных «горячих» точках.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-17-20030, <https://rscf.ru/project/24-17-20030/>.

СТОЙКИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА (СОЗ) В ГОРБУШЕ (ONCORHYNCHUS GORBUSCHA) ОХОТСКОГО МОРЯ

Овчинникова М.Р.¹, Донец М.М.², Боровкова А.Д.², Столбова М.С.¹, Беланов М.А.², Карпенко И.В.³, Литвиненко А.В.^{2,3}, Цыганков В.Ю.²

¹ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток, chzeleny@yandex.ru

²Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток,

³Сахалинский государственный университет, г. Южно-Сахалинск

Стойкие органические загрязняющие вещества (СОЗ) - это группа соединений, обладающих высокой устойчивостью в окружающей среде, токсичностью и способностью к атмосферному переносу, биоаккумуляции и биомagniфикации. В список СОЗ входят полихлорированные бифенилы (ПХБ), хлорорганические пестициды (ХОП) и некоторые промышленные соединения (диоксины, фураны, ГХБ и др.). За счет высокой токсичности, длительной циркуляции и способности накапливаться в живых организмах, эти вещества были запрещены к использованию более 20 лет назад. Несмотря на это, они до сих пор встречаются в окружающей среде и оказывают негативное воздействие на экосистемы.

Охотское море является одним из важнейших промысловых водоемов Российской Федерации. Здесь добывается до половины всех рыбных ресурсов страны. Среди всех вылавливаемых здесь ресурсов в пятерку наиболее важных входят тихоокеанские лососи рода *Oncorhynchus*. Из них, наиболее важное место в структуре вылова занимают горбуша (*Oncorhynchus gorbuscha*) и кета (*Oncorhynchus keta*). Тихоокеанские лососи в общей структуре вылова составляют порядка 20%. При этом основную долю добываемой рыбы занимает горбуша. Более ранние исследования показали наличие СОЗ в различных видах тихоокеанских лососей северо-западной части Тихого океана и динамику уровней токсикантов с 2012 по 2018 гг. Цель работы – определить содержание ХОП и ПХБ в органах горбуши Охотского моря и дополнить существующие данные о динамике концентраций этих токсикантов в северо-западной Пацифике.

Образцы тихоокеанской горбуши отбирались в Охотском море на юго-восточном побережье о. Сахалин в сентябре 2024 г. Пробы предварительно обезжизняли методом вымораживания под вакуумом. Липиды экстрагировали из воздушно-сухих навесок смесью гексана и ацетона (1:1). Поллютанты извлекали из липидов методом гель-фильтрации с использованием оксида алюминия. Определение содержания ПАУ выполняли на газовом хромато-масс-спектрометре Shimadzu GC MS-QP 2010 Ultra с автодозатором АОС-5000. Статистический анализ результатов осуществлялся с помощью программного обеспечения R 4.4.2. Достоверность данных оценивали с помощью однофакторного дисперсионного анализа Крускала-Уоллиса с уровнем значимости $p \leq 0,05$. Проанализированы измеры ГХЦГ, ДДТ и его метаболиты, конгенеры ПХБ.

СОЗ были обнаружены во всех проанализированных образцах. Суммарные концентрация ГХЦГ и ДДТ имели тенденцию к большей аккумуляции токсикантов в мышцах, наименьшей – в печени, что, вероятно, связано с более высокими уровнями липидов в последней, снижающей относительную концентрацию токсикантов. ДДЕ доминировали относительно ДДТ и его метаболитов. Достоверно большие его концентрации ($p \leq 0,05$) находились в мышцах, что указывает на хроническое поступление токсиканта в организм рыб. Среди изомеров ГХЦГ обнаружены практически все исследованные формы соединения (α -, β - и γ -изомеры). δ -форма была ниже пределов обнаружения оборудования.

Суммарные уровни ПХБ достоверно ($p \leq 0,05$) различались в порядке мышцы > печень > гонады. Наибольшие концентрация токсиканта характерны для мышц, что также указывает на хроническое загрязнение.

Концентрации токсикантов по сравнению с более ранними исследованиями существенно изменились. Наблюдается снижение суммарных уровней ГХЦГ мышцах,

среднем – в 2–2,5 раза, в печени и гонадах самцов – в 1,5 и 3–3,5 раз, соответственно. Качественный состав изомеров ГХЦГ также изменился. Ранее регистрировался преимущественно промежуточный продукт деградации линдана – δ -ГХЦГ, в настоящее время – наиболее стойкая β -форма, а также изначальная форма – линдан, что указывает на наличие хронического низкоинтенсивного поступления этих токсикантов в среду, вероятно – в результате атмосферного переноса.

В отличие от ГХЦГ, концентрации ДДТ, напротив, возросли: в мышцах, в среднем – в 5 раз, в печени и гонадах самцов – в 2–2,5 раза. В то же время среди обнаруженных форм доминирует продукт деградации исходного соединения – ДДЕ, что указывает на длительную циркуляцию соединения в экосистеме и вероятное поступление в результате атмосферного переноса.

Уровни накопления ПХБ, как и в случае с ГХЦГ, уменьшились: в мышцах, среднем – в 1,5–3 раза, в печени – в 7 раз, в гонадах самцов – в 2–3 раза. Это указывает на снижение уровней поступления поллютанта в зону нагула рыб.

Таким образом, СОЗ обнаружены во всех исследованных образцах, что указывает на их присутствие в экосистеме Охотского моря. Обнаруженные уровни являются следовыми и не вызывают опасений относительно рисков для экосистем. При сравнении с более ранними исследованиями отмечается снижение уровней накопления ПХБ и ГХЦГ. В то же время отмечается повышение суммарных концентраций ДДТ и его метаболитов, что, хоть и не говорит о существовании значимых источников «свежего» загрязнения, указывает на продолжающееся поступление этой группы поллютантов в среду и деградацию исходных соединений до более устойчивых форм. В целом можно отметить улучшение ситуации относительно присутствия СОЗ в экосистеме Охотского моря и их постепенное выведение из экосистемы.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (соглашение 23-74-10032)

НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ В ШИРОКОЙ ЧАСТОТНОЙ ПОЛОСЕ ИЗ ШЕЛЬФА НА КОНТИНЕНТАЛЬНЫЙ СКЛОН

Осипов И.Е.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток,
osipov.ie@poi.dvo.ru*

На сегодняшний день подводная акустическая навигация является одной из развивающихся областей гидроакустики, которой находится применение как в гражданской сфере, так и в военной. Важный элемент подводной акустической навигации – определение расстояния между источником и приемником, которое может быть получено путем определения времени прихода акустической энергии на приемник. Это время рассчитывается по импульсным характеристикам волновода. Главными факторами, определяющими структуру импульсных характеристик, являются тип сигнала, его частота и распределение скорости звука по глубине в исследуемом волноводе. Ввиду этого, при совершенствовании методов подводной акустической навигации, одной из главных задач является выявление зависимостей характера распространения сигналов и структур импульсных характеристик от указанных факторов.

Исследование указанных зависимостей проводилось на основе данных натурального эксперимента, проведенного в Японском море в августе 2024 года с использованием сложных широкополосных сигналов, излучаемых с шельфа в глубокое море. Для этого был выполнен комплексный анализ структур импульсных характеристик, а также успешно проведено численное моделирование распространения акустических сигналов с использованием программного продукта RAMS (Range-dependent Acoustic Model), который широко применяется в подобных исследованиях. Полученные результаты могут быть использованы в целях дальнейшего совершенствования методов подводной акустической навигации.

ЛИДАРНАЯ РЕГИСТРАЦИЯ СВЕТОРАССЕИВАЮЩИХ СЛОЕВ В ОХОТСКОМ МОРЕ

Паничева Е.Д., Глухов В.А., Гольдин Ю.А., Глитко О.В.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, l_pan99@mail.ru

Морские радиометрические (профилирующие) лидары авиационного и судового базирования позволяют регистрировать подповерхностные слои повышенного светорассеяния и оценивать их параметры. Такие слои могут быть образованы как фито- и зоопланктоном, так и минеральной взвесью. Важность изучения подповерхностных слоев обусловлена рядом причин. Пассивные спутниковые методы, дающие информацию о горизонтальных распределениях концентрации планктона и взвешенного вещества в относительно тонком поверхностном слое, часто не учитывают вклад заглубленных слоев, в которых концентрация может существенно возрасти. Использование данных лидарного зондирования позволяет корректировать данные спутниковых измерений. В связи с этим интерес представляет сопоставление данных спутникового и лидарного зондирования в местах активной генерации и распространения светорассеивающих слоев в приповерхностном слое морской воды. Одним из мест для проведения таких исследований являются прибрежные районы Охотского моря в связи с его высокой биопродуктивностью, а также наличием интенсивных процессов вертикального перемешивания.

В натурных исследованиях использовался авиационный поляризационный лидар АПЛ-3 (длина волны зондирующего излучения 532 нм, энергия зондирующего импульса 45 мДж, диаметр приемной оптической системы 100 мм, длительность импульсной характеристики лидара по уровню 0,5 – 10,8 нс, частота зондирования 20 Гц), установленный на борту самолета-лаборатории. Пространственное разрешение данных лидарного зондирования составляет около 10 м, разрешение по вертикали составляет около 40 см. Эксперименты проводились в конце сентября 2017 г. в прибрежных районах Охотского моря вблизи шельфа о. Сахалин. В работе использованы данные, зарегистрированные Terra Modis (разрешение на длине волны 678 – 1 км), Aqua Modis (разрешение на длине волны 678 – 1 км) и SNPP VIIRS (разрешение на длине волны 678 нм – 750 м). Разница во времени регистрации данных спутникового и лидарного зондирования в некоторых случаях не превышает 8 часов, что позволяет провести их сопоставление. Данные спутникового зондирования на момент проведения натурных исследований демонстрируют наличие высокой пространственной изменчивости концентрации фитопланктона в исследуемом районе.

Светорассеивающие слои проявляются на спаде лидарного эхо-сигнала в виде локальных максимумов, положение которых даёт информацию о глубине залегания слоя. С использованием лидара были зарегистрированы слои повышенного светорассеяния с глубинами залегания 3–8 м и 7–16 м протяженностью от 28 до 51 км. Полученные данные позволили построить их пространственное распределение. Было показано, что пространственные распределения светорассеивающих слоев, полученные по данным лидарного зондирования, хорошо совпадают с пространственным положением зон относительно высоких значений концентраций фитопланктона, зарегистрированных по данным спутникового зондирования.

Таким образом, в работе показано, что светорассеивающие слои с глубинами залегания от 3 до 16 м, наблюдаемые в данных условиях, вносят вклад в результаты спутникового зондирования. В дальнейшем интерес представляет проведение исследований, направленных на оценку влияния характеристик светорассеивающих слоев на результаты спутниковой съемки.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН по теме №FMWE-2024-0028.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ В РАЙОНЕ ИМПЕРАТОРСКИХ ГОР

Перцовская В.К.¹, Белоненко Т.В.¹, Будянский М.В.^{1,2}

¹*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург,
vayapercovskaya@gmail.com*

²*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток*

Целью настоящей работы является описание мезомасштабной вихревой динамики в районе Императорских гор в период с 1993 – 2021 гг. Для достижения данной цели производился анализ термохалинных и кинематических характеристик двух вихрей – циклона и антициклона. Актуальность исследования обусловлена отсутствием до настоящего времени работ по мезомасштабной вихревой динамике в данном регионе, несмотря на значительное количество публикаций по этой тематике в других районах Мирового океана.

Императорские горы (другое название: Северо-Западный хребет Тихого океана) представляют собой цепь подводных гор и гайотов возрастом от 39 до 85 миллионов лет, образовавшиеся в результате миграции Гавайской горячей точки. Подводный хребет Императорских гор простирается на юг от Курило-Камчатского желоба до горы Дайкакудзи, плавно переходя в цепь Гавайских островов. Основания Императорских гор залегают на глубине около 6000 м, а их вершины возвышаются до отметок около 300 м.

Материалами для исследования послужили данные атласа мезомасштабных вихрей META 3.2 DT, с использованием которого были построены траектории вихрей, а также оценивались кинематические характеристики; реанализ GLORYS12V1, использовавшийся для анализа термохалинных свойств; для расчёта плотности морской воды применялось уравнение состояния морской воды TEOS-10; для визуализации донной топографии использовалась батиметрия GEBCO2024.

Анализ данных META 3.2 DT выявил, что практически все мезомасштабные вихри, образовавшиеся к востоку от Императорских гор, движутся в западном направлении. При этом большинство этих вихрей оказались короткоживущими, с продолжительностью жизни не более 50 суток. Однако также были зафиксированы вихри, существующие более года. Исследования показали, что среди долгоживущих вихрей в Тихом океане (с продолжительностью жизни 104 недели), сформировавшихся у побережья Северной Америки, нет ни одного, который бы достиг Императорских гор, двигаясь на запад. Это позволяет сделать вывод, что вихри в районе Императорских гор образуются либо в открытой части океана, либо непосредственно в исследуемом регионе.

Сравнение двух наборов данных привело к парадоксальному выводу: положение центра ядра вихря по GLORYS12V1 не совпадает с положением центра по META 3.2. DT, причем смещение может составлять 60 км. Данный факт необходимо учитывать при совместном анализе двух этих наборов данных.

Для исследования среди долгоживущих вихрей были выбраны два вихря, траектории которых пересекают Императорские горы: циклон с продолжительностью жизни 770 суток и антициклон со сроком жизни 893 суток. Дальнейший анализ их термохалинных и кинематических характеристик проводился именно для этих вихрей.

По данным GLORYS12V1 построены зональные разрезы температуры, солёности и плотности для этих вихрей в три момента времени: при подходе к хребту, непосредственно над хребтом и после его пересечения. Показано, что при пересечении топографического препятствия свойства антициклона и циклона существенно изменяются: ядро вихрей становится менее глубоким при пересечении хребта и впоследствии еще более уменьшается. Это подтверждается постепенным смещением вверх изолиний, которые сначала поднимаются от глубин 200 м к 30 м, а затем к 15 м. Однако на всех трех стадиях рассматриваемые циклон и антициклон сохраняют свою

динамическую структуру, и после пересечения хребта они продолжают свое движение на запад еще в течение нескольких недель.

По данным МЭТА 3.2 ДТ анализировались скорости перемещения и орбитальные скорости. Один из самых интересных результатов – это наблюдаемая противофаза скорости перемещения и орбитальных скоростей, как для циклона, так и для антициклона.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 25-17-00021.

ЦУНАМИ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ

Пилик Д.И.^{1,2}, Медведев И.П.², Цуканова Е.С.²

¹ *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, dariapilik12@mail.ru*

² *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва*

Северная часть Японского моря – одна из основных акваторий, где на российском побережье проявляются цунами различных масштабов. Данный район является сейсмически активным в силу прохождения там тектонического активного пояса (Японо-Сахалинский желоб). В результате землетрясений, приуроченных к этой зоне, за последнее столетие в северной части Японского моря были зарегистрированы следующие события цунами: Ниигатское 1964 г. ($M_w = 7.5$), Монеронское 1971 г. ($M_w = 7.3$), Япономорское 1983 г. ($M_w = 7.7$), Окуширское 1993 г. ($M_w = 7.8$), Невельское 2007 г. ($M_w = 6.2$), Ното 2024 г. ($M_w = 6.5$). Данное исследование посвящено изучению особенностей проявления двух из перечисленных событий, максимально проявившихся на российском побережье – Монеронское цунами 1971 г. и Невельское цунами 2007 г.

Монеронское землетрясение было зафиксировано 05.09.1971 в 18:35 UTC в северной части Японского моря вблизи о. Монерон, недалеко от юго-западного побережья о. Сахалин. Землетрясение магнитудой $M_w = 7.3$ сгенерировало волны цунами высотой 30–40 см по данным мареографов. По данным визуальных наблюдений высота цунами достигала 2 м. Это было первое землетрясение подобных масштабов, зафиксированное в Татарском проливе.

Второе событие – Невельское землетрясение наблюдалось 02.08.2007 в 02:37 UTC у побережья города Невельск. Данное землетрясение нельзя отнести к цунамигенным из-за магнитуды $M_w = 6.2$, однако из-за близости источника к побережью волны цунами были зарегистрированы на прибрежных станциях и визуально. Их высота составляла 40–50 см по данным мареографа (Холмск) и до 3.2 м по данным визуальных наблюдений.

Для изучения особенностей проявления обоих событий было произведено численное моделирование с использованием модели И.В. Файна, представляющей модификацию модели TUNAMI. Для задания сейсмического очага использовались параметры, представленные в каталоге ISC-GEM, на их основе были созданы авторские источники, наилучшим образом отображающие колебания уровня моря на прибрежных станциях. Для задания рельефа дна использовалась батиметрия из базы данных GEBCO 2014. Верификация модели и выбор лучшего очага землетрясения проводились на основе сравнения данных моделирования и данных мареографных станций, установленных на япономорском побережье России и Японии. Всего использовалось 11 станций для обоих событий.

В результате моделирования Монеронского цунами 1971 г. наилучшим был признан очаг со следующими параметрами: угол простирания (strike) – 30°, угол падения (dip) – 39°, угол скольжения (rake) – 99°, вертикальный сдвиг (slip) – 1.4 м. Максимальные высоты цунами были приурочены непосредственно к очагу землетрясения (1 м), на побережье о. Сахалин высота составила 0.6 м, на побережье Приморья – 0.3 м и на северном побережье о. Хоккайдо – 0.4 м.

Для Невельского цунами наилучшим был очаг землетрясения, у которого угол простирания (strike), угол падения (dip), угол скольжения (rake) составили соответственно 184°, 48° и 91°. Величина подвижки земной коры составила 3 м, что сильно превышает значение, представленное в каталоге ISC-GEM. В очаге высота волны цунами достигала 0.55 м, на побережье о. Сахалин – 0.45 м, на побережье Приморья – 0.1 м и на северной оконечности о. Хоккайдо – 0.2 м. Важно отметить, что при моделировании события, модель не смогла в полной мере отобразить амплитуду колебаний уровня моря, из-за чего

на основе синоптической ситуации было сделано предположение о прохождении метеоцунами, которое увеличило интенсивность колебаний на прибрежных станциях.

В дополнение к исследованию особенностей проявления Монеронского и Невельского цунами была проведена первичная оценка цунамиопасности япономорского побережья России. Из базы данных активных разломов ГИН РАН были выбраны разломы в северной части Японского моря, в которых возможны землетрясения с магнитудами $M_w = 7.0$ и $M_w = 7.7$. Вдоль этих разломов размещались виртуальные источники землетрясений (всего 198 источника), для каждого из них производился расчет высоты волн на побережье. В итоге, максимально возможная высота волны цунами от землетрясения в акватории Японского моря составила 6.9 м на юго-западном побережье Сахалина, 6.5 м на побережье Приморья и около 4 м на северной оконечности о. Хоккайдо.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 24-17-00313.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ БИОГЕОХИМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ВОДНОЙ ТОЛЩИ И ДОННЫХ ОСАДКОВ НА ШЕЛЬФЕ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Поливанова Т.К.¹, Новиков М.О.^{1,2}, Гершелис Е.В.¹, Якушев Е.В.³

¹Научно-технологический университет «Сириус», федеральная территория «Сириус»,
bari.polivanova@gmail.com

²Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, novikov.mo@ocean.ru

³Норвежский Институт водных исследований (NIVA), г. Осло, evgeniy.yakushev@niva.no

Внутриконтинентальное Черное море является крупнейшим бассейном с бескислородными условиями. Благодаря интенсивному материковому стоку и большим глубинам в море формируется стратифицированность вод. Распресненный верхний слой и соленые глубинные воды разделены четким постоянным галоклином. Северо-восточное побережье Черного моря подвержено сильной антропогенной нагрузке, что является важным фактором для регулярного экологического мониторинга, как водной толщи, так и донных отложений. В данной работе рассматривается изменчивость окислительно-восстановительных в водной толще и границе раздела вода-дно в районе Анапы.

Для моделирования окислительно-восстановительных условий с оценкой их сезонной и межгодовой изменчивости использовалась бентосно-пелагическая модель Bottom RedOx Model (BROM), которая охватывает толщу воды, придонный слой и верхние слои донных отложений. Bottom RedOx Model (BROM) позволяет получить четкое изображение дна и верхних слоев донных отложений с высоким разрешением. Модель состоит из двух модулей транспортного и биогеохимического, соединенных с помощью программы FABM, которая преобразует параметры скорости роста фитопланктона и скорости турбулентности через два управляющих файла. Транспортная часть модели использует результаты вычислений по трехмерной модели NEMO для Черного моря.

Изначально для расчета в модели было задано равномерное распределение 42 параметров в водной толще и в осадках. Модель была запущена на период 20 лет с 2005 по 2025 год. Равномерное распределение параметров прослеживается в равновесном состоянии всех параметров на начальном этапе. Далее с включением повторяющихся годовых циклов видно, что с каждым годом происходит перераспределение показателей и становится близким к реальным значениям. В течении 20 лет мы видим, что концентрация кислорода в придонном слое начинает уменьшаться, также, как и верхнем слое осадков, достигая очень низких концентраций. Хорошо прослеживается ежегодное цветение фитопланктона, который появляется в весенне летний период и отмирает зимой. Это приводит к сезонному накопления на дне органического вещества и уменьшению содержания кислорода в осенний период. Показано, что избыточное поступления органического вещества приводит к увеличенному потреблению кислорода и его исчезновению в поровых водах.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №24-17-20030.
<https://rscf.ru/project/24-17-20030/>*

ГЕОХИМИЯ ПОРОВЫХ ВОД ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ШЕЛЬФА КАРСКОГО МОРЯ

Пургина Д.В., Моисеева Ю.А., Поливанова Т.К., Гершелис Е.В.

*Начно-технологический университет Сириус, purgina.dv@talantiuspeh.ru,
polivanova.tk@talantiuspeh.ru, moiseeva.ya@talantiuspeh.ru, gershelis.ev@talantiuspeh.ru*

Геохимический состав поровых вод отражает протекание большинства процессов раннедиагенетического преобразования донных отложений, включая разложение органического вещества, выраженного в выделении биогенных элементов, а также окислительно-восстановительные реакции, предполагающие перераспределение переменного-валентных элементов в системе вода-осадок. В свою очередь обстановка осадконакопления в Карском море определяется объемом речного стока и эрозионных процессов, климатическими изменениями, а также в меньшей степени антропогенным воздействием, что предполагает формирование сложного и неоднородного химического состава поровых вод.

Целью исследования являлось оценить особенности распределения химических элементов в поровых водах донных отложений шельфа Карского моря под влиянием различных факторов.

В исследовании рассмотрены результаты экспедиции 2022 года, проведенной на борту НИС АМК-90 в Карском море, где были собраны пробы поровых вод на десяти станциях. Шесть из них располагались в устьевых зонах рек Енисей и Пясины, а четыре — в центральной части Карского моря. Донные отложения отбирались пробоотборником Oktorus GmbH, оборудованным восемью трубками с поликарбонатными вкладышами. Поровая вода извлекалась из ненарушенного грунта с помощью пробоотборника Rhizon методом вакуумной фильтрации. Биогенные компоненты (PO_4^{3-} , Si, NO_2^- , NO_3^-) анализировались на борту с использованием спектрофотометра Hitachi UV/VIS. Показатели pH измерялись портативным pH-метром HI 991300, а значения Eh — прибором HM Digital ORP 200 (Redox). Все химические анализы проводились по стандартным методикам. Концентрации основных ионов (Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) определялись методом ионной хроматографии (Dionex ICS-2000). Общая щелочность измерялась объемно-аналитическим методом с прямым титрованием. Микроэлементный состав устанавливался с помощью ICP-MS (NexIon 300D, Perkin Elmer, USA), при этом пробы предварительно подкисляли 20 мкл сверхчистой HNO_3 на 2 мл образца.

В результате приведены новые данные по $\delta^{18}\text{O}$, δD , общему органическому углероду (TOC), общему органическому азоту (TON), солености, общей щелочности (At) и микроэлементному составу поровых вод донных отложений Карского моря. Важным аспектом исследования состава поровых вод стал изотопный состав $\delta^{18}\text{O}$, δD . В частности, поровая вода с соленостью до 30 г/л и $\delta^{18}\text{O}$ менее 0,0-0,5 ‰ в Карском море отличается нормальным значением m ($m = 8,25$) и крайне низким значением дейтериевого эксцесса ($d_{\text{exc}} = -5,45$). Эта аномалия может быть связана с арктическим ледяным покровом, который препятствует формированию того слоя моря, испарение из которого образует основной источник морской воды (поровую воду), захороненной в осадках. Поровая вода с соленостью выше 30 г/л и $\delta^{18}\text{O}$ выше 0,5-1,0 ‰ в Карском море отличается аномалией обеих величин ($m=2$, $d_{\text{exc}}=-4$) и связана с влиянием геологических факторов, а именно вовлечением в систему вода-порода.

Состав поровых вод Карского моря отражает комплексное влияние криогенных, гидрологических и геохимических факторов. Полученные данные важны для понимания диагенеза осадков, круговорота элементов и оценки антропогенного воздействия в Арктике.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-17-20030, <https://rscf.ru/project/24-17-20030/>».

МОРФОЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ АУТИГЕННОГО ПИРИТА МОРЯ ЛАПТЕВЫХ: ВЛИЯНИЕ РАЗГРУЗКИ МЕТАНСОДЕРЖАЩИХ ФЛЮИДОВ

Рубан А.С.¹, Дударев О.В.², Рудмин М.А.¹

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, ruban@tpu.ru

²Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток

Осадочный пирит играет важную роль в биогеохимических циклах углерода, серы и железа. Как конечный продукт сульфатредукции, он замыкает биогеохимический цикл серы, тем самым регулируя баланс между её растворенными и осажденными формами. Кроме того, раннедиагенетические сульфиды железа являются важным поглотителем многих редокс-чувствительных элементов в морских осадках, что обусловлено значительным влиянием сульфатредукции на их поведение в ходе раннего диагенеза. Микроэлементный состав пирита контролируется составом поровой воды, который определяется различными факторами, включая состав морской воды и органического материала, а также флюидной активностью. В условиях просачивания метансодержащих флюидов, сульфат-управляемое анаэробное окисление метана может существенно влиять на микроэлементный состав пирита за счет увеличения степени пиритизации химических элементов и их переноса из подстилающих осадочных горизонтов.

Изученные образцы пирит-содержащих аутигенных карбонатов были отобраны с двух участков активной разгрузки метан-содержащих флюидов, расположенных на внешнем шельфе и континентальном склоне моря Лаптевых. Исследования морфологических особенностей выполнялось на сканирующем электронном микроскопе TESCAN VEGA 3 SBU, оборудованного детектором OXFORD X-Max 50 для рентгенофлуоресцентного энергодисперсионного анализа. Содержание микроэлементов в пирите изучалось методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой и лазерной абляцией (ЛА-ИСП-МС) с использованием квадрупольного масс-спектрометра Thermo XSeries2 и лазерной приставки New Wave UP-213.

Основными текстурными формами аутигенного пирита являются фрамбоиды (сферические, полигональные, а также покрытые вторичными наростами) и стержневидные агрегаты. В образцах с внешнего шельфа наиболее распространены сферические фрамбоиды, состоящие из хаотично ориентированных неправильных, гипидиоморфных или идиоморфных микрокристаллов с размером около 0.5–1 мкм. Они встречаются как обособленно, так и в виде фрамбоидных кластеров, в состав которых входит до нескольких десятков индивидуальных фрамбоидов. В образцах с континентального склона доминирующими формами пирита являются полигональные фрамбоиды и фрамбоиды, покрытые вторичными наростами. Полигональные фрамбоиды слагают плотно упакованные изометричные и линейные кластеры, заполняющие пустоты в карбонатных корках. Содержание микроэлементов в пирите в целом можно описать в порядке убывания следующим образом: As (среднее – 687 ppm) > Mo (среднее – 262 ppm) > Co (среднее – 200 ppm) > Ni (среднее – 187 ppm) > Cu (среднее – 152 ppm) > Zn (среднее – 144 ppm) > Pb (среднее – 35.1 ppm) > Sb (среднее – 13.9 ppm). При этом, наблюдаются значительные различия в микроэлементном составе пирита между образцами с континентального склона и внешнего шельфа. Содержания Co, Ni, Cu и Zn в пирите в образцах с континентального склона значительно выше, чем в образцах с внешнего шельфа. Наибольшее обогащения As и Mo также характерно для пирита с континентального склона. Соответственно пирит с внешнего характеризуется минимальными медианными значениями для этих элементов, хотя сохраняется наличие отдельных выбросов с более высокими концентрациями. Подобная тенденция характерна и для распределения Sb.

Таким образом, в изученных образцах метан-производных карбонатов аутигенный пирит представлен фрамбоидами и стержневидными агрегатами. Текстуры

взаимоотношения между агрегатами пирита и карбонатным цементом отражают множественные эпизоды формирования пирита, вызванные, по-видимому, эпизодическими колебаниями интенсивности просачивания метан-содержащего флюида. Полигональные фрамбоиды сформировались за счет деформации сферических фрамбоидов в условиях ограниченного пространства для роста и не являются результатом текстурной эволюции пирита. Концентрации рассматриваемых микроэлементов в пирите с внешнего шельфа значительно ниже, чем с континентального склона. Данные различия в микроэлементном составе может отражать разные условия при которых формировался пирит, что подчеркивает влияние режимов флюидомиграции на процессы аутигенеза. Полученные результаты показывают, что глубина залегания сульфат-метановой транзитной зоны относительно границы “морская вода-донные осадки” является важным фактором, контролирующим морфологические и микроэлементные характеристики пирита. Это должно учитываться при выявлении палеопросачиваний в древних осадочных системах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23-77-10002).

РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА АЗОВСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 2024 ГОДА

Сазонов А.Д., Московец А.Ю., Клещенко А.В.

Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, alexei.sazonow2016@yandex.ru

Температура воды – важнейший абиотический фактор, обуславливающий параметры среды обитания гидробионтов в том числе и промысловых видов рыб. Также с изменением температуры связана общая резистентность гидробионтов к поллютантам.

Материалами исследования послужили результаты 4 экспедиций, проведенных на НИС «Денеб». В ходе рейсов осуществлялся плановый мониторинг температуры воды профилю водной толщи от поверхностного до придонного горизонта с применением систем зондирования CTD 48 (M), CTD 60 (M) и SEACAT SBE 19. На основе полученного массива первичных данных и результатах статистической обработки были выявлены основные закономерности пространственной изменчивости температурной структуры рассматриваемой акватории.

В сложившихся гидрологических условиях экспедиционные исследования проводились в период уменьшения стока реки Дон – важнейшего компонента, определяющего тепловой баланс как всего Азовского моря, так и Таганрогского залива, в частности. Ниже представлены результаты экспедиционных исследований более детально.

19-30 апреля. В третьей декаде апреля воды Таганрогского залива в условиях аномально теплого апреля прогрелись до 14,6-16,6 °С. Более холодные воды в пределах 14,6-15,0 °С наблюдались в западной части залива, а относительно теплые (16,2-16,6 °С) в восточной части. Расслоение вод по температуре воды незначительное в пределах 0,0-0,4 °С. Наибольшее расслоение наблюдалось в западной части Таганрогского залива.

В Азовском море прогрев вод в поверхностном слое составил 12,6-15,6 °С, в придонном слое – 12,6-14,5 °С. Наибольший прогрев вод наблюдался в юго-западной части Азовского моря (до 15,6 °С). Также значительный прогрев вод до 15,2 °С наблюдался на мелководье в северной части моря. Более холодные воды наблюдались в центральной части Азовского моря. Расслоение вод составило в пределах 0,6-2,0 °С. Наибольшее расслоение вод наблюдалось в юго-западной части моря. Скачок температуры воды фиксировался на глубине 2 м.

21-30 мая. В третьей декаде мая температура Донской воды в х. Донском (7 км выше устья Дона) составила порядка 17,8 °С. В период экспедиционного рейса температура в поверхностном слое Таганрогского залива составила в пределах 18,2- 20,8 °С, в придонном 16,4-17,4 °С. Наибольший прогрев в поверхностном слое фиксировался в центральной части и составил 20,1-20,8 °С. Относительно более холодные воды прослеживались в придонном слое в устьевой части Таганрогского залива, и их температура составила 16,4-17,0 °С. В условиях погоды с низкой скоростью ветра и слабым волнением наблюдалось значительное расслоение вод Таганрогского залива. Расслоение вод отмечалась в пределах 1,61-3,78 °С. Наибольшее расслоение фиксировалась в центральной части залива 3,44-3,78 °С.

В период экспедиционного рейса температура воды в поверхностном слое Азовского моря фиксировалась в пределах 17,5-19,3 °С, в придонном 15,8-19,1 °С. Наибольший прогрев до 19,3 °С прослеживался на мелководье в южной части Азовского моря. Более охлажденные воды фиксировались в придонном слое в центральной и северо-восточной части Азовского моря (15,8-16,2 °С).

Наблюдавшиеся штормовые условия 24-26 мая значительно повлияли на термохалинную структуру Азовского моря. Турбулентность вод, вызванная значительным

волнением, способствовала активному перемешиванию водной толщи. Это отразилось на температурном расслоении вод.

Так, до начала шторма расслоение вод Азовского моря по температуре воды фиксировалось в пределах 1,4-2,9 °С, то после 0,0-0,01 °С. Наибольшее расслоение (2,9 °С) наблюдалось в центральной части моря. Скачок температуры воды наблюдался на глубине 8-9 м.

21-30 июня. В период экспедиционного рейса в июне 2024 г. прослеживался дальнейший прогрев вод мелководного Таганрогского залива. Температура в поверхностном слое находилась в пределах 24,9-27,5 °С, в придонном – 24,2-26,5 °С. Наибольший прогрев в поверхностном слое фиксировался в восточной (мелководной) части и составил 25,9-27,1 °С. Относительно более холодные воды прослеживались в придонном слое в устьевой части Таганрогского залива составили 24,3-24,6 °С. Расслоение вод Таганрогского залива прослеживалось в пределах 0,3-2,8 °С.

Температура воды в поверхностном слое Азовского моря фиксировалась в пределах 23,7- 26,0 °С, в придонном – 20,4-25,3 °С. Наибольший прогрев до 26,0 °С прослеживался в северо-западной части моря на станции. Более охлажденные воды с температурой 20,4-21,3 °С фиксировались в придонном слое в центральной части Азовского моря. Расслоение вод Азовского моря по температуре воды в период экспедиционного рейса наблюдался в пределах 0,0-5,5 °С. Наибольшее расслоение (на глубине 4,5-5,5 м) наблюдалось в центральной части моря.

5-14 ноября. Температура воды в поверхностном слое Таганрогского залива составила в пределах 4,6-9,2 °С, в придонном – 4,6-9,6 °С. Наибольший прогрев в придонном слое фиксировался в западной (устьевой) части и составил 9,3-9,6 °С. Более интенсивно охлаждение воды прослеживались в мелководной (восточной) части Таганрогского залива в пределах 4,6-7,8 °С. В период экспедиционного рейса наблюдалось незначительное расслоение вод Таганрогского залива в пределах 0,0-0,3 °С. Наибольшее расслоение на фоне постепенного охлаждения вод наблюдалось в относительно более глубокой западной части Таганрогского залива.

Температура в поверхностном слое Азовского моря фиксировалась в пределах 9,5-11,3°С, в придонном – 9,1-11,3 °С. Наибольший прогрев (до 11,3 °С) прослеживался в центральной части моря. Более охлажденные воды с температурой 9,1-9,3 °С фиксировались в придонном слое в юго-восточной части Азовского моря. В условиях штормовой погоды и волнения значительного расслоение вод Азовского моря по температуре воды в период экспедиционного рейса не наблюдалось. Относительно наибольшее расслоение (0,2 °С) отмечалось в центральной части моря.

Таким образом, в 2024 г. в ходе экспедиционных исследований были собраны данные о термическом режиме Азовского моря. Полученные результаты пополняют имеющиеся базы данных, которые впоследствии могут быть использованы при планировании и разработке природоохранных мероприятий и хозяйственной деятельности.

Публикация подготовлена в рамках ГЗ ЮНЦ РАН, номер госрегистрации 125012100503-4.

ПЕТРОФИЗИКА МАГМАТИЧЕСКИХ (ИНТРУЗИВНЫХ) КОМПЛЕКСОВ ОСТРОВОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО

Сергеев В.А., Харченко Т.А.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток,
sergeev.va@poi.dvo.ru, harchenko@poi.dvo.ru*

В рамках исследований структурно-вещественных изменений в зоне сочленения геологических сооружений южного Сихотэ-Алиня с глубоководной котловиной Японского моря, были систематизированы и проанализированы физические свойства (плотность, магнитная восприимчивость) магматических пород основного и кислого ряда (позднепермского – юрского возраста), отобранных на островах Русском, Попова и Рейнеке. На основе полученных данных планируется построение цифровой модели (петроплотностной карты) магматических пород островов.

Острова Русский, Попова и Рейнеке расположены в центральной части залива Петра Великого и являются морским продолжением Муравьевского горст-антиклинория, ограниченного разломами.

В настоящее время на рассматриваемых островах выделяются следующие интрузивные комплексы (от древних к молодым), которые характеризуются различными петрофизическими характеристиками (плотностью и магнитной восприимчивостью).

Позднепермский гранодиорит-гранитный седанкинский комплекс. Породы этого комплекса слагают гранитоидные массивы на исследуемых островах и характеризуются физическими параметрами: плотностью 2.79 – 2.57 г/см³, магнитной восприимчивостью 49756 - 3263·10⁻⁶ед. СИ, соответственно. Наблюдается дифференциация по петрофизическим свойствам внутри комплекса от кварцевых диоритов, гранодиоритов до гранитов.

До недавнего времени породы габбро-диабазового комплекса относились к позднепермскому возрасту. Недавними исследованиями (геологическими методами и определениями радиологического возраста К-Аг методом - 250 млн лет), породы этого комплекса отнесены к раннему-среднему триасу. Крупные тела выделены на о-вах Попова и Рейнике, а на о. Русском к этому комплексу отнесена дайка (о. Елены). По данным В. Т. Съедина (2018), этот комплекс разделяется на два: к пограничному комплексу отнесены лейкократовые мелко- и среднезернистые габбро, а к муравьевскому – меланократовые габброиды. Породы характеризуются диапазоном плотности 2.90 – 2.83 г/см³ и магнитной восприимчивостью 84239 - 28553·10⁻⁶ед. СИ. Однако надо заметить, что породы отнесенные к муравьевскому комплексу более магнитные и плотные.

Средне-позднеюрский островной комплекс. Породы этого комплекса слагают небольшие тела, штоки и дайки в зоне Муравьевского разлома, образующего тектоническую границу между одноименным горст-антиклинорием и осадочным бассейном Амурского залива. Породы комплекса являются типоморфными для островов и представлены розовыми, розово-серыми лейкократовыми гранит-порфирами, с порфиrowыми выделениями кварца и стекловатой текстурой. Физические свойства пород комплекса изменяются в узких пределах. Плотность - 2.57 - 2.59 г/см³, магнитная восприимчивость в среднем 104 - 168·10⁻⁶ед.

Исследования показали, что интрузивные породы комплексов хорошо дифференцируются по физическим свойствам. Наибольшими значениями плотности и магнитной восприимчивости характеризуются породы основного (базитового) габбро-диабазового комплекса (средние значения плотности 2.90 г/см³ и магнитной восприимчивости 84239 10⁻⁶ ед. СИ), что обусловлено содержанием цветных (пироксенов, амфиболов.) и ферромагнитных (магнетит, титаномагнетит) минералов. Наименьшими

значениями физических свойств отмечаются гранитоиды средне-позднеюрского островного комплекса (от 2.57 г/см^3 и $104 \cdot 10^{-6}$ ед. СИ), что связано с более кислым составом плагиоклаза и отсутствием темноцветных минералов (роговой обманки и биотита).

Выявленная дифференциация магматических пород по плотности и магнитной восприимчивости позволяет использовать эти физические свойства для геологической интерпретации результатов гравиметрической и магнитной съемки на акватории залива Петра Великого, а также в качестве дополнительного индикатора для типизации магматических пород, развитых на других островах этого района.

ТЕКТОНИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ АНТАРКТИЧЕСКОГО СЕКТОРА ТИХОГО ОКЕАНА

Сергеева В.М.¹, Лейченков Г.Л.^{1,2}, Гусева Ю.Б.³

¹ФГБУ «ВНИИОкеангеология», г. Санкт-Петербург, wanda@list.ru

²Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский Государственный Университет, г. Санкт-Петербург, german_l@mail.ru

³АО «ПМГРЭ», г. Санкт-Петербург, gangus_@mail.ru

В 2024 г. ФГБУ «ВНИИОкеангеология» и АО «ПМГРЭ» выполнили морские геофизические (многоканальные сейсмические, магнитометрические и гравиметрические) исследования в юго-западном, антарктическом секторе Тихого океана (моря Амундсена и Беллинсгаузена) на НИС «Академик А. Карпинский» с целью изучения его глубинного строения и тектонической структуры земной коры. В результате комплексной интерпретации новых и ранее полученных данных отечественных и зарубежных экспедиций установлены тектонические провинции, возраст океанической коры, структурные элементы и основные этапы эволюции региона.

До середины мела в юго-западной части Тихого океана, на окраине Гондваны, существовала зона субдукции, пока около 90-83 млн лет назад от нее не отделилось поднятие Чатем, а позднее, 83-79 млн лет назад, - плато Кэмпбэлл, образовав протяжённую пассивную континентальную рифтовую окраину вдоль моря Амундсена и западной части моря Беллинсгаузена. С позднего мела к этой окраине аккретировала океаническая кора палеоплиты Беллинсгаузен, которая прекратила существование как самостоятельная плита около 61 млн лет назад. В океанической коре моря Амундсена присутствуют протяженные палеотрансформные разломы. Граница между рифтогенной континентальной корой и океанической корой (граница континент-океан) расположена в 150- 250 км от побережья Антарктиды. Анализ полосовых магнитных аномалий показывает, что самая древняя магнитная аномалия, С34у (83 млн лет), расположена в 400 км к северу от побережья. С юго-востока на северо-запад происходит омоложение возраста океанической коры. Скорости спрединга между хронами полярности варьируются от 0,4 до 3,1 см/год, Океаническая кора в северной части моря Амундсена осложнена внутриплитным магматизмом (вулканическая провинция Мэри Бэрд) с возрастом 65-56 млн лет.

Восточнее 85° з.д. океаническая кора в море Беллинсгаузена относилась к палеоплите Феникс, которая образовалась в раннем палеозое, являясь одной из крупнейших океанических плит Панталассы. Аккреция ее земной коры в пределах Западно-Антарктического складчатого пояса происходила в результате конвергенции с Западной Гондваной и сопутствующих тектонических и магматических процессов. Палеоплита Феникс субдуцировалась под Западную Антарктиду с со среднего эоцена до раннего плиоцена.

Область между 85° и 95° з.д. представлена деформированной океанической корой повышенной мощности, расположенной на стыке палеоплит Беллинсгаузен и Феникс. Интерпретация её генезиса затруднена, но предположительно связана с движением палеоплит Беллинсгаузен и Феникс относительно друг друга, которое было активным с позднего мела до третичного периода.

ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ ЮЖНОГО ЗАМЫКАНИЯ ЮЖНО-ТАТАРСКОГО БАССЕЙНА

Сигеев И.А., Прошкина З.Н.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
г. Владивосток, sigeev.ia@poi.dvo.ru*

Целью настоящей работы является фиксация ранее выявленных особенностей глубинного строения южного замыкания Южно-Татарского бассейна по профилю структурно-плотностного моделирования, расположенному южнее ранее подобранного аналогичного профиля МП-6. Профиль ЮТ-25-МП-7 протяженностью 620 км, ориентированный с северо-запада на юго-восток, пересекает последовательно Приморскую моноклинал (включая Гиляцкое и Плитняжское поднятия), Самаргинскую впадину, Лопатинское поднятие, южный блок Пионерского поднятия, Монеронское поднятие с прилегающим прогибом и Крильонское поднятие, что позволило выявить особенности строения элементов зоны перехода от континентальной к океанической коре. При интерпретации данных были учтены результаты наших предыдущих исследований, архивные профили ГСЗ, а также геологические данные.

Полученные результаты выявили сложную дифференциацию земной коры. Мощность земной коры исследуемого профиля составляет 36 км в континентальной части, сокращаясь до 26 км под центральной частью в районе Самаргинской впадины, далее при движении к юго-западному шельфу Сахалина она увеличивается до 32 км и остается более-менее выдержанной при пересечении пролива Лаперуза. Осадочный чехол характеризуется плотностью 2.0-2.45 г/см³ и изменчивой мощностью от 1 до 6 км, достигающей максимальных значений под Монеронским прогибом. Базальтовый слой с плотностью 2.85-3.09 г/см³ демонстрирует незначительные вариации мощности от 14 до 16 км, при этом в районе Самаргинской впадины и Лопатинского поднятия наблюдается подъем базальтового слоя и сокращение земной коры.

Средняя часть коры разреза имеет выраженное блоковое строение. Континентальный склон представлен «гранито-метаморфическим» слоем с плотностью 2.65-2.75 г/см³. В центральной части профиля под Самаргинской впадиной, наблюдается локальное сокращение мощности земной коры и увеличение плотности фундамента до 2.75-2.85 г/см³, что свидетельствует об интенсивной рифтогенной переработке с признаками базификации. Также интерес представляет Лопатинское поднятие, где, судя по пониженным плотностным характеристикам средней части коры относительно соседних блоков (2.68-2.8 г/см³), сохранились реликты (остатки) сиалической коры, затронутой процессом рифтогенеза и обогащения мантийным веществом. Монеронское и Крильонское поднятия представляют собой вулканогенные структуры, сформированные в ходе образования Иссикари-Западно-Сахалинского бассейна и сложенные преимущественно вулканическими породами. Повышенная плотность фундамента (2.75-2.88 г/см³) и ярко выраженные положительные магнитные аномалии свидетельствуют о связи с вулканогенными процессами. Вероятно, эти структуры сыграли ключевую роль тектонического барьера, ограничивающего распространение рифтогенных процессов из Южно-Татарского бассейна.

Между Самаргинской впадиной и Лопатинским поднятием выделяется разуплотнённый блок коры с плотностью 2.65-2.75 г/см³. Но сокращённая мощность блока не позволяет отнести его к структурам континентального типа. Вероятнее всего, это область сильно редуцированной континентальной коры, перекрытого мощными осадочными отложениями.

Ярко выраженные контрасты наблюдаются на границах основных структурных элементов, что позволяет выделить зоны разломных нарушений, некоторые из которых хорошо согласуются с геологической информацией региона.

Полученные данные свидетельствуют о гетерогенном строении земной коры Южно-Татарского бассейна, где участки с сохранившимися континентальными структурами соседствуют с зонами интенсивной деструкции связанной с рифтогенными процессами. Эти результаты имеют ключевое значение для понимания геодинамической эволюции всего Татарского пролива и прилегающих территорий. Выявленные структурные особенности и вещественная дифференциация требуют дальнейшего изучения с применением современных методов, включая глубинные сейсмические исследования отбор образцов, в том числе с применением бурения и их геохронологический анализ. Полученные данные могут быть использованы для уточнения существующих моделей геодинамического развития региона и оценки его ресурсного потенциала.

СОДЕРЖАНИЕ ТРИТИЯ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА В 2024 ГОДУ

Соколов Д.Д., Калюжный Д. С., Горячев В.А.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток
sokolov.dd@poi.dvo.ru*

Измерения проводились в лаборатории ядерной океанологии в Тихоокеанском океанологическом институте им. В. И. Ильичёва при использовании ультранизкочастотного жидкостного-сцинтилляционного $\alpha\beta$ -спектрометра QUANTULUS 1220 фирмы PerkinElmer. Порог обнаружения при прямом измерении составляет 8 TU (0,96 Бк/л), с точностью $\pm 4\text{--}5$ TU (0,48–0,60 Бк/л). При электролитическом обогащении пробы морской воды от 500 мл до 9,5 мл порог обнаружения составляет 0,2 TU (0,024 Бк/л), с точностью $\pm 0,1$ TU (0,012 Бк/л) Коэффициент обогащения образцов составил 40. Эффективность порядка 30%.

Измеряемые пробы, были отобраны в рейсах на НИС “Академик Опарин” (рейс №71 и №75, с 04.06.24 по 15.07.24 и с 05.11.24 по 29.11.24 соответственно) и НИС “Профессор Гагаринский” (рейс №88, с 23.08.24 по 20.09.24). Результаты определения содержания трития в водах Японского, Охотского морей и северо-западной части Тихого океана показывают, что наблюдается относительно однородное распределение этого изотопа в поверхностных водах исследуемых районов со средними значениями 1,1 TU (0,132 Бк/л) в Японском море, 1 TU (0,12 Бк/л) в Охотском море, 0,6 TU (0,096 Бк/л) в северо-западной части Тихого Океана. Наивысшие значения концентраций наблюдаются в прибрежной зоне о. Сахалин, там они составляют порядка 2 TU (0,24 Бк/л), что объясняется речным стоком с материка.

Отбор проб морской воды на содержание трития были проведены после слива с АЭС Фукусима-1 в августе 2023 года. Полученные результаты практически близкие к естественному фону и не превышают допустимых значений. В России нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009 устанавливают пределы содержания трития в воде — 7 600 Бк/л. Эти пределы выше, чем в большинстве других стран. В США, Канаде и Европе предельно допустимые концентрации трития в воде составляет 740 Бк/л, 7 000 Бк/л и 100 Бк/л соответственно. Наши измерения говорят о том, что средние значения содержания трития в северо-западной части Тихого океана составляют не более 0,24 Бк/л, что в 31,5 тыс. раз меньше НРБ.

ВНУТРИГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОТОКОВ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ (НА ПРИМЕРЕ ОСЕННЕГО И ВЕСЕННЕГО СЕЗОНОВ)

Соколова Е.Н.¹, Лобанова П.В.¹, Семкин П.Ю.²

¹Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург,
st097888@student.spbu.ru

²Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток,
pahno@list.ru

Мировой океан представляет собой одно из звеньев глобального цикла углерода, поглощая около четверти ежегодно выделяемого антропогенного углекислого газа. В середине прошлого столетия начался активный мониторинг за концентрацией двуокиси углерода в приземной атмосфере, отраженной на кривой Килинга и показывающей явный тренд к повышению. На апрель 2025 года концентрация CO₂ в приземной атмосфере составляет 427 мкатм и продолжает расти.

Карбонатная система – это основная буферная система морских вод, основанная на химическом равновесии между различными формами растворенного неорганического углерода. Изучение карбонатной системы важно для комплексного понимания процессов химико-биологического обмена в океане и напрямую связано с антропогенной деятельностью человека.

Актуальность работы связана с необходимостью исследования карбонатной системы морской экосистемы посредством анализа данных *in situ* для определения направленности и интенсивности потоков углекислого газа на границе океана и атмосферы, а также дальнейшей оценки антропогенного воздействия на акваторию Японского моря.

Цель данной работы – описать внутригодовую изменчивость парциального давления углекислого газа в открытых водах поверхностного слоя северо-западной части Японского моря, и определить направление и интенсивность потоков двуокиси углерода.

В работе использовались судовые данные ТОИ ДВО РАН им. В.И. Ильичева для северо-западной части Японского моря, полученные в весенний и осенний сезоны на НИС «Академик М. А. Лаврентьев» в феврале-марте 2003 и октябре 2005 гг. Расчет параметров карбонатной системы (рН *in situ*, DIC, pCO₂) производился в программе CO₂.sys 3.0 на основе имеющихся данные по рН_t и щелочности морской воды. Потоки углекислого газа рассчитывались по формуле Wanninkhof (2014). Процентное содержание кислорода [O₂]_% рассчитывалось при известных температуре, солености и концентрации кислорода *in situ* (мг/л) по формуле Weiss (1970).

В феврале-марте 2003 года при значении солености 33,85 отмечается одновременное увеличение рН до 8,29 и уменьшение DIC, что связано с преобладанием карбонат-ионов. В октябре 2005 года, наоборот, наблюдается уменьшение рН и увеличение DIC, что указывает на увеличение гидрокарбонат-ионов и растворенного углекислого газа в морской воде.

Распределении pCO₂ в 2003 году имеет сложную пространственную структуру: в прибрежной зоне море функционирует, как поглотитель CO₂, значения не превышают равновесную величину в атмосфере (375,7 мкатм), в открытых водах отмечается эмиссия CO₂, величина pCO₂ достигает максимального значения в 501 мкатм. В 2005 году pCO₂ распределено достаточно равномерно по изучаемой области со средним значением 318,43 ± 25,55 мкатм, Японское море является чистым поглотителем, значения pCO₂ не превышают равновесную величину в атмосфере (378,1 мкатм).

Показано, что при повышении температуры поверхности, pCO₂ увеличивается, что связано с тем, что углекислый газ плохо растворяется в воде и связывается в HCO₃⁻ и CO₃²⁻. Для оценки силы связи между параметрами используется эмпирический критерий – коэффициент корреляции Пирсона и уровень значимости. Отмечается умеренная связь

($r=0,35$) в феврале-марте 2003 г. и средняя ($r=0,6$) в октябре 2005 г. Связь между параметрами значима, $p\text{-value}<0.001$.

В 2003 году максимальный отрицательный поток углекислого газа ($-114 \text{ ммоль} \times \text{м}^2 \times \text{сут}^{-1}$) отмечается при максимальной скорости ветра (13 м/с), в сочетании с весенним «цветением», океан поглощает CO_2 из атмосферы. Максимальный положительный поток CO_2 ($+31 \text{ ммоль} \times \text{м}^2 \times \text{сут}^{-1}$) при скорости ветра 9 м/с наблюдается в открытых водах, что обусловлено деструктивными процессами, наблюдается эмиссия CO_2 в атмосферу. В 2005 году максимальный/минимальный отрицательный поток ($-126 \text{ ммоль} \times \text{м}^2 \times \text{сут}^{-1}$ и $(-0,31 \text{ ммоль} \times \text{м}^2 \times \text{сут}^{-1}$, соответственно) отмечен при максимальной/минимальной скорости ветра (13,1 м/с и 0,5 м/с, соответственно), акватория поглощает углекислый газ из атмосферы.

В ходе построения диаграммы зависимости $p\text{CO}_2$ от $\text{O}_2(\%)$, показано, что в 2003 г. в прибрежной области наблюдается фотосинтетическая активность, при удалении от берега преобладающим процессом становится процесс охлаждения вод, на некоторых станциях в открытых водах отмечено понижение O_2 до 86-92% и положительные $\Delta p\text{CO}_2$, наблюдается эмиссия CO_2 в атмосферу, что связано с деструктивными процессами (дыхание). В 2005 г. преобладающим процессом являлся фотосинтез фитопланктона (O_2 более 100% и отрицательные $\Delta p\text{CO}_2$).

В феврале-марте 2003 года максимальные значения концентрации хлорофилла-а наблюдаются в прибрежной зоне и северо-западной части исследуемой акватории, что указывает на активное поглощение CO_2 фитопланктоном и поток углекислого газа из атмосферы в море, минимальные концентрации ($0,1$ и менее $\text{мг}/\text{м}^3$) – в северо-восточной и центральной частях, что указывает на деструкцию органического вещества и поток CO_2 из моря в атмосферу. В октябре 2005 года наблюдается слабая фотосинтетическая активность, концентрации хлорофилла-а на всей исследуемой области ($0,1-0,5 \text{ мг}/\text{м}^3$), что также подтверждает наши выводы о том, что в данный год в акватории Японского моря преобладающим процессом является фотосинтез, и поток углекислого газа направлен из атмосферы в море.

Таким образом, на примере весеннего и осеннего сезонов показана изменчивость $p\text{CO}_2$ и зависимость от различных параметров среды в северо-западной части Японского моря, а также подтверждаются представления ранних исследований о том, что исследуемая акватория в основном является поглотителем углекислого газа.

ТРЕХМЕРНОЕ ЛАГРАНЖЕВО МОДЕЛИРОВАНИЕ АПВЕЛЛИНГА НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ ЯПОНСКОГО МОРЯ

Солонец И.С., Файман П.А.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
г. Владивосток, solonets.is@poi.dvo.ru*

Северо-запад Японского моря остаётся недостаточно исследованным и по сей день, по сравнению с южной своей частью. Поэтому важно прорабатывать методы математического моделирования для дальнейших натурных измерений. Апвеллинг является важным механизмом морского водообмена, который способствует насыщению поверхностных вод питательными веществами, оседающими в придонных слоях. Понимание происходящих в конкретном регионе процессов может очень положительно сказаться на местном рыбном промысле, примеры этого можно заметить по количеству исследований южной части Японского моря, где индекс биопродуктивности выше, чем в северной части.

Для моделирования было проведено сравнение двух моделей: LTRANS и ROMSPath. Стоит отметить, что LTRANS получила широкое распространение среди морских биологов, так как изначально была создана для отслеживания личинок устриц. Однако, при должной настройке, модель могла отслеживать движение пассивных частиц, поэтому была использована для моделирования некоторых физических процессов в океане, таких, как например апвеллинг.

Позже была создана модель ROMSPath, которая являлась улучшенной версией LTRANS. Улучшения коснулись модуля физических вычислений и модуля интерпретации координат, а также были исправлены некоторые недочёты, которые показывала модель LTRANS, например, кластеризация. Таким образом, модель ROMSPath стала более удобной и точной для отслеживания пассивных частиц (математических частиц воды), а за счёт оптимизации биологической части также была увеличена скорость расчёта.

Чтобы проверить, какая модель работает лучше для отображения апвеллинга, были заданы идентичные условия для обеих моделей, а позже произведен количественный анализ получившихся данных, в ходе которых было выяснено неточности в работе LTRANS, в то время как ROMSPath показал результаты, соответствующие спутниковым снимкам и индексам апвеллинга.

В будущем для исследования физических процессов на северо-западе Японского моря над шельфовым склоном будет использована модель ROMSPath.

Финансирование: грант РФФИ №23-17-00068, код ГРНТИ 37.25.00

АЗИАТСКИЙ КИЖУЧ: ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ВЕРОЯТНОЕ ПРОИСХОЖДЕНИЕ

Сошникова В.А., Зеленина Д.А., Мюге Н.С.

*Государственный научный центр Российской Федерации государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»,
Москва, valnestle@yandex.ru*

Кижуч (*Oncorhynchus kisutch* Walbaum) – один из ценнейших объектов рыболовного промысла и искусственного воспроизводства на Дальнем Востоке, ареал которого широк и включает в себя всю Северную Пацифику. В пределах азиатской части ареала кижуч является третьим-четвертым по численности видом рода *Oncorhynchus*, при этом на Северных Курилах этот вид занимает второе место.

Для изучения полиморфизма участков митохондриальной ДНК контрольного региона (D-loop) и гена цитохрома В, а также варибельности десяти микросателлитных локусов (*Oki10*, *One114*, *OtsG68*, *OtsG78b*, *OtsG83b*, *OtsG253b*, *OtsG422*, *OtsG423*, *AMPCX*, *CWDDD*)[2-4] (Smith et al, 2001, Olsen et al, 2000, Williamson et al, 2002, Nakamura et al., 2013) были проанализированы 16 выборок кижуча из различных азиатских рек Северной Пацифики, а также морская выборка из залива Аляска, всего исследовано 687 особей.

Для более глубокого исследования взаимосвязи между популяциями различных регионов Дальнего Востока проведено ddRAD-секвенирование 11 выборок кижуча (полуостров Камчатка: р. Апука, р. Авача, р. Камчатка, р. Коль, р. Крутогорова, р. Палана, р. Пымта; Магаданская область: р. Ола, р. Тауй; Хабаровский край: р. Охота; о. Сахалин: р. Лангери).

Подготовку библиотек проводили в соответствии с работой Franchini et al., 2017. Демультиплексацию и фильтрацию данных секвенирования осуществляли в пакете Stacks, для получения multi-vcf полученные риды картировали на референсный геном кижуча *O_kis_V2* (GCF_002021735.2), с последующим анализом в пакете vcfR. Для визуализации результатов ddRAD-секвенирования использовали метод главных компонент.

Уровень внутривидового митохондриального полиморфизма D-loop выявил невысокое генетическое разнообразие с одним массовым гаплотипом, и пятью другими, отличающимися от массового на одну замену (гаплогруппа h2), а также двумя, относящимися к иным гаплогруппам (h1 и h4). Интересно, что, согласно литературным данным в реках североамериканского побережья наблюдается тот же массовый гаплотип (гаплогруппа h2), который не является единственным. По частоте на втором месте встречаются гаплотипы гаплогруппы h3, а также, более редко, наблюдаются гаплотипы групп h1 и h2. Внутривидовой митохондриальный полиморфизм по гену цитохрома В представлен 25 гаплотипами, разбитыми на три гаплогруппы, при этом самым массовым является гаплотип A1 (гаплогруппы А, также включающей в себя 13 гаплотипов, отличающихся от A1 на одну замену). Гаплотипы гаплогруппы В (9 последовательностей, отличающихся от гаплогруппы А на 5-7 замен) не были обнаружены у особей, нерестящихся в реках о. Сахалин, при этом отмечены в нагульных скоплениях залива Аляска, наряду с гаплогруппой А. Гаплотипы группы С, выявленные в нагульных скоплениях залива Аляска, не обнаружены у азиатского кижуча, однако отмечены в литературе у американских популяций.

Микросателлитный анализ выявил достоверные различия между большинством популяций. Десять высокополиморфных микросателлитных локусов оказались достаточно информативными для уверенного различия популяций кижуча по региональному принципу и выделения трех основных генетических кластеров: сахалинского, североохотоморского и камчатского в пределах исследуемых выборок. Внутри камчатского кластера было отмечено дополнительное разделение на две группировки – реки Апука и, собственно, полуострова Камчатка. Результаты, полученные путем

применения двух статистических подходов – метода многомерного шкалирования и байесовского кластерного анализа, коррелируют между собой.

По результатам ddRAD-секвенирования центральное место в пространстве главных компонент занимает выборка из р. Апука. Помимо выборки из р. Апука в пространстве главных компонент можно выделить четыре дискретных кластера: Североохотоморский, Сахалинский, Восточнокамчатский и Западнокамчатский, включая р. Авача, расположенную на юге восточного побережья.

Согласно ранее предложенной нами гипотезе заселение азиатского побережья кижучем произошло североамериканскими популяциями через Берингию. Географическое положение р. Апука, говорит о том, что она является одной из наиболее вероятных стартовых точек расселения кижуча по всему азиатскому ареалу. Полученные результаты ddRAD-секвенирования дают возможность выдвинуть гипотезу о том, что последующее распространение кижуча происходило независимо в четырех направлениях.

Полученные данные позволяют предположить, что заселение кижучем побережий Охотского моря (как Североохотоморского, так и Западнокамчатского) произошло через соединение бассейнов рек северо-восточной части Камчатского полуострова и бассейна Пенжинской губы в их верховьях.

Похожее предположение может служить наиболее вероятным объяснением генетического сходства выборки из р. Авача с реками Западной Камчатки, хотя в данном случае нельзя исключить и возможность распространения кижуча вдоль побережья Камчатки через Первый Курильский пролив.

Работа выполнена в рамках государственного задания ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» и при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 18-04-01375-а и 20-04-00572-а) на базе ЦКП «Рыбохозяйственная геномика» (рег. номер 3579654, <https://ckp-rf.ru/catalog/ckp/3579654/>) с использованием УНУ «Биоресурсная коллекция ВБР» (рег. номер 3990221, <https://ckp-rf.ru/catalog/usu/3990221/>).

ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИЕ АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ В ГОРБУШЕ (*ONCORHYNCHUS GORBUSCHA*) ОХОТСКОГО МОРЯ

Столбова М.С.¹, Донец М.М.², Боровкова А.Д.², Овчинникова М.Р.¹, Беланов М.А.²,
Карпенко И.В.³, Литвиненко А.В.^{2,3}, Цыганков В.Ю.²

¹Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, stolbovamasch@yandex.ru

²Тихоокеанский институт географии (ТИГ ДВО РАН), г. Владивосток,

³Сахалинский государственный университет, г. Южно-Сахалинск

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) – это обширная группа органических соединений, состоящая из двух или более конденсированных ароматических колец. Они образуются как в результате хозяйственной деятельности человека (неполное сгорание ископаемого топлива, древесины, в результате разлива нефтепродуктов), так и некоторых природных процессов (лесные пожары, извержения вулканов). Благодаря своей широкой распространённости, обилию источников поступления, а также потенциальной канцерогенности и токсичности, ПАУ могут представлять существенную опасность для окружающей среды и человека.

Охотское море играет важную роль в рыболовном промысле России, обеспечивая значительную часть уловов на востоке страны. Здесь добываются такие ценные промысловые виды, как тихоокеанские лососи (кета, горбуша и нерка), треска, минтай, палтус и т.д. Тихоокеанские лососи в общей структуре вылова составляют порядка 20%. При этом основную долю добываемой рыбы занимает горбуша (61%). Несмотря на потенциальные угрозы для здоровья человека и состояния экосистем, ПАУ фактически не нормируются в экологических матрицах и промысловых объектах РФ, что создает потенциальную угрозу для здоровья населения. Цель работы – определить концентрации ПАУ в органах горбуши Охотского моря и выявить их потенциальные источники происхождения.

Образцы горбуши отбирались в Охотском море на юго-восточном побережье о. Сахалин в сентябре 2024 г. Органы предварительно обезвоживались методом вымораживания под вакуумом. Липиды экстрагировались из воздушно-сухих навесок смесью гексана и ацетона (1:1). Поллютанты извлекали из липидов методом гель-фильтрации с использованием оксида алюминия. Определение содержания ПАУ выполняли на газовом хромато-масс-спектрометре Shimadzu GC MS-QP 2010 Ultra с автодозатором АОС-5000. Статистический анализ результатов осуществлялся с помощью программного обеспечения R 4.4.2. Достоверность данных оценивали с помощью однофакторного дисперсионного анализа Крускала-Уоллиса с уровнем значимости $p \leq 0,05$. Проанализировано 14 приоритетных соединений по стандартам ЕРА: нафталин, флуорен, аценафтен, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, хризен, бензо(а)антрацен, бензо(б)флуорантен, бензо(к)флуорантен, бензо(а)пирен, дибензо(а, h)антрацен, бензо(г, h, i)перилен.

ПАУ были обнаружены во всех исследованных образцах. В мышцах горбуши суммарные концентрации низкомолекулярных ПАУ (НМ-ПАУ) (180–1220 нг/г с.м) оказались выше, чем уровни высокомолекулярных ПАУ (200–700 нг/г с.м) ($p \leq 0,05$). Это может указывать на значительный вклад нефтяного загрязнения в уровни поллютантов. Среди НМ-ПАУ доминировали нафталин и фенантрен, среди высокомолекулярных (ВМ-ПАУ) – флуорантен. Единично обнаружены антрацен (4,4 нг/г с.м), бензо(к)флуорантен (10,2 нг/г с.м и 18,4 нг/г с.м) и дибензо(а, h)антрацен (2,0 нг/г с.м и 1,9 нг/г с.м), что может указывать на малый вклад пирогенных источников загрязнения. Учитывая, что мышцы указывают на хроническое загрязнение, можно предположить постоянное поступление поллютантов в зонах нагула рыб. Преобладание низкомолекулярных соединений может говорить о значительном вкладе нефтяных источников загрязнения в поступление ПАУ в районе северо-западной Пацифики.

В печени горбуши концентрации ПАУ имели тенденцию к более высокой аккумуляции, по сравнению с мышцами, что связано с ее протекторной функцией и может указывать на недавнее поступление этих соединений в организм рыб. Среди НМ-ПАУ, как и в случае с мышцами, доминировали нафталин и фенантрен, среди ВМ-ПАУ – флуорантен и пирен. Бензо(b)флуорантен в образцах печени был ниже пределов обнаружения оборудования.

В гонадах самцов концентрации НМ и ВМ-ПАУ были значительно ниже, чем в других органах ($p \leq 0,05$). Нафталин, фенантрен и флуорантен также являлись доминирующими соединениями. Антрацен в образцах не обнаружен, единично встречались соединения бензо(k)флуорантена (3,6 нг/г с.м) и бензо(a)пирена (2,9 нг/г с.м и 2,1 нг/г с.м).

Различия в концентрациях различных конегенеров ПАУ обнаружены для большинства индивидуальных соединений. Большая часть различий подчинялась тенденции печень > мышцы > гонады самцов. Вероятнее всего это связано с большей жирностью печени, а также ее детоксицирующими свойствами, способствующими аккумуляции токсикантов в ее тканях для последующей модификации и выведения.

Большая часть ПАУ, как правило, образуется в результате хозяйственной деятельности человека. Антропогенные источники делят на петрогенные (источник – нефть и нефтепродукты) и пирогенные (источник – сгорание топлива, древесины и т.д.), которые различаются соотношением определенных конгенеров ПАУ. На основе таких индикаторных индексов можно определить источники происхождения загрязнения. В нашем исследовании мы рассматривали наиболее применяемые соотношения такие как антрацен/(фенантрен+антрацен), флуорантен/(флуорантен/пирен), флуорантен/пирен, фенантрен/антрацен и др. При оценке индукторных индексов выявлено преобладание петрогенного загрязнения в районе нагула горбуши Охотского моря.

Таким образом, ПАУ обнаружены во всех исследованных образцах, что указывает на их присутствие в экосистеме Охотского моря. Преимущественным источником этих соединений является нефть и нефтепродукты, на что указывают индикаторные соотношения, а также преобладание низкомолекулярных форм соединений. Несмотря на отсутствие нормативных документов, регулирующих уровни ПАУ в объектах экосистем, их наличие создает потенциальную угрозу для здоровья человека и состояния окружающей среды, что указывает на необходимость разработки регулирующих документов для этих поллютантов.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (соглашение 23-74-10032)

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕПЛООБМЕНА В БАРЕНЦЕВОМ И БЕРИНГОВОМ МОРЯХ

Сумкина А.А., Кивва К.К.

*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»,
г. Москва, sumkinaaleksa@yandex.ru, kivva@vniro.ru*

Тепловой баланс поверхности моря демонстрирует, сколько тепла было поглощено или отдано морем в результате обмена с атмосферой [Гидрометеорология..., 1990; Тепловой баланс..., 1956]. Процесс теплообмена оказывает значительное влияние на физические процессы в океане и атмосфере. Глубина проникновения конвекции в холодный период года определяется суммарной теплоотдачей с поверхности моря в атмосферу. Этот процесс влияет на формирование структуры вод и может играть важную роль в весеннем «цветении» фитопланктона. В тезисах рассмотрена суммарная теплоотдача в основных промысловых морях России – Баренцевом и Беринговом.

Использованы данные потоков коротковолновой и длинноволновой радиации, явного и скрытого тепла из атмосферного реанализа Европейского центра по среднесрочному прогнозированию погоды ERA5 (Европейский реанализ, версия 5). Анализ выполнен для интервала с 1979 по 2019 гг. для Баренцева моря и с 1979 по 2021 гг. для Берингова моря. Даты перехода теплового баланса через ноль для каждого периода определены следующим образом: выбраны те даты, после которых продолжительность периода с положительным/отрицательным тепловым балансом была наибольшей. Сумма теплового баланса за холодный период имеет отрицательный знак, а ее модуль отражает сезонную теплоотдачу с поверхности моря (выхолаживание поверхности).

В Баренцевом море средние значения суммарной теплоотдачи в холодный период снижаются в направлении с юга на север. Наибольшие по абсолютной величине значения наблюдаются в проливе Фрама (-4500 МДж/м²). Максимум теплоотдачи отмечается в зоне влияния центральной ветви Нордкапского течения (72° – 73° с.ш., 20° – 30° в.д.), где значения составляют от -4500 до -4000 МДж/м². В северной части Баренцева моря, где в течение последних 40 лет сохраняется сезонный ледовый покров, зафиксированы минимальные абсолютные значения суммарной теплоотдачи (ТБ) - от -1500 до -1000 МДж/м². Максимальная средняя теплоотдача в Беринговом море наблюдается в районе Корякского побережья (северо-западная часть Берингова моря) и вдоль склона шельфа -4500 до -3500 МДж/м². Минимальная средняя теплоотдача отмечается в районе восточного побережья Берингова моря -1500 до -500 МДж/м². Высокие значения теплоотдачи отмечается в районе южного побережья Чукотского полуострова -3500 до -3000 МДж/м². В глубоководных районах Берингова моря, свободных ото льда, средние показатели теплоотдачи составляют около -2000 МДж/м².

Литература

Терзиев Ф. С. и др. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Берингово море. – 1990.
Тепловой баланс земной поверхности / Под ред. Будыко М. И. Л.: Гидрометеиздат, 1956. 256 с.

ЭВОЛЮЦИЯ НЬЮФАУНДЛЕНДСКОГО ВИХРЯ В «ТРАНЗИТНОЙ ЗОНЕ» АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА

Травкина О.С.^{1,2}, Баимачников И.Л.^{1,2}

¹*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург,
olyasileverstova@gmail.com*

²*Фонд «Нансен-центр», г. Санкт-Петербург, igorb1969@mail.ru*

Крупномасштабная океаническая циркуляция, которую называют Глобальным океаническим конвейером, образует отдельную частично замкнутую ячейку в связке Атлантический-Южный океаны, функционирование которой во многом определяется интенсивностью конвекции в Северной Атлантике и апвеллингом в Южном океане. В этой ячейке теплые поверхностные воды образуют верхнюю ячейку конвейера и движутся на север через экваториальную Атлантику в субполярные широты, постепенно отдавая тепло в атмосферу. Достигнув субполярных широт, воды охлаждаются, их плотность увеличивается и в конечном итоге становится достаточной для того, чтобы воды могли опуститься на промежуточные глубины океана в зонах глубокой конвекции северного полушария. Далее глубинные воды вновь выходят на поверхность благодаря апвеллингу в Южном океане. Данная система течений называется Атлантической меридиональной океанической циркуляцией (АМОЦ), и основной движущей силой Глобального океанического конвейера и АМОЦ является термохалинный механизм – градиенты плотности, создаваемые колебаниями температуры и солености.

Теплые воды Гольфстрима, текущие на северо-восток, встречаются с холодными, текущими на юг водами Лабрадорского течения к востоку от Большой Ньюфаундлендской банки. Район слияния течений, называемый «транзитной зоной» (ТЗ) (37–47°с.ш., 40–55°з.д.), является важным регионом, определяющим динамику АМОЦ. Помимо взаимодействия в верхнем слое океана, здесь также пересекаются Гольфстрим и текущее на юг под ним Глубинное западное пограничное течение, составляющее в море Лабрадор глубинную часть Лабрадорского течения.

Известно, что АМОЦ играет центральную роль в переносе и перераспределении избыточного тепла и углекислого газа, снижает темпы глобального потепления, захоранивая избыточное тепло и углекислый газ в глубинах океана. Согласно модельным прогнозам, интенсивность АМОЦ может значительно снизиться в 21 веке. Изучение сезонной и межгодовой изменчивости Ньюфаундлендского вихря и «транзитной зоны» Атлантического океана является важной задачей, решение которой поспособствует углубленному пониманию глобальных климатических и синоптических процессов и их дальнейшему более точному прогнозированию. Таким образом, целью нашей работы является анализ сезонной и межгодовой изменчивости Ньюфаундлендского вихря и «транзитной зоны» Атлантического океана.

В работе используются ежесуточные данные по температуре, солёности, U и V компонентам скоростей и высоте морской поверхности глобального океанического реанализа GLORYS12V1, предоставленного Copernicus Marine Service (CMEMS), за период с 1993 по 2022 гг. Для расчётов данные по вертикали использовались от поверхности до глубины 3000 м.

Одним из механизмов, влияющих на интенсивность АМОЦ, является формирование мезомасштабных вихрей, переносящих тепло, соль и энергию. В северо-восточной части ТЗ был обнаружен квазистационарный антициклонический вихрь – Ньюфаундлендский вихрь, располагающийся в топографическом понижении. Для анализа параметров вихря нами был разработан алгоритм автоматического обнаружения вихря на основе ежесуточных данных по высоте морской поверхности. Было установлено, что радиус вихря варьируется от 55 до 95 километров и имеет сезонный ход, наибольшие значения радиуса наблюдаются в весенне-летний период, наименьшие – в зимний. Также

прослеживается межгодовая изменчивость радиуса: в период с 1998 по 2004 гг. радиус вихря был наибольшим, в 2005–2009 гг. наблюдается уменьшение радиуса, далее резкий рост в 2010 г., затем снижение и рост с 2012 года. Подобная изменчивость радиуса связана с межгодовой изменчивостью АМОЦ. В течение года вихрь движется по антициклонической траектории в районе котловины, не покидает её пределов и является топографически захваченным. По вертикали вихрь выделяется в слое от 0 до 2000 м в полях солёности, температуры, скоростей течений, а также по частоте Вейсалея-Брента, относительной и потенциальной завихренности.

Энергия в Мировом океане делится на среднюю кинетическую энергию (Mean Kinetic Energy, сокр. МКЕ), вихревую кинетическую энергию (Eddy Kinetic Energy, сокр. ЕКЕ), среднюю доступную потенциальную энергию (Mean available Potential Energy, сокр. МРЕ) и вихревую доступную потенциальную энергию (eddy Available Potential Energy, сокр. АРЕ). Для анализа скорости преобразования энергии из одного типа в другой используют показатели скорости бароклинного (ВС) и баротропного (ВТ) преобразования энергии, что было сделано в данной работе. Во всем Мировом океане одни типы энергии переходят в другие. Так, скорость бароклинного преобразования энергии (ВС) характеризует скорость преобразования средней доступной потенциальной энергии (МРЕ) в вихревую доступную потенциальную энергию (АРЕ), которая является одним из источников генерации мезомасштабных вихрей. При этом ВТ характеризует скорость преобразования средней кинетической энергии (МКЕ) в вихревую кинетическую энергию (ЕКЕ). Если значения ВТ являются положительными, то происходит трансформация энергии средних горизонтальных сдвигов и передача ее вихревому полю; при положительных значениях ВС осуществляется перераспределение энергии из поля МРЕ в вихревое поле.

Было установлено, что в Ньюфаундлендской котловине наибольшие значения ЕКЕ регистрируются в теплое время года, тогда как зимой значения минимальны. В слое от 1000 до 2000 м в Ньюфаундлендской котловине и в «транзитной зоне» значения ЕКЕ остаются высокими (более $130 \text{ см}^2/\text{с}^2$), что демонстрирует наличие динамического сигнала вихря до больших глубин. Значения МКЕ максимальны в западной части Ньюфаундлендской котловины, причем в летне-весенний период они увеличиваются. Как и ЕКЕ, МКЕ прослеживается и на больших глубинах. В исследуемом районе наблюдается активный переход энергии из одних типов в другой. Ньюфаундлендский вихрь активно обменивается энергией с течением, о чём свидетельствуют положительные и отрицательные значения ВТ в районе Ньюфаундлендской котловины. Для ВС свойственны существенные отрицательные значения в районе «транзитной зоны», что может быть связано с поглощением вихрем течением, при этом энергия переходит от доступной потенциальной в среднюю потенциальную.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ШЕЛЬФА СИБИРСКОЙ АРКТИКИ

Уголькова Е.А.¹, Гершелис Е.В.¹, Дударев О.В.², Семилетов И.П.²

*¹Научно-технологический университет «Сириус», Федеральная территория «Сириус»,
ugolkova.ea@talantiuspeh.ru, gershelis.ev@talantiuspeh.ru*

*²Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева, г. Владивосток,
dudarev@poi.dvo.ru, ipsemiletov@gmail.com*

Арктика является наиболее чувствительным регионом Земли, где потепление происходит в четыре раза быстрее среднемировых показателей. Потепление приводит к сокращению морского льда, увеличению речного стока и дестабилизации наземной и подводной мерзлоты. Основными источниками поступления терригенного материала на шельф являются береговая эрозия и сток сибирских рек, дренирующих обширные водосборы, покрытые многолетней мерзлотой. Многие исследования были сосредоточены на транспорте и трансформации органического углерода мерзлотного происхождения в системе "суша-шельф" Арктики. Меньшее внимание было уделено микроэлементам, особенно металлам, которые были заморожены в мерзлоте на протяжении тысячелетий, а теперь вовлекаются в различные биогеохимические циклы.

В данном исследовании изучены содержание и источники микроэлементов в современных осадках Карского, Лаптевых и Восточно-Сибирского морей, чтобы получить новые данные о контрастных паттернах поступления осадочного материала, связанного с мерзлотой, в различных районах сибирских шельфовых морей.

Пробы осадков были отобраны на 10 станциях в Карском море, море Лаптевых и Восточно-Сибирском море в ходе рейса АМК-86 на борту НИС «Академик М. Келдыш» в октябре-ноябре 2021 г. Глубина отбора не превышала 10 см. Исследуемые осадки были нарезаны на слои толщиной 1 см и хранились при $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до анализа.

Был проведен химический анализ донных отложений. Металлы (Al, Li, Ti, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Ca, Ba, Pb, Hg) определялись методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS, NexIon 300D, Perkin Elmer, США). Для контроля точности анализа использовались многокомпонентные стандарты Perkin Elmer. Гранулометрический анализ был проведен на лазерном анализаторе.

Гранулометрический состав всех изученных осадков представлен преимущественно алевритом (мелкозернистым и крупнозернистым) с различной долей песка и глины. В Карском и Восточно-Сибирском морях наибольшая доля крупнозернистых осадков (до 30,2% и 23,6% песка соответственно) наблюдается в прибрежных районах. В Карском море с удалением от берега доля алеврита увеличивается на 26%, а содержание глины практически не меняется. В Восточно-Сибирском море с удалением от берега доля глины возрастает на 103%, песка — на 53%, а доля алеврита снижается на 34%. В море Лаптевых осадки внешнего шельфа характеризуются относительно высоким содержанием песка (до 22,9%). С удалением от берега доля глины увеличивается на 44%, песка — на 68%, а доля алеврита снижается на ~26%.

Медианные концентрации Li, Al, Ti, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Cd, Ba, Hg и Pb в осадках составили 9.38, 5588.21, 44.76, 42.14, 16.02, 11.21, 15.52, 19.27, 28.70, 11.37, 0.38, 0.06, 19.86, 0.03 и 8.89 мг/кг сухой массы в Карском море, 20.59, 8585.04, 54.98, 55.72, 16.51, 9.88, 19.37, 15.39, 38.78, 10.19, 0.48, 0.06, 26.64, 0.04 и 11.64 мг/кг сухой массы в море Лаптевых и 18.82, 7272.64, 30.49, 22.23, 13.27, 9.15, 15.82, 14.37, 39.88, 5.69, 0.72, 0.11, 32.62, 0.06 и 11.50 мг/кг сухой массы в Восточно-Сибирском море, соответственно.

В Карском море наблюдается четкое разделение содержания элементов по глубинам: литофильные элементы (Li, Al, Ti, V, Cr, Co, Ni, Zn, Hg) концентрируются в более глубоких слоях (доиндустриальный период); халькофильные (Cu, Cd, Pb) и редокс-

чувствительные элементы (As, Mo, Ba) преобладают в поверхностных и придонных слоях, отражая современные антропогенные и гидродинамические процессы.

В море Лаптевых распределение металлов коррелирует с изменениями условий осадконакопления (морские / речные фации). В дельте реки Лены максимальные концентрации Li, Al, Cr, Co, Cu, As, Cd, V, Ni, Zn, Mo, Ba, and Pb встречаются в морских фациях (1 и 3 см), Ti, Hg – речные фации (2 см). По профилю суша-шельф максимальные концентрации Ti, V, Ni, Zn, As, Mo, Ba, Hg и Co приходится на морскую фацию (1 см), Li, Pb и Al, Cr, Cu, Cd – на речную (3 и 8 см).

В прибрежном районе Восточно-Сибирского моря максимальные концентрации V, Cr, Ni, Cu, Zn, Ba, Pb и Li, Al, Ti, Co, As, Mo, Cd встречаются в слоях 5 и 8 см ($D_{50} = 0.012$ мм и 0.021 мм). С удалением от берега максимальные концентрации Li, Al, Ti, V, Cr, Co, Ni, Zn, As, Ba, Hg и Pb встречаются в слое 2 см, а Cu, Mo, Cd – 4 см. В самой северной точке пиковые концентрации всех элементов встречаются в доиндустриальном слое (9 и 7 см), исключения составляют Mo and Pb, повышенные концентрации которых встречаются в слое 3 см, что может быть связано с антропогенным влиянием.

Данное исследование уточняет распространение химических элементов на шельфе морей Сибирской Арктика как по площади, так и по глубине.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-17-20030, <https://rscf.ru/project/24-17-20030/>»

ПЕРЕПИСЬ И СВОЙСТВА МЕЗОМАСШТАБНЫХ ФРОНТАЛЬНЫХ ВИХРЕЙ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ В 1993-2022 ГГ.

Удалов А.А., Лобанов В.Б., Ладыченко С.Ю., Будянский М.В., Пранц С.В., Салюк А.Н.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток,
udalov.aa@poi.dvo.ru*

Японское море (ЯМ) - полузамкнутое окраинное море средних широт с максимальной глубиной 3720 м (3,72 км) и средней глубиной около 1500 м (1,5 км). Оно сообщается с Тихим океаном на юго-востоке через Цусимский пролив (между Корейским полуостровом и Японскими островами) и на востоке через пролив Цугару (между островами Хонсю и Хоккайдо). Тёплая и солёная тихоокеанская вода поступает преимущественно через Цусимский пролив. На севере ЯМ соединяется с Охотским морем через пролив Соя (Лаперуза) (между Сахалином и Хоккайдо) и Татарский пролив (между материком и Сахалином). ЯМ охватывает климатические режимы от субарктического до субтропического.

Субполярный фронт (СПФ) расположен между 39° и 41° с. ш. и протягивается через весь бассейн от корейского побережья до Японских островов. Он разделяет субтропические и субарктические водные массы, которые отличаются физико-химическими свойствами и вертикальной структурой. Меандрирование течений сопровождается образованием вихрей разной полярности и размеров в центральной и восточной частях фронта, что вызвано бароклинной неустойчивостью.

Используя данные альтиметрии в промежуток с 1 января 1993 по 31 декабря 2022 гг., мы провели систематический учёт вихрей субполярного фронта в северо-западной части Японского моря с помощью алгоритма автоматического отслеживания вихрей AMEDA. Было обнаружено две области с повышенной частотой появления антициклонов и три области с повышенной частотой появления циклонов. За весь период в этих областях было идентифицировано 79 АЕ и 116 СЕ с продолжительностью жизни более 30 дней. Большинство этих вихрей не перемещались далеко. Они циркулировали и распадались в основном в областях своего формирования. Это медленно движущиеся объекты со средней поступательной скоростью 4,7 км/день для АЕ и 6,5 км/день для СЕ. Время жизни фронтальных мезомасштабных АЕ и СЕ варьируется от 1 до 12 месяцев, со средним значением 3,1 месяца для АЕ и 2,7 месяца для СЕ. Размер вихря варьируется от 30 до 140 км со средним размером 62 км для АЕ и 72 км для СЕ. Оценка параметра нелинейности показывает, что большинство вихрей (85% АЕ и 65% СЕ) являются нелинейными образованиями, переносящими воду в своих ядрах. Большинство обнаруженных долгоживущих АЕ (71%) образовались в холодное время года, с сентября по апрель. Это связано с муссонным ветровым режимом в этом районе с преобладанием северо-западного и северного ветра в холодное время года, что создаёт благоприятные условия для образования АЕ в западном домене (131–132° в. д.). СЕ образуются и затухают равномерно в течение года.

Финансирование: Работа выполнена в рамках поддержки гранта РФФ (№ 23-17-00068)

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НОВЫХ ВИДОВ РАДИОЛЯРИЙ ИЗ РОДА *CARPOCANIUM* В ОТЛОЖЕНИЯХ ЮЖНЫХ ГАЙОТОВ ИМПЕРАТОРСКОГО ХРЕБТА

Хмель Д.С.

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток,
khmel.ds@poi.dvo.ru

Анализируя богатый таксономический состав радиолярий в поверхностных осадках южной части Императорского хребта (237 видов и внутривидовых таксонов) были обнаружены и описаны пять новых видов из рода *Carpocanium*: *C. rotundum*, *C. tulipa*, *C. fungus*, *C. fragaria*, *C. alabastrum*. Выделение приведённых видов как новые обосновано морфологией, отличающей их от других представителей рода *Carpocanium*.

Цель настоящей работы – выявить особенности распределения новых видов в районе южных гайотов Императорского хребта.

Изучаемые виды описаны из осадков, отобранных Национальным научным центром морской биологии совместно с Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН в ходе проведения комплексных экспедиций в 86 и 94 рейсах НИС «Академик М.А. Лаврентьев» в 2019 и 2021 гг. (рисунок). Материал представляет собой поверхностные осадки (0–3 см) и короткие колонки осадков (0–27 см), отобранные на глубинах 2242–777 м.

Результаты. Вид *C. fungus* обнаружен в осадках гайотов: Нинтоку – 0,5% и Джингу – 0,6% (рисунок). Вид *C. alabastrum* присутствует в осадках гайотов Джингу – 0,5%, Оджин – 0,4% и Коко – 0,3–0,4%. Вид *C. fragaria* встречен только в осадках гайота Коко – 0,3%. Вид *C. rotundum* содержится в осадках гайотов Нинтоку – 0,5%, Джингу – 1,7–2,9% и Коко – 0,3–0,9%. Вид *C. tulipa* найден в осадках гайотов Джингу – 1,1% и Коко – 0,3–1,2%, и распространён как в поверхностных осадках (0–3 см), так и на глубине 8–9 см в керне LV94-12-K2. Поскольку определение абсолютного возраста изучаемых осадков не проводилось, можно предположить, что данный вид имеет более древнее происхождение, чем современное.

Таким образом, недавно описанные новые виды рода *Carpocanium* в осадках южных гайотов Императорского хребта имеют незначительные концентрации и содержатся, главным образом в верхних 0–3 см, кроме вида *C. tulipa*, который также присутствует на глубине 8–9 см.

Автор благодарит Т.Н. Даутову за материал поверхностных осадков и научного руководителя Л.Н. Василенко за помощь в работе.

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева ДВО РАН (тема № 124022100084-8).

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ МАКСИМУМОВ МЕТАНА, ГЕЛИЯ И ВОДОРОДА В ПРОЛИВЕ ЛАПЕРУЗА

Холмогоров А.О.¹, Сырбу Н.С.¹, Лобанов В.Б.¹, Жарков Р.В.², Мальцева Е.В.¹

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

г. Владивосток, kholmogorov.ao@poi.dvo.ru

²Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, ул. Науки, 1Б, Южно-Сахалинск, 693022 Россия

Представлены результаты комплексных океанографических измерений в проливе Лаперуза. Проведенные измерения концентраций, растворенных в морской воде метана, гелия и водорода показали, что пролив Лаперуза является областью дегазации. Обнаружены поля повышенных концентраций растворенного в воде метана до 14 нМ/л, гелия до 11 ppm и водорода до 23 ppm. Найдена область выхода газа из придонного источника в западной части пролива. Сложная система течений в проливе обеспечивает перенос растворенных метана, гелия и водорода из Японского и Охотского морей.

Пролив находится в зоне геологических формирований Хоккайдо-Сахалинской складчатой области на траверсе системы меридионально ориентированных разломов, на которых также линейно расположены грязевые вулканы в пределах Западно-Сахалинского складчатого сооружения и пояса Сорачи-Иезо, обрамленных западно-сахалинской и центрально-сахалинской системой разломов: Камихоронобе (северная часть о. Хоккайдо), Южно-Сахалинский и Лесновский грязевые вулканы (южная часть о. Сахалин), группа Пугачевских грязевых вулканов, включая Восточный грязевой вулкан (центральный Сахалин). Верхнемеловой докайнозойский фундамент Хоккайдо-Сахалинской орогенной системы простирается вдоль острова Сахалин с севера на юг, далее через пролив Лаперуза и продолжается вдоль о. Хоккайдо.

Высокие значения мутности, а также снижение солености в области абсолютного максимума метана указывают на наличие здесь выхода газонасыщенного флюида, что может являться следствием проявления грязевого вулканизма. Сравнение компонентного состава свободного газа, а также результатов изотопного анализа, показало сходство грязевых вулканов южной части о. Сахалин и северной части о. Хоккайдо. Вероятно, что к меридионально ориентированной системе разломов Хоккайдо-Сахалинской складчатой области приурочена цепь Хоккайдо-Сахалинских грязевых вулканов.

Проведенный анализ структурных и геологических особенностей, а также газового и изотопного состава грязевулканических систем позволяет утверждать, что, вероятно, к сети разломов Хоккайдо-Сахалинской складчатой области привязана Хоккайдо-Сахалинская цепь грязевых вулканов.

Работы, связанные с проведением экспедиций, были осуществлены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания ТОИ ДВО РАН № 124022100078-7 и 124022100079-4. Газогеохимические исследования, а также аналитическая работа выполнены за счет гранта Российского научного фонда № 23-77-10038.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДООБМЕНА МЕЖДУ БЕРИНГОВЫМ МОРЕМ И ТИХИМ ОКЕАНОМ ЧЕРЕЗ ПРОЛИВ БЛИЖНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ GLORYS12V1, GOFS 3.1 И JCOPE2M

Худякова С.П.¹, Белоненко Т.В.¹, Будянский М.В.^{1,2}, Улейский М.Ю.²

*¹Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург,
khydyakova.s@gmail.com*

²Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток

Водообмен через проливы Алеутских островов представляет особый интерес исследователей, поскольку архипелаг выступает естественной границей между Беринговым морем и северной частью Тихого океана. Заток тихоокеанских вод в Берингово море определяется наличием струйного Аляскинского течения, расположенного к югу от архипелага и движущегося на запад. Течение продолжается в виде Северо-Алеутского склонового течения к северу от Алеутских островов. Согласно исследованиям, около половины потока Аляскинского течения проникает в Берингово море через самые глубокие проливы архипелага, такие как Амукта, Амчитка и Ближний. При этом через проливы переносится тепло, соль и биогенные элементы. Пролив Ближний, расположенный в западной части Алеутского архипелага, является самым широким проливом в системе Алеутских островов. По ряду оценок, через него осуществляется основной перенос вод из Аляскинского течения в Берингово море.

Работа посвящена количественной оценке водообмена через пролив Ближний на основе четырех наборов данных. Анализ данных за период 1993–2021 гг показывает, что преобладающее направление водообмена через пролив – поступление вод из Тихого океана в Берингово море. Установлена существенная межгодовая изменчивость: в отдельные годы (1995, 2017 и 2018 г.) среднесуточный расход воды превышал 15 Св (1 Св = 10^6 м³/с), а наименьшие значения расхода (менее -5 Св) наблюдались в 1998, 2000 и 2021 г. Была отмечена сезонность расхода воды через пролив: максимальные значения фиксируются в холодное время года, а минимальные – в теплое. Это обусловлено усилением/ослаблением алеутского минимума, определяющего атмосферную циркуляцию в зимний период в данном регионе.

Было проведено сравнение продуктов системы CMEMS – океанического реанализа GLORYS12V1 (DT) и прогностического продукта GLOBAL_ANALYSISFORECAST (NRT) на интервале их перекрытия (первое полугодие 2021 г.). Расход, рассчитанный на основе NRT, систематически превышал значения, полученные по данным массива DT. Разница между наборами данных достигала более 5 Св в отдельные периоды. Средний расход воды через пролив Ближний за период с 1 января по 30 июня 2021 г по данным DT составил 2.0 Св, а по данным NRT – вдвое больше (4.7 Св). Дополнительно проведено сравнение продуктов CMEMS с японским реанализом JCOPE2M и американским реанализом GOFS 3.1. Средний расход по данным JCOPE2M оказался наибольшим среди всех рассмотренных наборов данных и составил 6.2 Св, тогда как по данным GOFS 3.1 он равнялся 4.5 Св, что близко к значениям NRT (4.7 Св). Данные выводы подтверждают высокую степень изменчивости водообмена через пролив Ближний и подчеркивают необходимость интеграции различных источников данных для повышения точности оценки.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛЕЙ ПОВЫШЕННЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ МЕТАНА НА ВОСТОЧНОМ ШЕЛЬФЕ ОСТРОВА САХАЛИН

Холмогоров А.О., Сырбу Н.С., Лобанов В.Б., Жердев П.Д., Мальцева Е.В.

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, ekor@poi.dvo.ru

Восточно-Азиатская окраина имеет сложную тектоническую структуру, связанную с аккреционными и коллизионными процессами. О. Сахалин и прилегающие акватории сформировались в результате развития активных тихоокеанских окраин [1]. Недооценка материковой и прибрежной частей окраинных морей ведет к неполному пониманию газогеохимических процессов. Метан, водород, гелий и углекислый газ, растворенные в воде, используются для индикации зон разломов, прогнозирования сейсмической активности, оценки состояния окружающей среды и поиска месторождений углеводородов. Гидрологические факторы оказывают существенное влияние на распределение и перенос растворенных в морской воде газов.

Цель работы – изучение влияния геологических и гидрологических факторов на концентрации растворенных газов на восточном мелководном шельфе о. Сахалина.

Эти исследования продолжают работы на охотоморском шельфе о. Сахалина в 2023 г., где обнаружены многочисленные нефтегазоносные структуры и проявления термальных вод.

Материалы и методы:

В ходе рейса №88 НИС «Профессор Гагаринский» (23 августа – 20 сентября 2024 г.) с помощью батометров системы Нискина отбирались пробы воды для измерения концентраций, растворенных метана, гелия, водорода и углекислого газа. Отбор проб проводился на станциях при СТД-зондировании на глубинах от поверхности до дна.

Для определения концентраций газов применялся метод равновесных концентраций «HeadSpace» [2]. Вода отбиралась методом «тройного перелива» в стерильные стеклянные бутылки (68 и 100 мл) с герметичными резиновыми пробками. Для анализа метана в бутылки вводился гелий (10 мл), для анализа гелия и водорода – атмосферный воздух (10 мл). После перемешивания газовая фаза извлекалась шприцем и вводилась в газовый хроматограф. Анализы проводились на хроматографах «Хроматэк-Кристалл 9000» (метан) и «Хроматэк-Газохром 2000» (гелий, водород) в лаборатории ТОИ ДВО РАН.

Результаты:

Выполненные исследования выявили интенсивные источники дегазации на южном восточном шельфе о. Сахалин, увеличивающиеся с востока на запад. Зафиксированы абсолютные максимумы концентраций растворенных в морской воде газов: CH_4 до 139 нМ/л, He – 12 ppm, H_2 – 135 ppm, CO_2 - 0.4 % [3], это указывает на их глубинное происхождение. Повышенные концентрации газов связаны с Пограничным разломом и нефтяными месторождениями, подтверждая влияние глубинной флюидодинамики на газогеохимические особенности шельфа.

Выделяемый из этих источников метан растворяется в холодных промежуточных водах Охотского моря. Однако помимо зон, непосредственно примыкающих к придонным источникам, повышенные концентрации метана были обнаружены и в основной ветви Восточно-Сахалинского течения. Это говорит о том, что течение переносит растворенный метан на значительные расстояния, перемещая его с севера на юг вдоль побережья.

Заключение: Выявленная картина свидетельствует о комплексной системе взаимодействия глубинных геологических процессов и гидродинамики. Глубинные флюидные потоки, связанные с тектонической активностью и нефтегазовыми месторождениями, являются источником значительных количеств метана, гелия и

водорода. Эти газы, растворяясь в морской воде, затем переносятся Восточно-Сахалинским течением, формируя характерное пространственное распределение аномалий, отмечающееся высокой интенсивностью дегазации в западной части исследуемого района шельфа.

Работы были осуществлены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания ТОИ ДВО РАН (№ 124022100078-7). Газогеохимические исследования, а также аналитическая работа выполнены за счет гранта Российского научного фонда (№ 23-77-10038).

Литература

1. Oliver J., Isacks B.L., Barazangi M. **1974**. Seismicity at Continental Margins. In: Burk C.A., Drake C.L. (eds) *The Geology of Continental Margins*. Berlin, Heidelberg, Springer, 85-92. https://doi.org/10.1007/978-3-662-01141-6_7.
2. Vereshchagina O.F., Korovitskaya E.V., Mishukova G.I. **2013**. Methane in water columns and sediments of the north western Sea of Japan. *Deep-Sea Research II*, 86–87: 25–33.
3. Шакиров Р.Б., Сырбу Н.С., Обжиров А.И. **2016**. Особенности распределения гелия и водорода на юго-восточном и юго-западном склоне о. Сахалин (по результатам 59 рейса НИС «Академик М.А. Лаврентьев», 2012 г.). *Литология и полезные ископаемые*, 1: 1–14.

МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ВОД СРЕДНЕГО КАСПИЯ

Чевычелова Е.А., Анисимова Е.В., Духова Л.А., Суворова А.С.

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), г. Москва serebren.vniro@gmail.com, e.v.anisimova@inbox.ru, dukhova@mail.ru

Гидролого-гидрохимическая структура вод Среднего Каспия является результатом продукционно-деструкционных процессов под воздействием физических факторов в экосистеме, чрезвычайно чувствительной к изменениям климата. При изучении ее многолетней динамики исследователи традиционно выделяют фазы роста и падения уровня моря, интегральной характеристики водного баланса Каспия. Текущий период падения уровня продолжается с начала 2000-х годов, в связи с чем угнетенное состояние экосистемы Каспийского моря постепенно усугубляется.

В благоприятных условиях в летний период первичное продуцирование в Среднем Каспии обеспечивалось различными источниками биогенных элементов. Помимо интенсивного поступления с речным стоком и дальнейшего распространения с системой течений, биогенные элементы также поступали из подповерхностных горизонтов благодаря развитию сезонного ветрового апвеллинга. Многолетнее уменьшение объемов речного стока привело к тому, что запас минеральных форм азота, фосфора и кремния в верхнем 100-метровом слое постепенно снижался, как и вклад апвеллинга в формирование новой первичной продукции. С 2017 года в поверхностных водах Среднего Каспия в летний период часто наблюдаются следовые концентрации биогенных элементов, а наличие небольшого пересыщения вод растворенным кислородом свидетельствует о первичном продуцировании за счет рециклинга биогенных элементов.

За пределами фотической зоны содержание минеральных форм азота, фосфора и кремния постепенно возрастает с глубиной, а содержание растворенного кислорода падает. На горизонтах 200–300 метров располагается слой нитратного максимума. Глубже отмечаются признаки гипоксии: в 2022 году на 400 м концентрация растворенного кислорода составила 0,5 мл/л (5,4%), а на 600 м кислород уже отсутствовал. В условиях недостатка кислорода нитраты подвергаются денитрификации, что приводит к уменьшению мощности слоя нитратного максимума и накоплению аммонийного азота, концентрация которого у дна в самой глубокой точке Дербентской котловины составляла в сентябре 2022 года 77 мкг/л. Аналогично в результате сульфат-редукции в придонных водах происходит постепенное накопление сероводорода.

Впервые в современный период падения уровня сероводород в придонных горизонтах Дербентской впадины (770–780 м) был обнаружен в начале 2000 годов, а с 2006 года ежегодно отмечался постепенный рост его концентраций. По данным ВНИРО в июле-августе 2019 г. в придонных водах Дербентской котловины концентрация сероводорода составила 0,6 мл/л, в к осени 2022 года достигла 1,2 мл/л. Если в 2013 году бескислородные воды занимали нижние 150–170 метров, то к 2022 году мощность придонной анаэробной зоны в Среднем Каспии составляла уже около 400 м. Многолетнее сохранение гипоксии в глубинных водах отчетливо указывает на слабое развитие зимней конвекции, способной сформировать запас биогенных элементов в фотической зоне к началу теплого сезона.

Круглогодичная изоляция глубинных вод в условиях многолетнего снижения объемов речного стока привела к ухудшению условий для первичного продуцирования в Каспийском море.

По опубликованным данным КаспНИРХ о состоянии фитопланктонного сообщества с 2016 года наблюдается устойчивое снижение продуктивности Каспийского моря:

численность и биомасса некоторых видов фитопланктона уже к 2020 году сократилась на порядок.

Результаты многолетних исследований гидролого-гидрохимической структуры вод Среднего Каспия показывают, что тенденции, возникшие в конце 2000 годов, сохраняются: многолетний интенсивный однонаправленный перенос биогенных элементов с детритом из поверхностного слоя в глубинные воды при слабом действии сезонных механизмов их пополнения приводит ко все более значительному снижению продуктивности фотической зоны и развитию гипоксии в глубинных водах Среднего Каспия.

РАСЧЕТ ПЕРЕНОСА ПАССИВНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПОВЕРХНОСТИ УССУРИЙСКОГО ЗАЛИВА В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2018 ГОДА

Чернявская Д.К.¹, Файман П.А.².

¹*Дальневосточный Федеральный Университет, ИМиКТ, ДПИиИИ, г. Владивосток,
dcherniyvskaya@mail.ru*

²*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Лаборатория нелинейных
динамических систем, г. Владивосток, Pfauman@poi.dvo.ru*

В течение последних лет увеличилось количество несчастных случаев, связанных с пропажами людей на воде. Чаще всего это происходит с отдыхающими в пляжной зоне из-за несоблюдения ими правил безопасного купания в море. Согласно интернет-изданиям, на пляжах Владивостокского городского округа за последние 3 года произошло более 20 несчастных случаев с летальным исходом.

Иногда несчастные случаи происходят из-за аварий на морских объектах. Вследствие подобных инцидентов возникает проблема розыска людей, пропавших без вести, поскольку тело человека после несчастного случая может быть подхвачено морскими течениями и унесено на значительное расстояние от места происшествия.

Целью данной работы является разработка метода, который позволяет рассчитать траекторию движения пассивного объекта на поверхности моря. Таким объектом может быть человек, оказавшийся в силу различных причин в открытом море или плавсредство без управления.

Область, в которой рассчитывается траектория движения, включает всю акваторию Уссурийского залива и прилегающую к нему область залива Петра Великого. Начальная точка находится в районе бухты Лазурная (Шамора). Рассматриваемый период времени – купальный сезон 2018 года.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи.

1) Вычислить поле морских течений с высоким пространственно-временным разрешением в области, в которой рассчитываются траектории движения.

2) Вычислить траекторию движения пассивного объекта.

Расчет течений выполнен на базе Системы моделирования региональной океанографии (Regional Ocean Model System – ROMS), основанной на примитивных нелинейных уравнениях со свободной поверхностью и s-системой координат по вертикали. Область моделирования лежит в пределах 40.5–43.5° с.ш. и 129.5–135.5° в.д.. Шаг сетки по горизонтали 600 м, дискретность сетки по вертикали – 32 s-слоя с улучшенным разрешением в приповерхностных и придонных слоях. Среднесуточные данные для расчета потоков тепла и пресной воды на поверхности (атмосферное давление на поверхности, поток коротковолновой радиации, относительная влажность, осадки, температура воздуха, облачность и пр.) получены с NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis. Данные ветра на поверхности моря взяты с результатов спутникового зондирования Global Ocean Wind Analysis - Blended ASCAT.

Граничные условия на жидкой границе формировались на основе среднесуточных данных океанографического реанализа Japan Coastal Ocean Predictability Experiment (JCOPE2) с разрешением 1/12 градуса по горизонтали. Среднесуточные данные расходов рек, впадающих в зал. Петра Великого (Партизанская, Суходол, Шкотовка, Артемовка, Раздольная), взяты из Автоматизированной информационной системы государственного мониторинга водных объектов Федерального агентства водных ресурсов.

Расчет был выполнен для гидрометеорологических условий 2018 года. Результатами расчетов были данные течений с дискретностью по времени один час. Моделирование течений на основе ROMS проводилось на оборудовании ЦКП «Дальневосточный вычислительный ресурс» ИАПУ ДВО РАН.

Расчет траектории движения пассивных объектов был выполнен при помощи ROMSPath. ROMSPath – это модель отслеживания частиц в оф-лайн режиме, которая работает на основе данных течений ROMS. В ROMSPath используется схема Рунге-Кутты 4-го порядка для расчета адвекции частиц.

Порядок расчета транспорта пассивных объектов следующий. В девятисто один суточный период с 15 июня до 15 сентября включительно каждый час на поверхности акватории бухты Лазурная условно помещались 177 трассеров. Таким образом было проведено 2184 расчета (91 день * 24 часа). Период каждого расчета – 3 суток. Результаты расчета показали, что большая часть трассеров остается в пределах акватории бухты Лазурная. Исключения составляют следующие периоды. Первый период: 31 июля – 2 августа, когда трассеры выносятся в юго-восточном направлении и 3 августа возвращаются обратно в область бухты Лазурная. Второй период: 10–14 августа, когда трассеры переносятся интенсивным вдольбереговым течением, направленным в юго-западном направлении. Третий период: 16–19 августа, когда сильное течение унесло группу трассеров в Юго-Западном направлении. 17 августа группа разделилась, часть прибило к берегу в удалении более 10 км в Юго-Западном направлении от исходной позиции, другие две части унесло на расстояние около 15–20 км в Юго-Западном направлении. После того как течение изменилось на Северо-Восточное, унесенные части группы начали движение в Восточном направлении.

Таким образом все инциденты, связанные с выносом пассивных трассеров в открытое море, определяются интенсивным отжимным потоком Южного или Юго-Западного направлений.

ОСОБЕННОСТИ ГРАНИТОИДОВ ОСТРОВА АСКОЛЬД (ЗАЛИВ ПЕТРА ВЕЛИКОГО, ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

Чернов Д.Д.¹, Якимов Т.С.², Вороных В.О.¹, Буртнык Д.Д.¹

¹Дальневосточный федеральный университет г. Владивосток, awerto_torres@mail.ru

²¹Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, iakimov.ts@poi.dvo.ru

На острове Аскольд расположено одноименное месторождение золота, связанное с интрузией верхнемеловых гранитов и мощной зоной дробления. На острове помимо верхнемеловых представлены среднепалеозойские гранитоиды [Леликов, 2013].

Изученные среднепалеозойские гранитоиды представляют собой гранодиориты сложенные: плагиоклазом до 40 об. % преимущественно олигоклазом, реже андезином, кварцем до 20 об. %, КПШ до 20 об. %, темноцветные минералы представлены биотитом и роговой обманкой до 15 об.%. Акцессорными минералами выступают циркон и магнетит. Также гранодиориты имеют следующие геохимические характеристики: SiO₂ от 63.27 до 67.6 масс. %, Al₂O₃ 15.93 до 18.95 масс. %, FeO_{tot} от 2.21 до 6.3%, MgO 0.62-2.00 масс. %, CaO 4,23 масс. %, Na₂O 3.79-4.07 масс. % и K₂O 1.23-2.93 масс. %. На диаграммах распределения РЗЭ легкие РЗЭ преобладают над тяжелыми РЗЭ, европиевая аномалия отсутствует и Eu/Eu* составляет 0.9. На мультиэлементных спектрах отмечаются минимумы по Zr, Nb (Ta), Ti, Ba и максимумы по P, Pb, K и Sm.

Верхнемеловые граниты состоят из КПШ до 60 об. %, кварца до 30 об. %, биотита до 15 об. %. Акцессорные минералы представлены цирконом. Петрогенные элементы представлены в виде SiO₂ от 67 до 75.02 масс. %, Al₂O₃ 13.11 до 15 масс. %, FeO_{tot} от 1.8 до 2.92 масс. %, MgO 0.28-2 масс. %, CaO 0.54-1.89 масс. %, Na₂O 2.73-4.28 масс. % и K₂O 2.87-5.48 масс. %. На диаграммах распределения РЗЭ легкие РЗЭ преобладают над тяжелыми РЗЭ, европиевая аномалия отсутствует и Eu/Eu* составляет 1.2. На мультиэлементных спектрах отмечаются минимумы по Zr, Nb (Ta), Ti, U и максимумы по Ba, P, Pb, K, Eu и Sm.

На диаграммах Дж. Пирса точки образцов концентрируются в островодужном и синколлизонном поле. На диаграмме La/Nb – Ce/Y большая часть фигуративных точек составов пород ложатся на тренд смещения мантийных расплавов с корой. На экспериментальных диаграммах по плавлению различных источников фигуративные точки составов пород попадают в поле плавления амфиболитов и граувакк.

Петрологически гранитоиды острова Аскольд формировались в результате мантийно-корового взаимодействия. Плавлению подвергались коровые субстраты амфиболитов для среднепалеозойских и граувакк для верхнемеловых. Среднепалеозойские гранитоиды отличаются по многим геохимическим параметрам от верхнемеловых гранитов такого же состава.

Литература

Леликов Е. П. Остров Аскольд: геологическое строение и золотоносность // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2013. – № 6(172). – С. 198-204.

ДИНАМИКА МИКРОСЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ, ВЫЗЫВАЕМЫХ ВЕТРОВЫМИ ВОЛНАМИ ТАЙФУНА ХАГУПИТ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЯ ЛАЗЕРНО-ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОГО КОМПЛЕКСА

Шабельникова С.К., Чупин В.А.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток,
shabelnikova.sk@poi.dvo.ru*

Развитие микросейсмической активности зависит от свойств океана и атмосферы, на которые влияют региональные факторы, такие как глубина морского бассейна, геометрия побережья, приливы и отливы в океане, траектория движения атмосферных явлений, таких как тайфуны, а также продолжительность ветрового воздействия на морскую поверхность. Тайфуны являются временными источниками микросейсмических колебаний, которые могут предоставить уникальную информацию о взаимодействии атмосферы, океана и земной поверхности.

В работе выполнен анализ данных микросейсмических колебаний на территории Приморского края, инициированных поверхностными волнами при прохождении циклона Хагупит над Японским морем в период с 6 по 8 августа 2020 г. Получены характеристики микросейсмических колебаний и проведен анализ результатов. Для регистрации микросейсмиков был использован аппаратно-программный измерительный комплекс постоянно действующей морской экспериментальной станции "м. Шульца" ТОИ ДВО РАН, расположенной в южной части Приморья. Выполнено сравнение экспериментальных данных ветрового волнения, полученных лазерным измерителем вариаций давления гидросферы в близлежащей акватории и данных микросейсмических колебаний, зарегистрированных лазерными деформографами, расположенными на мысе Шульца.

В работе применяется дисперсионный метод изучения микросейсм, основанный на построении кривых экспериментальных зависимостей фазовой скорости поверхностных волн от их частоты. Для анализа данных аппаратно-программного комплекса используется программа Defomograph, позволяющая произвести с сигналом ряд операций (таких как удаление скачков, фильтрация и децимация) и подготовить его для дальнейшего изучения. Для выбранного промежутка времени были построены поля периодов максимальных амплитуд микросейсмических колебаний, а также графики изменений амплитуд максимумов микросейсмических колебаний 1 и 2 рода.

При обработке данных микродеформаций земной коры, полученных лазерно-интерференционным измерительным комплексом МЭС «м. Шульца» в период прохождения тайфуна Хагупит над Японским морем, были использованы данные измерений двух соосных лазерных деформографов, установленных на различных видах оснований – скальном и песчаном.

В результате обработки данных натуральных измерений по одному временному участку были построены спектрограммы сигнала, на которых наблюдается разница частотных максимумов. При сравнении амплитуд по данным двух измерительных приборов также наблюдается среднее отличие около 0,144 мкм. Эта разница объясняется отличиями ряда свойств фундаментов под приборное оснащение, принимающих сигнал микросейсмиков.

Работа выполнена по теме № 124022100074-9 «Изучение природы линейного и нелинейного взаимодействия геосферных полей переходных зон Мирового океана и их последствий».

МАРГАНЦЕВЫЕ МИКРОКОНКРЕЦИИ БРАЗИЛЬСКОЙ КОТЛОВИНЫ

Шадрина Д.А.¹, Бережная Е.Д.²

¹*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва,
dasha310shadrina@gmail.com*

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

Марганцевые микроконкреции являются результатом обособления оксигидроксидов железа и марганца, широко развиты в пелагических осадках, обладают высокими концентрациями марганца, железа, алюминия, редких и рассеянных элементов. Микроконкреции (МК) изучены в меньшей степени, чем железомарганцевые конкреции и корки, хотя по последним данным они также обогащены редкоземельными элементами (РЗЭ). Бразильская котловина является одним из районов залегания МК.

Бразильская котловина расположена в основном в экваториально-тропической зоне Южной Атлантики. Распространение на восток терригенного материала, поставляемого реками Южной Америки, ограничено в толще глубинных вод Южно-Атлантическим срединным хребтом. Поверхностные воды образуют антициклонический субтропический круговорот за счет течений Бенгельского, Южного пассатного, Бразильского и Южно-Атлантического (западных ветров). Основная масса придонных вод Атлантики создается в море Уэдделла. Холодные придонные антарктические водные массы, двигаясь на север через Аргентинскую котловину, каналы Вима и Хантер, проникают в Бразильскую котловину, заполняя ее глубинные части. Режим этих холодных течений в значительной степени определяет подводную эрозию, перерывы в осадконакоплении, переотложение и растворение карбоната кальция. Срединный хребет на восточной окраине Бразильской котловины также может влиять на процессы седиментации в ней, являясь потенциальным источником эндогенного вещества и барьером для переноса терригенного материала на восток. Тип литогенеза в Бразильской котловине, по комплексу признаков, можно считать незавершенным пелагическим (миопелагическим).

В данной работе были исследованы марганцевые микроконкреции станции 1538 из центральной части Бразильской котловины, отобранные в рейсе НИС «Академик Сергей Вавилов». Станция АСВ 1538 (15°52.9' ю.ш., 24°04.6' з.д., глубина 5200 м) находится ниже критической глубины карбоната накопления. Осадки на станции представлены коричневыми и темнокоричневыми миопелагическими глинами (0,07–0,32% CaCO₃, 0,07–0,14% C_{орг}). В составе осадков преобладают глинистые минералы (91–97%), встречаются песчаноалевритовые терригенные обломочные минералы (1–3%), марганцевые микроконкреции (1–5%), единичные кристаллы цеолитов (филлипсита) и фрагменты костей. Определимые микропалеонтологические объекты отсутствуют. Возраст осадков не определен. Для исследования были взяты горизонты 85 – 94 см, 102 – 105 см.

Образцы горизонтов размачивали в дистиллированной воде для последующего промывания. Марганцевые микроконкреции были извлечены из осадков методом мокрого рассеивания через сито из полиамида с размером ячеек 63 мкм. Оставшуюся на сетке фракцию высушивали сначала при комнатной температуре, а затем при 50–70°C. Была определена масса отмытого остатка горизонтов 85 – 94 см (0,558 г), 102 – 105 см (0,663 г). Микроконкреции отбирали вручную под биноклем. Микроконкреции в размерной фракции >63 мкм на гор. 85 – 94 и 102 – 105 см представляют собой темно-серые с буроватым оттенком матовые рыхловатые образования. Выделенную фракцию марганцевых микроконкреций растирали в ступке, затем растворяли в тefлоновом бюксе в смеси концентрированных кислот HF, HNO₃, HClO₄ при нагревании. Полученный раствор фильтровали и анализировали методами ICP-OES и ICP-MS.

Исследуемые марганцевые микроконкреции содержали в себе 17-24% Mn, 7-9% Fe, 3% Al, 0,4% Co, 0,6% Ni. Состав РЗЭ в них характеризуется высокой аномалией Ce, что свидетельствует о формировании оксигидроксидной взвеси в поверхностных водах. По

соотношению Fe-Mn-10(Co+Ni+Cu) и составу РЗЭ изученные микроконкреции относятся к гидrogenным образованиям. Для исследования были отобраны микроконкреции размерностью >63 мкм. В осадках размерность микроконкреции составляет как правило 10-100 мкм. Отобранные микроконкреции обособляли в себе 7-8% от абсолютной массы марганца, распределенного в осадке.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда фундаментальных исследований, проект 25-27-0034.

ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОВНЯ МОРЯ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ПРИМОРСКОГО КРАЯ В УСЛОВИЯХ РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ СЦЕНАРИЕВ

Шенцов Н.А., Костык В.А.

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, shencov.na@dyfu.ru

Приморский край, омываемый Японским морем, обладает уникальной прибрежной экосистемой и развитой портовой инфраструктурой, играющей ключевую роль в экономике региона. Однако эти территории крайне уязвимы к изменениям уровня моря, включая как сезонные колебания, так и долгосрочные тренды, связанные с глобальным потеплением. В условиях наблюдаемого ускорения роста уровня моря (до 4.5 мм/год в последнее десятилетие) прогнозирование его изменений становится критически важным для обеспечения безопасности судоходства, защиты прибрежной инфраструктуры и адаптации к климатическим изменениям.

Основными факторами, влияющими на уровень моря в регионе, являются: термическое расширение вод Японского моря, таяние ледников, ветровые нагоны, приливные явления, а также мезомасштабные процессы, такие как топографические волны Россби. Исследования последних лет выявили значимые внутригодовые колебания уровня моря с периодами 70-130 дней, ранее не учитывавшиеся в прогностических моделях. При этом экстремальные события (например, штормовые нагоны) уже сейчас наносят существенный ущерб хозяйственной деятельности, что подчеркивает необходимость совершенствования методов прогнозирования.

Для оценки будущих изменений уровня моря используются климатические сценарии CMIP6 (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP5-8.5), которые показывают возможный рост уровня моря на 30-100 см к концу века. Однако региональные особенности Приморского края требуют адаптации этих глобальных прогнозов с учетом местных гидродинамических процессов и данных многолетних наблюдений с гидрометеорологических станций (Посьет, Владивосток, Находка, Рудная Пристань). Важной задачей является верификация существующих моделей путем сравнения их результатов с фактическими данными, включая расчет статистических показателей точности.

Анализ данных станций Приморского края выявил важные особенности, не полностью учитываемые глобальными моделями CMIP6. За период 1994-2023 гг. наблюдаемые тренды роста уровня моря составили +0.128 мм/год для Владивостока и +0.257 мм/год для Посьета, что в 1.5-2 раза ниже значений, которые давали CMIP6-прогнозы для этого периода (рассчитанные ретроспективно). Однако сравнение за последние 8 лет (2015-2023) показывает сближение тенденций: расхождение сократилось до 10-15%, что повышает доверие к долгосрочным прогнозам CMIP6 до 2050 года.

Наиболее значимые различия проявились в сезонной динамике. В Находке августовские значения (+6.331 мм/год) превысили прогнозные показатели CMIP6 в 2.7 раза из-за локальных ветровых эффектов. Вейвлет-анализ выявил устойчивые 70-130-дневные колебания, связанные с мезомасштабными вихрями - эти процессы не захватываются глобальными моделями с разрешением ~100 км. Особенно заметны расхождения для зимнего периода, когда ледовые процессы в заливе Петра Великого вносят дополнительную изменчивость.

Точность прогнозов существенно зависит от полноты данных. Для станций с непрерывными рядами (Владивосток, Посьет) ошибка составила 1.5-2.2 мм/год, тогда как для Находки с фрагментарными наблюдениями достигала 4.0 мм/год. При этом краткосрочные прогнозы CMIP6 (2015-2023) оказались надежнее долгосрочных: отклонения от наблюдений не превышали 20% против 35-40% для 30-летнего периода.

Необходимость адаптации глобальных сценариев к региональным условиям Приморья, особенно для задач береговой инфраструктуры, подтверждается результатами

тестирования скорректированных моделей на периоде 2010-2023 гг., которые показали снижение ошибки на 25-30% по сравнению со стандартными СМР6-прогнозами. Перспективным направлением является разработка калибровочных коэффициентов для СМР6 с учетом локальных гидрологических особенностей (влияние тайфунов, нагоны), батиметрии прибрежной зоны и многолетних циклов солености.

ВАЛИДАЦИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ ПРИЛИВНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ЯПОНСКОГО МОРЯ

Ширыборова А.И., Медведев И.П.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, shiryborovaa@yandex.ru
medvedev@ocean.ru*

Японское море – это окраинное море, соединенное с другими морями через пять проливов. Прилив в Японском море состоит из проникающей приливной волны из смежных водоемов и собственного прилива, генерируемого непосредственно приливообразующими силами. Основная приливная волна проходит в бассейн из Восточно-Китайского моря через Корейский пролив. Остальные проливы играют меньшую роль в формировании приливов в Японском море.

Нами была собрана база данных ежечасных записей уровня моря, состоящая из 32 станций, расположенных на японском и российском побережьях, из которых 9 российских и 23 японских. Данные были получены как из глобальных, открытых, библиотек, таких как

- “Japan Oceanographic Data Center: JODC”,
- “Geospatial Information Authority of Japan”,
- “Global Extreme Sea Level Analysis”

для японского побережья, так и с уровенных гидрометеорологических постов Японского моря для российского побережья. Продолжительность записей варьируется от 2 до 45 лет.

Для оценки экстремальных приливных уровней моря по натурным данным был проведен гармонический анализ по методу наименьших квадратов. Сначала рассчитывались амплитуды и фазы основных приливных гармоник для каждого отдельного года, а затем полученные значения осреднялись за весь период наблюдений.

Оценки экстремальных приливных уровней моря на основе численных моделей были выполнены в среде программирования MATLAB с использованием глобальных приливных моделей и программного пакета TMD. Были выбраны глобальные приливные модели TPXO10 и FES2022. TPXO10 – это 10-я версия модели TPXO для всего Мирового Океана, созданная в географической проекции и имеющая в себе глобальную батиметрию GEBCO, воспроизводит 15 приливных гармоник. FES2022 — это современная глобальная модель океанских приливов, которая пришла на смену предыдущей версии FES2014 и которая имеет значительные улучшения в точности, особенно в прибрежных зонах и на мелководье.

По данным натурных наблюдений максимальные амплитуды приходятся на главную полусуточную гармонику M_2 и изменяются от 5 см в районе пролива Лаперуза, до 70 см в вершине Татарского пролива. Второй по значимости является полусуточная гармоника S_2 , амплитуда которой возрастает от 2 см на юге острова Сахалин, до 25 см в вершине Татарского пролива. Характер прилива изменяется от полусуточного в северной части моря, к смешанному преимущественно полусуточному в центральной части. По результатам гармонического анализа максимальная теоретическая величина прилива наблюдается в Де-Кастри и достигает 244 см.

На основе данных береговых наблюдений была выполнена валидация моделей, которая показывает высокую точность современных приливных моделей в пределах Японского моря.

Было проведено сравнение результатов моделирования амплитуд главных гармоник на основе моделей TPXO10 и FES2022. На большей части акватории Японского моря разница амплитуд не превышает 1 см, и только в зонах с сильными приливами она достигает 3-4 см. Этот результат говорит о хорошей согласованности моделей, так как из

опыта сравнения различных моделей в других акваториях, разница амплитуд может достигать десятков сантиметров, а в отдельных случаях увеличивается и до метра.

По данным моделирования приливных колебаний амплитуда главной полусуточной гармоники M_2 изменяется от 2 см на севере Корейского пролива, до 70 см в вершине Татарского пролива. Амплитуды главной суточной гармоники K_1 , в свою очередь, изменяются от 1 см в южной части моря, до 6 см в северной части. Максимальная теоретическая величина прилива в пределах моря изменяется в 20 раз.

Внутри моря приливы имеют небольшую величину (не более 50 см) и различный характер прилива (суточный, полусуточный и смешанный). В то время как в Корейском проливе и Татарском проливах происходит усиление приливных колебаний и преобладает полусуточный характер. Высота прилива в южной части Корейского пролива достигает 3 м, в вершине Татарского пролива – 2.2 м.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 24-17-00313.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ПРИМЕРЕ МОРСКИХ ЗОНДОВ ТИПА SEABIRD SBE-37

Шмыков Н.В., Буланов А.В.

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Владивосток, nikitamoysishik@mail.ru

Как известно поставляемое зарубежное морское оборудование, в частности STD-зонды, предполагают использование «местного» программного обеспечения (ПО). Исходное ПО не соответствует современным требованиям в задачах оперативной океанографии, что приводит к значительному снижению эффективности морских исследований. В связи с этим, имеет смысл разработать отечественную систему автоматического мониторинга и анализа гидрофизических данных на основе модифицированного зарубежного оборудования, способную решить совокупность следующих проблем:

Научная проблема. Среди ключевых недостатков ПО зарубежного морского оборудования можно выделить:

Отсутствие системы дистанционного мониторинга гидрофизических параметров, таких как электропроводность, температура, глубина в реальном времени. Необходимость в лабораторных условиях для построения точных термохалинных профилей толщи морской воды. Требования физического подключения к оборудованию для выгрузки данных, что требует дополнительных человеко-часов работы в условиях постоянного дрейфа судна. Отсутствие режимов пониженного электропотребления для некоторых зондов линейки SBE (в частности, SBE-37). В данной работе, для решения проблем, указанных выше, было принято решение разработать пользовательский графический интерфейс (GUI) специального назначения, реализованный на языке программирования python, используя библиотеку tkinter. Разработанный программный комплекс обеспечивает удалённое управление передачей данных с модифицированного зонда SBE-37 на микроконтроллер ESP32-C3, включая запуск и остановку потока измерений. Микроконтроллер реализует запись гидрофизических данных во внутреннюю flash-память в формате «.csv». Исходя из этого, было принято решение реализовать FTP-client в графическом интерфейсе, с целью гибкого управления файловой системой. Данный подход позволяет добавлять, скачивать, удалять, изменять файлы, находящиеся на стороне сервера (MCU ESP32-C3). На основе выбранного файла, строится реляционное представление записанных гидрофизических параметров с возможностью построения термохалинного профиля морской толщи.

SBE-37 имеет внутренний кварцевый резонатор, однако, для критически важных временных меток был выбран внешний модуль RTC DS3231. Для калибровки времени на ESP32-C3, GUI оснащен возможностью дистанционной синхронизацией по локальному времени в формате ISO 8601.

В условиях отсутствия физического выключателя питания, для управления энергопотреблением адаптированного зонда SBE-37 реализован алгоритм перевода микроконтроллера в режим глубокого сна (deep sleep) с возможностью программной настройки через GUI. Оператор задаёт продолжительность сна в секундах, после чего активирует функцию нажатием кнопки «Отправить», инициируя передачу параметров на ESP32-C3 по беспроводному каналу связи.

Таким образом была реализована универсальная система автоматического мониторинга гидрофизических параметров на базе модифицированного STD-зонда. В перспективе планируется масштабирование данного программно-аппаратного решения на определённые модели океанографического оборудования Sea-Bird Scientific, с адаптацией протоколов связи. Особое внимание будет уделено интеграции современных методов машинного обучения, для повышения точности реконструкции термохалинной структуры

водной толщи и оперативного выявления фронтальных разделов в режиме реального времени. В рамках совершенствования пользовательских функций рассматривается реализация механизма беспроводного обновления встроенного ПО (OTA-прошивки), что особенно актуально для экспедиционных условий при ограниченном физическом доступе к внутренней части оборудования. Дополнительным направлением развития является внедрение алгоритмов компенсации сенсорных дрейфов на основе методов многофакторного регрессионного анализа с учетом исторических данных калибровок.

Работа выполнена в рамках задания по государственной бюджетной теме ТОО ДВО РАН №124042300003-5 «Организация комплексного океанографического мониторинга дальневосточных акваторий гидрофизическими, оптическими и акустическими методами».

ДОЛГОВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРОДУКЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФИТОПЛАНКТОНА В ЯПОНСКОМ МОРЕ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ (2002 ПО 2023 ГГ.)

Шамбарова Ю.В., Степочкин И.Е., Захарков С.П.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток,
shambarova@poi.dvo.ru*

В морских экосистемах основа трофической сети – фитопланктон, который определяет биогеохимические циклы углерода, и создает почти половину мировой первичной продукции (ПП) в морях. В условиях современных климатических изменений изучение долгосрочной динамики продуктивности фитопланктона становится критически важным для прогнозирования изменений в морских сообществах.

Дистанционное зондирование морских акваторий - важный инструмент для анализа многолетних изменений биопродукционных параметров, который обеспечивает комплексный мониторинг с высоким пространственно-временным разрешением.

Особый интерес представляет Японское море - регион, который отличается повышенной чувствительностью к климатическим колебаниям. Несмотря на его значимость как индикатора глобальных изменений, Японское море остается недостаточно изученным в плане долгосрочных изменений продуктивности. Имеющиеся исследования либо ограничены отдельными районами, либо охватывают непродолжительные временные периоды. При этом согласно данным зарубежных авторов тенденции к потеплению воды в Японском море существенно опережают среднемировые показатели, наблюдаемые в других областях Мирового океана, что усиливает актуальность изучения происходящих процессов.

По спутниковым данным авторами исследована долговременная изменчивость продукционных характеристик фитопланктона в Японском море за период 2002-2023 гг. на основе спутниковых данных MODIS Aqua. Проанализированы пространственно-временные распределения концентрации хлорофилла-а (КХЛ), ПП, их связь с температурой поверхности океана (ТПО) и глубиной эвфотической зоны (ЭЗ). Выявлены значимые тренды в изменении ПП, КХЛ, ТПО и глубины ЭЗ, связанные с климатическими изменениями. Положительный тренд ТПО (0,0006), КХЛ (0,0053), ПП (0,0018) и отрицательный тренд глубины ЭЗ (-0,0005).

Авторами впервые был проведен комплексный анализ долгосрочной динамики продукционных параметров для всей акватории моря, с учетом роли Тихоокеанского декадного колебания (ТДК). Оценено влияние ТДК на изменчивость КХЛ и ПП. В работе показано, что влияние ТДК на КХЛ, ПП и глубину ЭЗ в Японском море опосредованно, через изменения ТПО и связанную с ней стратификацию. ТДК является важным климатическим драйвером, модулирующим гидрологические условия и биопродуктивность изучаемого региона.

Климатические воздействия на морские экосистемы вызывают некоторые изменения условий обитания фитопланктонного сообщества и как следствие, влияют на продуктивность моря. Полученные результаты данной работы важны для понимания реакции морских экосистем на климатические изменения, могут быть использованы для прогнозирования биопродуктивности Япономорского региона.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы, регистрационный номер 124022100080-0

ДИНАМИКА БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ АЗОВСКОГО МОРЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ И ЛЕДОВЫХ ЯВЛЕНИЙ

Яцкая Н.А., Магаева А.А., Мисиров С.А., Валов Г.В.

Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук», г. Сочи, yaitskayan@gmail.com

Береговая зона Азовского моря характеризуется активным развитием абразионно-оползневых процессов. Интенсивность деградации берегов не постоянна во времени и пространстве и обусловлена геоморфологическим строением, а также штормовой и нагонной активностью преимущественно с ноября по апрель, и наличием ледяного покрова. Многофакторность и сложность взаимосвязанных процессов обуславливают проблематику их исследования.

Наиболее эффективными инструментами для определения скорости абразии являются регулярные инструментальные наблюдения по реперной сети и мониторинг на основе космоснимков высокого разрешения. В работе использованы данные дистанционного зондирования Земли из космоса среднего (10-30 м), высокого (1-10 м) и сверхвысокого (>1 м) разрешения, собственные результаты наблюдений за абразионно-оползневыми процессами в береговой зоне Азовского моря из опубликованных литературных источников. Дешифрирование производилось по прямым дешифровочным признакам (форма, размер, тон и тень) на масштабах 1:500, 1:1500, 1:2000, 1:5000, с применением стандартного пера равной толщине 0.35 мм в ArcGIS, для абразионных клифов. В результате были получены линейные классы пространственных объектов, которые соответствуют: для северного берега Азовского моря – 1980, 1990, 2000, 2014, 2021; для побережья Азовского моря в пределах Керченского полуострова – 1977, 1986, 1990, 2000, 2010, 2017, 2022, для южного побережья (Таманский полуостров) – 1980, 1990, 2000, 2010, 2017, 2022, для восточного побережья Азовского моря (1977, 1995, 2000, 2005, 2014, 2022). На основе созданных классов пространственных объектов с применением ПО ArcGIS ver. 10 и модуля пространственно-временного анализа Digital Shoreline Analysis System (DSAS) рассчитаны среднесуточные скорости отступления берегов для указанных выше участков побережья с 1980 по 2022 гг.

Натурные наблюдения выполнялись по многолетней реперной сети Южного федерального университета и Южного научного центра РАН, дополненной новыми реперами в выявленных районах с наибольшими скоростями абразии. Всего выполнено три экспедиционных выезда, в том числе два зимних, в 2024-25 гг. по 34 реперам.

Привлечение накопленных архивов данных за опасными ледовыми явлениями (припай и навалы льда на берег) и расчетов штормового волнения позволило определить наибольшие характерные воздействия в зимний период для различных участков береговой зоны Азовского моря 2014-2023 гг. Практически для всего побережья Азовского моря в зимний период характерно сочетание штормового волнения и ледовых явлений с различной степенью воздействия. Высокому как динамическому, так и ледовому воздействию в зимний период подвержены все косы северного побережья Азовского моря, где развиты процессы торошения и навалы льда ввиду геоморфологии дна и преобладающего ветра восточной составляющей в зимний период.

Эрозия побережья Азовского моря в зимний период может возникать при отсутствии ледового покрова или навалов на берег и в то же время высокой штормовой динамической нагрузке на берег. Пространственно-временной анализ полученных результатов показал, что наиболее интенсивно отступающие участки в пределах северного побережья Таганрогского залива – Весело-Вознесенский (1.5-2.2 м/год), Беглицкий (0.5-1.5 м/год), Глафировский (1.0-2.5 м/год). Данный участок залива подвержен преимущественно ледовому воздействию в зимний период. Динамические нагрузки от штормового волнения

не превышают средних значений, при этом в формировании берегов возрастает роль нагонных явлений.

Восточная область дельты реки Дон характеризуется большими скоплениями навалов льда на берег и высокой динамической нагрузкой. Однако процессы эрозии здесь не развиваются из-за наличия обширных периодически затапливаемых мелководий.

В пределах южного побережья Таганрогского залива наибольшие скорости абразии выявлены для участков Должанский восточный и Воронцовский (2.0-3.0 м/год), Должанский западный (1.5-3.0 м/год), Шиловский (2.0-2.5 м/год), Морозовский (2.0-3.0 м/год). На участке от Ейска до косы Долгой отмечается большая вероятность ледового воздействия, в частности скопления навалов льда, высокая динамическая нагрузка и штормовое воздействие.

Западное и южное побережья Азовского моря подвержено максимальной динамической нагрузке, ледовое воздействие здесь практически не наблюдается в следствие мягкости зим, а среднегодовые скорости абразии для участка между косами Бирючий остров и Обиточной составляют от 0.5 до 2.5 м/год.

На фоне изменения климата гидрометеорологические факторы, оказывающие воздействие на динамику береговой зоны Азовского моря и степень их воздействия изменяются. Морской ледяной покров Азовского моря сокращается, а скорость ветра имеет тренд на увеличение в зимние месяцы, что приводит к высокой штормовой динамической нагрузке на берег. Можно сделать вывод, что в ближайшие десятилетия при сохранении этих тенденций штормовое волнение будет оказывать все более негативное и разрушительное влияние и станет ключевым фактором негативного воздействия.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-17-20015, <https://rscf.ru/project/24-17-20015/>. Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках проекта № 24-17-20015.

ОЛИГОЦЕН-МИОЦЕНОВЫЕ ГРАНИТОИДЫ ЯПОНСКОГО МОРЯ

Якимов Т.С.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток,
iakimov.ts@poi.dvo.ru*

Переходная зона от континента к Японскому морю характерна наличием гранитоидов участвующих в формировании кристаллического дна [Леликов и Маляренко, 1994].

В рамках исследования были выбраны следующие морфоструктуры: хребет Южное Ямато, а именно его юго-восточная часть; Плато Тояма; северо-восточная часть хребта Оки. Далее выбраны образцы гранитоидов из коллекции ТОИ ДВО РАН. Микроскопически образцы представлены, гранитами, гранодиоритами, диоритами и кварцевыми диоритами. Петро-геохимическая характеристика для всех образцов выглядит следующим образом: гранитоиды представлены от известково-щелочных до щелочной-известковой серий, ЛРЗЭ преобладают над ТРЗЭ, отмечаются минимумы по Zr, Nb, Rb и максимумы по Eu, Ba, U, Sr,

В ходе исследований были получены новые данные о возрасте цирконов из гранитоидов вышеописанных морфоструктур методом ID-TIMS, для плато Тояма и хребта Оки возраст определен как олигоценовый, а для хребта Южное Ямато миоценовый. Олигоцен-миоценовый возраст гранитоидов характеризуют одноименный тектономагматический этап открытия котловины Хонсю Японского моря. По данным возрастам гранитоидов запечатлена активность рифта в Япономорском регионе проходила с 25 по 17 млн лет. Модельный возраст гранитоидов плато Тояма и хребта Южного Ямато определяется как верхнерифеский, а для гранитоидов хребта Оки как нижнерифеский. Это может быть связано, с тем, что плато Тояма и хребет Южное Ямато находится близко друг к другу, соответственно могли формироваться из одного источника, но при разных условиях ввиду различий в возрасте, также при разных ϵ_{Nd} , где у первого оно отрицательное, а у второго положительное. Гранитоиды хребта Оки, скорее всего формировались за счет плавления плато Уллын (Восточно-Корейская возвышенность) при весьма положительном ϵ_{Nd} .

По результатам проведенных исследований, можно сделать следующие выводы: Впервые получены возраста цирконов из гранитоидов и проведены Sm-Nd изотопные исследования. Гранитоиды олигоцен-миоценового возраста, наряду с вулканитами характеризуют одноименный тектономагматический этап открытия котловины Хонсю в Японском море. Гранитоиды хребта Южного Ямато являются поздними и тем самым указывают на то, что тектономагматический этап оставался активным на протяжении 5 млн. лет.

Литература

Леликов Е.П, Маляренко А.Н. Гранитоидный магматизм окраинных морей Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 1994. 268 с.

ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Материалы XI Всероссийской конференции молодых ученых
с международным участием**

Владивосток, 26 – 30 мая 2025 г.

Издательское оформление

ИП Миромановой И.В.

2025 г.

